



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS SOBRAL**  
**FACULDADE DE MEDICINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**ELCIANE MARIA DO NASCIMENTO**

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS DE OSSO CALCINADAS PARA  
APLICAÇÃO COMO FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SOLOS: ANÁLISE  
FÍSICO-QUÍMICA E ECOTOXICOLÓGICA**

**SOBRAL**

**2023**

ELCIANE MARIA DO NASCIMENTO

DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS DE OSSO CALCINADAS PARA  
APLICAÇÃO COMO FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SOLOS: ANÁLISE FÍSICO-  
QUÍMICA E ECOTOXICOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Biotecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Biotecnologia. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de pesquisa: Bioprospecção de produtos naturais e sintéticos.

Orientador: Prof. Dr. Igor Iuco Castro da Silva.

SOBRAL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- N194d Nascimento, Elciane Maria do.  
Desenvolvimento de Farinhas de Osso Calcinadas para aplicação como fertilizantes orgânicos de solos: :  
Análise físico-química e ecotoxicológica / Elciane Maria do Nascimento. – 2023.  
67 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Programa de Pós-Graduação  
em Biotecnologia, Sobral, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Igor Iuço Castro da Silva.
1. Desenvolvimento sustentável. 2. Fertilizantes. 3. Ossos. 4. Tratamento térmico. I. Título.  
CDD 660.6
-

ELCIANE MARIA DO NASCIMENTO

DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS DE OSSO CALCINADAS PARA  
APLICAÇÃO COMO FERTILIZANTES ORGÂNICOS DE SOLOS: ANÁLISE FÍSICO-  
QUÍMICA E ECOTOXICOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Biotecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Biotecnologia. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de pesquisa: Bioprospecção de produtos naturais e sintéticos.

Orientador: Prof. Dr. Igor Iuco Castro da Silva.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Igor Iuco Castro da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ricardo Pires dos Santos (Examinador interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcelo Miranda de Melo (Examinador interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Murilo Sérgio da Silva Julião (Examinador externo)  
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, *Campus* Sobral e ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia.

Ao estimado professor orientador Dr. Igor Iuco Castro da Silva, pela oportunidade, confiança e esforços despendidos à minha formação acadêmica e, em especial, as inestimáveis contribuições que tem tornado possível a concretização desse projeto de pesquisa.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos teóricos e práticos e, em particular, ao estimados professores Dr. Marcelo Miranda de Melo e Dr. Ricardo Pires dos Santos, pela parceria científica e valiosas contribuições destinadas a esse projeto de pesquisa.

Ao estimado professor Dr. Murilo Sérgio da Silva Julião, pela disponibilidade e valiosas contribuições despendidas a esse projeto de pesquisa.

À Capes, pela bolsa de estudos concedida (CAPES-DS, código 001).

A todos que fazem parte do Laboratório de Biomateriais da UFC - Sobral (BIOMAT), especialmente ao meu colega Fábio Souza pela ajuda e companheirismo.

## RESUMO

Atualmente, as farinhas de osso calcinadas comercialmente disponíveis são predominantemente de origem bovina e úteis para o beneficiamento do solo. Entretanto, a carência da utilização de outras fontes animais inaproveitadas e da padronização metodológica na produção destas farinhas identifica a necessidade de exploração biotecnológica desse nicho de produtos fertilizantes. O objetivo deste projeto de pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes tratamentos térmicos sobre farinhas de osso calcinadas oriundas de animais abatidos para fins comerciais. Fêmures bovinos, ovinos e suínos tiveram a remoção manual da matéria orgânica, seguido da imersão em solução de hipoclorito de sódio e lavagem. Em seguida, os ossos foram calcinados separadamente, em churrasqueira de alumínio, aplicando-se dois tratamentos térmicos: um com duas horas e outro com quatro horas em quintuplicata. Posteriormente os ossos calcinados foram triturados em um pilão de madeira até obter a consistência de farinha. Para caracterização de cada tipo de farinha óssea calcinada, foram realizadas as seguintes etapas: análise de rendimento e custos de produção, análise química, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, difração de raios-X, ensaio de ecotoxicidade e análise estatística. Verificou-se que as farinhas desenvolvidas apresentaram variações na composição química, sendo mais vantajosas aquelas submetidas a 4 horas de calcinação. A exposição a apenas duas horas gerou produtos com matéria orgânica residual. Quanto às diferentes origens animais, obteve destaque a FOC bovina, por conter percentuais nutricionais superiores a 40% e 35% de fósforo e Cálcio, respectivamente. Adicionalmente, obteve em torno de 36% de rendimento e apresentou os menores custos de produção. As farinhas testadas neste estudo não apresentaram toxicidade aguda, sendo portanto, seguras. Os achados deste estudo comprovam a possibilidade do desenvolvimento das farinhas de osso por protocolos padronizados a fim de aplicação biotecnológica na fertilização de solos.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável. Fertilizantes. Ossos. Tratamento térmico.

## ABSTRACT

Commercially available calcined bone flours are predominantly of bovine origin and useful for soil improvement. However, the lack of use of other unworn animal sources and methodological standardization in the production of these meals, identified the need for biotechnological exploration of that niche of fertilizer products. The main goal of this research project is to evaluate the effect of different thermal treatments on calcined bone meal from animals slaughtered for commercial purposes. Bovine, ovine, and porcine femurs had the organic matter manually removed, followed by immersion in sodium hypochlorite solution and washing. Then, the bones were calcined separately, in an aluminum grill, applying two heat treatments: the first spent two hours, and the second lasted four hours. The process was repeated in quintuplicate. Subsequently, the calcined bones were crushed in a wooden pestle until obtaining the consistency of flour. For the characterization of each type of calcined bone meal, the following steps were performed: analysis of yield and production costs, chemical analysis, Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction, ecotoxicity assay, and statistical analysis. We verified that the developed flours presented variations in their chemical composition, being more advantageous than those submitted to 4 hours of calcination. Exposure to only two hours generated products with residual organic matter. Regarding the different animal origins, the bovine CBF stood out, as it contains nutritional percentages greater than 40% and 35% of Phosphorus and Calcium, respectively. Additionally, it obtained around 36% yield and had the lowest production costs. The flours tested in this study did not show acute toxicity and are therefore safe. The findings of this study prove the possibility of developing bone meal using standardized protocols for biotechnological application in soil fertilization.

**Keywords:** Sustainable development. Fertilizers. Bones. Thermic treatment.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Principais fertilizantes importados para o Brasil e locais de origem..... 18
- Figura 2 - Representação gráfica do modelo de economia circular obtido com FOC..... 20
- Figura 3 - *Artemia* sp. (A) Cistos. (B) Náuplios ..... 26
- Figura 4 - Preparação dos resíduos ósseos para calcinação. (A) Remoção manual de parte da matéria orgânica. (B) – Imersão em solução de hipoclorito de sódio e água. (C) – Material pronto para pesagem e calcinação ..... 31
- Figura 5 - Etapas do processo de calcinação do material ósseo. (A) Calcinação em churrasqueira, com destaque na coloração dos ossos ao longo do processo. (B) Trituração do calcinado em pilão de madeira ..... 31
- Figura 6 - Ensaio piloto de ecotoxicidade de FOC com *Artemia* sp. (A) Incubação dos cistos. (B) Disposição dos náuplios nas soluções com FOC e controles positivo e negativo. .... 34
- Figura 7 - Fotografias macroscópicas das farinhas de osso calcinadas. (A) FOC1- 2h de calcinação; (B) FOC1- 4h de calcinação; (C) FOC2 - 2h de calcinação; (D) FOC2 - 4h de calcinação; (E) FOC3- 2h de calcinação; (F) FOC3 - 4h de calcinação; (G) FOCC. .... 36
- Figura 8 - Fotografias microscópicas das farinhas de osso calcinadas. (A) FOC-2h de calcinação; (B) FOC1-4h de calcinação; (C) FOC2-2h de calcinação; (D) FOC2-4h de calcinação; (E) FOC3-2h de calcinação; (F) FOC3-4h de calcinação; (G) FOCC. Magnificação: 240x. .... 37
- Figura 9 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem bovina e farinha de ossos calcinada comercial. FO1 – Farinha de osso natural de origem bovina; FOC1 2h – Farinha de osso calcinada bovina submetida a 2 horas de calcinação; FOC1 4h – Farinha de osso calcinada bovina submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial ..... 45
- Figura 10 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem suína e farinha de ossos calcinada comercial. FO2 – Farinha de osso natural de origem suína; FOC2 2h – Farinha de osso calcinada suína submetida a 2 horas de calcinação; FOC2 4h – Farinha de osso calcinada suína submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. .... 46
- Figura 11 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem ovina e farinha de ossos calcinada comercial. FO3 – Farinha



de osso natural de origem ovina; FOC3 2h – Farinha de osso calcinada ovina submetida a 2 horas de calcinação; FOC3 4h – Farinha de osso calcinada ovina submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial.  
.....47

Figura 12 - Média do rendimento das farinhas de osso calcinadas submetidas ao tratamento térmico de 2 horas. *GraphPad Prism*, ANOVA, *One-way* – Tukey (\*\*p=0,0022). FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina....50

Figura 13 - Média do rendimento das farinhas de osso calcinadas submetidas ao tratamento térmico de 4 horas. *GraphPad Prism*, ANOVA, *One-way* – Tukey (\*p=0,0461). FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina.....50

Figura 14 - Farinhas de osso calcinadas artesanais embaladas e rotuladas para comercialização.  
.....54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Elementos minerais essenciais aos vegetais e sintomas de deficiência nutricional .	15
Tabela 2 - Especificações para os fertilizantes minerais simples.....	233
Tabela 3 - Composição mineral obtida a partir das FOC teste (2h e 4h) e comercial.....	37
Tabela 4 - Solubilidade de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> presente nas FOC teste e comercial .....	44
Tabela 5 - Média±desvio padrão de rendimento e temperatura das farinhas animais submetidas ao tratamento térmico por 2 ou 4 horas.....	49
Tabela 6 - Quantidade de matéria prima (osso) e carvão necessários para o desenvolvimento de 1,0 Kg de FOC de diferentes origens animais submetidas ao tratamento térmico por 2 ou 4 horas.....	51
Tabela 7 - Custos totais para produção de 1kg de farinhas teste, incluindo embalagem e rotulagem dos produtos.....	52
Tabela 8 - Dados percentuais obtidos com o ensaio de toxicidade das FOC artesanais e FOCC em diferentes concentrações utilizando artemias.....	55
Tabela 9 – Dados utilizados para obtenção das equações de regressão e resultado das LC <sub>50</sub> .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>2.1 Nutrição mineral e desenvolvimento vegetal</b> .....	15
<b>2.2 Plano Nacional de Fertilizantes</b> .....	17
<b>2.3 Economia circular e sustentabilidade na produção de FOC</b> .....	19
<b>2.4 Farinhas de Osso Calcinadas</b> .....	21
<b>2.5 Métodos analíticos mais utilizados nos estudos quali-quantitativos das FOC</b> .....	24
<b>2.5.1 Físico-químicos</b> .....	24
<b>2.5.2 Ecotoxicológicos</b> .....	25
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	27
<b>4 HIPÓTESES</b> .....	28
<b>5 OBJETIVOS</b> .....	29
<b>5.1 Objetivo geral</b> .....	29
<b>5.2 Objetivos específicos</b> .....	29
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
<b>6.1 Desenho de estudo</b> .....	30
<b>6.2 Aspectos bioéticos</b> .....	30
<b>6.3 Materiais ósseos</b> .....	30
<b>6.4 Descrição dos tratamentos térmicos aplicados aos materiais ósseos</b> .....	31
<b>6.5 Análises físico-químicas</b> .....	32
<b>6.5.1 Análise de rendimento e custos</b> .....	32
<b>6.5.2 Análise química</b> .....	32
<b>6.5.3 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - “Fourier Transform Infrared”)</b> .....	33
<b>6.6 Bioensaio de Ecotoxicidade</b> .....	33
<b>6.6.1 Ensaio de toxicidade utilizando Artemia sp</b> .....	33

<b>6.7</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>588</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>599</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um elemento indispensável para o desenvolvimento de todos os sistemas biológicos (DALY et al., 2015). Em solos agrícolas, esse elemento encontra-se normalmente em baixas concentrações, sendo necessário o fornecimento para manutenção desse nutriente por meio de fontes externas (DAMASCENO et al., 2018).

Para atender a demanda mineral, anualmente, milhões de toneladas de fósforo provenientes de depósitos fósseis são extraídas e processadas (LEINWEBER et al., 2018) e estima-se que no próximo século, mais de metade dos depósitos de rochas fosfáticas estejam esgotados (BALAWEJDER et al., 2019).

Com as perspectivas de crescimento da população mundial para aproximadamente nove bilhões de pessoas em 2050, a demanda por alimentos continuará a crescer, de forma que a suplementação com fertilizantes se tornará cada vez mais requerida para melhoria da produtividade em escala global (GONZÁLEZ; MANAVELLA, 2021; KUMAR, 2013). Nesse sentido, vários esforços têm sido empregados para desenvolver técnicas de recuperação do fósforo a partir da reciclagem desse nutriente dentro de uma perspectiva de economia circular (LEINWEBER et al., 2018; DAMASCENO, 2017).

Uma alternativa é a utilização do lixo ósseo oriundo de abatedouros pois, devido à sua natureza química, esses resíduos podem servir como fontes de nutrientes essenciais para plantas após processamento térmico para produção de Farinhas de Osso Calcinadas (FOC) (MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014). De acordo com os autores, a produção de FOC a partir de carcaças bovinas para uso agrícola é uma alternativa barata e acessível para produtores rurais, uma vez que não requer altos investimentos em infraestrutura e pode ser facilmente executada. Ademais, além de promover a reciclagem de nutrientes, o aproveitamento dos resíduos ósseos evita problemas ambientais e de saúde pública relacionados ao descarte inapropriado desse material junto ao lixo comum (DAMASCENO et al., 2018).

Estudos que utilizaram ossos bovinos para a fabricação de FOC demonstraram o potencial do produto resultante para fertilização de solos (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; BALAWEJDER et al., 2019; MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014), que decorre não somente da presença de teores desejáveis de fósforo, mas também de cálcio e outros nutrientes minerais essenciais para a agricultura (CONDE; STACHINW, 2020).

Adicionalmente, em comparação com os fertilizantes obtidos a partir das mineradoras, as FOC se sobressaem por oferecer teores totais de fósforo superiores a 40% e menor

quantidade de contaminantes em contraste aos fosfatos extraídos de rocha que possuem no máximo 17% de fósforo e presença de impurezas como flúor e alumínio (ANM, 2001; SANTOS, 2012; SAEID et al., 2014).

Ante ao exposto, é possível admitir que o uso de FOC possam contribuir para mitigar a intensa demanda por fertilizantes fosfatados provenientes de jazidas de rochas fosfáticas, contribuindo assim para a preservação ambiental (DAMASCENO, 2017), no entanto, algumas lacunas ainda são limitantes e comprometem seu uso de forma eficiente e segura.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Nutrição mineral e desenvolvimento vegetal

O desenvolvimento de culturas vegetais requer o atendimento de suas necessidades nutricionais essenciais. De acordo com Taiz (2017, p. 120) um elemento essencial pode ser definido como “um componente intrínseco na estrutura ou no metabolismo de uma planta ou cuja ausência causa anormalidades severas no crescimento, no desenvolvimento ou na reprodução vegetais ou pode impedir uma planta de completar seu ciclo de vida”.

Existem 17 elementos considerados essenciais para o crescimento vegetal. Destes, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) não são considerados nutrientes minerais, pois são obtidos principalmente da água ou do dióxido de carbono. Os demais elementos, presentes no solo e obtidos através das raízes das plantas, são divididos em: macronutrientes primários - nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) (que juntos compõem as fórmulas NPK) e os macronutrientes secundários - cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg), necessários em quantidades comparativamente maiores nos tecidos vegetais e; micronutrientes - ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni), que são necessários em quantidades menores (REETZ, 2017; BRASIL, 2007). Independentemente da quantidade requerida, todos os elementos essenciais são individualmente importantes e o suprimento inadequado pode provocar sintomas de deficiência específicos, relacionados aos papéis por eles desempenhados no metabolismo e funcionamento normal das plantas (KUMAR; KUMAR; MOHAPATRA, 2021; TAIZ, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1- Elementos minerais essenciais aos vegetais e sintomas de deficiência nutricional

ELEMENTO	FUNÇÃO	SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL
<b>Macronutrientes</b>		
Nitrogênio (N)	Constitui a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos	Clorose nas folhas mais velhas. Sob forte deficiência, as folhas tornam-se amarelas e caem. Inibição do crescimento da planta
Fósforo (P)	Compõe os açúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleotídeos, fosfolipídeos	As folhas jovens apresentam cor purpúrea e as mais velhas caem. Os caules são delgados, mas não lenhosos. A maturação pode ser retardada

Potássio (K)	Regula o potencial osmótico celular. Ativa enzimas relacionadas a respiração e fotossíntese	Clorose, que evolui para necrose nos ápices foliares. Os caules podem ser delgados e fracos, com entrenós anormalmente curtos
Cálcio (Ca)	Constitui a lamela mediana, ativa algumas enzimas, atua como mensageiro secundário na regulação metabólica	Necrose de regiões meristemáticas jovens. As folhas jovens podem mostrar-se deformadas. As raízes podem ser curtas e muito ramificadas
Enxofre (S)	Componente aminoácidos, coenzimas e vitaminas	Clorose, inicialmente em folhas jovens, redução do crescimento e acumulação de antocianinas
Magnésio (Mg)	Ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. Constitui a clorofila	Clorose entre as nervuras em folhas mais velhas. As folhas podem se tornar amarelas ou brancas. Pode causar o envelhecimento e foliar prematuro
<b>Micronutrientes</b>		
Ferro (Fe)	Constituinte de enzimas envolvidas na fotossíntese, fixação de N <sub>2</sub> e respiração celular	Clorose nas nervuras das folhas jovens, que podem evoluir para clorose e, sob condições de deficiência prolongada, toda a folha pode se tornar branca
Zinco (Zn)	Ativador de enzimas e necessário para a síntese de clorofila em algumas plantas	Redução do crescimento dos entrenós. Folhas jovens pequenas e retorcidas. As folhas mais velhas com clorose e manchas brancas necróticas
Cobre (Cu)	Constituinte de enzimas envolvidas na fotossíntese	Folhas jovens com manchas necróticas e malformadas. As flores podem ser estéreis
Boro (B)	Alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos, respostas hormonais e regulação do ciclo celular	Necrose de folhas jovens e gemas terminais. Frutos, raízes carnosas e tubérculos com anormalidades. Caules rígidos e quebradiços
Manganês (Mn)	Ativa algumas enzimas, em especial aquelas envolvidas no ciclo de Krebs	Clorose entre as nervuras, associada ao desenvolvimento de pequenas manchas necróticas nas folhas
Molibdênio (Mo)	Constituinte enzimático	Clorose e necrose de folhas mais velhas. A formação de flores pode ser impedida ou as flores podem cair prematuramente
Cloro (Cl)	Necessário em reações fotossintéticas envolvidas na evolução de O <sub>2</sub> .	Ápices foliares murchos, seguido por clorose e necrose. Folhas com crescimento reduzido e cor bronzeada.
Níquel (Ni)	Constituinte da urease	Necrose nos ápices foliares

Fonte: Adaptado de Reetz (2017) e Taiz (2017).



Apesar dos sintomas de deficiência nutricional em vegetais serem a expressão de distúrbios metabólicos específicos, o diagnóstico do nutriente limitante pode ser complexo pois, em alguns casos, deficiências de vários elementos podem ocorrer concomitantemente em diferentes tecidos vegetais. As quantidades excessivas de um determinado elemento podem levar à alterações de outro nutriente e algumas doenças virais das plantas podem produzir sintomas similares àqueles das carências nutricionais (TAIZ, 2017). Adicionalmente, a quantidade de nutrientes disponível para absorção pelas plantas está condicionada a capacidade destas de acessarem os nutrientes no solo e absorverem em concentrações adequadas, seja pelo crescimento das raízes em busca dos nutrientes ou pelo movimento destes até as raízes na água do solo pelo processo de difusão (TAIZ, 2017).

## **2.2 Plano Nacional de Fertilizantes**

Apesar de ocupar posições de destaque no *ranking* de produção e exportação de produtos agropecuários tais como grãos, cana de açúcar e carne, e de apresentar projeções otimistas para o setor devido a demanda interna e a alta procura externa, o Brasil dispõe de solos ácidos, pouco férteis resultantes da intensa exploração para aumento da produção nos últimos anos, o que o torna dependente do uso de fertilizantes minerais para reparar constantemente a fertilidade do solo (BERNARDI; MANTOVANI, 2021; BRASIL, 2020; SAEID et al., 2014). Adicionalmente, embora seja uma potência agrícola, em se tratando de produção de fertilizante a nível nacional, o país não é autossuficiente e depende da importação desses insumos em quantidades cada vez maiores (CONAB, 2022).

Considerando os principais tipos de fertilizantes importados aplicados no Brasil (NPK), o potássio ocupa a maior porcentagem de aplicação (38%), seguido pelo fósforo (33%) e, em seguida o nitrogênio (29%). Entre os principais locais de origem dos fertilizantes supracitados destacam-se: China, Rússia, Estados Unidos, Marrocos, Canadá e Bielorrússia (BRASIL, 2021) (Figura 1).

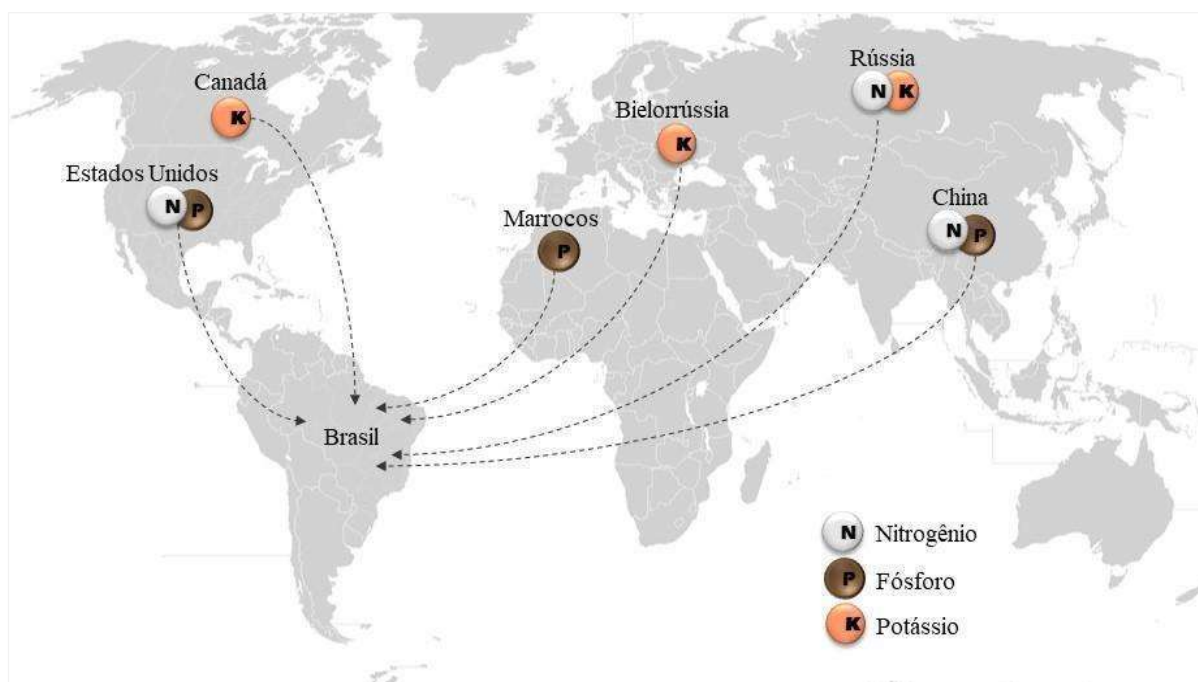


Figura 1- Principais fertilizantes importados para o Brasil e locais de origem. Fonte: Adaptado de BRASIL (2021).

Com a pandemia da Covid-19 e mais recentemente, o conflito na região da Ucrânia, a dependência do Brasil por insumos externos tem gerado preocupação pelo risco de desabastecimento interno e alta nos preços dos fertilizantes, que por sua vez implicam em prejuízos as safras e, conseqüentemente, no preço dos alimentos (BRASIL, 2021).

A fim de melhorar a eficiência da produção e comercialização de fertilizantes no Brasil e assim mitigar esse cenário de instabilidade devido a dependência externa de fornecimento, em maio de 2020, representantes do Ministério da Agricultura (MAPA) apresentaram à Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE-PR) a necessidade de elaboração e implementação de um novo Plano Nacional de Fertilizantes, cujas premissas previam o planejamento do setor de fertilizantes para as próximas décadas (BRASIL, 2020).

Posteriormente, foi instituído o Plano Nacional de Fertilizantes - PNF 2022-2050, publicado no Diário Oficial da União, Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022, contendo as diretrizes, objetivos estratégicos e metas específicas a serem observadas dentro do tempo determinado, bem como o órgão consultivo e deliberativo encarregado denominado Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas – CONFERT, vinculado à Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (BRASIL, 2022).

Partindo do pressuposto que o Brasil possui reservas de rochas fosfáticas e potássicas bem como matéria-prima para obtenção de micronutrientes e, assumindo a necessidade de

garantia da autossuficiência na produção de fertilizantes, o PNF prevê ações de exploração que também garantam a conservação ambiental. Entretanto, as dificuldades de obtenção de licença de exploração ainda são um entrave, haja vista os impactos negativos provocados aos ecossistemas, tais como contaminação do solo, rios e lençóis freáticos, além da questão burocrática (BRASIL, 2020), de forma que o principal desafio agora é garantir a coexistência da produtividade e conservação ambiental diante da disponibilidade de recursos naturais cada vez menor (KUMAR, 2013).

Em conformidade com o panorama descrito, o novo PNF, em suas diretrizes e metas prevê, entre outras ações:

Estimular a adoção de boas práticas de produção de fertilizantes e na exploração sustentável do ecossistema; estimular o ambiente de inovação para produtos e tecnologias, com vistas ao desenvolvimento de novas fontes de insumos para nutrição de plantas, de maneira competitiva e sustentável; reduzir o passivo de estéreis e rejeitos da atividade de mineração por meio de tecnologias para a recuperação dos nutrientes e a produção de novos fertilizantes (BRASIL, 2022, p. 1).

No entanto, apesar de incentivar a redução de rejeitos decorrentes das atividades mineradoras e a busca por novas fontes de insumos visando a sustentabilidade, o estudo estratégico para a produção nacional de fertilizantes tem como premissa a disponibilidade de uso de rochas fosfáticas e potássicas. Adicionalmente, o setor de fertilizantes é, há mais de um século, baseado no uso de matérias-primas não renováveis e não parece estar interessado na utilização de outros recursos (CHOHNACKA; MOUSTAKASB; WITEK-KROWIAK, 2020). Como exemplo pode ser citada a indústria do fósforo, que tem como resultado o esgotamento das rochas fosfáticas, mas que apesar do tempo e dos impactos ambientais causados não sofreu, até o momento, mudanças significativas (CHOHNACKA; MOUSTAKASB; WITEK-KROWIAK, 2020).

### **2.3 Economia circular e sustentabilidade na produção de FOC**

Em resposta a necessidade de mudança na forma como os produtos são feitos e consumidos, nos últimos anos tem ganhado força o conceito de Economia Circular, que tem como base o desenvolvimento de sistemas que promovam a utilização cíclica de recursos naturais e energia em contraste ao modelo linear geralmente aplicado (HART; POMPONI, 2021; MUÑOZ; NAVIA, 2021).

De forma geral, a economia circular orienta a gestão de recursos de forma mais sustentável, com projeção de produtos recicláveis e reutilizáveis, e com métodos de fabricação

mais limpos, que por sua vez, geram economia de materiais, resíduos, energia e emissões. Cabe ressaltar que, não se trata apenas de reciclar e reutilizar, mas de garantir que os produtos possam retornar à biosfera, adicionando valor e utilidade à cadeia produtiva (TAVARES; BORSCHIVER, 2021). No entanto, apesar de terem sua importância reconhecida e de serem amplamente discutidos nas comunidade científica e política, os conceitos de economia circular pouco têm sido aplicados com eficiência na prática (GENG; SARKIS; BLEISCHWITZ, 2019).

No setor de fertilizantes, esse conceito pode ser garantido já no processo de concepção do produto, tomando como prioridade as limitações ambientais e garantindo que os impactos ao meio ambiente sejam minimizados e os recursos sejam aproveitados de forma regenerativa ao mesmo tempo que promove a rentabilidade e os benefícios econômicos (CHOHNACKA; MOUSTAKASB; WITEK-KROWIAK, 2020).

Na indústria de fertilizantes fosfatados, o desenvolvimento de Farinhas de Osso Calcinadas pode representar uma boa fonte de fósforo e outros elementos essenciais, seguindo os princípios da Economia Circular, à medida que recicla nutrientes a partir de resíduos animais descartados e impróprios para o consumo humano (Figura 2).



Figura 2 - Representação gráfica do modelo de economia circular obtido com FOC. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Adicionalmente, a produção e utilização de resíduos ósseos oriundos de abatedouros e/ou propriedades rurais para a produção de um fertilizante orgânico contribui para a

sustentabilidade no setor agropecuário, pois abrange os três pilares da sustentabilidade, sendo eles: 1) o ambiental – à medida que auxilia na conservação dos recursos naturais não renováveis, como é o caso dos depósitos de rochas fosfáticas além de contribuir para a destinação mais adequada dos resíduos de abate (SANTOS, 2012); 2) o viés econômico – por meio de uma via de mão dupla que promove desenvolvimento e renda, a partir da produção propriamente dita do fertilizante por produtores rurais para uso em suas culturas vegetais e, conseqüentemente, redução de custos e dependência da compra de insumos externos (MATTAR, FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2013) e, 3) o social – pela garantia do atendimento às necessidades humanas no que diz respeito a melhorias na qualidade de vida através do aumento da produtividade agrícola, indo de encontro também ao que propõe a Organização das Nações Unidas (ONU) em seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil, referente a promoção de uma agricultura sustentável pela melhora progressiva da qualidade do solo e aumento da produtividade e renda de pequenos produtores, especialmente agricultores familiares (ONU, 2015).

#### **2.4 Farinhas de Osso Calcinadas**

De acordo com o MAPA (BRASIL, 2008), farinhas animais são produtos não comestíveis, resultantes do processamento de resíduos animais, sejam eles carcaças, ossos, penas, sangue e vísceras, que atendem ao padrão de identidade e qualidade preestabelecidos, bem como aspectos higiênicos, sanitários e nutricionais, submetidos a trituração e esterilização. A instrução normativa também regulamenta sobre o transporte, que deve ser feito de forma higiênica e em condições apropriadas para posterior processamento em, no máximo, 24 horas após o abate dos animais.

Existem vários tipos de farinhas de origem animal, sendo elas: farinhas de penas hidrolisadas, de vísceras, de penas e vísceras, de vísceras e ossos, de resíduo de incubatório, de vísceras com ossos e resíduos de incubatório, de carne e ossos de origens animais individuais e distintas, farinhas mistas, de ossos calcinados, entre outras. A diferença entre elas, entretanto, reside no tipo de resíduo utilizado e no processamento aplicado (BELLAYER, 2005). As farinhas de osso calcinadas, obtidas após a desossa, calcinação dos resíduos ósseos e moagem/trituração do material calcinado (BELLAYER, 2005), são úteis para aplicações em diversas áreas, tais como o uso na produção de implantes dentários, fabricação de porcelanas e na fertilização orgânica de solos (HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017; MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; DAMACENO et al, 2018; CARÚS; BENTO;

BRAGANÇA, 2013; LEITE et al., 2019).

Detalhadamente, o processo tem início após a chegada dos ossos bovinos nos locais de beneficiamento, onde esses resíduos podem ser submetidos a pesagem (MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014; MATTAR, FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2013), descontaminação em autoclave (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007), fervura em água destilada, corte ou moagem (HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017), ou nenhum tipo de tratamento prévio.

Em seguida ocorre a calcinação, que normalmente é realizada em condições controladas e utilizando forno mufla, onde os ossos bovinos são submetidos a temperaturas que atingem até 1200°C por uma ou duas horas a fim de atingir a temperatura ideal para obtenção de produtos de alta pureza, totalmente isentos de resíduos orgânicos (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; CARÚS; BENTO; BRAGANÇA, 2013; BALAWEJDER et al., 2019; HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017; GOUVÊA et al, 2008).

Em relação a temperatura ideal para calcinação do material ósseo, Miyahara, Gouvêa e Toffoli (2007) mencionaram uma perda acentuada de massa dos resíduos entre 300°C a 700°C, que pode estar relacionada à eliminação da matéria orgânica. Carús, Bento e Bragança (2013), também observaram fortes picos de perda de massa até 600°C, não havendo mais perdas significativas até 800°C ou superior. Hammood, Hassan e Alkhafagy (2017), por sua vez, observaram a remoção total de gordura e proteína nas amostras submetidas a 900°C.

Estudos que buscaram realizar o processo de calcinação de forma artesanal, em churrasqueiras de alvenaria, em contrapartida, não fizeram menção à temperatura procedimental. Quanto ao tempo, mencionaram a necessidade de calcinação dos ossos bovinos por longos períodos, tais como oito horas (DAMACENO et al, 2018) ou informaram dados qualitativos, como por exemplo, “as queimas foram iniciadas no final da tarde e os ossos coletados na manhã do dia seguinte, após resfriamento, quando a cinza de osso apresentou coloração esbranquiçada” (MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014, p. 67) ou “somente pode ser retirado quando apresentar coloração esbranquiçada” (MATTAR, FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2013, p. 13).

Em condições de calcinação não controladas, onde os ossos podem queimar de forma desigual, a cor do calcinado parece ser um parâmetro indicativo de qualidade na produção de farinhas de osso calcinadas, pois, quimicamente FOC são produtos ricos em fósforo e cálcio, no entanto, os teores totais dos nutrientes nas farinhas podem diferir em função do grau de calcinação (BONI et al., 2020). Ainda nessa perspectiva, foi elaborada uma carta de cores com finalidade de avaliação da qualidade de farinhas artesanais, cujas tonalidades são classificadas

de zero a 10, sendo atribuído zero às cores com tons de cinza mais escuro e 10 ao branco (BONI et al. *Apud* FERREIRA; BALBINO, 2014).

Após a calcinação é realizado o processo de trituração ou moagem que pode ser realizado utilizando diferentes instrumentos, tais como triturador elétrico, jarros de porcelana com esferas de alumínio, almofariz, moinho de bolas ou pilão (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; CARÚS; BENTO; BRAGANÇA, 2013; BALAWAJDER et al., 2019; HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017; DAMACENO et al, 2018; MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014; MATTAR, FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2013).

Para finalizar, podem ser utilizadas peneiras para padronização do tamanho das partículas. Após esse processo, o produto obtém uma consistência farinácea e normalmente é utilizado para fertilização de solos agrícolas.

Em relação às definições, normas, especificações e garantias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura, o MAPA (BRASIL, 2007, p.1) classifica os fertilizantes como:

I-Fertilizante mineral simples: produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas; II – Fertilizante mineral misto: produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos; III – Fertilizante mineral complexo: produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes (BRASIL, 2007, p.1).

As FOC, enquanto fertilizante mineral simples, precisam atender as especificações e garantias nutricionais mínimas exigidas para a categoria, relativas aos teores de fósforo, cálcio e solubilidade de P em ácido cítrico a 2% na relação 1:100 (Tabela 2). Além disso, é recomendado a realização de análises das farinhas quanto à solubilidade em água e citrato neutro de amônio mais água (BRASIL, 2007).

Tabela 2 - Especificações para os fertilizantes minerais simples

<b>Fertilizante</b>	<b>Garantia mínima/características</b>	<b>Obtenção</b>	<b>Observação</b>
Farinha de Osso Calcinado	20% de $P_2O_5$	Fósforo determinado como $P_2O_5$ total e mínimo de 16% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100	Calcinação e moagem de ossos bovinos Deve conter no mínimo 16% de cálcio

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2007.

Miyahara, Gouvêa e Toffoli (2007), ao estudarem a preparação de cinzas de ossos bovinos para uso na fabricação de porcelanas observaram, por meio de análise química

semiquantitativa por fluorescência de raios X, cinzas de ossos calcinados a 1000°C com altos teores de cálcio (55,6%) e fósforo (41,7%). A solubilidade do P, no entanto, ainda é um desafio pois a quantidade de fósforo total presente nas farinhas não representa a biodisponibilidade real deste nutriente para absorção pelas plantas (BALAWEJDER et al., 2019).

Ademais, ao ser adicionado no solo, o fósforo precisa ser convertido para sua forma solúvel ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) para ser aproveitado pelas plantas (REETZ, 2017). Em alguns casos, quando o pH do solo é menor que 4,5, íons fosfato podem se ligar a partículas de solo contendo alumínio e ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) em substituição a associação destes com um grupo hidroxila ( $\text{OH}^-$ ). Em solos com pH superiores a 7,0, por sua vez, o fósforo disponível pode se associar ao cálcio e magnésio, formando compostos insolúveis (REETZ, 2017; TAIZ, 2017). Nesse sentido, o pH do solo afeta significativamente a disponibilidade de P para as plantas, e estas, por sua vez, recorrem a formação de micorrizas (relação simbiótica entre fungos e raízes) para facilitar a absorção de nutrientes pelo sistema radicular das plantas (TAIZ, 2017).

## **2.5 Métodos analíticos mais utilizados nos estudos quali-quantitativos das FOC**

### **2.5.1 Físico-químicos**

Para a caracterização elementar das farinhas de osso calcinadas (FOC) para uso na fertilização orgânica, comumente são realizadas algumas análises químicas, que incluem métodos espectroscópicos, tais como: espectrofotometria ultravioleta visível (UV-Vis), espectrometria de absorção atômica (ASS) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Em geral, a espectroscopia envolve inúmeras técnicas baseadas na interação da radiação eletromagnética com a matéria que, por sua vez, gera espectros que podem ser interpretados para quantificação da estrutura química da amostra (KACZMAREK et al., 2021).

Na espectroscopia UV-Vis, a absorção que ocorre na região espectral ultravioleta e visível (300 a 700nm) é empregada para análise quantitativa. Nesse caso, os espectros gerados pela mudança de estado dos elétrons devido a absorção de energia na região do UV-Vis são medidas e a concentração do composto químico é obtido a partir da lei de Beer, na qual a absorvância é diretamente proporcional à concentração do analito presente na amostra (SHARMA, 2017). Adicionalmente, é uma técnica que pode ser utilizada em amostras líquidas, sólidas e gasosas, que dispõe de instrumentação simples e baixo custo (SKOOG et al., 2014),



mas que apresenta limitações quando aplicado a moléculas orgânicas (SHARMA, 2017).

A espectrometria de absorção atômica (AAS) também é utilizada para quantificação de elementos químicos em uma ampla variedade de amostras, desde tecidos biológicos (tecidos e fluidos) a matrizes ambientais (águas, solos, sedimentos), entretanto essa técnica deve ser utilizada principalmente na detecção de metais e semimetais (KRUG; NOBREGA; OLIVEIRA, 2004). Em sua instrumentação, utiliza dois tipos de atomizadores, sendo eles: a chama (técnica mais utilizada para análises em níveis de mg/L) e forno de grafite, comumente utilizado para concentrações mais baixas ( $\mu\text{g/L}$ ) (KRUG; NOBREGA; OLIVEIRA, 2004).

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) se destaca pela possibilidade de detectar moléculas em amostras de matrizes variadas (desde cerâmicas a células ou tecidos) (ARKIN, 2013; BERTHOMIEU; HIENERWADEL, 2009), em amostras nos estados sólido, líquido ou gasoso (KACZMAREK et al., 2021), sendo necessário pequenas quantidades de amostra (miligrama ou inferior) e com custo de instrumentação comparativamente mais baixo do que outras ferramentas espectroscópicas usuais (ARKIN, 2013). Basicamente, a FTIR fornece informações sobre a estrutura química dos materiais analisados pela determinação da vibração dos grupos atômicos presentes na amostra a partir da iluminação desta com um feixe de radiação na região do infravermelho. Após este feixe atravessar o material, um espectro é registrado por meio de transformada de Fourier a partir de um interferograma (KACZMAREK et al., 2021), no qual é possível detectar quase todos os grupos químicos presentes na amostra (BERTHOMIEU; HIENERWADEL, 2009).

Entre os parâmetros de análise física pode ser destacado a difração de raios-X (DRX). Na difração de raios-X (DRX), os raios são observados graças a um detector de gás ou sólido difratados após atingirem a amostra. O fenômeno de difração dos raios é esclarecido pela lei de Bragg, ao afirmar que, raios com comprimentos comparáveis ao espaçamento entre os átomos do cristal, se difratam ao atingirem a amostra. A dispersão em planos distintos cria diferença no caminho entre duas ondas na qual a interferência pode ser observada (SHARMA, 2017). A partir da difração observada num padrão de referência é possível calcular o espaçamento e determinar a estrutura cristalina observada pois, cada material cristalino possui um espaçamento próprio que pode ser detectado quando comparado com padrões de referência já conhecidos. Uma vez observado, os parâmetros da amostra cristalina, tais como, espaçamento, parâmetros de rede, estrutura do cristal e tamanho podem ser calculados por meio de softwares específicos de DRX (SHARMA, 2017).

### **2.5.2 Ecotoxicológicos**

A Ecotoxicologia é a ciência que integra toxicologia e ecologia para se dedicar ao estudo dos efeitos tóxicos de agentes físicos, substâncias naturais ou poluentes sintéticos sobre os ecossistemas, considerando animais (incluindo o homem), plantas e microrganismos, dentro de um ambiente integrado (TRUHAUT, 1976). Ensaio ecotoxicológicos podem atuar de forma a prever possíveis efeitos da poluição ou determinar os estressores de ecossistemas contaminados, tomando como base, o uso de uma gama de organismos biológicos e explorando todos os níveis de organização dos seres vivos (TRUHAUT, 1976).

Dentre os modelos de origem veterinária, o microcrustáceo *Artemia* sp é um dos organismos comumente validados em testes de ecotoxicidade (NUNES et al., 2006), que se destaca do ponto de vista ambiental por seu papel no fluxo de energia das cadeias alimentares dos ecossistemas aquáticos (RUPPERT; BARNES, 1996).

Como organismo modelo, o gênero se sobressai devido às inúmeras vantagens descritas, que incluem: o conhecimento sobre a biologia do animal, menores preocupações relacionadas a aspectos éticos, facilidade de obtenção de cistos, que podem ser armazenados sem perda da viabilidade e baixo investimento financeiro. Além disso, por serem organismos pequenos e adaptados a uma ampla faixa de temperatura e salinidade, facilitam a manutenção em laboratórios e possibilitam resultados a curto prazo (ISO, 2017) (Figura 3).



Figura 3 - *Artemia* sp. (A) Cistos. (B) Náuplios. Fonte: autoria própria (2023).

Libralato (2014), entretanto, alerta para os riscos de subestimação dos efeitos potenciais das substâncias testadas frente às demais outras espécies presentes nos ecossistemas aquáticos, uma vez que a sensibilidade de *Artemia* sp normalmente é menor.

### 3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a produção e comercialização de farinhas de osso calcinadas (FOC) de origem bovina acontecem em larga escala. Entretanto, apesar de haver pesquisas direcionadas, não existe padronização metodológica para a produção artesanal, logo, o processo pode variar de acordo com cada fabricante. Ademais, em função da preferência pelo uso de ossos bovinos para produção das farinhas, são restritos os estudos voltados para a caracterização de FOC de origens animais distintas, de modo que informações sobre rendimento, custo de produção e venda, parâmetros físico-químicos, influência do tipo de tratamento térmico e qualidade do material resultante de outras fontes animais são limitadas.

No Brasil, além da criação de gado, outras atividades vêm ganhando cada vez mais espaço, entre elas a ovinocultura, com destaque para a região Nordeste, que detém 68,5% dos rebanhos (MAGALHÃES, 2020) e a suinocultura, que tem se solidificado cada vez mais em território nacional (ABPA, 2020). Ao passo que contribuem para o desenvolvimento econômico do país, essas culturas também geram altas quantidades de resíduos ósseos e o estudo desses materiais pode determinar o potencial nutricional para utilização em outras culturas (RAMIRES et al., 2021).

Apesar dos benefícios, há a necessidade de uma abordagem cautelosa em relação a aplicação das FOC como fertilizante na agricultura, uma vez que não se conhecem os possíveis riscos dessas farinhas frente a sistemas biológicos e aos ecossistemas como um todo, o que justifica a realização de ensaios de ecotoxicidade que atestem sua segurança para uso na fertilização orgânica de solos.

#### **4 HIPÓTESES**

O desenvolvimento de farinhas de osso calcinadas a partir de resíduos ósseos de origem bovina, suína ou ovina é uma alternativa acessível, reprodutível e de baixo custo, eficiente para uso na fertilização orgânica de solos.

Pode haver variações na composição química, custo e rendimento final das farinhas de osso calcinadas de origem bovina, suína ou ovina.

Farinhas de osso calcinadas desenvolvidas a partir de origens animais distintas são ecologicamente viáveis e não apresentam ecotoxicidade para sistemas biológicos.

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito de diferentes tratamentos térmicos sobre farinhas de osso calcinadas provenientes de origens animais distintas.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver farinhas de osso calcinadas provenientes de origem bovina, ovina ou suína submetidas a tratamentos térmicos distintos.
- Analisar o rendimento e o custo da produção artesanal de farinhas de osso calcinadas de origem bovina, ovina ou suína.
- Analisar os parâmetros físico-químicos dos produtos obtidos após a calcinação artesanal de ossos bovinos, ovinos ou suínos.
- Investigar o potencial de ecotoxicidade das farinhas de osso calcinadas de origem bovina, ovina ou suína frente a sistemas biológicos, especialmente em ecossistemas aquáticos.
- Prototipar um fertilizante animal mais custo-efetivo para aplicação biotecnológica de enriquecimento de solos.

## **6 MATERIAL E MÉTODOS**

### **6.1 Desenho de estudo**

De acordo com os tipos metodológicos de estudo científico, esta pesquisa seguiu uma modalidade experimental laboratorial, com objetivo analítico e abordagem quantitativa (BIREME; OPAS; OMS, 2018).

### **6.2 Aspectos bioéticos**

As amostras animais previstas neste estudo foram provenientes do comércio e cadavéricas, refrigeradas *post mortem* para o consumo humano. Por não envolver a biodiversidade animal brasileira ou qualquer forma de procedimento em animal vivo que gerasse dor ou sofrimento, este projeto de pesquisa prescindiu de registro ético-legal nos sistemas SISGEN/MMA ou CEUA-CONCEA/CIUCA-MCTI, convergindo com as normas nacionais sobre esse escopo (Lei n. 13.123/2015 e Lei n. 11.794/2008, respectivamente).

### **6.3 Materiais ósseos**

Os resíduos ósseos foram obtidos em um açougue localizado no Mercado Central da cidade de Sobral, região Norte do Estado do Ceará. Foram coletados, separadamente, fêmures bovinos, ovinos e suínos previamente cortados em pedaços de aproximadamente 10 cm. Os ossos foram acondicionados em uma caixa térmica com tampa de rosca removível e transportados até o local de processamento. A coleta, armazenamento e transporte dos ossos foi realizada de modo a garantir o processamento do material sempre dentro do prazo máximo de 24h após o abate, conforme disposto na Instrução Normativa 34/2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2008).

Antes do processamento foi realizada a remoção manual de parte da matéria orgânica disposta nos ossos e, em seguida, introduzidos em uma diluição de hipoclorito de sódio (1% m/v) e água por 30 minutos e separados para processamento conforme a origem animal e o tipo de tratamento térmico aplicado (Figura 4).



Figura 4 - Preparação dos resíduos ósseos para calcinação. (A) Remoção manual de parte da matéria orgânica. (B) – Imersão em solução de hipoclorito de sódio e água. (C) – Material pronto para pesagem e calcinação. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

#### 6.4 Descrição dos tratamentos térmicos aplicados aos materiais ósseos

Os ossos foram calcinados em churrasqueira de alumínio fundido (Parlumin, linha hotel), utilizando-se carvão vegetal como fonte de energia. Para iniciar o processo foi aplicado álcool etílico em gel específico para queima sobre o carvão. Após o aquecimento total do carvão os ossos foram colocados sobre as brasas durante o tempo específico para cada tratamento térmico. Os ossos foram calcinados separadamente, conforme a origem animal (bovina, ovina ou suína), aplicando-se dois tratamentos térmicos para cada origem (T1=2h e T2=4h) e cinco repetições para cada tratamento. Após o tempo indicado, os ossos calcinados foram deixados esfriar naturalmente e, posteriormente, foram triturados em um pilão de madeira até obter a consistência de farinha (Figura 5).



Figura 5 - Etapas do processo de calcinação do material ósseo. (A) Calcinação em churrasqueira, com destaque na coloração dos ossos ao longo do processo. (B) Trituração do calcinado em pilão de madeira. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Durante o processo de calcinação foi realizado o acompanhamento da temperatura utilizando-se um termômetro Digital RKC, acoplado a um sensor termopar de porcelana tipo

K, com capacidade de mensuração de até 1.500 ° C. As temperaturas foram anotadas em um intervalo de 30 minutos. Ao final do estudo foram obtidas dez amostras de farinhas de osso calcinadas por origem animal, perfazendo 30 amostras ao todo.

## **6.5 Análises físico-químicas**

### **6.5.1 Análise de rendimento e custos**

Para analisar o rendimento de cada produto resultante após a calcinação artesanal dos ossos bovinos, ovinos ou suínos, foi realizada a pesagem do material ósseo *in natura* após a desossa manual (cerca de 1kg de resíduos ósseos) e, posteriormente, após a trituração, quando já estavam na forma farinácea. Os pesos foram aferidos utilizando-se uma balança digital. Foram registrados os valores absolutos de peso inicial e final, a partir dos quais foram calculados os valores relativos (%).

Para análise de custos de cada produto, foram registrados individualmente em valores monetários atuais em reais (R\$) as informações sobre os itens de capital e custeio envolvidos na produção caseira em escala não industrial da farinha de cada tipo de produto gerado, incluindo: preço de churrasqueira, carvão, álcool, fósforo, pilão, peneira doméstica, ensacamento plástico e rotulagem para comercialização). Também foi considerado o valor da mão-de-obra necessária para execução do serviço. Valores de matéria prima não foram considerados, pois este estudo previu a utilização de resíduos ósseos descartados e impróprios para consumo humano.

Em sequência, os dados obtidos foram comparados intergrupos, em vias de traçar uma correlação rendimento-custo, ajudando na tomada de decisão do produto farináceo animal para fertilização de solos mais custo-efetivo.

### **6.5.2 Análise química**

A determinação quantitativa dos macronutrientes e micronutrientes presentes nas farinhas de osso calcinadas produzidas e denominadas pelo grupo de pesquisa FOC1, FOC2, FOC3 e FOCC, foi realizada conforme descrito no manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2017). Os ensaios foram realizados pelo Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (Labras, Monte Carmelo, MG, Brasil), empresa



cadastrada junto ao MAPA (n° MG 10629-1) para a realização das análises destinadas ao controle de qualidade de fertilizantes e corretivos agrícolas e pelo Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), utilizando um ICP-OES da marca Thermo Fisher Scientific, modelo iCap 6000 (determinação de metais) e um bloco digestor de nitrogênio + destilador de nitrogênio SL-74 para verificação de Nitrogênio Total (macrométodo da liga de Raney).

### **6.5.3 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - “Fourier Transform Infrared”)**

Os espectros para as análises por FTIR de amostras de FO1, FO2, FO3 (farinhas de ossos não-calcinadas); FOC1, FOC2, FOC3 (farinhas de ossos calcinadas); e FOCC (farinha de ossos calcinada comercial, para fins de comparação) foram obtidas em espectrômetro Alpha-P da Bruker, em modo ATR (reflectância total atenuada), no intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com resolução de 0,8  $\text{cm}^{-1}$  e 40 varreduras. As amostras foram analisadas no Laboratório de Engenharia de Materiais e Simulação de Sobral (LEMSS) no Campus do Mucambinho da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Sobral, Ceará, Brasil.

## **6.6 Bioensaio de Ecotoxicidade**

### **6.6.1 Ensaio de toxicidade utilizando *Artemia* sp**

O potencial de ecotoxicidade das FOC em relação a ecossistemas aquáticos (especialmente de água salgada) foi investigado a partir da realização de um bioensaio utilizando náuplios de artemia em solução salina conforme descrito por Meyer et al. (1982), com algumas modificações, e seguindo o protocolo padrão da Especificação Técnica ISO 20787 (ISO, 2017). O ensaio foi realizado no Laboratório de Biomateriais da Universidade Federal do Ceará (UFC) – *Campus* Sobral.

Inicialmente, foi realizada a preparação da água do mar artificial, a partir da mistura de 30g.L<sup>-1</sup> de NaCl em água mineral, na qual foram dispostos os cistos de artemia por 48 horas a 25° C, ajustando-se o pH entre 8,0 e 9,0 (soluções de NaOH ou HCl a 0,1mol.L<sup>-1</sup>). O procedimento de incubação foi realizado em um recipiente acrílico transparente, com aeração constante. Após esse período, as larvas foram transferidas para placas de teste descartáveis com

24 poços, previamente distribuídas com solução de água do mar artificial e farinha de osso calcinada nas concentrações de 10, 100 e 1000 $\mu$ g/mL. Foram introduzidos aproximadamente 10 náuplios em cada poço, utilizando uma micropipeta. Os ensaios foram realizados separadamente, em quadruplicata, considerando cada farinha por origem animal, e incubados por 24h a 25° C.

Para interpretação dos resultados, foram contabilizadas as larvas mortas e totais utilizando-se um estereomicroscópio binocular, aplicando a fórmula de Abbott, onde: **% mortes=[(teste-contrôle)/contrôle]x100.**

O cálculo da concentração letal para 50% da população em relação ao período de exposição previamente determinado (LC<sub>50</sub>) derivou da melhor linha obtida por análise de regressão linear (MEYER et al., 1982). Os controles positivo e negativo adotados foram o dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e a solução salina sem amostras de FOC, respectivamente (ISO, 2017) (Figura 6).

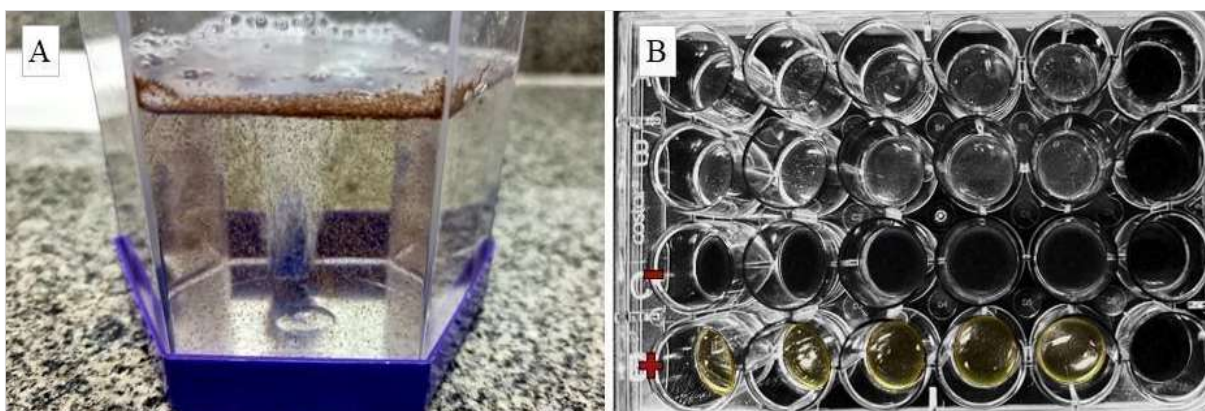


Figura 6 - Ensaio piloto de ecotoxicidade de FOC com *Artemia* sp. (A) Incubação dos cistos. (B) Disposição dos náuplios nas soluções com FOC e controles positivo e negativo. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 6.7 Análise estatística

Esta pesquisa analisou diferenças entre amostras, considerando três tipos de FOC, dois tempos experimentais e amostras em quadruplicata. Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Jarque Bera para verificar se eram normais. Em seguida, após confirmada a normalidade, foi aplicado a Análise de Variância (ANOVA) seguido do pós teste de Tukey. Foi adotado um grau de confiança de 95% e as diferenças estatísticas foram consideradas significativas se  $p < 0,05$ . Para análise dos dados foram utilizados os softwares *Past* e *Graphpad Prism*, na versão 4.0 e 5.0, respectivamente.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da imprecisão de informações sobre tempo do processamento técnico empregado na produção de FOC artesanais, conforme rotulagem dos produtos comerciais, este estudo partiu de experimentos piloto para definir os tratamentos térmicos a serem testados.

A análise comparativa dos produtos finais obtidos após a calcinação dos resíduos submetidos aos dois processamentos térmicos demonstrou que a exposição dos resíduos ósseos a duas horas gerou um produto com aspecto granular desigual, de coloração acinzentada e de difícil trituração enquanto a exposição a quatro horas gerou um produto farináceo mais homogêneo e esbranquiçado de fácil trituração artesanal.

Apesar das diferenças macroscópicas, em ambos os casos as FOC produzidas se assemelharam ao produto comercial de coloração amarelada quando visto ao olho nu (Figura 7) e ao estereomicroscópico (Figura 8).

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises dos nutrientes de solos presentes na composição mineral das FOCs artesanais obtidas por dois tratamentos térmicos e os teores de P e Ca foram superiores às especificações do MAPA (BRASIL, 2007) para fertilizantes a base de farinha de osso calcinada.



Figura 7 - Fotografias macroscópicas das farinhas de osso calcinadas. (A) FOC1- 2h de calcinação; (B) FOC1- 4h de calcinação; (C) FOC2 - 2h de calcinação; (D) FOC2 - 4h de calcinação; (E) FOC3- 2h de calcinação; (F) FOC3 - 4h de calcinação; (G) FOCC. Fonte: autoria própria (2023).





Figura 8 - Fotografias microscópicas das farinhas de osso calcinadas. (A) FOC-2h de calcinação; (B) FOC1-4h de calcinação; (C) FOC2-2h de calcinação; (D) FOC2-4h de calcinação; (E) FOC3-2h de calcinação; (F) FOC3-4h de calcinação; (G) FOCC. Magnificação: 240x. Fonte: autoria própria (2023).

Tabela 3 - Composição mineral obtida a partir das FOC teste (2h e 4h) e comercial

	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>B</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Al</b>
	%											mg/Kg
<b>FOC1 - 2H</b>	2,54	0,08	30,28	0,46	34,65	0,23	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	7,97
<b>FOC2 - 2H</b>	2,44	0,14	32,43	0,43	34,94	0,25	0,05	0,02	0,01	0,01	0,05	22,08
<b>FOC3 - 2H</b>	1,01	0,14	33,15	0,50	35,48	0,24	0,07	0,02	0,02	0,01	0,05	38,47
<b>FOC1 - 4H</b>	0,64	0,16	36,20	0,56	41,75	0,40	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	104,0
<b>FOC2 - 4H</b>	0,40	0,20	36,70	0,56	41,24	0,42	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	119,5
<b>FOC3 - 4H</b>	0,37	0,15	38,7	0,53	41,59	0,37	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	122,5
<b>FOCC</b>	1,57	0,05	18,50	3,70	16,87	0,25	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	1.132,5

FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Desvio-padrão do ensaio de proficiência para cada elemento  $\leq 2$  (padrão INMETRO). Fonte: elaborado pela autora (2023).

Detalhadamente, a exposição dos resíduos ósseos a quatro horas de calcinação gerou fertilizantes de tonalidades mais claras e de maior qualidade por conter os melhores percentuais desses nutrientes ( máximo de 41,75% de P e 38,70% de Ca) em comparação com os produtos gerados a partir de duas horas de calcinação de cor acinzentada (com máximo de 35,48 e 33,15% de P e Ca, respectivamente), corroborando com estudo descrito por Boni et al. *Apud* Ferreira e Balbino (2014), cuja coloração do produto resultante é um parâmetro indicativo de qualidade mineral.

Em geral, os resultados encontrados nesse estudo se assemelham a pesquisas que desenvolveram processos de calcinação artesanal similares em churrasqueira de alvenaria tais como aos de Damasceno et al. (2018) que constataram a presença de 35,7% de  $P_2O_5$  e 43,76% de CaO e de Mattar, Frade-Júnior e Oliveira (2014), cujas análises evidenciaram a presença de 33,07% de cálcio total e 35,81% de fósforo.

Em se tratando de nutrição mineral, é sabido que tanto o fósforo quanto o cálcio desempenham papéis indispensáveis para a fisiologia vegetal. Taiz (2017) destaca que o P é necessário aos vegetais para composição de açúcares fosfato, ácidos nucleicos, coenzimas e fosfolípidos além de atuar de forma determinística nas reações que envolvem ATP. O Ca, por sua vez, é requerido por inúmeras enzimas na hidrólise do ATP e de fosfolípidos além de atuar na regulação metabólica e compor a lamela mediana das paredes celulares.

Independente do tratamento térmico aplicado, os teores de fósforo e cálcio presentes nas FOC produzidas artesanalmente nesse estudo foram superiores aos desses mesmos nutrientes encontrados no fertilizante utilizado como controle nesse estudo e já disponível no mercado cujas análises mostraram a presença de apenas 16,87% de P e 18,50% de Ca. Vale ressaltar que embora cumpra com as exigências mínimas no que se refere a presença de cálcio, a farinha comercial testada nomeada FOCC não atende ao percentual mínimo exigido de 20% de  $P_2O_5$  total estabelecido pela normativa reguladora (BRASIL, 2007).

Avelar et al. (2009), ao buscarem caracterizar as fontes de fósforo disponíveis aos produtores rurais em Minas Gerais também relataram a existência de FOC com concentrações de P inferiores àquelas exigidas pelo MAPA (14,4% de P). Nessa perspectiva, é necessário que os consumidores se atentem às especificações técnicas dos produtos a fim de garantir a compra de um produto que corresponda ao esperado para a categoria de fertilizante.

Além de fontes de cálcio e fósforo, nas FOC desenvolvidas foi detectada a presença de outros íons em sua composição, tais como potássio, magnésio e enxofre, que discretamente tiveram sua concentração aumentada com o aumento do tempo de calcinação enquanto que o nitrogênio, ferro, boro, manganês, zinco e cobre, tiveram os teores diminuídos com o tratamento

de 4 horas de queima (Tabela 3).

Apesar de ter sido observado um aumento na concentração do magnésio em todas as FOC de acordo com o maior tempo de queima, os resultados obtidos neste estudo (em torno de 0,43% a 0,56%) foram inferiores ao percentual de 1,13% relatado por Miyahara, Gouvêia e Toffoli (2017). De acordo com González e Silva (2019), no organismo animal o magnésio é encontrado em grande parte no esqueleto e dentes de modo a manter sua integridade estrutural desempenhando funções relacionadas às ações e reações que envolvem a demanda de energia. Nas plantas, ele é fundamental para a realização do processo de fotossíntese por ser um constituinte da molécula de clorofila além de estar relacionado nos processos de transferência de fosfato de modo que a deficiência de Mg, relatada nas últimas décadas, representa uma preocupação tanto para animais quanto para vegetais (CAZZOLA et al. 2020).

De modo colaborativo, a presença de quantidades significativas de Mg pode favorecer a absorção de zinco no organismo (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). Miyahara, Gouvêia e Toffoli (2017) relataram a presença de Mg em FOC obtidas a partir da calcinação em forno mufla por 1 hora, cuja concentração de zinco a 0,02% foi semelhante à encontrada neste estudo. Isso se contrapõe a uma correlação Mg-Zn determinística, sendo necessárias mais evidências sobre o equilíbrio/constância dos minerais citados.

Embora em pequena concentração, a detecção do zinco em produtos fertilizantes é desejada pois este é essencial para a fotossíntese promovendo a função catalítica de enzimas cloroplásticas que regulam a transcrição por meio de interações específicas (YRUELA, 2013). A falta de zinco disponível para uso pelas plantas resulta no comprometimento da produção vegetal, que por sua vez ocasiona sintomas de deficiência em animais tais como suínos, bovinos e aves (NIELSEN, 2012).

Quando em pequenas quantidades, o cobre também participa do processo de mineralização óssea, sendo absorvido de forma variável nas diferentes origens animais (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). O excesso, por sua vez, é potencialmente tóxico especialmente para ovinos por se concentrar na porção hepática conforme aumento da idade animal, contradizendo o padrão observado em outras espécies em que os percentuais diminuem com a senescência (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). Nas FOC das diferentes fontes animais, o teor de cobre foi pequeno e sem diferenças interespecies.

Nas plantas, a disponibilidade de Cu é um pré-requisito para o seu desenvolvimento pois este atua como cofator em enzimas relacionadas a transferência de elétrons e ao estresse oxidativo, além de compor proteínas presentes no cloroplasto que influenciam nas taxas fotossintéticas (YRUELA, 2013). Assim como relatado no metabolismo animal, o Cu em



excesso pode comprometer o desenvolvimento vegetal, fato que exige das plantas uma regulação precisa a fim de garantir homeostase (YRUELA, 2013).

O manganês, relatado por atuar no desenvolvimento da matriz orgânica, exibe uma baixa reserva corporal em animais, devido à pouca eficiência de absorção e regulação para excreção (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). Nesse estudo, os traços de Mn desapareceram após maior tempo de exposição à temperatura, o que converge com esperado em tratamentos térmicos de osso, onde a porção orgânica diminui com a mineralização total dos resíduos (FIGUEIREDO; GAMELAS; MARTINS, 2012). Em vegetais, o Mn atua na ativação de várias enzimas além de participar da reação de fotossíntese pela produção de água a partir do oxigênio (O<sub>2</sub>) (YRUELA, 2013; TAIZ, 2017).

O potássio, armazenado principalmente no tecido muscular e pele, está associado a processos de manutenção do equilíbrio ácido-básico do sangue e pressão osmótica celular junto ao sódio (GONZÁLEZ; SILVA, 2019; NUNES, 2022). A manutenção dos baixos níveis de K observada nas FOC poderia ser justificável pelo elemento não ser identificado de forma determinante no tecido ósseo. O aumento de K verificado nesse estudo com o aumento do tempo de exposição ao tratamento térmico pode estar relacionada a uma possível contaminação a partir cinzas provenientes do carvão vegetal.

O enxofre, por sua vez, relaciona-se com compostos sulfurados (aminoácidos e vitaminas), mas pode estar presente na porção óssea na forma de sulfato (COSMO; GALERIANI, 2020), tal como o sulfato de condroitina e glucosamina, importantes para aumento da densidade óssea (GARCIA, 2014). Neste estudo, assim como verificado para o caso do K, o aumento do S com o tratamento térmico poderia estar relacionado a sua maior concentração ao longo do tempo devido a alguma forma organizativa com outro elemento no S na matriz inorgânica, que hiperconcentra à medida que a porção orgânica diminui.

Assim como o N, P e K, o enxofre é um macronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, desencadeando papéis de resposta a estresses bióticos e abióticos e influenciando diretamente na qualidade e produtividade das culturas (LI; GAO; YANG, 2020). No entanto, em comparação com pesquisas voltadas aos outros elementos, os mecanismos reguladores de S ainda são escassos (LI; GAO; YANG, 2020).

O nitrogênio, presente em aminoácidos e ácidos nucleicos que compõem a dieta animal, é em grande parte excretado como metabólito secundário via urina e fezes (GASPAROTTO et al., 2011), não tendo sido encontrado evidências na literatura de seu acúmulo de matrizes ósseas dos animais. Neste estudo, a verificação de percentuais que variam de 2,54% a 0,37% de N pode estar associada uma porção orgânica ainda presente nas FOC e que diminui conforme

maior exposição à temperatura (FIGUEIREDO; GAMELAS; MARTINS, 2012). Em produtos fertilizantes a presença deste elemento é benéfica pois se trata do mineral requerido em maior quantidade pelas plantas. Nas células vegetais constitui a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos, de modo que sua restrição é um fator limitante ao crescimento vegetal (TAIZ, 2017).

A concentração traço do boro, provavelmente decorre do seu papel na indução de alterações bioquímicas benéficas ao crescimento ósseo (NIELSEN, 2008; PIZZORNO, 2015). Embora em pequenas quantidades, o B é um micronutriente essencial para vegetais pois participa dos processos relacionados ao alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos, nas respostas hormonais e na regulação do ciclo celular (TAIZ, 2017).

A presença do ferro nas FOC provavelmente decorre devido a sua ligação com a hemoglobina nos glóbulos vermelhos presentes na medula óssea vermelha de amostras naturais (VOGT et al., 2021). O metal identificado apenas nas amostras de FOC com menor exposição à queima (2h) pode indicar que mesmo após a lavagem e calcinação, alguma composição orgânica residual permaneceu no interior dos materiais ósseos e com o maior tempo de exposição à temperatura (4h) tornou o Fe indetectável, indicando que o processo de calcinação foi completado.

O Fe é um metal essencial tanto para animais quanto vegetais. Nestes últimos, até 80% do Fe celular pode ser encontrado em cloroplastos. Em outras palavras, esse micronutriente é essencial para o desenvolvimento vegetal e sua indisponibilidade no solo resulta na queda da atividade fotossintética (YRUELA, 2013; TAIZ, 2017). Nessa perspectiva, embora não seja característico em FOC a presença de concentrações altas de Fe, o menor tempo de exposição dos resíduos ósseos à calcinação pode ser considerado com a finalidade de obtenção de um fertilizante que contenha algum teor desse metal.

Em relação ao alumínio, os teores encontrados sugerem haver uma quantidade significativamente menor do metal no produto bovino em relação às demais farinhas produzidas (suína e ovina). Considerando que em todas as análises foram utilizadas a mesma parte do osso (fêmur) e aplicados procedimentos metodológicos idênticos a todos os resíduos, a diferença encontrada possivelmente é de origem biológica, como mencionado por Tang, Parsons e Perl (1998) que, ao buscarem compreender as variações na concentração de alumínio em diferentes amostras de osso bovina, caprina e humana utilizando métodos analíticos de alta precisão e sensibilidade, observaram que os resultados podem sofrer variações na mesma espécie e interespecies dependendo da idade, porção óssea utilizada e origem animal.

Também foram observadas variações na contaminação de acordo com o tratamento térmico, havendo aumento na concentração de alumínio conforme maior o tempo de exposição

dos resíduos no processo de calcinação. Nesse caso, pode-se inferir que o aumento da contaminação por alumínio nas farinhas resultantes de um maior tempo de queima possa ter sido ocasionado de forma exógena devido a exposição do calcinado as cinzas provenientes do consumo do carvão vegetal e possíveis subprodutos do ponto de fusão do alumínio (660°C), principal componente da churrasqueira utilizada para as calcinações.

Embora haja preocupação sobre os efeitos do uso de utensílios de alumínio submetidos a altas temperaturas com uso prolongado para a saúde humana, não existem evidências definitivas de toxicidade por este metal decorrente do uso de utensílios para a população de forma geral (GUPTA; MEENU; PESHIN, 2019). Ademais, todos os valores de alumínio encontrados nas FOC produzidas foram inferiores às quantidades de alumínio determinadas no fertilizante comercial, indicando que as farinhas produzidas neste estudo são mais seguras no quesito contaminação por este metal (Tabela 3).

Liu et al (2022), relataram que o estresse por contaminação de Al, especialmente em solos ácidos, é uma das principais causas limitantes para o crescimento vegetal e que para lidar com a toxicidade, muitas plantas desenvolveram mecanismos fisiológicos de sobrevivência que garantem tolerância à toxicidade. Ademais, vale ressaltar que em relação a presença de contaminantes de forma geral, FOC são mais vantajosas do que fertilizantes oriundos de rochas fosfáticas que contém mais resíduos indesejados junto ao produto final (SANTOS, 2012).

Ante o exposto, devido aos constituintes químicos que são favoráveis ao desenvolvimento vegetal, o que o configura como um fertilizante, FOC são uma fonte alternativa de minerais essenciais para o desenvolvimento das culturas vegetais (CONDE; STACHIW, 2020).

Outro parâmetro de qualidade de fertilizante diz respeito à solubilidade, que corresponde ao teor de nutrientes presentes no produto e que está disponível para assimilação pelas culturas vegetais. Nesse quesito, tanto as FOC produzidas artesanalmente nesse estudo quanto o produto comercial apresentam baixa solubilidade em água (Tabela 4).

Tabela 4 - Solubilidade de  $P_2O_5$  presente nas FOC teste e comercial

	$P_2O_5$ Sol. CitNa+H <sub>2</sub> O	$P_2O_5$ Sol. Em Ácido Cítrico a 2% Rel. 1:100	$P_2O_5$ Sol. Em H <sub>2</sub> O
	%		
<b>FOC1 – 2H</b>	12,5	18,08	0,15
<b>FOC2 – 2H</b>	11,87	13,40	0,22
<b>FOC3 – 2H</b>	10,08	15,95	0,22
<b>FOC1 – 4H</b>	9,22	23,43	0,21
<b>FOC2 – 4H</b>	8,21	15,53	0,21
<b>FOC3 – 4H</b>	8,23	16,45	0,16
<b>FOCC</b>	13,48	16,17	0,11

FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Desvio-padrão do ensaio de proficiência para cada composto  $\leq 2$  (padrão INMETRO). Fonte: elaborado pela autora (2023).

Os resultados de solubilidade em ácido cítrico, entretanto, apontaram que a maioria dos fertilizantes testados são apropriados para fertilização de solos ácidos (Tabela 4), destacando-se as FOC submetidas a 4 horas de calcinação, especialmente ao produto resultante de origem bovina (23,43%, FOC1 – 4H), seguida pelo produto de origem ovina (16,45%, FOC3 – 4H) cujas solubilidades em ácido cítrico são superiores a farinha de osso calcinada comercial (16,17%, FOCC).

De acordo com Oliveira et al. (2018), isso acontece porque o P disponível é lentamente dissolvido pela acidez do solo garantindo o fornecimento desse nutriente ao longo do tempo. Nesse caso, embora seja possível um tratamento prévio em meio ácido para rápida solubilização de P, fontes de baixa solubilidade como FOC são especialmente vantajosas em solos ácidos ricos em óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio, impedindo a captura do P disponível de forma irreversível (OLIVEIRA et al., 2018).

Uma vez que as FOC possuem hidroxiapatita (fosfato de cálcio hidroxilado) em sua composição, ao liberar fosfato no solo, ocorre também a liberação de OH, que por sua vez aumenta o pH de solos ácidos e os tornam mais alcalinos. Nessa perspectiva, o uso de FOC pode ser útil não somente para a adubação fosfatada mas também para a correção da acidez de solos (FERREIRA; FERREIRA; CAVALI, 2020).

Dentre as FOC testadas, apenas a de origem suína se mostrou inapropriada pois não

garantiu as características mínimas especificadas pelo MAPA (BRASIL, 2007) para fertilizantes minerais simples (mínimo de 16% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% rel. 1:100) em nenhum dos tratamentos térmicos testados.

A figura 9 revela os espectros de FTIR de amostras de farinhas de osso bovino crua e calcinadas em comparação com a FOCC.

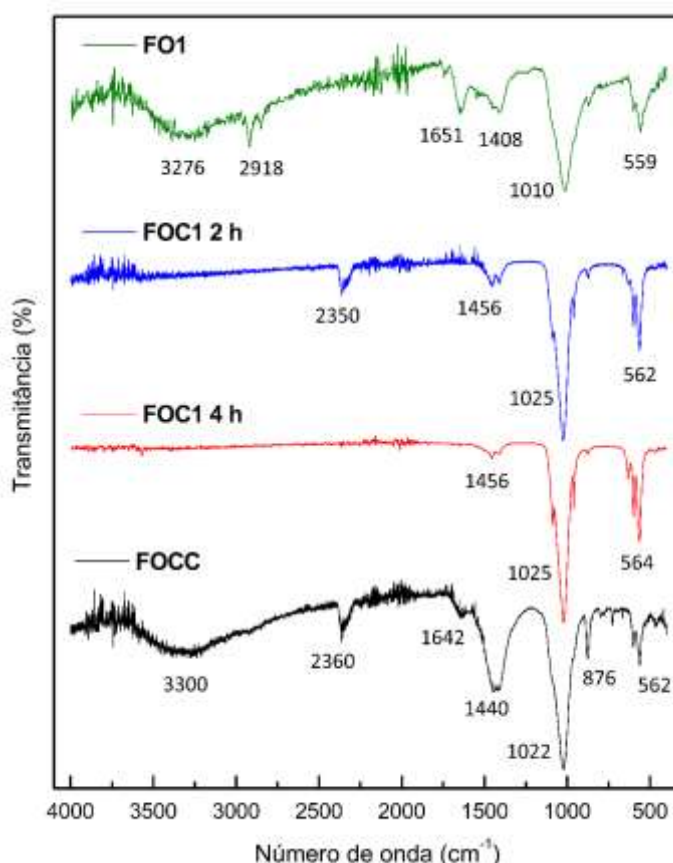


Figura 9 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem bovina e farinha de ossos calcinada comercial. FO1 – Farinha de osso natural de origem bovina; FOC1 2h – Farinha de osso calcinada bovina submetida a 2 horas de calcinação; FOC1 4h – Farinha de osso calcinada bovina submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Fonte: autoria própria (2023).

Na farinha de osso bovino crua denominada FO1 foram observadas bandas mencionadas na literatura como parte do espectro de referência desse tipo de material. Dentre elas, a banda observada em  $3276\text{ cm}^{-1}$  identificou a presença de moléculas de água absorvidas. Nas bandas verificadas em  $2918\text{ cm}^{-1}$  e  $1651\text{ cm}^{-1}$  foi identificada a presença de colágeno, seguida por grupos carbonatos, identificados em  $1408\text{ cm}^{-1}$ . Adicionalmente, também foi verificada a presença de grupos fosfatos identificados nas bandas mais alongadas em  $1010\text{ cm}^{-1}$  e  $559\text{ cm}^{-1}$ .

Quando submetidos a 2 ou 4 horas de calcinação, os resíduos ósseos naturais (FO1)

inicialmente de coloração amarelada tiveram sua matéria orgânica removida e as colorações alteradas para acinzentado ou esbranquiçado, sendo verificada nestes últimos apenas a presença de grupos carbonatos ( $1456\text{ cm}^{-1}$ ) e fosfato ( $1025\text{ cm}^{-1}$ ,  $562\text{ cm}^{-1}$  e  $564\text{ cm}^{-1}$ ).

Na FOCC, em contrapartida, foram encontrados picos que identificaram características da presença de colágeno ( $1642\text{ cm}^{-1}$ ), grupos hidroxila ( $876\text{ cm}^{-1}$ ), carbonato ( $1440\text{ cm}^{-1}$ ) e fosfato ( $1022\text{ cm}^{-1}$  e  $562\text{ cm}^{-1}$ ).

A figura 10 revela os espectros FTIR de amostras suínas de farinhas de osso crua e calcinadas em comparação com a FOCC.

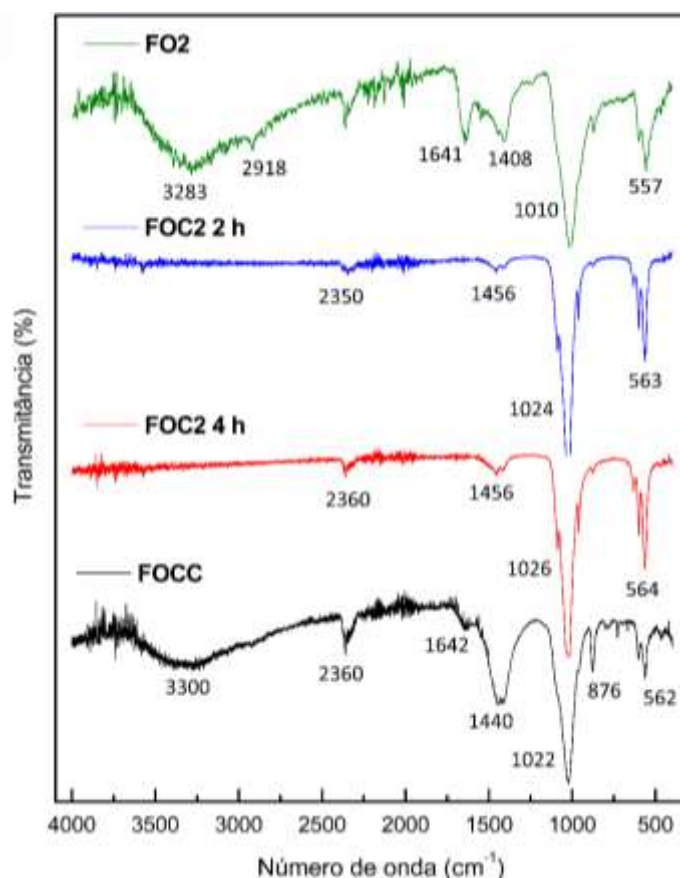


Figura 10 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem suína e farinha de ossos calcinada comercial. FO2 – Farinha de osso natural de origem suína; FOC2 2h – Farinha de osso calcinada suína submetida a 2 horas de calcinação; FOC2 4h – Farinha de osso calcinada suína submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Fonte: autoria própria (2023).

De modo similar a farinha de osso descrita anteriormente, na FO2 foram verificadas as bandas  $3283\text{ cm}^{-1}$ ,  $2918\text{ cm}^{-1}$  e  $1641\text{ cm}^{-1}$ , que identificaram a presença moléculas de água absorvidas e colágeno, bem como a presença de grupos carbonatos referentes à banda  $1408\text{ cm}^{-1}$ .

<sup>1</sup>. Adicionalmente, em  $1010\text{ cm}^{-1}$  e  $557\text{ cm}^{-1}$  são observados os grupos fosfato.

Quando submetidos a 2 ou 4 horas de calcinação, o pó cru inicialmente amarelado denominado FO2 se mostrou livre de sua porção orgânica. Adicionalmente, foi verificado apenas a presença de grupos carbonatos ( $1456\text{ cm}^{-1}$ ) e fosfato ( $1024\text{ cm}^{-1}$ ,  $1026\text{ cm}^{-1}$ ,  $563\text{ cm}^{-1}$  e  $564\text{ cm}^{-1}$ ), e mudança na coloração para tonalidades cinza ou esbranquiçadas.

A figura 11 apresenta os espectros FTIR de amostras ovinas de farinhas de osso crua e calcinadas em comparação com a FOCC.

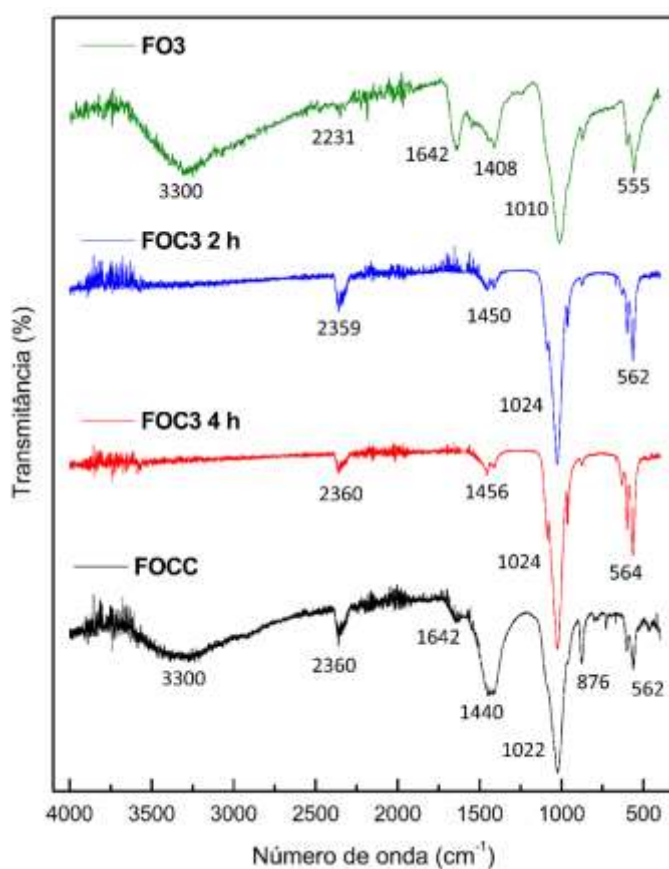


Figura 11 - Comparação dos espectros obtidos por FTIR de farinha de ossos naturais e calcinados de origem ovina e farinha de ossos calcinada comercial. FO3 – Farinha de osso natural de origem ovina; FOC3 2h – Farinha de osso calcinada ovina submetida a 2 horas de calcinação; FOC3 4h – Farinha de osso calcinada ovina submetida a 4 horas de calcinação e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Fonte: autoria própria (2023).

Assim como observado nas FO de outras origens animais mencionadas, a farinha de osso ovina (FO3) exibiu bandas em  $3300\text{ cm}^{-1}$ ,  $1642\text{ cm}^{-1}$  e  $1408\text{ cm}^{-1}$ , que identificam a presença de moléculas de água absorvidas, colágeno e grupo carbonato, respectivamente. Com as altas temperaturas as quais as FOC3 foram submetidas (2 ou 4 horas de calcinação) as bandas que

identificavam a porção orgânica foi totalmente removida e se tornaram inexistentes nas amostras de FOC. Em todas elas foi verificada a presença de íons fosfato pelas bandas  $1010\text{ cm}^{-1}$ ,  $1024\text{ cm}^{-1}$ ,  $555\text{ cm}^{-1}$ ,  $562\text{ cm}^{-1}$  e  $564\text{ cm}^{-1}$ .

De maneira geral, independente da origem animal, as FOC produzidas nesse estudo apresentaram uma composição similar característica e específica para um produto a base de farinha de osso calcinada, corroborando com os estudos realizados com ossos bovinos e caprinos cujo processamento térmico gera hidroxiapatita contendo grupos carbonatos e fosfatos (VUONG, 2022; HAMMOOD, HASSAN e ALKHAFAGY, 2017; GALIA et al., 2011; BANO et al., 2017; FIGUEIREDO; GAMELAS; MARTINS, 2012; SANTOS, 2012). O mesmo se aplica às farinhas de osso cruas cuja presença de moléculas de água absorvidas, colágeno, grupos carbonatos e fosfatos são identificados em bandas descritas na literatura como parte do espectro de referência desse tipo de material (BANO et al., 2017; GALIA et al., 2011; FIGUEIREDO; GAMELAS; MARTINS, 2012; FIGUEIREDO). Em todos os casos, as mudanças de tonalidades amareladas para colorações acinzentadas/esbranquiçadas também foram observadas, bem como mencionado em pesquisas similares em que o efeito da temperatura sobre amostras ósseas cruas já foi observado (BONI et al., 2020).

A FOCC, em contrapartida, apresentou bandas que identificaram a presença de conteúdo orgânico que não é característico desse tipo de produto, sugerindo que o processo de calcinação possa ter sido insuficiente.

O rendimento observado nas diferentes farinhas de osso sob distintos tratamentos térmicos demonstrou que as FOC bovinas apresentam o melhor rendimento (35,9 e 36,25%, para 2 e 4 horas, respectivamente), independente do tratamento térmico aplicado. Em seguida, se destacam as FOC de origem ovina, com rendimentos de 35,7 e 32,89% nos tratamentos térmicos de 2 e 4 horas, nesta mesma ordem. O menor desempenho foi obtido com as FOC suínas cujo rendimento foram inferiores a 30% em todos os tratamentos térmicos (28,97% e 26,08%, para 2 e 4 horas, respectivamente) (Tabela 5):



Tabela 5 - Média±desvio padrão de rendimento e temperatura das farinhas animais submetidas ao tratamento térmico por 2 ou 4 horas

Teste	2 horas		4 horas	
	Rendimento	Temperatura	Rendimento	Temperatura
Grupo	%	°C	%	°C
FOC1	35,90±3,23	438,93±170,19	36,25±7,92	498,13±137,44
FOC2	28,97±3,12	486,68±152,19	26,08±4,10	392,44±153,88
FOC3	35,70±1,28	442,08±162,21	32,89±4,53	506,07±162,40

FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina. Fonte: elaborado pela autora (2023).

Todos os rendimentos obtidos nesse estudo foram superiores ao que foi descrito por Mattar, Frade-Júnior e Oliveira (2014), em que a média aritmética de três amostras de ossos bovinos calcinados gerou o percentual de 24,4%. Outros estudos que realizaram a produção de FOC não destacaram o rendimento obtido após a obtenção do processamento (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; CARÚS; BENTO; BRAGANÇA, 2013; BALAWEJDER et al., 2019; HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017; DAMACENO et al, 2018).

Quanto à temperatura, a utilização de um termômetro digital permitiu aferir temperaturas de até 780°C na primeira hora de calcinação, momento em que porções de gordura e demais componentes da matéria orgânica residuais facilitaram a queima de forma intensa do que quando comparado as horas finais, em que a temperatura se manteve menor e constante (em torno de 450° C ou inferior). O mesmo foi observado por Vegh, Marquez-Grant e Scuhulting (2022) que, ao realizarem a calcinação de ossos por três horas ao ar livre para análise de alterações físico-químicas na bioapatita óssea em contexto forense e arqueológico utilizando um termopar, monitoraram uma temperatura média de 553°C e máxima de 751°C.

Em geral, os dados de temperatura obtidos neste estudo e os resultados das análises físico-químicas e o tempo de exposição mais prolongado demonstraram que houve a completa calcinação dos resíduos ósseos e decomposição da porção orgânica, mencionada por outros estudos no intervalo de 600° a 900° C (MIYAHARA; GOUVÊA; TOFFOLI, 2007; CARÚS; BENTO; BRAGANÇA, 2013; HAMMOOD; HASSAN; ALKHAFAGY, 2017).

A análise estatística, realizada a partir da diferença entre os dados de peso dos ossos *in natura* e na consistência farinácea, reforça que as FOC de origem bovina e ovina são mais vantajosas, pela existência de diferença estatística significativa entre o rendimento final obtido em comparação ao mesmo dado encontrado no produto de origem suína em pelo menos um dos

tratamentos térmicos (Figuras 12 e 13).

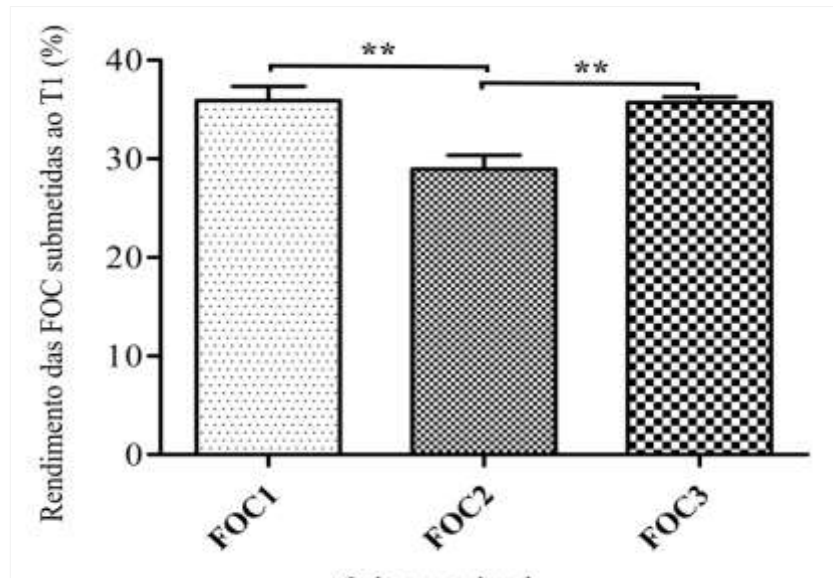


Figura 12 - Média do rendimento das farinhas de osso calcinadas submetidas ao tratamento térmico de 2 horas. *GraphPad Prism*, ANOVA, *One-way – Tukey* (\*\* $p=0,0022$ ). FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

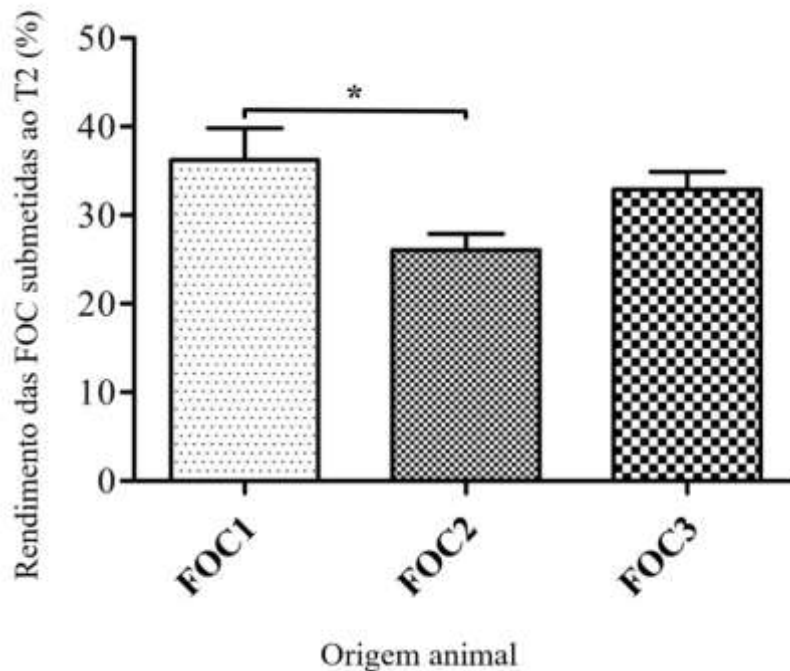


Figura 13 - Média do rendimento das farinhas de osso calcinadas submetidas ao tratamento térmico de 4 horas. *GraphPad Prism*, ANOVA, *One-way – Tukey* (\* $p=0,0461$ ). FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Em relação aos principais materiais utilizados, a tabela 6 apresenta os valores médios de osso e carvão necessários para a produção de 1,0 kg de farinha por origem animal e processamento térmico aplicado. Observa-se que, no tratamento térmico de 2 horas, são necessárias quantidades semelhantes de osso e carvão para a produção de 1,0 kg de farinha bovina e ovina. Com o aumento do tempo de calcinação (4 horas), há a necessidade de mais recursos para obter o mesmo quantitativo de produto. Em todos os tratamentos térmicos, são requeridos mais osso e carvão para a obtenção de 1,0 kg de farinha de origem suína, fato que reflete no custo total desse produto (Tabela 6).

Tabela 6 - Quantidade de matéria prima (osso) e carvão necessários para o desenvolvimento de 1,0 Kg de FOC de diferentes origens animais submetidas ao tratamento térmico por 2 ou 4 horas

Material	2 horas		4 horas	
	Osso	Carvão	Osso	Carvão
Grupo	(Kg)			
FOC1	2,769	6,468	2,760	7,888
FOC2	3,453	7,943	3,876	11,328
FOC3	2,800	6,460	3,034	9,080

FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina. Fonte: elaborado pela autora (2023).

A partir dos valores médios de osso *in natura* e carvão necessários para o desenvolvimento das FOC foram calculados os custos totais para a produção de 1,0 kg de farinhas teste, dependente da origem animal. Foram considerados os materiais permanentes, de consumo e serviço, bem como os custos com embalagem e rotulagem. Para cálculo do valor final das FOC, seguindo-se uma perspectiva de comercialização, foi adicionada uma margem de lucro de 20% (Tabela 7).

Tabela 7 - Custos totais para produção de 1kg de farinhas teste, incluindo embalagem e rotulagem dos produtos

ITEM	VALOR (R\$)	QUANT.	2 horas			4 horas		
			FOC 1	FOC 2	FOC 3	FOC 1	FOC 2	FOC 3
<b>Permanente: *</b>								
1. Churrasqueira de alumínio	250,00	1	0,049	0,049	0,049	0,099	0,099	0,099
2. Peneira de aço inox média	12,00	1	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004
3. Pilão de madeira (grande)	80,00	1	0,079	0,079	0,079	0,158	0,158	0,158
4. Seladora manual	398,00	1	0,07	0,07	0,07	0,15	0,15	0,15
<b>De consumo: **</b>								
Álcool em gel (500g)	14,90	30g	0,894	0,894	0,894	0,894	0,894	0,894
Carvão (saco, aprox. 11kg)	10,00	-	5,88	7,22	5,87	7,17	10,29	8,25
Fósforo (400 palitos)	4,49	3 pal.	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
Hipoclorito de sódio 1% (2L)	8,30	200mL	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Saco plástico (10 unid.)	2,50	1 saco	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Fita adesiva (48mmx40m)	8,00	1m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Impressão do rótulo	0,50	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Rotulagem (A4, 100 folhas)	5,00	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Serviço: ***</b>								
Mão de obra	1.212,00	1	14,43			28,85		
<b>CUSTO TOTAL (R\$):</b>			<b>22,98</b>	<b>24,32</b>	<b>22,97</b>	<b>38,09</b>	<b>42,02</b>	<b>39,98</b>
<b>VALOR PARA COMERCIALIZAÇÃO</b>			<b>27,57</b>	<b>29,18</b>	<b>27,56</b>	<b>45,70</b>	<b>50,42</b>	<b>47,97</b>

FOC1 – Farinha de osso calcinada de origem bovina; FOC2 – Farinha de osso calcinada de origem suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada de origem ovina. \*Valores calculados com base na diferença entre o valor do item e dados de vida útil do produto e unidades produzidas, considerando: 1) tratamento térmico de 2h - 4Kg de FOC/dia, 84Kg de FOC/mês, 1008Kg/ano e, 2) tratamento térmico de 4h - 2Kg de FOC/dia, 42Kg de FOC/mês, 504Kg/ano. 1. Vida útil de 5 anos – R\$ 250/5040Kg (2h) ou R\$ 250/2520Kg (4h); 2. Vida útil de 5 anos, com valores dependentes da quantidade de FOC produzida e tratamento térmico aplicado – R\$ 12/5040Kg (2h) ou R\$ 12/2520Kg (4h); 3. Vida útil de 1 ano, com valores dependentes da quantidade de FOC produzida e tratamento térmico aplicado R\$ 80/1008Kg (2h) ou R\$ 80/504Kg (4h); 4. Vida útil de 5 anos, com valores dependentes do tratamento térmico aplicado R\$ 398/5040Kg (2h) ou R\$ 398/2520Kg (4h). \*\* Valores adotados com base na quantidade de material de consumo necessário para a produção e embalagem/rotulagem de 1Kg de FOC, independentemente da quantidade de FOC produzida ou tratamento térmico aplicado. \*\*\* Calculado com base o atual valor do salário mínimo e kg de farinhas produzidas por mês de trabalho dependente do tratamento térmico – R\$ 1.212,00/84Kg ou R\$ 1.212,00/42Kg. Fonte: elaborado pela autora (2023).

Considerando os custos totais para produção artesanal de 1,0 kg de FOC, tanto na perspectiva de uso próprio quanto de comercialização para obtenção de renda, destacou-se a farinha de osso calcinada de origem bovina independente do tratamento térmico utilizado, apresentando os menores custos de produção (R\$ 22,98 e 38,09). Em seguida, se destacaram as farinhas de osso calcinadas de origem ovina (R\$ 22,97 e 39,98) e, por último, as de origem suína, com os maiores valores necessários para a sua produção (R\$ 24,32 e 42,02).

De modo geral, com exceção do carvão, os itens necessários (permanentes ou de consumo) pouco agregaram ao custo de produção. O carvão vegetal (fonte de energia utilizada nesse estudo) e a mão de obra regularizada, em contrapartida, encareceram consideravelmente os produtos independente da origem animal.

Nessa perspectiva, embora as FOC artesanais sejam mencionadas como uma opção de baixo custo (MATTAR; FRADE-JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014), fato que provavelmente decorre da possibilidade de utilização da matéria-prima considerada resíduo, a produção em pequena escala ainda encontra-se acima do valor da mesma categoria de fertilizante disponível para venda no mercado.

Em geral, é sabido que a produção em larga escala gera inúmeros benefícios, dos quais se destacam a redução dos custos e o repasse da economia para os consumidores, o que torna o preço mais atrativo (GOCARDLESS, 2020). Nesse contexto específico, a economia de escala acontece porque à medida que uma empresa aumenta a sua produção ela se torna mais eficiente, resultando em queda do custo do produto por unidade produzida (GOCARDLESS, 2020).

Enquanto isso, em pequena escala, Mattar, Frade-Júnior e Oliveira (2014) sugerem o uso de lenha da própria unidade de produção para diminuir os custos do produto pois, segundo eles, devido a quantidade de gordura presente nos resíduos a combustão é facilitada, o que torna desnecessário o uso de carvão vegetal. Ademais, orientam o uso de pilão de madeira como alternativa à trituradores elétricos.

O protótipo comercial proposto nesse estudo para a embalagem das farinhas pode ser visualizado na Figura 14.



Figura 14 - Farinhas de osso calcinadas artesanais embaladas e rotuladas para comercialização. Fonte: autoria própria (2023).

A partir da análise comparativa das FOC artesanais e comercial verificou-se que não houve diferença estatística significativa na mortalidade provocada pela exposição das artemias às diferentes farinhas testadas. Em contrapartida, foi verificada diferença estatística significativa entre o percentual de mortalidade das artemias submetidas as FOC e o controle positivo contendo dicromato de potássio em todas as concentrações testadas (Tabela 8). Neste caso, os dados obtidos para o controle positivo se justificam pelo fato do dicromato de potássio ser um produto químico reconhecidamente tóxico para organismos aquáticos, podendo causar danos severos especialmente a invertebrados, como é o caso da mortalidade de artemias (SIGMA, 2011).

A análise do potencial de toxicidade das FOC por concentração testada demonstrou que os dados seguem um padrão de reta crescente cujo coeficiente angular positivo indica que o discreto aumento do percentual de morte das artemias é diretamente proporcional a concentração de FOC testadas, ou seja, a mortalidade dos microcrustáceos aumenta quando expostos às FOC artesanais e comercial testadas em maior concentração.

Tabela 8 - Dados percentuais obtidos com o ensaio de toxicidade das FOC artesanais e FOCC em diferentes concentrações utilizando artemias

CONCENT.	TRAT. TÉRMICO	TIPO DE MATERIAL UTILIZADO E MORTALIDADE (%)					VALOR DE P
		K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	FOC1	FOC2	FOC3	FOCC	
10µg/mL	2 horas	3,92	3,09	0	0	0	0,000635
		3,02	0,71	0,243	3,36	0	
		8,40	1,81	0	0	0,17	
		7,27	0	1,19	0,18	0	
	4 horas	3,92	0	0	0	0	0,005442
		3,02	0	0	2,93	0	
		8,40	0	0	0	0,17	
		7,27	0	0	3,52	0	
100µg/mL	2 horas	64,45	7,85	2,29	0	4,34	1,477*10 <sup>-9</sup>
		61,39	11,43	6,90	9,07	0	
		49,38	1,8	1,19	4,45	3,06	
		48,93	0	6,90	15,39	0	
	4 horas	64,45	0	0	0	4,34	4,681*10 <sup>-11</sup>
		61,39	0,43	0	12,40	0	
		49,38	0	0,49	2,93	3,06	
		48,93	0	0	0	0	
1000µg/mL	2 horas	93,02	3,09	6,90	0	0,17	1,207*10 <sup>-9</sup>
		94,11	5,18	7,96	5,74	1,96	
		95	33,09	9,98	8,12	5,86	
		93,93	0	5,65	29,07	5,86	
	4 horas	93,02	0	0,07	0	0,17	8,012*10 <sup>-17</sup>
		94,11	0	9,21	7,40	1,96	
		95	2,65	6,32	7,40	5,86	
		93,93	0	0	1,10	5,86	

FOC1 - Farinha de osso calcinada bovina submetida; FOC2 – Farinha de osso calcinada suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada ovina e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Fonte: elaborado pela autora (2023).

A partir das equações de regressão linear geradas foram obtidas as LC<sub>50</sub>, calculadas conforme a origem animal e o tratamento térmico aplicado (Tabela 9).

Tabela 9 – Dados utilizados para obtenção das equações de regressão e resultado das LC<sub>50</sub>

TRATAMENTO TÉRMICO	MATERIAL UTILIZADO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	LC <sub>50</sub> (µg/mL)
2 horas	FOC1	$Y = 2,81806 + 0,00761X$	6194,43
	FOC2	$Y = 1,92653 + 0,00581X$	8267,71
	FOC3	$Y = 0,34167 + 0,0104X$	4771,09
4 horas	FOC1	$Y = 0,01389 + 0,00064X$	78098,00
	FOC2	$Y = - 0,155 + 0,00404X$	12402,23
	FOC3	$Y = 2,58056 + 0,00149X$	31819,46
Ausente	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$Y = 25,936 + 0,07018X$	342,89
Desconhecido	FOCC	$Y = 0,75625 + 0,00278X$	17.713,58

FOC1 - Farinha de osso calcinada bovina submetida; FOC2 – Farinha de osso calcinada suína; FOC3 – Farinha de osso calcinada ovina; K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – dicromato de potássio e FOCC – Farinha de osso calcinada comercial. Fonte: elaborado pela autora (2023).

As concentrações letais à 50% das artêmias (LC<sub>50</sub>), obtidas a partir dos ensaios utilizando as FOC artesanais de diferentes origens animais e tratamentos térmicos, em todos os produtos gerados neste estudo foram superiores a 1000 µg/mL, assim indicando ausência de toxicidade aguda para os microcrustáceos testados. Detalhadamente, seriam necessárias concentrações elevadas de FOC para ocasionar a morte de metade das larvas em todas as condições experimentais das farinhas.

Os valores de LC<sub>50</sub> foram mais próximos entre FOC1, FOC2 e FOC3 no tratamento térmico de 2 horas do que de 4 horas, onde foram mais discrepantes na comparação intergrupos. A LC<sub>50</sub> obtida após 4 horas foi bem maior para a FOC1, cujos dados demonstraram que apenas uma hiperconcentração de farinha de osso calcinada bovina (78.098,0 µg/mL ou 12,6 vezes o valor de 6.194,43 µg/mL de 2 horas) causaria o percentual de mortalidade de 50% das larvas. O mesmo fenômeno pôde ser comprovado com o tratamento térmico de 4 horas na FOC2 (aumento de 1,5 vezes o valor de 2 horas) e na FOC3 (aumento de 6,7 vezes o valor de 2 horas). Tais dados podem ser traduzidos como a influência benéfica do aumento do tempo (de 2 para 4 horas) do tratamento térmico das farinhas sobre o aumento da LC<sub>50</sub> para as artêmias. Apesar do tratamento térmico de 2 horas já ser suficiente para gerar farinhas de osso atóxicas, o protocolo de 4 horas gera ainda maior segurança biológica, pois demandaria de maiores concentrações para atingirem um potencial de toxicidade.



Com relação à FOCC, cujo tempo de tratamento térmico é desconhecido (não fornecido pelo fabricante do produto comercial), a  $LC_{50}$  foi superior a todas as farinhas com tratamento térmico de 2 horas. Já em comparação às farinhas com tratamento térmico de 4 horas, a  $LC_{50}$  da FOCC superou FOC2, mas ficou aquém da FOC1 e FOC3. Numa visão geral, isso sugere que a FOCC tenha um comportamento biológico intermediário entre os dois protocolos com tempo controlado frente a artêmias.

Já o dicromato de potássio, composto químico sem tratamento térmico, apresentou baixa  $LC_{50}$  o que sugere a presença de toxicidade alta, sendo tal resultado o mais discrepante frente a todas as demais condições experimentais. Isso confirma a aplicabilidade do dicromato de potássio como controle positivo para toxicidade e valida as farinhas experimentais e a FOCC como atóxicas, com  $LC_{50}$  muito maiores e distantes deste padrão, numa faixa de 14 a 228 vezes superiores à exposição aguda de artêmias ao dicromato de potássio.

Meyer (1982), em estudo pioneiro de toxicidade de extratos vegetais utilizando artêmias, observou que  $LC_{50} \leq 30 \mu\text{g/mL}$  esteve associada à toxicidade significativamente alta, enquanto concentrações de letalidade de artêmias superiores tenderam a ser consideradas cada vez menos tóxicas, apesar de se considerar a extensão da faixa de toxicidade até  $1000 \mu\text{g/mL}$ . Segundo Meyer (1982) e Sousa et al. (2017), produtos com  $LC_{50}$  acima de  $1000 \mu\text{g/mL}$  são considerados sem toxicidade, o que confirma nossos resultados.

No estudo conduzido por Gonçalves (2019), a análise de toxicidade do pó de hidroxiapatita isolado ou em forma de compósito demonstrou que a exposição dos microcrustáceos à concentração de  $0,05\text{mg}$  de amostra em  $5\text{mL}$  de salina durante um período de 24 horas foi suficiente para causar uma taxa de mortalidade de 50% das artêmias, contrapondo nossos resultados que apontaram a ausência de toxicidade aguda para as larvas em todas as condições testadas. A ampla diferença de toxicidade observada entre os compostos de categoria cerâmica valida a necessidade de testes criteriosos em sistemas biológicos, levando em consideração a variedade de condições experimentais e abordagens metodológicas utilizadas.

Embora se trate de um ensaio econômico, reprodutível e com capacidade de gerar informações de toxicidade de forma rápida e segura (GONÇALVES, 2019), estudos de toxicidade de produtos fertilizantes (especialmente de FOC artesanais) utilizando artêmias ainda parecem ser limitados ou restritos.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes tratamentos térmicos influenciaram nas propriedades físico-químicas de FOC. No contexto geral, as FOC de 4 horas se mostraram mais relevantes por conter os melhores percentuais nutricionais necessários ao desenvolvimento vegetal. Ainda, dentro deste protocolo, houve diferença quanto ao tipo de amostra biológica, se destacando a farinha bovina, seguida pela ovina e por último a suína.

Quanto aos custos e rendimentos, mais uma vez se sobressaiu o produto de origem bovina por apresentar os melhores resultados.

A partir do teste de toxicidade aguda realizado, todas as FOC testadas foram atóxicas e consideradas biologicamente seguras.

Ante ao exposto, admite-se que dentre todas as farinhas testadas o produto de origem bovina garante o melhor custo-benefício.

Dentre as principais limitações deste estudo destacaram-se a ausência de testes de efetividade dos produtos. Nesse sentido, sugere-se a realização de ensaios iniciais com o teste de fitotoxicidade com *Allium cepa*, a fim de verificar a aplicação dos produtos como fertilizantes atóxicos, bem como com outras culturas vegetais, para determinar a quantidade ideal de uso para cada categoria de planta.

## REFERÊNCIAS

- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2020**. São Paulo: ABPA, 2020. 160p. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/02/abpa-relatorio-anual-2020.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2021.
- ANM - Agência Nacional de Mineração. **Balanco Mineral Brasileiro – 2001 (Fosfato)**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-fosfato/view> Acesso em: 18 fev. 2022.
- ARKIN, I.S. Biochimica et Biophysica Acta. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**, v. 1828, n. 10, p. 2225, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005273613002162?via%3Dihub>>. Acesso em: 14 dez. 2021.
- AVELAR, A.C.; FERREIRA, W.M.; BRITO, W.; MENEZES, M.A.B.C. Composição mineral de fosfatos, calcário e farinhas de ossos usados na agropecuária brasileira. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 737-740, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/339896078\\_Composicao\\_mineral\\_de\\_fosfatos\\_calcario\\_e\\_farinha\\_de\\_ossos\\_usados\\_na\\_agropecuaria\\_brasileira](https://www.researchgate.net/publication/339896078_Composicao_mineral_de_fosfatos_calcario_e_farinha_de_ossos_usados_na_agropecuaria_brasileira)>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- BALAWAJDER, M. et al. Foliar Fertilizer Based on Calcined Bones, Boron and Molybdenum - A Study on the Development and Potential Effects on Maize Grain Production. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5287, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5287>>.
- BANO, N. et al. Natural hydroxyapatite extracted from bovine bone. **Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 22-28, 2017. Disponível em: <<https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/JST/article/view/1990/1217>>. Acesso em: 26 jan. 2013.
- BELLAVER, C. Limitações e vantagens do uso de farinhas de origem animal na alimentação de suínos e de aves. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO ALLTECH DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. 2., 2005, Curitiba. **Anais Eletrônico** [...] Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_u5u82m5u.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_u5u82m5u.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2021.
- BERNARDI, A.C.C. MANTOVANI, E.C. **Contribuição do Portfólio de Automação, Agricultura de Precisão e Digital ao Plano Nacional de Fertilizantes**. São Paulo: Embrapa Pecuária Sudeste, 2021. 19 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/230074/1/ContribuicaoPortifolioAutomacao-Documentos-141.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- BERTHOMIEU, C.; HIENERWADEL, R. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. **Photosynth Research**, n. 101, p. 157–170, 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-009-9439-x>>. Acesso em: 16 jan. 2022.
- BIREME-OPAS-OMS. **Tipos Metodológicos de Estudo**. 2018. Apresentação do Power Point. Disponível em: <<https://docs.bvsalud.org/oer/2018/07/842/aula-1-tipos-metodologicos->

de-estudos\_2.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BONI, D. et al. Avaliação qualitativa da farinha de ossos calcinada. *In*: FERREIRA, E.; SATURNINO, K. C.; SANTOS, T. R. (org.). **Farinha de Ossos Calcinada: alternativa para calagem e fosfatagem em solos tropicais?**. Porto Velho: Edufro, 2020. p. 43-45. Disponível em: <[https://issuu.com/edufro/docs/farinha\\_de\\_ossos\\_calcinada/1](https://issuu.com/edufro/docs/farinha_de_ossos_calcinada/1)>. Acesso em: 24 fev. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022. Institui o Plano Nacional de Fertilizantes 2022-2050 e o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2022. p. 2. Disponível em: <<https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.991-de-11-de-marco-de-2022-385453056>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 2017. 240 p. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos\\_2017\\_isbn-978-85-7991-109-5.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 34, de 28 de maio de 2008. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2008. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=284275208>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2007. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, ano 2007. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelink.php?numlink=1-77-23-2007-02-23-5>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30 Projeções de Longo Prazo**. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <[projecoes-do-agronegocio\\_2019\\_20-a-2029\\_30.pdf \(www.gov.br\)](#)>. Acesso em: 03 mar. 2022.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050): uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. Brasília: SAE, 2021. 195 p. Disponível em: <<https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção Nacional de fertilizantes: estudo estratégico**. Brasília: SAE, 2020. 26 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/estudos-estrategicos-2/estudo-producao-nacional-fertilizantes#:~:text=Estudo%3A%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20Nacional%20de%20Fertilizantes,-Info&text=A%20velocidade%20de%20crescimento%20da,importador%20entre%201992%20e%202020>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

CARÚS, L.A.; BENTO, L.; BRAGANÇA, S.R. Avaliação do comportamento reológico de suspensões de ossos bovinos calcinados. **Cerâmica**, v. 59, n. 352, p. 539-544, 2013.

Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/ce/a/w8RsPzVsDxY4ycdnngpDvhXr/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 12 out. 2021.

CAZZOLA, R. et al. Going to the roots of reduced magnesium dietary intake: A tradeoff between climate changes and sources. **Heliyon.**, v. 6, n. 11, 2020. Disponível em:

<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33204877/>>. Acesso em: 05 dez. 2022.

CHONACKA, K.; MOUSTAKAS, K.; WITEK-KROWIAK, A. Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. **Bioresource Technology**, v. 295, 2020.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419314531?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 set. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Importação de fertilizantes é recorde e chega a 41,6 milhões de toneladas**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4486-importacao-de-fertilizantes-e-recorde-e-chega-a-41-6-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 03 mar. 2022.

CONDE, T.T.; STACHIW, R. Características químicas após a calcinação. *In*: FERREIRA, E.; SATURNINO, K. C.; SANTOS, T. R. (org.). **Farinha de Ossos Calcinação: alternativa para calagem e fosfatagem em solos tropicais?**. Porto Velho: Edufro, 2020. p. 37 - 41.

Disponível em: <[https://issuu.com/edufro/docs/farinha\\_de\\_ossos\\_calcinada/1](https://issuu.com/edufro/docs/farinha_de_ossos_calcinada/1)>. Acesso em: 02 jun. 2021.

COSMO, B.M.N.; GALERIANI, T.M. Minerais na alimentação animal. **Revista Agronomia Brasileira**, v.c4, p. 1-9, 2020. Disponível em:

<<https://www.fcav.unesp.br/#!/ensino/departamentos/ciencias-da-producao-agricola/laboratorios/labmato/rab/volume-4-2020/rab202011/>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

DALY, K. et al. Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. **European Journal of Soil Science**, v. 66, n. 4, p.792–801, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12260>

DAMASCENO, J.B.D. et al. Produção de biomassa de *Brachiaria ruziziensis* adubada com farinha de ossos calcinada sob tratamentos ácidos. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 83-93, 2018. Disponível em:

<<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1078/pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

DAMASCENO, J.B.D. Farinha de ossos calcinada: sustentabilidade na nutrição fosfatada de pastagens. **DELÓS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 10, n. 28, p. 1-12, 2017. Disponível em: <<https://www.eumed.net/rev/delos/28/nutricion.html>>. Acesso em: 26 set. 2021.

FERREIRA, A.V.L.; FERREIRA, E.; CAVALI, J. Farinha de ossos calcinados em forrageiras. *In*: FERREIRA, E.; SATURNINO, K. C.; SANTOS, T. R. (org.). **Farinha de Ossos Calcinação: alternativa para calagem e fosfatagem em solos tropicais?**. Porto Velho: Edufro, 2020. p. 65-90. Disponível em:

<[https://issuu.com/edufro/docs/farinha\\_de\\_ossos\\_calcinada/1](https://issuu.com/edufro/docs/farinha_de_ossos_calcinada/1)>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FIGUEIREDO, M.M.; GAMELAS, J.A.F.; MARTINS, A.G. Characterization of Bone and Bone-Based Graft Materials Using FTIR Spectroscopy. *In: THEOPHANIDES, T. (org.). Infrared Spectroscopy – Life and Biomedical Sciences*. London: IntechOpen, 2012. p. 315-338. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/36055>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

GALIA, C.R. et al. Caracterização físico-química do enxerto de osso bovino liofilizado. **Rev Bras Ortop.**, v. 46, n. 4, p. 444-451, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbort/a/MN5G9wmzZZgDShdTZGMnWvK/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

GARCIA, G.M.A.R. **Sulfato de glucosamina e de condroitina sobre o desempenho, cartilagem articular e densidade mineral óssea em frangos de corte**. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113765/000802719.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

GASPAROTTO, O.C. et al. **Fisiologia animal comparada**. 1. ed. Florianópolis: EaD UFSC. 2011. 238 p.

GENG, Y.; SARKIS, J.; BLEISCHWITZ, R. Globalize the circular economy. **Nature**, v. 565, p. 153-155, 2019. Disponível em: <<https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-019-00017-z/d41586-019-00017-z.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GOCARDLESS. **How your business can benefit from economies of scale**. Disponível em: <<https://gocardless.com/guides/posts/benefit-economies-scale/#:~:text=Economies%20of%20scale%20provide%20larger,lower%20its%20per-unit%20costs>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GONÇALVES, L. S. **Análise e aplicabilidade de um compósito a base de hidroxiapatita, nanotubos de carbono e polihidroxibutirato**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2019. Disponível em: <<http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/788>>. Acesso em: 29 mai. 2023.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais. Área de concentração: Processamento e caracterização de materiais

GONZÁLEZ, F.G.; MANAVELLA, P.A. Prospects for plant productivity: from the canopy to the nucleus. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 11, p. 3931-3935, 2021. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jxb/article/72/11/3931/6277940>>.

GONZÁLEZ, F.H.D.; SILVA, S.C. **Minerais e vitaminas no metabolismo animal**. - Porto Alegre: Laboratório de Análises Clínicas, Faculdade de Veterinária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. 135 p. Disponível em: <[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)>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GOUVÊA, D. et al. Efeito da temperatura de calcinação nas propriedades de ossos bovinos para a fabricação de porcelana de ossos. **Cerâmica**, v. 54, n. 329, p. 86-91, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/kchHZzcxmvK9GPKpnB6L8TB/?lang=pt>>.

GRUPTA, Y.K.; MEENU, M.; PESHIN, S.S. Aluminium utensils: Is it a concern?. **The National Medical Journal of India**, v. 32, n. 1, p. 38-40, 2019. Disponível em: <<https://nmji.in/view-pdf/?article=fe682d051a0e76ab5597043095513b72FFFTZngQnfQ=>>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

HAMMOOD, A.S.; HASSAN, S.S.; ALKHAFAGY, M.T. Access to Optimal Calcination Temperature for Nanoparticle Synthesis from Hydroxyapatite Bovine Femur Bone Waste. **Nano Biomedicine and Engineering**, v. 9, n. 3, p. 228-235, 2017. Disponível em: <<http://nanobe.org/Data/View/441?type=100>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

HART, J.; POMPONI, F. A Circular Economy: Where Will It Take Us?. **Circular Economy Sustainability**, v. 1, p. 127-141, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00013-4>>. Acesso em: 12 out. 2021.

ISO-TS. **Nanotechnologies - Aquatic toxicity assessment of manufactured nanomaterials in saltwater lakes using *Artemia sp. Nauplii***. 2017, 15p. Disponível em: <<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69087/9d0343daf5fc43d8a20d2c089115ca75/ISO-TS-20787-2017.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

KACZMAREK, K. et al. Selected Spectroscopic Techniques for Surface Analysis of Dental Materials: a Narrative Review. **Materials**, v.14, n. 10, p. 1-25, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1944/14/10/2624>>. Acesso em: 28 fev. 2022.

KRUG, F.J.; NÓBREGA, J.A.; OLIVEIRA, P.V. **Espectrometria de Absorção Atômica: parte 1. Fundamentos e atomização com chama**, 2004. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

KUMAR, S. The Role of Biopesticides in Sustainably Feeding the Nine Billion Global Populations. **Journal of Biofertilizers & Biopesticides**, v. 4, n. 2, p. 1-3, 2013. Disponível em: <<https://www.longdom.org/open-access/the-role-of-biopesticides-in-sustainably-feeding-te-nine-billion-global-populations-2155-6202.1000e114.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

KUMAR, S.; KUMAR, S.; MOHAPATRA T. Interaction Between Macro - and Micro-Nutrients in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1-9, 2021. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.665583/full>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

LEITE, R.C. et al. Farinha de carne e ossos e adubação de cobertura na produtividade de capim Mombaça. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 59-63, 2019. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5650>>. Acesso em: 24 out. 2021.

LEINWEBER, P. et al. Handling the phosphorus paradox in agriculture and natural ecosystems: Scarcity, necessity, and burden of P. **Ambio**, Suíça, v. 47, n.1, p. 3-19, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0968-9>

LI, Q.; GAO, Y.; YANG, A. Sulfur Homeostasis in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 23, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33255536/>. Acesso em: 27 fev. 2023.

LIBRALATO, G. The case of *Artemia spp.* in nanoecotoxicology. **Marine Environmental Research**, v. 101, p. 38-43, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113614001512>. Acesso em: 17 fev. 2023.

LIU, H. et al. Aluminum stress signaling, response, and adaptive mechanisms in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 17, n. 1, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35467484/>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MAGALHÃES, K.A. et al. Caprinos e ovinos no Brasil: análise da Produção da Pecuária Municipal 2019. **EMBRAPA**, Sobral, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219493/1/CNPC-2020-BCIM-n11.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

MATTAR, E.P.L.; FRADE JÚNIOR, E.F.; OLIVEIRA, E. Caracterização físico-química de cinza de osso bovino para avaliação do seu potencial uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 65-70, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/24421>. Acesso em: 10 jul. 2021.

MATTAR, E.P.L.; FRADE JÚNIOR, E.F.; OLIVEIRA, E. **Cinza de osso-fósforo e cálcio para agricultura**. 1. ed. Acre: UFAC, 2013. 25 p. Disponível em: <http://www2.ufac.br/agroecologia/agroecologia/producao-bibliografica>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MEYER, B.N. et al. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Journal of Medicinal Plant Research**, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17396775/>. Acesso em: 02 nov. 2021.

MIYAHARA, R.Y.; GOUVÊA, D.; TOFFOLI, S.M. Obtenção e caracterização de cinza de ossos bovinos visando à fabricação de porcelanas de ossos - bone china. **Cerâmica**, v. 53, n. 327, p. 234-239, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/9Lc3CWxCBJwbYbWBS9C565p/?format=pdf&lang=p>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MUÑOZ, E; NAVIA, R. Circular economy in urban systems: How to measure the impact?. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 2, p. 197-198, 2021. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/0734242X21989173>. Acesso em: 24 jun. 2021.

NIELSEN, F.H. Is boron nutritionally relevant?. **Nutrition Reviews**, v. 66, n. 4, p. 183-191, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/66/4/183/1864232#112288955>. Acesso em: 29 jan. 2023.



NIELSEN, F.H. História do zinco na agricultura. **Advances in Nutrition**, v. 3, n. 6, p. 783-789, 2012. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23153732/>>. Acesso em: 29 jan. 2023.

NUNES, B.S. et al. Use of the genus *Artemia* in ecotoxicity testing. **Environmental Pollution**, v. 144, n. 2, p. 453-462, 2006. Disponível: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749106000637>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

OLIVEIRA, F.C. et al. Estudo in vivo da toxicidade e citotoxicidade de biocerâmicos de nanohidroxiapatita e nanotubos de carbonos funcionalizado com óxido de grafeno. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 78341-78352, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/18260/14748>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

OLIVEIRA, J.W. et al. Does calcined bone meal serve as phosphate for pastures in family farming?. **Científica**, v. 46, n. 2, p. 171-179, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n2p171-179>>. Acesso em: 16 fev. 2023. Acesso em: 20 mar. 2022.

ONU – Organização das Nações Unidas (2015). **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 19 jul. 2021.

PIZZORNO, L. Nothing Boring About Boron. **Integrative Medicine (Encinitas)**, v. 14, n. 4, p. 35-48, 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26770156/>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

RAMIRES, M.F. et al. Uso potencial de resíduos de abatedouro de suínos como fonte de nutrientes na agricultura. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 243-259, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6413/6522>>. Acesso em: 24 dez. 2021.

REETZ, H.F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Tradução de Alfredo Sheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p. Disponível em: <<https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

RUPPERT, E.; BARNES, R.D. **Zoologia dos Invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Roca, 1996. 1029 p.

SAEID, A. et al. Valorization of Bones to Liquid Phosphorus Fertilizer by Microbial Solubilization. **Waste Biomass Valor**, v. 5, p. 265-272, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-013-9238-7>>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SANTOS, C.M.F. **Obtenção de fertilizante fosfatado de alta solubilidade a partir de calcinado de osso bovino**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/CMBC-8V7GNZ>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

SOUSA, I.J.O. et al. Análise as toxicidade do extrato hidroalcoólico da poupa do fruto seco de *Luffa operculata* frente a náuplios de artemia salina e meristemas de *Alium cepa*. **Revista Eletrônica de Farmácia**, p. 66-75, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/REF/article/view/45289/pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

SHARMA, R.K. Various Spectroscopic Techniques. **Environmental Pollution: Monitoring, Modeling and Control**, p. 181-206, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Ramesh-K-Sharma/publication/314501637\\_Various\\_Spectroscopic\\_Techniques/links/58ca207692851c4b5e6ca272/Various-Spectroscopic-Techniques.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ramesh-K-Sharma/publication/314501637_Various_Spectroscopic_Techniques/links/58ca207692851c4b5e6ca272/Various-Spectroscopic-Techniques.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2022.

SIGMA-ALDRICH. **Product Specification**. Disponível em: <[https://www.sigmaaldrich.com/specification-sheets/736/658/207802-BULK\\_\\_\\_\\_SIGALD\\_\\_\\_\\_.pdf](https://www.sigmaaldrich.com/specification-sheets/736/658/207802-BULK____SIGALD____.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SKOOG, D. et al. **Fundamentos de química analítica**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014, 1088 p.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Tradução de Armando M. D. Junior. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANG, S.; PARSONS, P.J.; PERL, D. et al. Longitudinal and lateral variations in the aluminum concentration of selected caprine, bovine, and human bone samples. **Biological Trace Element Research**, v. 68, p. 267-279, 1999. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02783908>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

TAVARES, A.S.; BORSCHIVER, S. Elaboração de Roadmap Tecnológico e de Modelo de Negócios de Economia Circular. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 810-823, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/39052/24816>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TRUHAUT, R. Ecotoxicologie. Objectifs, principes et perspectives. **Archives Belges de Medecine Social.**, v. 34, n. 4, p. 201-237. 1976. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/795377/>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

VEGH, E.I.; MARQUEZ-GRANT, N.; SCHULTING, R.J. Physicochemical Changes in Bone Bioapatite During the Late Postmortem Interval Pre- and Post-Burning. **Applied Spectroscopy**, v. 76, n. 9, p. 1080-1099, 2022. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9490440/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VOGT, A.C.S. et al. On Iron Metabolism and Its Regulation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 9, p. 1-17, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1422-0067/22/9/4591>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

VUONG, B.X. Characterization of Hydroxyapatite extracted from goat bone. **Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)**, v. 6, n. 2, p. 01-07, 2022. Disponível: <<https://ajast.net/data/uploads/92831.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

YRUELA, I. Transition metals in plant photosynthesis. **Metallomics**, v. 5, n. 9, p. 1090-1109,

2013. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/mt/c3mt00086a>>. Acesso em: 09 jan. 2023.