O USO DO MINERAL APATITA NO MEIO AGRONÔMICO COMO FONTE DE FOSFATO

THE USE OF THE MINERAL APATITE IN AGRICULTURE AS A PHOSPHATE SOURCE

https://doi.org/10.63330/aurumpub.065-016

Anderson Prates do Carmo
Mestrando em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: andersonprates548@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/5167616231785549

Ana Clara Pereira de Souza Virginio
Doutoranda em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: virginio.ac@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4921382824030336

Carla Micaela Ripke Ferreira
Mestranda em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: carlripke@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/7602624968164553

Ellen Bruna Tacone
Mestranda em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: ellentaconee@gmail.com
Lattes: https://lattes.cnpq.br/6239016786226680

Laura Mayra Modesto
Graduanda em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: lauramodesto4@hotmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4485151888851958

Rayssa Paz Monteiro
Graduanda em Agronomia
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - Mato Grosso do Sul
E-mail: rayssa.monteiroagro@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/8353706853665810

Edilson Junior Prates do Carmo
Graduando em Agronomia
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - Mato Grosso do Sul
E-mail: juniorprates717@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4456141918475757

Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero
Graduanda em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: ra132992@uem.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/0834880006073814

Guilherme Borsato Mottin
Graduando em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: gborsatomottin@gmail.com
Lattes: https://lattes.cnpq.br/8282123854474969

Enzo Francisco Colussi
Graduando em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá - Paraná
E-mail: Enzofranciscocolussi15@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/2819637358692492

Resumo

A apatita é um mineral fosfatada natural de origem vulcânica que pode ter diversas finalidades assim como no meio agronômico que pode ser utilizada como fonte de fosfato. O objetivo desta revisão de literatura é reunir e sintetizar as informações disponíveis sobre a forma deutilização da apatita como fonte fosfatada. A justificativa da realização deste trabalho se dá pelo fato do fósforo ser um macronutriente de importância para plantas e por ser um elemento não renovável e pouco móvel no solo. Por meio disso é necessário conhecer métodos eficazes para a apatita ser sintetizada e disponibilizada como adubo fosfatado, atendendo o critério da indústria de fertilizantes onde o minério de fosfato deve ter teor de $P_2 O_5$ acima de 30%, relação $CaO/P_2 O_5$ menor que 1,6 e teor de MgO menor que 1%, ajudando a suprir as necessidades das culturas.

Palavras-chave: Adubação; Apatita; Fosfato.

Abstract

Apatite is a natural phosphate mineral of volcanic origin that can have different purposes as well as in the agronomic environment that can be used as a source of phosphate. The aim of this literature review is to gather and synthesize available information on how to use apatite as a phosphate source. The justification for carrying out this work is given by the fact that phosphorus is an important macronutrient for plants and because it is a non-renewable element and little mobile in the soil. Therefore, it is necessary to know effective methods for apatite to be synthesized and made available as phosphate fertilizer, meeting the criteria of the fertilizer industry where the phosphate ore must have a P_2O_5 content above 30%, a $CaO/P_2 O_5$ ratio of less than 1.6 and a MgO content of less than 1%, helping to meet the needs of crops.

Keywords: Apatite; Fertilization; Phosphate.

1 INTRODUÇÃO

A apatita é de origem vulcânica, com teores de P_2O_5 variando até 30% (Santos e kliemann, 2006).

O mineral de fosfato mais comum, é geralmente descrita pela fórmula $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$ (Kohn et al., 2002), é comumente encontrada em forma de prismas longos ou curtos, caracteristicamente finais com bipirâmides salientes ou uma face pinacoidal basal.

O cristal também possui faces de uma bipirâmide hexagonal m/6, que revelam sua verdadeira simetria. A apatita pode desempenha um papel em vários campos, como química do solo, materiais dentários, entre outros administração de medicamentos (Quan et al., 2013).

Ou seja, o fosfato (PO_4^{3-}) é uma das moléculas mais abundante na crosta terrestre (Benites, 2015), e é constituído por um ânion trivalente contendo um átomo de fósforo (P) e quatro átomos de oxigênios (O_2) (Santos e Soares, 2014), é um elemento essencial a todas as formas de vida, pois nosseres vivos tem função estrutural, fazendo parte da molécula de DNA, RNA e de fosfolipídios, tem função energética na ATP e função de reserva na forma de fitina que se acumula nas sementes (Marschner, 2012).

No solo o fósforo pode ser contido, tanto na forma orgânica ou inorgânica, utilizado pelas plantas e consumido por animais, transformando-se em matéria orgânica por meio da decomposição. OP-orgânico do solo ocorre em teores proporcionais aos da própria matéria orgânica, com relação C:P de 50:1, predominando compostos como fosfatos de inositol, fosfolipídios e ácidos nucleicos, ocorrendo a mineralização pela ação das fosfatases que fazem a hidrólise dos ésteres fosfatados (Siqueira et al., 2004).

O fósforo é um nutriente que tem como particularidade o alto grau de interação com o solo. Essa característica, associada à sua deficiência em vastas áreas da agricultura brasileira, fez desse elemento o mais crítico nas adubações nas últimas décadas (Raij, 2017).

Portanto, é importante para a agricultura brasileira, considerando-se sua deficiência natural na maioria dos solos brasileiros agricultáveis e a escassez de reservas de rochas fosfáticas de boa qualidade. Os fertilizantes fosfatados são a principal fonte desse nutriente para a agricultura brasileirae seu uso está diretamente relacionado à sustentabilidade de sistemas agrícolas comerciais (Benites, 2015).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS DE APATITA

A apatita geralmente descrita pela fórmula $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$ (Kohn et al., 2002). Sendo encontradas na forma predominante hexagonais, a = 9,4–9,6 Å, c = 6,8–6,9 Å, com uma simetria degrupo espacial de P63/m existem dois planos de espelho {00l} perpendiculares ao eixo do parafuso 63, localizados

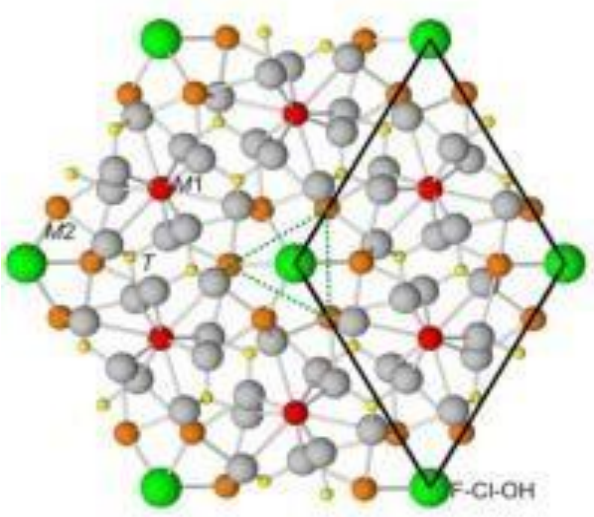
em z = ¼ e ¾.

Na estrutura da apatita existem três sítios catiônicos, o sítio tetraédrico (sítio T) é um tetraedroPO_4 com um P-O com distância de aproximadamente 1,53 Å (Hughes e Rakovan, 2015).

Ainda segundo (Hughes e Rakovan 2015) o local M1 (M = metal) também chamado de local$Ca1$ para o cálcio apatitas é um prisma trigonal de CaO lá são quatro sítios M1 por célula unitária. Olocal M2 (ou local $Ca2$ para as apatitas de cálcio) é um poliedro CaO_6X_1 irregular, onde X = F, Cl e OH.

Existem seis sites M2 por célula unitária. Assim, na fórmula química reduzida, que tem uma estequiometria de metade do conteúdo da célula unitária (ou seja, Z = 2), dois dos cinco sites M sãoM1 e três são M2. Isso ajuda compreender melhor como a fórmula química se relaciona à estrutura de toda a gama de fórmulas minerais para o supergrupo de apatita o F, Cl e ânions OH existem em colunas [0,0,z] ao longo das bordas (Figura 1).

Figura 1. Arranjos da apatita M1 representado pela cor vermelha; M2 representado pela cor laranja.



Fonte: Adaptado de Hughes e Rakovan (2015).

As apatitas possuem uma série isomórfica sendo a Flurapatita $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, cloropatita $Ca_{10}(PO_4)_6Cl_2$, bromopatita $Ca_{10}(PO_4)_6Br_2$, hridroxapatita $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ e carbonato- apatita $Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6(F,OH)_2$.

Os cristais do sistema hexagonal apresentam quatro eixos cristalográficos, sendo três deles, oseixos a, situados no plano horizontal, de igual comprimento, formando ângulos de 120 graus entre si.

O quarto eixo c é de comprimento diferente e situa-se na vertical, perpendicularmente ao planodos eixos a essa estrutura confere aos cristais um único eixo de simetria. Assim, somente duas dimensões a e c são suficientes para caracterizar a célula unitária.

As estruturas das hidroxi, cloro e bromapatitas são similares à da fluorapatita, diferenciando - se, contudo, quanto às dimensões da célula unitária, afetada pelos diferentes tamanhos dos íons F^-, Cl^-,Br^- e

OH^-. Na fórmula $Ca_{10}(PO_4)_6(OH, F, Cl)_2$, o flúor, o cloro e a hidroxila podem se substituir mutuamente, de modo a formar os extremos da série isomórfica (Silva e Giulietti, 2010).

De acordo com Guimarães (1997) os depósitos fosfáticos podem ser classificados de acordocom sua origem sendo depósitos de origem sedimentar marinha: caracterizam-se pela presença de fosforito, rocha sedimentar contendo apatita e/ou colofana e outros minerais fosfáticos associados àareia e argila. Ocorrem em forma de camadas e espalhados por grandes áreas devido a uma sedimentação lenta. São facilmente lavráveis, a céu aberto e cujo processo de beneficiamento e concentração mineral é pouco sofisticado.

2.2 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO PARA AS PLANTAS

O P entra em contato com a raiz da planta por difusão, o P-inorgânico, absorvido e acumulado pelas células corticais da raiz é transferido rapidamente até o xilema ao longo do simplasto e alcança aparte aérea, folha ou região de crescimento, sendo redistribuído (Stauffer e Sulewski, 2004).

Diferente do que acontece nos solos, o P apresenta alta mobilidade na planta, transferindo-se rapidamente de tecidos velhos para regiões de meristema ativo. Segundo Malavolta (2006), o P- inorgânico fornecido às folhas é redistribuído via floema em até 60% do total presente, para outras partes da planta, particularmente regiões de crescimento e frutos em desenvolvimento.

O P participa de um grande número de compostos nas plantas, essenciais em diversosprocessos metabólicos, também está presente nos processos de transferência de energia.

Os principais compostos de P na planta são: fosfato inorgânico, ésteres de P (açúcaresfosforilados), ésteres de P (nucleotídeos), fosfolipídios, DNA e RNA (Malavolta, 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ABUBAÇÃO FOSFATADA

A adubação tem por objetivo fornecer nutrientes às plantas para que estas tenham crescimentoe produtividade que proporcionem maior retorno econômico da lavoura. Para isto, são utilizados diversos tipos de adubação, que dependendo da análise de solo, implicam na aplicação de fertilizantesantes ou após a implantação da cultura, visando aumentar ou manter os teores do nutriente no solo (NEPAR/SBCS, 2017).

Os adubos fosfatados são classificados em fertilizantes minerais solúveis e naturais, fertilizantes orgânicos e fertilizantes organominerais. Com exceção das fontes orgânicas de P, as demais são provenientes de processos industriais, químicos ou físicos, aos quais as rochas são submetidas originando os fertilizantes fosfatados (Nolla et al., 2018).

A maioria dos fertilizantes fosfatados utilizados na adubação de culturas é proveniente de rochas

fosfáticas, como apatitas e fosforitas, que são fontes não renováveis. Nas atividades agrícolas são utilizados os fertilizantes fosfatados minerais como: Superfosfato Simples (SPS), Superfosfato Triplo (SPT), Fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP), termofosfatos, fosfato natural, fosfato parcialmente acidulado e ácido fosfórico (Malavolta et al., 2002). Cuja as garantias e características estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Garantias mínimas e características dos fertilizantes fosfatados.

FERTILIZANTES	GARANTIASMÍNIMAS	CARACTERÍSTICAS
Superfosfato simples	18% P_2O_5 18% Ca e 10% S	Determinação CNA+H_2O emin. 16% solúvel em H_2O.
Superfosfato triplo	41% P_2O_5 12% Ca	Determinação CNA+H_2O emin. 37% solúvel em H_2O.
Fosfato diamônico (DAP)	45% P_2O_5 16% N	Determinação CNA+H_2O emin. 38% solúvel em H_2O.
Fosfato monoamônico (MAP)	48% P_2O_5 9% N	Determinação CNA+H_2O emin. 44% solúvel em H_2O.
Termofosfato magnesiano	17% P_2O_5 18% Ca e 7% Mg	Determinação total e min. 14%em ácido cítrico a 2%.
Fosfato natural reativo	28% P_2O_5 30% Ca	Determinação total e min. 9%em ácido cítrico a 2%.
Fosfato natural	24% P_2O_5 23% Ca	Determinação total e min. 4%em ácido cítrico a 2%.

Fonte: Adaptado de Gitti e Roscoe (2017). CNA: Citrato neutro de âmonio

De acordo com Raij (2017) duas regras básicas devem ser seguidas para o uso de fertilizantes fosfatados. A primeira delas se aplica aos fertilizantes solúveis em água, no qual serão mais eficientesse aplicados de forma localizada e em grânulos. A segunda se aplica aos insolúveis em água, no qual serão mais eficientes se aplicados como pó, em mistura com o solo.

Boas práticas de manejo também devem ser adotadas com o propósito de aumentar a eficiênciada adubação, como os 4Rs, derivado do right em inglês, que em português diz 4Cs, que significa aplicação da fonte certa, na dose certa, no local certo e na época certa (Bruuselma et al., 2012 ; Fixen, 2014).

Os fertilizantes fosfatados minerais são mais utilizados em função da alta concentração de nutrientes, da elevada solubilidade e pela rápida capacidade de fornecimento do nutriente na solução, porém, apresentam como principal desvantagem a rápida fixação do P no solo, tornando-o indisponível (Mumbach, 2017 ; Nolla et al., 2018). As interações do fósforo são complexas em solos tropicais. Ocorrem muitas reações intensas que podem impedir que os íons de fosfato disponíveis paraas plantas sejam absorvidos pelas plantas (Fink et al., 2016a ; Prochnow et al., 2018).

3.2 PROCESSAMENTO DA APATITA PARA CONFECÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

O uso de fertilizante fosfatado na produção agrícola melhora a produção das culturas e, assim, aumenta a oferta de alimentos (Huang et al., 2017).

O minério de fosfato de alta qualidade (P_2O_5 > 30% e MgO < 1%) é comumente utilizadopara a produção de fertilizante fosfatado (Garcia, 2014).

De acordo com (Chen et al., 2018) a diminuição acentuada na disponibilidade de minério de fosfato de alto teor, juntamente com o aumento de demanda de fertilizante fosfatado, motivou o desenvolvimento eficiente e a utilização de minérios de fosfato de baixo teor logo, a recuperação eficiente de apatita desses minérios de fosfato de baixo teor de maneira ambientalmente consciente éfundamental para garantir a fabricação sustentável de fertilizante fosfatado (Huang et al., 2019).

No entanto, a grande quantidade de minerais de carbonato, como a dolomita presente na maioria dos minérios de fosfato de baixo teor, cria uma dificuldade substancial na separação da apatita limpa da dolomita, por terem propriedades físico-químicas (Hoang et al., 2018) semelhantes gerando uma contaminação com dolomita, reduzindo reduz significativamente a qualidade do concentrado de apatita e diminui conseguintemente o valor econômico do produto.

Visto isto algumas formas de beneficiar rochas fosfática para produção de adubos podendo citar os processos de lixiviação ácida, calcinação, flutuação. O processo de lixiviação ácida se dá pelo seguinte processo, em que os minerais de ganga de carbonato tenderão a se dissolver na solução ácida diluída, enquanto os minerais de fosfato permanecerão nos resíduos lixiviados, o que resultarána separação destes últimos contra os primeiros.

A utilização de ácidos minerais costuma causar a dissolução do P_2O_5, o que leva à redução na recuperação deste último, enquanto os ácidos orgânicos possuem alta seletividade para a lixiviação usando como por exemplo o ácido lático (Zafar e Ashraf, 2007).

Já no processo de calcinação os minerais calcários são decompostos em óxido de cálcio e óxido de magnésio a uma temperatura de cerca de 950 °C, liberando dióxido de carbono, em seguida,as rochas de fosfato calcinadas são submetidas à têmpera usando solução de NH_4Cl ou NH_4NO_3 em uma concentração de cerca de 5%.

Posteriormente, os grãos finos de $Ca(OH)_2$ e $Mg(OH)_2$ são descartados como a fase de lodo após uma classificação por hidrociclone, e o concentrado de alto teor mais grosso é separado com sucesso para os minérios de fosfato contendo matéria orgânica, também é uma técnica eficiente parauma temperatura de 650–750 °C (Ruan et al., 2018).

E por fim o processo de flutuação que segundo Ruan et al. (2019) pode acontecer de maneiradireta por surfactantes aniônicos ou a flotação reversa por surfactantes catiônicos, em que são conduzidas para

remover as gangas de silicato dos minérios de fosfato. Durante o processo de flotação direta, o pH da polpa é ajustado para cerca de 9,5 pela adição de carbonato de sódio, e umaquantidade adequada de vidro de água necessária simultaneamente para reduzir a flutuação dos minerais de silicato.

Em seguida, os minerais de fosfato passam a ser flotados com o auxílio de tensoativos aniônicos. Para o processo de flotação reversa, a sílica é flotada usando surfactantes catiônicos emum ácido fraco ou pH neutro, e os minerais de fosfato.

A adsorção superior de surfactantes catiônicos em sílica em vez de apatita provavelmente pode ser atribuída às superfícies de sílica mais carregadas negativamente. O processo convencionalde flutuação dupla “Crago” é usado para remover a sílica duas vezes do minério de fosfato na Flórida.

Para a remoção de gangas de carbonato, uma alta eficiência de separação pode ser alcançadausando flotação aniônica reversa em torno de pH 4,5 sem a adição de um depressor de fosfato (Abouzeide e Negm, 2009).

Ainda segundo Ruan et al. (2019) diferentes tipos de minérios de fosfato devem ser submetidos a processos específicos de flotação para melhoramento de acordo com as características da composição mineral. Tanto a flotação direta aniônica quanto a flotação reversam catiônica são aplicadas para o beneficiamento de rocha fosfática siliciosa, enquanto a flotação reversa aniônica única é preferida para beneficiar a rocha fosfática calcária.

Um processo de flotação em duas etapas, denominado flotação direta reversa ou flotaçãoreversa dupla, é geralmente realizado para remover a sílica e os minerais de ganga carbonática gradualmente das rochas de fosfato calcário-silício.

Verifica-se que o consumo de reagente em rochas fosfáticas de grau médio-baixo de flotação direta é relativamente maior e, consequentemente, aumenta o custo operacional. Ao mesmo tempo, a água reciclada também é difícil de reutilizar e, às vezes, a alta temperatura é necessária, o que resultaem grande restrição na aplicação do processo direto. Deste modo, é adequado apenas para beneficiaros minérios de fosfato de baixo teor.

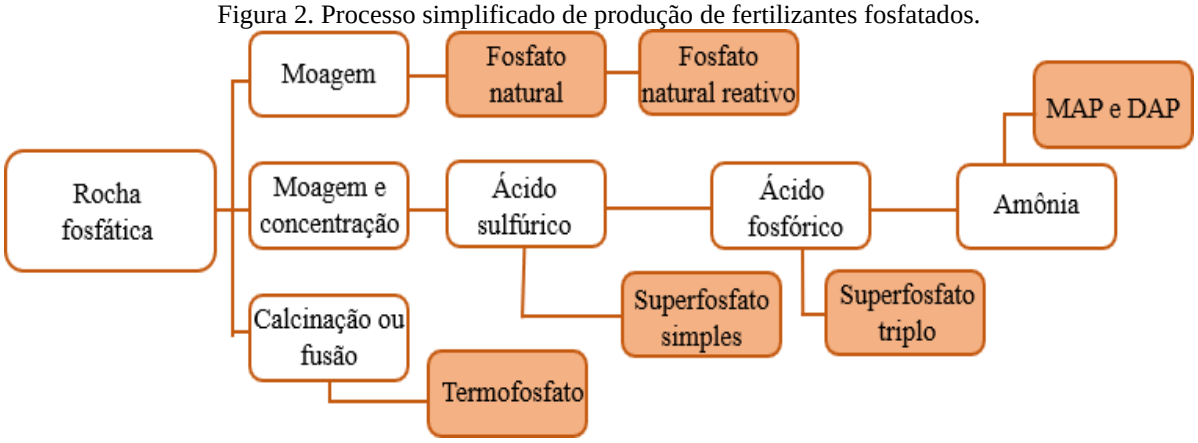
Em alguns casos, uma quantidade adequada de sílica no concentrado de fosfato é desejadapara a produção de ácido fosfórico pelo processo úmido. Como sabemos, o flúor nos minérios defosfato reagirá com o ácido para gerar HF e corroer ainda mais as instalações ao redor.

Esse efeito adverso pode ser bastante reduzido, pois a sílica reservada no concentrado de flotação pode reagir com o HF para formar SiF_4 e fluorosilicatos mostrando que a prática de produção MOS é economicamente viável obter um concentrado de fosfato qualificado usando flotaçãoreversa simples no caso da rocha fosfática calcária de alto magnésio ser misturada uniformemente com uma certa proporção de rocha fosfática siliciosa.

De acordo com Canziani et al. (2023) o fósforo nas rochas fosfáticas não está prontamente

disponível como fertilizante, de modo que as duas principais tecnologias comerciais aplicadas para sua extração são baseadas em processos úmidos e térmicos. É realizado um tratamento químico quetem por finalidade aumentar a concentração e solubilidade dos nutrientes no fertilizante. O processosimplificado para produção de fertilizantes fosfatados está disposto na Figura 2.

Figura 2. Processo simplificado de produção de fertilizantes fosfatados.



Fonte: Adaptado de Mosaicfertilizantes (2023).

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, que as apatitas podem ser encontradas em depósitos de origem ígnea, depósitos de origem sedimentar marinha e depósitos biogenéticos, é importante buscar formar de beneficiamentos que ajudem a melhor aproveitamento deste mineral. O beneficiamento de minérios de fosfato pode ser feito por meio de métodos úmidos e térmicos, onde o melhor metodo a ser escolhido depende do fertilizante fosfatado de interesse,em que o método de flotação é o que mais tem sido utilizado para produção de adubos fosfatados.

REFERÊNCIAS

ABOUZEID AZM, NEGM AT, ELGILLANI DA. **Atualização de minérios de fosfato calcário por flotação**: Efeito das características do minério. Int. J. Mineiro. Processo. 2009 , 90 , 81–89.

ALMEIDA SE, KLIEMANN HJ. Eficiência de fosfatos naturais relacionada à produtividade de milheto emsolos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 2, p. 75-81, 2006. Available from: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253020184001

BENITES VM. A importância da pesquisa na avaliação da eficiência das tecnologias em fertilizantes fosfatados no Brasil. **Boletim informativo da SBCS**. p. 36-38, 2015. Available from: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1031679/1/2015101.pdf

BRUULSEMA TW, FIXEN PE, SULEWSKI GD. 4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition. **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, Norcross, GA, USA, 2012.

CANZIANI R, BONIARDI G, TUROLLA A. Phosphorus recovery—recent developments and case studies. In: **Sustainable and Circular Management of Resources and Waste Towards a Green Deal**. Elsevier, p. 269-281. 2023.

CHEN Y, FENG Q, ZHANG G, LIU D, LIU R. (2018). **Efeito do pirofosfato de sódio na flotação reversa dedolomita a partir de apatita**. Minerais, 8 (7), 278.

FIXEN P, BRENTRUP F, BRUULSEMA T; GARCIA F, NORTON R, ZINGORE S. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. Chapter 1. **Managing Water and Fertilizer for SustainableAgricultural Intensification, IFA, IWMI, IPNI and IPI**. 2014. Available from: (www. fertilizer. org/library publications@ fertilizer. org).

FINK JR, INDA AV, BAVARESCO J, BARRÓN V, TORRENT J. BAYER C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil and Tillage Research**, 155, 62-68. 2016.

GARCIA LA. **Eficiência agronômica de rejeitos da indústria de fertilizantes fosfatados**. 2014. Dissertação https://repositorio.unesp.br/handle/11449/115622

GITTI DC, ROSCOE R. **Manejo e fertilidade do solo para a Cultura da soja**. Fundação MS, Tecnologia e Produção: Soja 2016/2017, 2017.

GLOBALFERT. **Fertilizantes fosfatados**. Notícias. 2022. Available from: https://globalfert.com.br/category/noticias/. Acessado em: 10 de fevereiro de 2023.

GUIMARÃES RC. **Aspectos relevantes da separação de barita em minérios fosfáticos através de alotação**, (Tese de Doutorado). Belo Horizonte-MG: Universidade Federal de Minas Gerais 1997.

HOANG DH, KUPKA N, PEUKER UA, RUDOLPH, M. **Estudo da flotação de minério de apatita sedimentarcarbonáceo de granulação fina** – Desafios na mineralogia de processo e impacto da hidrodinâmica. Engenharia de Minerais , 2018;121:196-204.

HUANG J, XU CC, RIDOUTT BG, WANG XC, REN PA Perdas de nitrogênio e fósforo e potencial de eutrofização associados à aplicação de fertilizantes em terras agrícolas na China. **Journal of Cleaner Production** 2017; 159:171-179.

HUANG Z, CHENG C, LIU Z, ZENG H, FENG B, ZHONG FU W. Utilização de um novo surfactante Geminicomo coletor para flotação reversa de minério de fosfato na produção sustentável de fertilizante fosfatado. **Journal of Cleaner Production** 2019;221:108-112.

HUGHES JM, RAKOVAN JF. **Estruturalmente Robusto, Quimicamente Diverso**: Apatita e Minerais do Supergrupo Apatita. Elementos 2015; 11:165-170. doi: https://doi.org/10.2113/gselements.11.3.165

KOHN MJ, RAKOVAN J, HUGHES JM(eds) (2002) **Fosfatos - importância geoquímica, geobiológica e de materiais**. Sociedade Mineralógica da América e Sociedade Geoquímica ,Washington DC.

MALAVOLTA E, PIMENTEL GF, ALCARDE JC. **Adubos e adubações**. Editora Nobel, São Paulo – SP. 200p. 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 638p. 2006.

MALAVOLTA E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: Yamada, T., Abdalla, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos; p. 35 – 98, 2004.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. London, Academic Press, 643p. 2012.

MUMBACH GL. **Eficiência agronômica de fertilizante organomineral à base de cama aviária e fosfato monoamônico**. (Dissertação de mestrado). Santa Catarina-Sc: Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 94 p, 2017.

NOLLA A, MARI MA, CASTALDO JH, SORACE M, MOTA NLV, DAMY CRS. Caracterização e potencialidade de fertilizantes fosfatados orgânicos e minerais utilizados na agricultura anual. **Scientific Electronic Archives**. v. 11. 10 p.2018.

NOLLA A, MARI MA., CASTALDO JH, SORACE M, MOTA NLV, DAMY CRS Caracterização e potencialidade de fertilizantes fosfatados orgânicos e minerais utilizados na agricultura anual. **Scientific Electronic Archives**. v. 11. 10 p. 20 NEPAR/SBCS - Núcleo Estadual Paraná. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de Adubaçãoe Calagem para o Estado do Paraná. 2ª. ed, 289 p. 2019.

PROCHNOW L, RESENDE A, JUNIOR A, FRANCISCO E, CASARIN V. PAVINATO P. Phosphorus placement for annual crops in the tropics. **Better Crops**. V.102, No.1. 2018. Doi:https://doi.org/10.24047/BC102121

QUAN L, SHISHU H, JUKKA P M, ZHUOFAN CHEN, HAOBO PAN, "Insight into Biological Apatite: Physiochemical Properties and Prepare Approaches", **BioMed Research International**, vol. 2013,Artigo ID 929748, 13 páginas, 2013. Doi: https://doi.org/10.1155/2013/929748

RAIJ BV. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. IPNI: International Plant Nutrition Institute,Piracicaba - SP, 420 p. 2017.

RUAN Y, ZHANG Z, LUO H, XIAO C, ZHOU F, CHI R. (2018). **Efeitos de íons metálicos na flotação deapatita, dolomita e quartzo**. Minerais , 8 (4), 141. https://doi.org/10.3390/min8040141

RUAN Y, ELE D, CHI R. **Revisão sobre técnicas de beneficiamento e reagentes usados para minérios defosfato**. Minerais 2019 , 9 , 253. https://doi.org/10.3390/min9040253

SANTOS EA, KLIEMANN HJ. **Eficiência de fosfatos naturais relacionada à produtividade de milheto emsolos de cerrado**. 2006.

SANTOS D, SOARES R. **Modelagem computacional dos defeitos substitucionais na hidroxiapatita**(Dissertação). Sergipe: Universidade Estadual de Sergipe; 2014

SILVA RM, GIULIETTI M. **Fosfogesso**: geração, destino e desafios. CETEM/MCT. 2010. Available from:http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/918/1/cap7.pdf

SIQUEIRA JO, ANDRADE AT, FAQUIM V. O papel dos microorganismos nadisponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: Yamada T, Abdalla SRS. (Org.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, p. 117-56, 2004.

STRAATEN PV. Rocks for Crops, **Agrominerais of Sub-Sahara Africa**, 0-88955-512-5, (CD),ICRAF, Nairobi, Kenya (2002), pp. 7-24 338 pp.

STAUFFER MD, SULEWSKI G. Fósforo - nutriente essencial para a vida. In: Yamada T, Abdalla, SRS. **Informações Agronômicas Potafos, Piracicaba, nº 102**, 9 p. 2003.

ZAFAR ZI, ASHRAF M. Selective leaching kinetics of calcareous phosphate rock in lactic acid. **ChemicalEngineering Journal**, 2007;131(1-3), 41-48. https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.1

HUGHES, J. M.; RAKOVAN, J. F. Structurally robust, chemically diverse: apatite and apatite supergroup minerals. **Elements**, v. 11, n. 3, p. 165–170, 2015.