

Caracterização mineralógica de um kamafugito do noroeste mineiro: associação e liberação mineral

Luis Alberto Silva ^{1,2} 
Christopher Rocha de Rezende ² 
Marco Aurélio Maia Teodoro ² 
Vitória Marina Pereira Perboni ² 
André Luis Pimenta de Faria ² 
Luiz Werner Brandão ³ 
Natal Junio Pires ¹ 
Michelly dos Santos Oliveira ^{1*} 

Resumo

Kamafugitos são rochas de rara ocorrência e composição complexa. Estudos sobre essas rochas ainda são escassos, especialmente no que se refere à sua caracterização. Este trabalho buscou expandir o conhecimento mineralógico sobre um depósito kamafugítico localizado no Noroeste de Minas Gerais, com ênfase em análises de liberação e associações mineralis. A distribuição modal, as associações e as liberações dos minerais foram possíveis de serem determinadas com o uso do *software* AMICS. Os resultados identificaram como minerais principais a magnetita, a perovskita, a apatita e as micas, representando elementos como ferro, titânio, fósforo e potássio. A liberação mineral foi mais expressiva para a ganga, enquanto os minerais-minério portadores de fósforo apresentaram os menores índices de liberação. Ainda assim, os dados indicaram que, independentemente dos minerais, a etapa de moagem é necessária para otimizar a liberação. Técnicas como separação magnética e flotação podem ser avaliadas como possíveis alternativas para a concentração dos minerais de interesse.

Palavras-chave: Beneficiamento mineral; Rochas vulcânicas ultramáficas alcalinas; Argilominerais.

Mineral characterization of a kamafugite from northwest Minas Gerais: mineral association and liberation

Abstract

Kamafugites are rare rocks with a complex composition. Studies on these rocks remain scarce, especially regarding their characterization. This work aimed to expand mineralogical knowledge about a kamafugite deposit located in northwest Minas Gerais, with an emphasis on liberation and mineral association analyses. Modal distribution, associations, and mineral liberation were determined using the AMICS software. The results identified magnetite, perovskite, apatite, and micas as the main minerals, representing elements such as iron, titanium, phosphorus, and potassium. Mineral liberation was more significant for the gangue, while phosphorus-bearing minerals showed the lowest liberation indices. Nevertheless, the data indicated that, regardless of the mineral, the grinding stage is necessary to optimize liberation. Techniques such as magnetic separation and flotation can be evaluated as potential alternatives for concentrating the minerals of interest.

Keywords: Mineral processing; Alkaline ultramafic volcanic rocks; Clay minerals.

¹Departamento de Minas e Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Araxá, MG, Brasil.

²Centro de Inovação e Tecnologia - CIT/SENAI, Instituto SENAI de Inovação em Processamento Mineral – ISIPM, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³Magnor Consulting, Belo Horizonte, MG, Brasil.

*Autor correspondente: michelly@cefetmg.br

E-mails: luis_alberto803@hotmail.com; marcomaia.geo@hotmail.com; crdrezende@yahoo.com.br; vitoria.perboni97@gmail.com; apfaria@fiemg.com.br; brandaosilveira@gmail.com; natal.fg@gmail.com



1 Introdução

Os kamafugitos destacam-se por sua raridade e complexidade, estando presentes em seis países, Itália, Tanzânia, Uganda, África do Sul e o Brasil [1]. Apesar de sua composição desafiadora, a caracterização de minérios constitui uma ferramenta indispensável para ampliar o entendimento sobre essas rochas. Pesquisas realizadas por Silva et al. [2] e Silva et al. [3] investigaram as características físicas, químicas e mineralógicas de um depósito kamafugítico situado no Noroeste de Minas Gerais. No entanto, os estudos focados em aspectos como liberação e associação mineralógica permanecem limitados na literatura.

Os conceitos de liberação e separação mineral desempenham um papel essencial no sucesso das operações de processamento mineral, considerando as exigências do mercado. O minério é formado por uma combinação de minerais com valor econômico (minerais-minério) e minerais sem interesse comercial (ganga). Por isso, geralmente é necessário utilizar equipamentos de fragmentação para separar o mineral-minério da ganga. Em uma etapa seguinte, é feita a identificação de propriedades específicas que permitam diferenciar esses minerais, orientando a escolha do método mais adequado para sua separação [4].

Há uma correlação intuitiva entre fragmentação e liberação mineral, ou seja, quanto mais fina a fragmentação, mais liberadas serão as fases minerais. No entanto, há duas razões pelas quais se deve limitar a fragmentação ao grau de liberação estritamente necessário: primeiro, as operações de cominuição geralmente representam uma etapa de alto custo do processamento mineral; segundo, porque quanto mais finas as partículas minerais, piores os resultados da concentração, no geral. O problema que surge em cada caso é definir até que ponto a fragmentação obtém liberação mineral suficiente [5].

Caracterizar a liberação mineral é uma das funções essenciais da mineralogia aplicada ao tratamento de minérios. Ao longo dos anos, esforços significativos têm sido direcionados para o desenvolvimento de ferramentas que atendam a esse propósito, abrangendo tanto a criação e aprimoramento de técnicas de medição quanto o avanço em metodologias de modelagem [6]. As aplicações industriais de dados de liberação foram limitadas anteriormente porque a aquisição de dados de liberação mineral tem sido difícil e cara. Avanços recentes em tecnologia, especialmente em eletrônica e tecnologia de computação, permitiram, nos anos 2000, o desenvolvimento de um analisador de liberação mineral preciso, rápido e fácil de usar (*Mineral Liberation Analyzer – MLA*) [7].

O Sistema Avançado de Identificação e Caracterização de Minerais (em inglês *Advanced Mineral Identification and Characterization System – AMICS*) é um dos pacotes de software mais recente para identificação e quantificação automatizada de minerais e fases sintéticas criado pelos mesmos desenvolvedores do MLA. De forma semelhante ao seu precursor, ele permite que os sistemas de espectrometria

de raios-X (EDS) de energia dispersiva em microscópios eletrônicos de varredura (MEV) operem de forma totalmente automatizada gerando dados de mineralogia, associação e liberação mineral [8].

Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo complementar a caracterização mineralógica de um depósito kamafugítico localizado na região Noroeste de Minas Gerais, com ênfase nos estudos de liberação e associação mineral.

2 Metodologia

A amostra do presente estudo pertence a um depósito kamafugítico da região noroeste de Minas Gerais e foi denominada de kamafugito fresco (KF). A preparação da amostra seguiu a descrição contida no trabalho de Silva et al. [2]. Os ensaios de caracterização e os testes experimentais foram realizados no Centro de Inovação e Tecnologia do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (CIT SENAI).

O estudo de liberação e associações minerais do KF foi conduzido de forma automatizada utilizando um microscópio eletrônico de varredura Hitachi, modelo FlexSEM 1000II, equipado com sistema de detecção por energia dispersiva (EDS) e o *software* AMICS, da Bruker. Para a análise foram preparadas seções polidas com grãos a partir de alíquotas do material britado a 6# (3,36 mm), divididos nas frações granulométricas: -150#+200# (-0,106 mm+0,075 mm), -200#+270# (-0,075 mm+0,053 mm) e -270#+400# (-0,053 mm+0,038 mm). A definição das malhas se baseou no trabalho de Silva et al. [3] que indicou que os minerais de interesse têm granulometria predominantemente mais fina. No decorrer da discussão dos resultados, cada uma dessas frações analisadas foi descrita como +200#, +270# e +400#, respectivamente, para facilitar a compreensão dos resultados.

As imagens de elétrons retroespalhados permitiram a distinção das diferentes fases minerais e da resina epóxi, baseando-se nos tons de cinza que variam conforme o número atômico médio. Cada partícula foi mapeada por raios X via EDS, com os espectros e imagens das partículas sendo armazenados em arquivos específicos.

O processo analítico seguiu as etapas: construção da lista de minerais e calibração do equipamento, execução das análises no modo modal (*Particle Mode - PM*) e tratamento e interpretação dos resultados. Os resultados de análise de liberação mineral (ALM) apresentados compreendem: a) Mineralogia modal; b) Distribuição elementar (elementos representativos); c) Associações das fases minerais principais; d) Liberação mineral, por composição de partícula e por superfície livre, dos minerais de interesse.

3 Resultados e discussão

Os resultados de mineralogia modal podem ser observados na Figura 1. As frações granulométricas analisadas apresentaram uma composição mineralógica

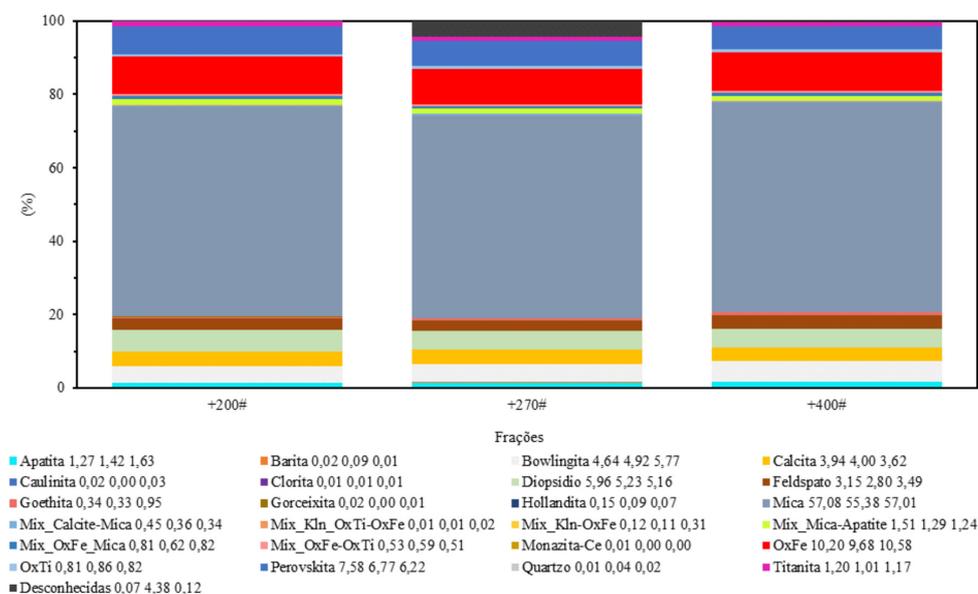


Figura 1. Proporção dos minerais nas frações +200#, +270# e +400# no litotipo KF (% peso).

uniforme, com variações mínimas nas proporções dos minerais identificados. Essa homogeneidade indica uma distribuição consistente, sem evidências de segregação de minerais preferencial entre as diferentes frações. Os óxidos de ferro destacaram-se como os principais componentes, sendo a magnetita o mineral predominante, como confirmado pela análise de DRX [3], seguida pela presença de goethita. Entre os minerais portadores de titânio (Ti), a perovskita foi identificada em quantidades significativas, configurando-se como a principal fase portadora de Ti, também corroborada pelos resultados de DRX [3]. A titanita foi observada em menores proporções, junto a outros óxidos de titânio. No caso dos minerais contendo fósforo (P), a apatita se destacou como o principal portador desse elemento, enquanto a gorceixita, mineral típico de intemperismo de apatita [9], foi encontrada em proporções menos expressivas. Quanto aos minerais contendo potássio (K), a mica foi identificada como a principal fase portadora, apresentando predominância nas três frações analisadas.

Os minerais de ganga foram representados principalmente pelas micas, seguidas por feldspatos e diopsídio, que também se destacaram em menor proporção nas frações avaliadas. A fase mineral classificada como mica, com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados, abrangeu não apenas os minerais pertencentes a esse grupo, mas também outros filossilicatos, incluindo os argilominerais — com destaque para a montmorilonita — identificados por difração de raios X (DRX) no estudo de Silva et al. [3]. O estudo de Ferreira [10] mostra que os argilominerais — como montmorilonita, esmectita e vermiculita — podem representar de 20% a 62% da composição dos kamafugitos da região do Alto Paranaíba. Essas características mineralógicas têm implicações significativas no processo de beneficiamento, pois influenciam diretamente a liberação dos minerais de interesse. Do ponto de vista agrônomo, embora tais

minerais não atuem como fontes diretas de nutrientes, eles desempenham papel relevante ao fornecer superfície específica e carga superficial aos solos agrícolas.

Os principais elementos químicos (Ti, P, Fe e ETRs) presentes nas frações encontram-se distribuídos nas diferentes fases minerais, conforme Figura 2 e Figura 3, respectivamente. Os dados apresentados na Figura 2 mostram que não há mudanças significativas nas fases portadoras de Ti entre as diferentes frações de um mesmo litotipo. Esse elemento é encontrado principalmente na perovskita, com uma presença considerável também em óxidos como anatásio (OxTi), magnetita (OxFe), titanita e intercrescimento fino de OxTi e OxFe. A distribuição dessas fases nas frações granulométricas é relativamente homogênea, apresentando apenas variações sutis em suas proporções. Por outro lado, o P está concentrado predominantemente na apatita, seguido pela mistura de mica com apatita e pela monazita, sendo que a apatita tende a ter maior contribuição nas frações de menor granulometria.

Os resultados apresentados na Figura 3 revelam que as fases portadoras de Fe não apresentam variações significativas entre as diferentes frações de um mesmo litotipo. O Fe está concentrado principalmente na magnetita (OxFe), com uma contribuição relevante também das micas e da goethita. A distribuição dessas fases ao longo das frações granulométricas é bastante consistente, mostrando apenas pequenas oscilações em suas proporções. Já os ETRs (Ce, La e Nd), estão majoritariamente associados à monazita em todas as frações analisadas.

Na Figura 4 são apresentados os resultados da análise de associação mineralógica. Os dados revelam que as associações como superfícies livres, de forma geral entendida como exposição média dos minerais, apresentaram uma distribuição heterogênea, sem evidenciar um padrão definido de aumento ou redução de associação com a diminuição do

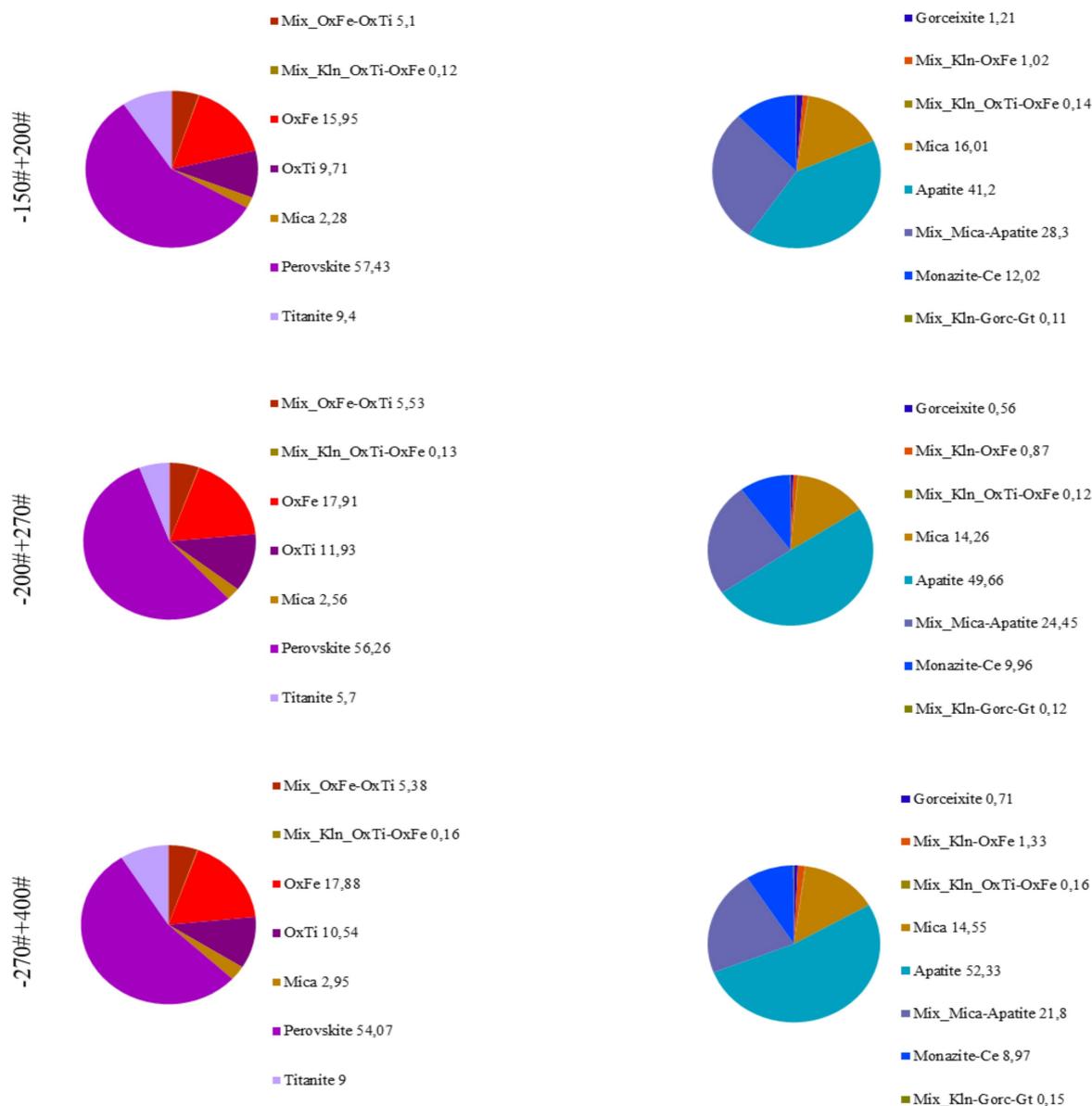


Figura 2. Distribuição do titânio (à esquerda) e do fósforo (à direita) nas frações +200#, +270# e +400# da amostra KF.

tamanho das partículas. A maioria dos minerais demonstrou uma associação expressiva com as micas, com exceção da gorceixita e das frações +200# e +270# relacionadas à monazita.

Para facilitar a interpretação, os diagramas acumulados de liberação mineral por composição de partícula (Figura 5a) e por superfície livre (Figura 5b), das frações analisadas, foram obtidos para o agrupamento dos principais minerais portadores de ferro, fósforo, titânio e ganga, respectivamente. No diagrama por composição de partículas, os minerais de ganga apresentaram a maior liberação, especialmente na fração +400#, que exibiu o nível mais alto de separabilidade em comparação com as demais frações. Os minerais de titânio e ferro, por sua vez, encontram-se localizados na parte intermediária da curva, com comportamentos mais

semelhantes, mas ainda assim, alcançando níveis baixos de liberação. Em contraste, o fósforo apresentou o menor grau de liberação entre os minerais analisados, com a fração +200# sendo a pior para esse elemento, um comportamento similar ao observado para o ferro. Para os resultados de liberação por superfície livre (Figura 5b), os minerais de ganga exibiram elevada liberação em todas as frações avaliadas, com valores bastante similares. Os minerais de ferro e titânio apresentaram níveis intermediários de liberação, com o ferro destacando-se nas frações mais finas e o titânio mostrando maior liberação nas frações mais grossas. O comportamento do fósforo foi análogo ao registrado no diagrama de composição de partícula.

Conforme descrito por Gaudin [11], um mineral é considerado liberado quando mais de 90% de sua superfície

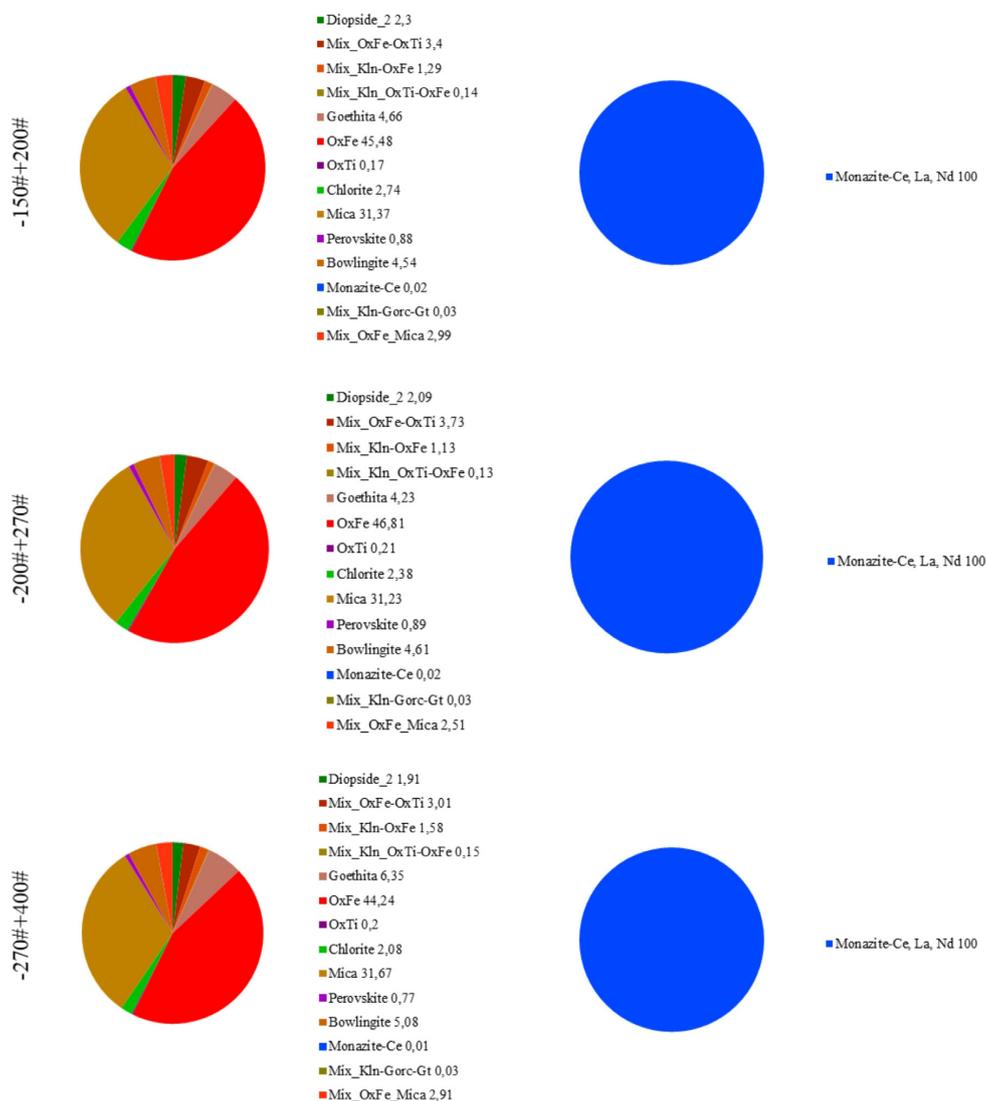


Figura 3. Distribuição do ferro (à esquerda) e do cério, lantânio e neodímio (à direita) nas frações +200#, +270# e +400# da amostra KF.

está exposta em uma determinada faixa granulométrica. Nesse contexto, a baixa proporção de partículas com esta característica indica a necessidade de uma etapa de moagem do KF para melhorar a liberação, especialmente no caso do fósforo, que apresentou a menor taxa entre os elementos avaliados. Por outro lado, a ganga demonstrou uma liberação bastante expressiva, favorecendo sua separação durante o beneficiamento. Com base nos dados, a ganga é o grupo mineral com a melhor liberação, apresentando cerca de 75% dos minerais com liberação superior a 90%. Para os demais minerais, no máximo 50% podem ser considerados liberados.

Os diagramas de porcentagem de grãos com classe de liberação > 90% por composição de partículas (Figura 6a) e por superfície livre (Figura 6b) foram obtidos para as frações +200#, +270# e +400# do KF referente aos grupos dos minerais de ferro, fósforo, titânio e ganga. De maneira geral, observa-se que o aumento do grau de liberação dos minerais está associado à redução da granulometria, comportamento

que é observado para os minerais de ferro, fósforo e ganga. No entanto, os minerais de titânio seguem uma tendência contrária: à medida que a granulometria diminui, a liberação dos minerais contendo titânio também diminui, o que foge ao padrão esperado. Uma possível explicação para esse fenômeno pode estar na maior complexidade do mineral de titânio em comparação com o fósforo, como demonstrado por Silva et al. [3]. Rodrigues [12] explica que as partículas mistas e complexas são formadas por várias fases minerais, com grãos muito menores que a partícula inteira. Durante a cominuição, essas partículas tendem a se fragmentar ainda mais, formando novas partículas mistas. Isso faz com que aumente a quantidade delas nas frações mais finas, o que, por sua vez, reduz o grau de liberação geral.

Os minerais de ferro apresentaram liberação baixa, com variações entre 11,25% e 22,47% nas diferentes frações analisadas, estando mais liberado nas partículas mais finas para o diagrama de porcentagem de grãos liberados da

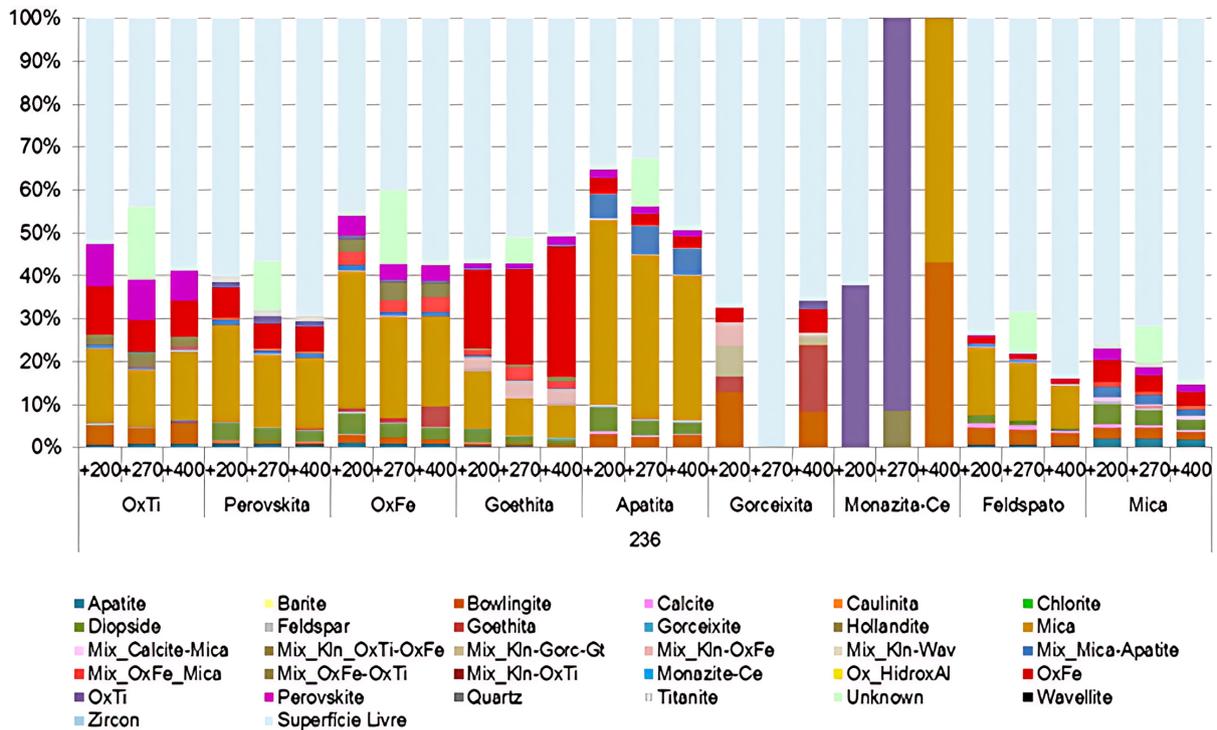


Figura 4. Associação dos minerais em partículas livres (azul claro) e associados a outras fases na amostra KF. OxTi: óxido de titânio. OxFe: óxido de ferro.

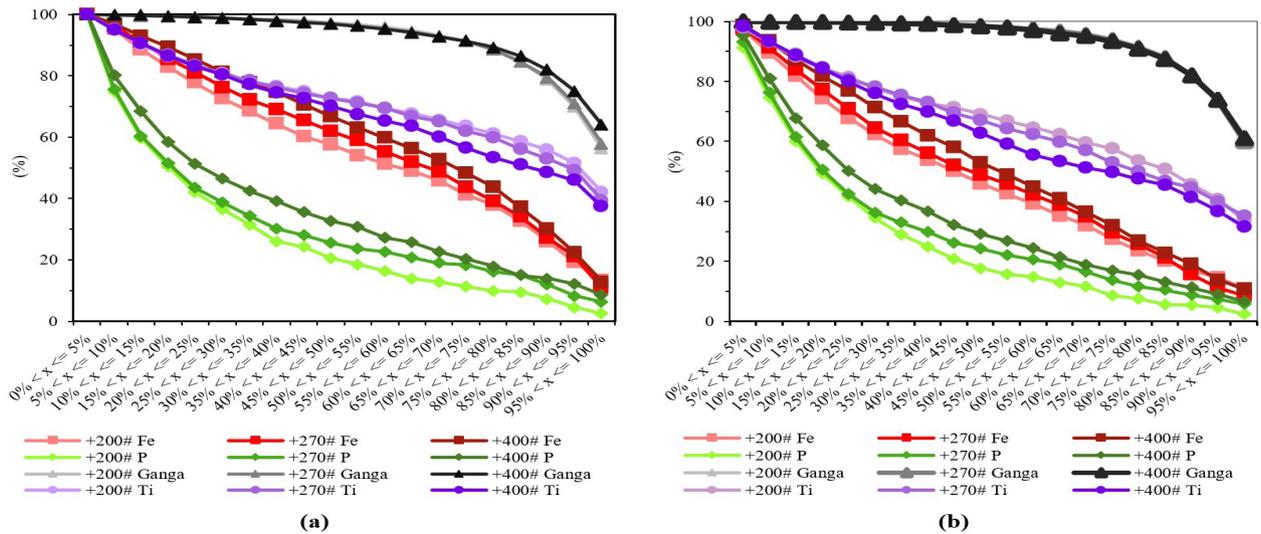


Figura 5. Diagrama acumulado de liberação mineral (a) por composição de partícula e (b) por superfície livre obtido para as frações +200#, +270# e +400# do KF referente aos grupos dos minerais de ferro, fósforo, ganga e titânio.

classe > 90% por composição de partículas. Já o titânio mostrou níveis mais elevados de liberação em comparação ao ferro, alcançando até 51,49%, especialmente nas frações mais grossas. Esses resultados indicam que ambos os minerais ainda não estão completamente liberados, ressaltando a importância da moagem para aumentar a liberação e melhorar a eficiência na etapa de concentração.

O fósforo registrou os menores índices para ambos os tipos de liberação, variando entre 4,52% e 12,11%, evidenciando uma forte ligação com os minerais de ganga e apresentando dificuldades de separação nas frações mais grossas. Esse comportamento reduz a eficiência na recuperação do fósforo, exigindo um processo de cominuição mais intenso para melhorar a liberação das partículas. No entanto, essa

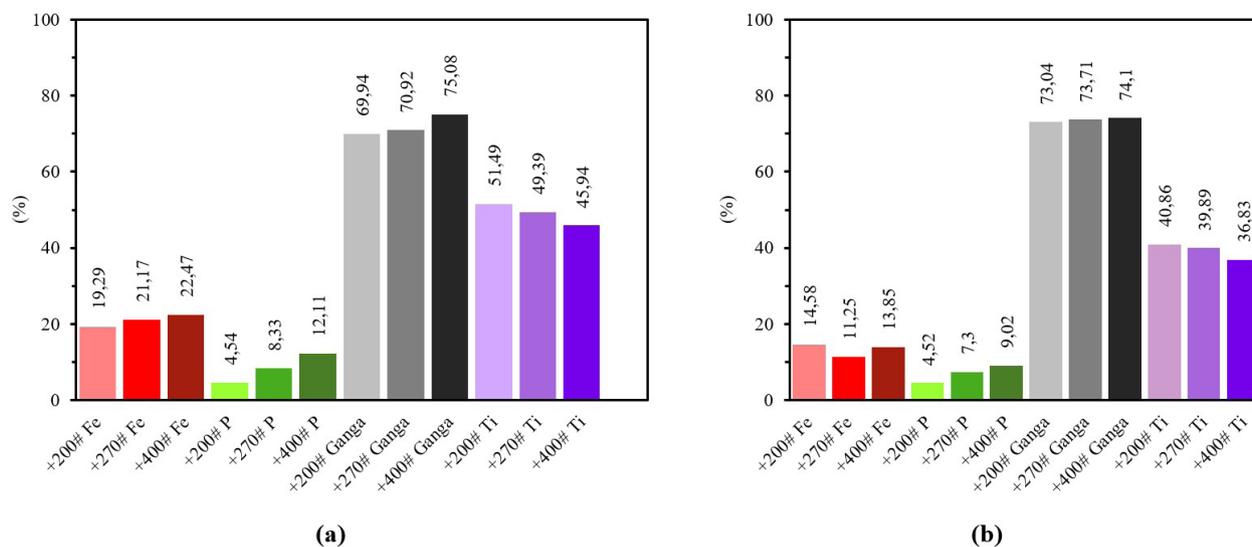


Figura 6. Diagrama de porcentagem de grãos liberados da classe >90% (a) por composição de partícula e (b) por superfície livre para as frações +200#, +270# e +400# do KF referente aos grupos dos minerais de ferro, fósforo, ganga e titânio.

abordagem deve ser equilibrada com os custos e o consumo energético, já que partículas ultrafinas podem comprometer a eficiência das etapas subsequentes de concentração. Assim, embora a apatita atinja bons níveis de liberação em granulometrias muito finas (cerca de 25 μm) [3], o uso de processos integrados de concentração e remoagem pode ser uma solução viável para otimizar a rota de processamento.

Com base nas características identificadas, uma possível rota viável para a concentração dos elementos de interesse envolve a aplicação de separação magnética e flotação, técnicas amplamente empregadas para minerais com propriedades magnéticas e de superfície compatíveis. Para concentrar ferro e titânio, presentes principalmente em magnetita (OxFe) e perovskita, sugere-se iniciar com separação magnética, ideal para partículas entre 150 e 200 micrômetros [13], onde ocorre maior liberação. Nesse intervalo, a liberação de ferro foi de 19,29% por composição de partículas, contra 14,58% por superfície livre. Embora diamagnética, a perovskita pode ser separada devido à associação com OxFe , enquanto a titanita, paramagnética, também pode ser recuperada. Essa etapa inicial remove minerais magnéticos e recupera parte dos minerais de Ti, preparando-os para flotação. Lopes [14] em seu trabalho com um kamafugito da mesma região mostrou que a aplicação de um campo magnético de 7.500 Gauss proporciona uma concentração de anatásio de 19,8%, superior às intensidades de 2.000 e 12.000 Gauss, destacando a eficiência dessa abordagem.

Uma alternativa a ser avaliada seria a introdução de uma etapa de pré-concentração para remover minerais de ganga antes da moagem. No gráfico de superfície livre, a liberação de ganga ultrapassou 70% em todas as frações, exibindo comportamento uniforme. Assim, a flotação reversa de silicatos poderia ser pensada como uma estratégia para

reduzir a massa de material a ser moído e, simultaneamente, aumentar a concentração dos elementos de interesse no rejeito. Entretanto, a alta associação da apatita com os minerais que compõem esta fase poderia vir a comprometer um processo posterior de recuperação de fósforo.

A recuperação do fósforo, presente em minerais como a apatita, pode ser avaliada por meio de flotação, técnica que utiliza as diferenças de propriedades de superfície para concentrar seletivamente a apatita e outros minerais, como a mica rica em potássio. Essa abordagem é ideal para minerais que não respondem bem à separação magnética, mas exige uma etapa de moagem prévia para garantir a liberação adequada do fósforo. No estudo de Ávila Neto et al. [15], testes preliminares de flotação em kamafugito demonstraram um aumento de 7,4 vezes na concentração de P_2O_5 no concentrado, refletindo um avanço significativo. Contudo, a recuperação em massa foi limitada, atingindo apenas 1,22%, evidenciando desafios na eficiência global do processo.

4 Conclusão

O estudo apresenta uma análise complementar da caracterização mineralógica de um kamafugito situado no noroeste de Minas Gerais, destacando ainda mais o potencial econômico desse depósito devido à presença de elementos como fósforo, titânio e ferro. Os principais minerais que concentram esses elementos são a apatita, a perovskita e os óxidos de ferro. A pesquisa revelou uma composição mineralógica complexa, com associações diversificadas entre os minerais, destacando-se a presença de micas — classificação que, para fins de interpretação dos dados, também abrange outros filossilicatos, como os argilominerais, especialmente a montmorilonita. Essa interação é observada em quase

todos os casos, com exceção das ocorrências de gorceixita e monazita. A liberação mineral foi avaliada considerando tanto a composição das partículas quanto a superfície livre, e os resultados mostraram semelhanças entre os dois métodos. Os minerais de ganga apresentaram maior liberação, enquanto os minerais de ferro exibiram liberação baixa, sendo menos eficientes na análise por superfície livre. Minerais de titânio apresentaram melhor liberação em granulometrias mais

grossas, enquanto aqueles contendo fósforo tiveram os índices mais baixos de liberação. Com base nas características identificadas, recomenda-se testar operações unitárias como separação magnética e flotação para a concentração dos minerais de interesse. Entretanto, previamente à utilização de ambas as técnicas, os dados apontam para a necessidade de otimizar o processo de cominuição, visando melhorar a eficiência na etapa de concentração.

Referências

- 1 Ma L, Liu SA, Zhao Z, Yu XH. Recycled carbonates in the mantle sources of natural kamafugites: a zinc isotope perspective. *The American Mineralogist*. 2023;108(5):987-998.
- 2 Silva LA, Rezende CR, Coelho CM, Faria AL, Brandão LW, Pires NJ, et al. Caracterização física e química de um kamafugito do noroeste mineiro. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2025;22:e3140.
- 3 Silva LA, Rezende CR, Teodoro MAM, Perboni VMP, Faria ALP, Brandão LW, et al. Caracterização mineralógica de um kamafugito do noroeste mineiro: microscopia óptica e difração de raios-X. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2025;22:e3191.
- 4 Leite JYP, Soares DR. Importância do estudo da liberação mineral – uma revisão. In: *Simpósio de Geologia do Nordeste*. In: *Anais do 17 Simpósio de Geologia do Nordeste*; 1997; Fortaleza. Fortaleza: SGN; 1997. p. 437-441.
- 5 Ferreira RF, Lima RMF. Mineral liberation evolution after different degrees of comminution on itabirites. In: *Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro*. *Anais do 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro*; 2014; Belo Horizonte. São Paulo: ABM; 2014. p. 569-579.
- 6 Ferreira RF, Lima RMF. Avaliação da abordagem heurística para liberação mineral em itabiritos. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2024;21:1-8.
- 7 Gu Y. Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis – an Introduction to JKMRC/FEI mineral liberation analyser. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*. 2003;2(1):33-41.
- 8 dpUnion [página da internet]. Jabaquara: dpUnion; 2017 [acesso em 6 jan. 2025]. Disponível em: <https://dpunion.com.br/sistema-avancado-de-identificacao-e-caracterizacao-de-minerais-amics/>.
- 9 Ferrari VC, Toledo MCMD, Atencio D. Gorcexite from Catalão, Goiás, Brazil: Rietveld crystal structure refinement. *Geologia USP. Série Científica*. 2007;7(2):25-36.
- 10 Ferreira PJWK. Kamafugito proveniente da região do Alto Paranaíba-MG como remineralizador de solo [tese]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2021.
- 11 Gaudin AM. *Principles of mineral dressing*. New Delhi: Tata McGraw-Hill; 1939.
- 12 Rodrigues MG. Grau de liberação de diferentes tipos de minério de ferro das minas de alegria (Mariana-MG) e sua influência nas etapas de cominuição e concentração [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2016.
- 13 Rodrigues CC, Nogueira FC, Nascimento ALO, Pereira CA. A influência da granulometria na separação magnética de hematita. In: *Anais do XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*; 2019; Belo Horizonte. Belo Horizonte: ENTMME; 2019. p. 1-7.
- 14 Lopes BWM. Avaliação do desempenho de uma rota de beneficiamento para a exploração do titânio proveniente do anatásio [trabalho de conclusão de curso]. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2019.
- 15 Ávila CN No, Henrique HM, Oliveira KD, oliveira MS, Alves JVS, Silva MM. Relatório técnico: ensaios de flotação e caracterização físico-química do kamafugito e dos produtos de flotação. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2017. 25 p.

Recebido em: 12 Mar. 2025

Aceito em: 27 Maio 2025

Editor responsável: André Carlos Silva 