

REVISÃO SISTEMÁTICA: SEPARAÇÃO MAGNÉTICA NO PROCESSAMENTO MINERAL

M. V. A. MENDES¹, G. S. R. SILVA², L. C. GOMES³, L. A. SIQUEIRA⁴, G. G. SILVA⁵, P. E. C. PEREIRA⁶
Universidade Federal de Catalão¹
marcos.vinicius.agapito@gmail.com¹

Submetido 15/05/2019 - Aceito 03/06/2020

DOI: 10.15628/holos.2021.8627

RESUMO

A separação magnética aplicada ao processamento mineral se destaca como ferramenta importante no ramo de mineração. Estudiosos da área têm investido extensos esforços na otimização, correção de erros e descobertas de novas ferramentas e métodos. Englobando-se no contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática para identificar os principais materiais, equipamentos, variáveis operacionais, tipo de matrizes e condições do campo magnético estudados na separação magnética nos últimos anos, além dos

principais periódicos e autores responsáveis pelos estudos, e sua relação com o período de tempo analisado. Os resultados apontam a separação magnética de alta intensidade como predominante nos estudos, se relacionando com os principais materiais, equipamentos e tipos de matrizes analisadas. Além disso, a grande influência chinesa nos estudos ficou evidente. Portanto, este trabalho permitiu avaliar e relacionar os principais assuntos tratados nos estudos de separação magnética publicados nos últimos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Processamento Mineral; Separação Magnética; Revisão sistemática.

SYSTEMATIC REVIEW: MAGNETIC SEPARATION IN MINERAL PROCESSING

ABSTRACT

Magnetic separation applied to mineral processing stands out as an important tool in the mining industry. Researchers in the field have invested extensive efforts in optimizing, correcting errors and discovering new tools and methods. Encompassing the context, the purpose of this paper is to carry out a systematic review to identify the main materials, equipment, operational variables, type of matrices and magnetic field conditions studied in the magnetic separation in recent years, in addition to the main journals and authors responsible for studies,

and their relationship with the analyzed period of time. The results point to the high intensity magnetic separation as predominant in the studies, relating to the main materials, equipment and types of matrices analyzed. In addition, the great Chinese influence in the studies was evident. Therefore, this work made it possible to evaluate and relate the main subjects treated in the magnetic separation studies published in recent years.

KEYWORDS: Mineral Processing; Magnetic Separation; Systematic Review.



1 INTRODUÇÃO

A separação magnética é uma técnica empregada no Processamento Mineral do setor de mineração que visa a separação e/ou concentração de minerais que apresentem diferentes respostas ao campo magnético associadas às espécies mineralógicas individualmente. Considerando o fato de que existem na natureza minerais que são fortemente ou fracamente atraídos por um campo magnético (ferromagnéticos ou paramagnéticos) e que são indiferentes ou repelidos por ele (diamagnéticos) (PERES *et al*, 2007), a susceptibilidade magnética é uma propriedade associada a esses diferentes comportamentos, sendo possível utilizá-la para separar minerais utilizando diferentes intensidades de campo magnético.

O processo de separação magnética explora as diferenças magnéticas existentes entre os minerais valiosos e os de ganga (WILLS & FINCH, 2015). Este processo é amplamente utilizado na mineração, podendo ser realizado à úmido ou a seco. O primeiro tipo é usado, em geral, para granulometrias finas, e o segundo para partículas mais grosseiras (SAMPAIO *et al*, 2018).

O campo magnético é uma região de influência da força magnética exercida por um corpo magnético (ímã natural) ou previamente magnetizado (ímã induzido), podendo ser entendido como linhas que indicam a direção de atração ou repulsão do dipolo deste corpo (CHAVES & CHAVES FILHO, 2013). Para que haja a separação o campo magnético deve possuir um gradiente de força, ou seja, deve ser um campo convergente, afunilando as linhas a um ou mais pontos, nos quais a intensidade magnética é mais alta (WILLS & FINCH, 2015), o que produz nas partículas suscetíveis uma aceleração em direção a este ponto. Com o objetivo de melhorar o gradiente dos campos magnéticos produzidos são utilizadas matrizes em alguns equipamentos de separação magnética (CHAVES & CHAVES FILHO, 2013).

Os equipamentos utilizados na mineração são agrupados quanto ao tipo de alimentação (à seco ou à úmido) e pela intensidade do campo produzido (alta ou baixa). Um dos principais equipamentos para laboratório é o separador magnético Jones a úmido de alta intensidade (*Wet High-Intensity Magnetic Separator – WHIMS*), que contém espiras elípticas percorridas por corrente elétrica, produzindo um campo magnético que é intensificado por um jogo de matrizes posicionada na vertical no interior do equipamento (mesma direção em que a polpa é alimentada) (SAMPAIO *et al*, 2018). O material magnético fica retido nas matrizes enquanto o não magnético passa por elas sendo descarregado na parte inferior do equipamento.

Em escala industrial vários equipamentos estão disponíveis, sendo os principais o separador magnético Jones (ou popularmente conhecido como do tipo carrossel), de correias cruzadas, rolo induzido e de tambor. Semelhante ao anterior, no separador magnético Jones de alta intensidade a úmido (WHIMS), a polpa é carregada na parte superior do equipamento, atingindo uma estrutura em carrossel que contém matrizes e campo magnético (WILLS & FINCH, 2015). O material não magnético segue a trajetória vertical sendo descarregado na calha inferior, enquanto o magnético, retido nas matrizes, rotaciona com o carrossel até uma região onde não há campo, e são descarregados com auxílio de água de lavagem.

Já no separador de correias cruzadas o material é levado por uma correia principal que passa por polos magnéticos capazes de atrair as partículas susceptíveis e direcioná-las para correias



transversais à principal (CHAVES & CHAVES FILHO, 2013). Essas correias variam sua disposição de acordo com a necessidade do processo (SAMPAIO *et al*, 2018). Além disso, ainda podem estar dispostas várias correias transversais a principal com intensidade de campo magnético diferentes, permitindo a remoção dos materiais ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos (WILLS & FINCH, 2015).

No separador de rolo induzido as partículas minerais são alimentadas na parte superior e atingem uma região de campo magnético. Este último é gerado externamente aos rolos por bobinas magnéticas. O campo magnético altera a trajetória das partículas magnéticas e não magnéticas quando chegam ao rolo induzido, causando sua separação (WILLS & FINCH, 2015).

O separador de tambor consiste de um tambor contendo uma região magnética e outra isolada da ação do campo em seu interior. As partículas são alimentadas na parte superior do tambor e rotacionam junto com ele, sendo as magnéticas carreadas por mais tempo e as não magnéticas descarregadas verticalmente, acarretando em sua separação (SAMPAIO *et al*, 2018).

Considerando a diversidade de equipamentos e configurações disponíveis para realização da separação magnética no Processamento Mineral, e a importância da técnica para o setor de mineração, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática para identificar os principais materiais, equipamentos, variáveis operacionais, tipo de matrizes e condições do campo magnético estudados na separação magnética nos últimos anos, além dos principais periódicos e autores responsáveis pelos estudos, e sua relação com o período de tempo analisado.

2 METODOLOGIA

Para realização do estudo de revisão sistemática a base de dados considerada foi o Portal de Periódicos da Capes. Foram utilizados os termos “*magnetic separation*” e “*mineral processing*” como parâmetros de busca, os quais foram definidos através de pesquisas iniciais exploratórias, que buscaram verificar situações que retornassem o maior número de estudos de separação magnética aplicada ao setor de mineração.

A estratégia de busca consistiu em selecionar no Portal de Periódicos da Capes a opção “BUSCAR ASSUNTO” e posteriormente “Busca avançada”. Os termos definidos foram utilizados simultaneamente, combinados pelo operador *booleano* “AND”. O campo de localização dos termos foi limitado ao “Título” e a opção “Contém”. Além disso, a data de publicação foi definida como “Qualquer ano”, o tipo de material como “Artigos”, o idioma fixado em “Inglês”, com data inicial aleatória e data final limitada a 31 de abril de 2018.

O próximo passo consistiu em realizar o download de todos os artigos que estavam disponíveis. Os artigos duplicados foram excluídos com uma simples análise do título. O critério de elegibilidade dos artigos foi definido em estudos de separação magnética que fossem aplicados ao setor de mineração. Logo, com o resultado da busca realizada, avaliou-se título e resumo dos artigos e aqueles que não atendiam ao critério de elegibilidade, foram excluídos.

Dados como ano de publicação, autores, periódico em que foi publicado, material analisado, equipamento utilizado, condição do campo magnético, utilização de matrizes e variáveis analisadas foram extraídos dos artigos remanescentes da etapa de elegibilidade. Está compilação



de dados permitiu a elaboração de gráficos utilizados nas discussões acerca da separação magnética no setor de mineração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A busca no Portal de Periódicos da Capes resultou em 58 artigos, dos quais 2 estavam indisponíveis para download, 9 eram duplicados e 8 não atenderam ao critério de elegibilidade por não se relacionarem a estudos de separação magnética aplicada ao setor de mineração. Portanto, ao final, foram analisados 39 artigos da busca inicial.

A análise dos dados extraídos dos artigos remanescentes desta etapa permitiu constatar que o periódico com maior percentual de publicações na área de Separação Magnética é o *International journal of mineral processing* (Figura 1).

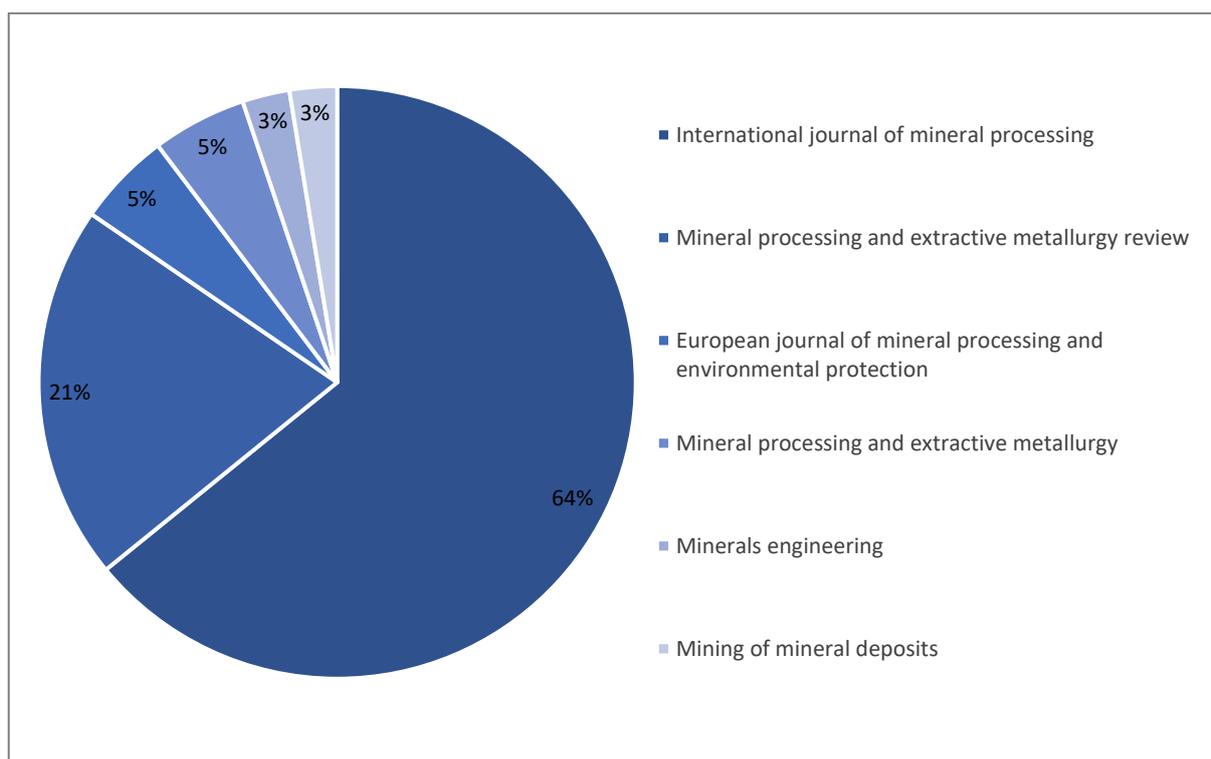


Figura 1 – Percentual de publicações de cada periódico analisado nos dados coletados.

Descontinuado em 2017, devido a fusão com o periódico *Minerals engineering*, o *International journal of mineral processing* era uma publicação voltada as atividades de processamento mineral, possuindo classificação A1 para área Engenharias II, a qual engloba a Engenharia de Minas. A boa classificação deste periódico, bem como sua consolidação na área de separação magnética (publicações desde 1975), explicam a diferença apresentada no número de publicações em relação aos demais, tornando-se o mais indicado para pesquisas voltadas para ao tema.

Os estudos publicados nos periódicos mencionados utilizam a susceptibilidade magnética dos materiais como propriedade diferenciadora que permite a separação em processos variados dentro da indústria de mineração. Identificar quais os materiais estão presentes é fundamental para avaliar a eficiência da utilização da separação magnética. O gráfico da Figura 2 apresenta os

materiais que foram analisados nos estudos selecionados na revisão sistemática, bem como sua frequência de observações.

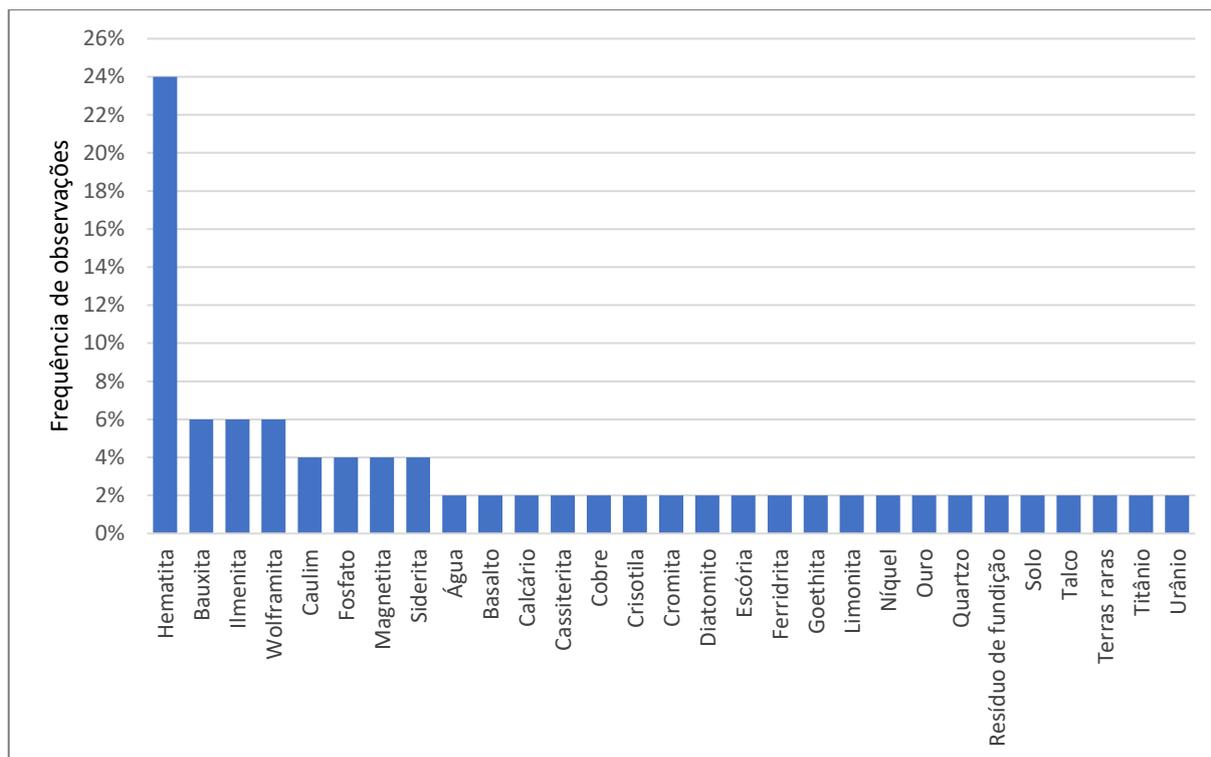


Figura 2 – Materiais analisados nos estudos selecionados na revisão sistemática e sua frequência de observações.

Destaca-se entre os materiais a hematita, mineral que possui o elemento químico Ferro (Fe) em sua composição, o que lhe confere características magnéticas, tornando-se susceptível a atração por um campo magnético e permitindo que a técnica de separação magnética seja aplicada em sua concentração nos processos de mineração.

Este mineral é muito comum em depósitos ferríferos, os quais são extremamente importantes para a sociedade moderna e altamente demandados pela indústria para fabricação de aço. Logo, a separação magnética da hematita permite uma concentração de baixo custo e alta viabilidade, o que torna os estudos sobre o assunto bastante importantes para o setor de mineração.

A eficiência da separação magnética está condicionada a susceptibilidade magnética dos materiais. Nem sempre campos magnéticos de baixa e média intensidade conseguem ser eficientes na concentração. Surge então a necessidade de alcançar altas intensidades de campo magnético, o que é possível com a inserção de matrizes no equipamento utilizado, que tem a finalidade de aumentar o gradiente, produzindo sítios dentro das matrizes com campo de alta intensidade.

Nos estudos analisados nesta revisão sistemática 44% utilizaram matrizes. A Figura 3 apresenta um gráfico dos principais tipos de matrizes utilizadas nos estudos.

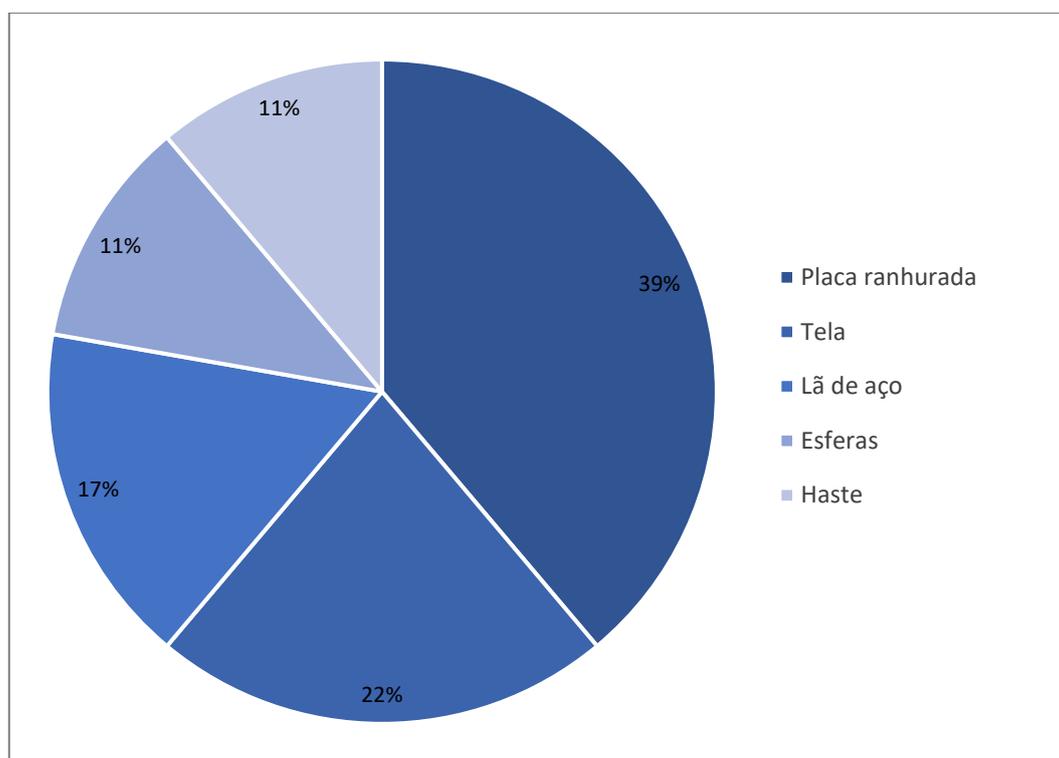


Figura 3 – Tipos de matrizes e percentual dos estudos que as utilizaram.

A placa ranhurada e a tela são as matrizes mais utilizadas nos equipamentos de separação magnética dos estudos analisados. Este tipo de matriz é bastante utilizada em separadores magnéticos úmidos de alta intensidade (*Wet high-intensity magnetic separator – WHIMS*) tipo Jones. Certamente a predominância de utilização deste tipo de matriz relaciona-se ao fato do separador magnético Jones ser o equipamento mais utilizados nos estudos, como fica evidente no gráfico da Figura 4.

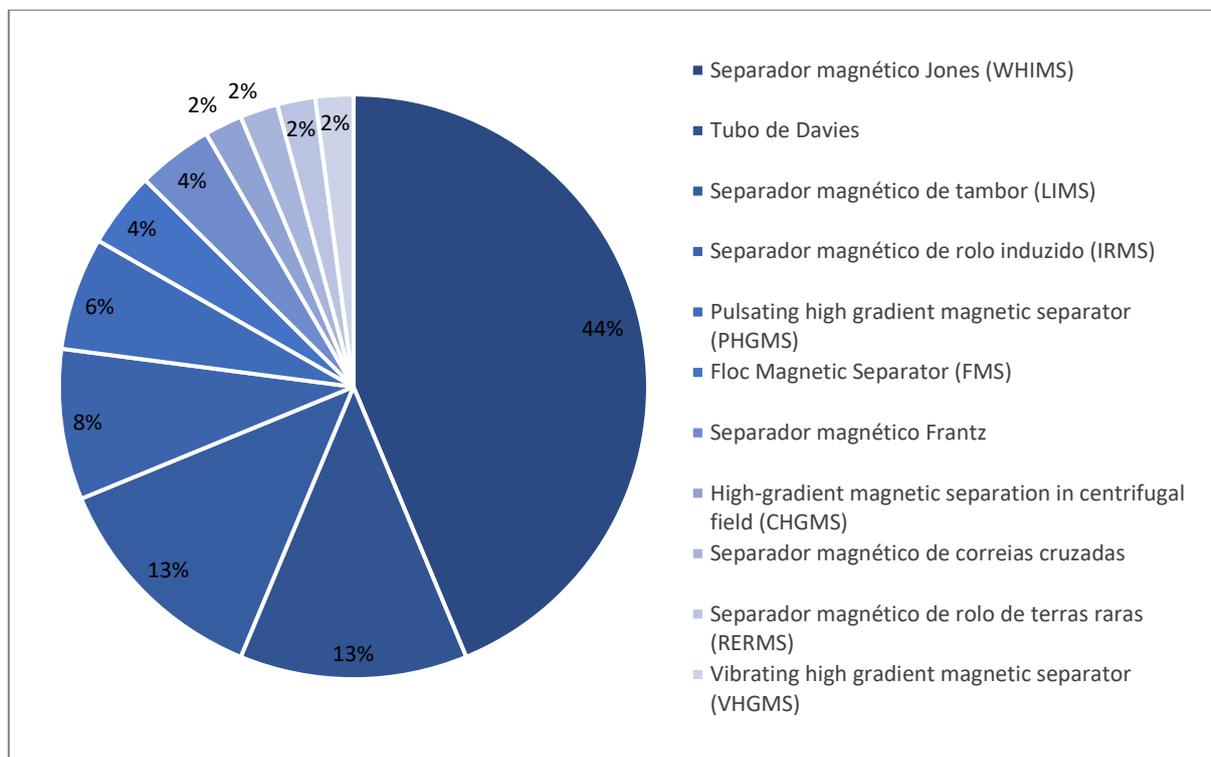


Figura 4 – Tipos de equipamento e percentual dos estudos que os utilizaram.

Talvez o equipamento de separação magnética úmida de alta intensidade (WHIMS) mais conhecido seja o separador Jones, tanto para circuito contínuo industrial – popularmente conhecimento como separador magnético tipo carrossel – como para laboratório. O maior uso deste tipo de equipamento acontece na concentração de minérios de ferro de baixo teor contendo hematita (WILLS & FINCH, 2015). Logo, há uma relação entre material, tipo de matriz e equipamento mais analisados e utilizados nos estudos selecionados nesta revisão sistemática.

O princípio de design do separador magnético Jones é utilizado em muitos outros tipos de separador úmido de alta intensidade usado atualmente, frequentemente substituindo os métodos de flotação na concentração de minérios de ferro (WILLS & FINCH, 2015).

Além do separador magnético Jones há utilização de outros equipamentos (Figura 4) nos estudos selecionados pela revisão sistemática. Uma análise dos ensaios realizados permitiu definir que os equipamentos utilizados são em sua maioria laboratoriais, representando aproximadamente 90% dos estudos.

Considerando o separador magnético de alto intensidade Jones, sua operação está pautada no controle das seguintes variáveis: intensidade do campo magnético, velocidade de rotação do carrossel, taxa de alimentação, pressão e volume da água de lavagem e tipo de material da matriz. O gráfico da Figura 5 apresenta um apanhado das principais variáveis analisadas nos estudos selecionados pela revisão sistemática.

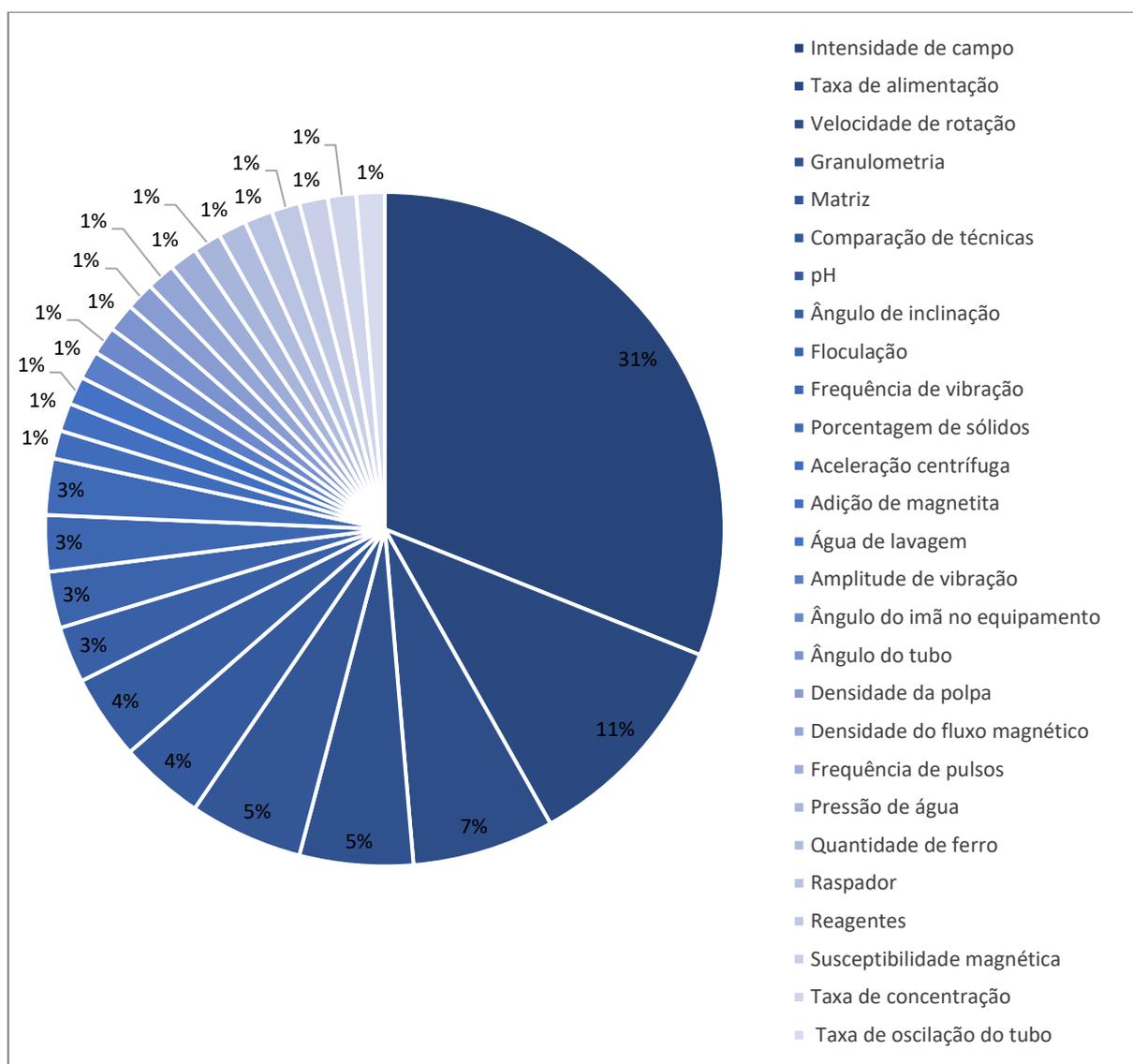


Figura 5 – Principais variáveis analisadas nos estudos selecionados pela revisão sistemática.

A intensidade do campo magnético e a taxa de alimentação foram as variáveis mais analisadas. Estas duas também são importantes para o processo de separação magnética realizado no separador Jones, que é o equipamento mais utilizado. Entretanto, também têm impacto significativo na operação dos demais equipamentos, acarretando mudanças importantes na recuperação e eficiência do processo. As demais variáveis não deixam de influenciar nos resultados, no entanto, a otimização é concentrada em regiões que têm maior peso no rendimento final dos equipamentos.

Um levantamento das condições do campo magnético utilizado nos estudos também foi realizado, sendo apresentado na Figura 6.



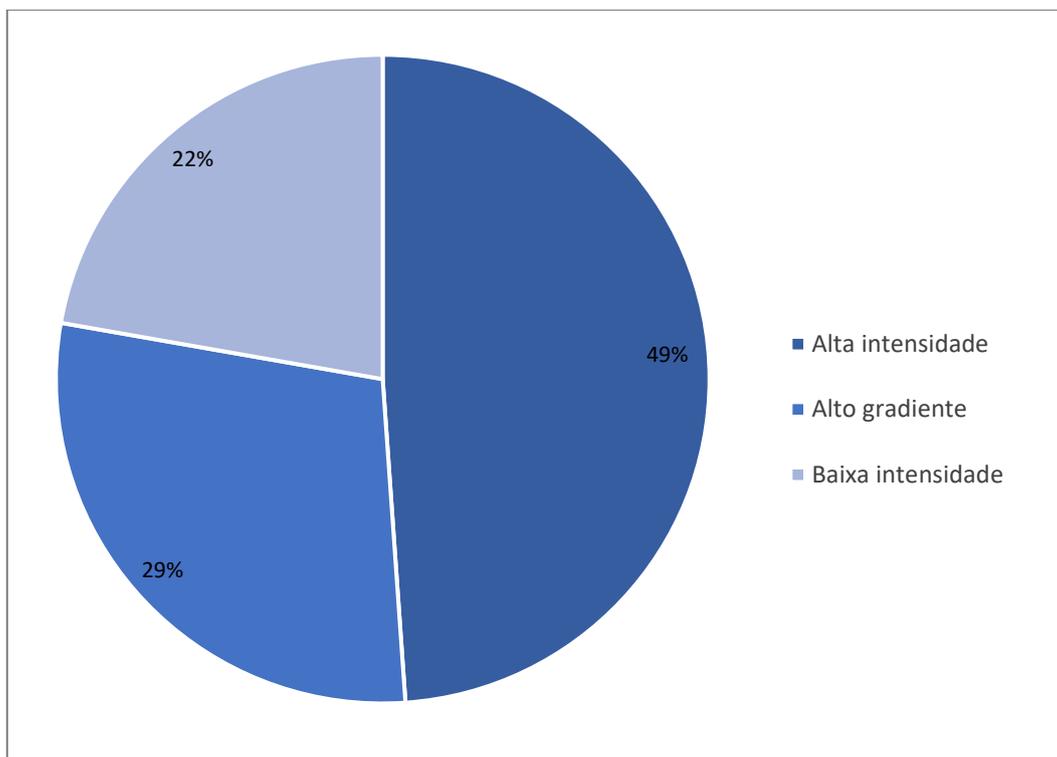


Figura 6 – Condição dos campos magnéticos empregados nos estudos selecionados pela revisão sistemática.

Considerando o fato de que a variável operacional mais analisada e o material mais comum nos estudos selecionados são, respectivamente, intensidade do campo magnético e hematita, e sabendo que este mineral é considerado paramagnético (moderada a baixa atração pelo campo) com relação a sua susceptibilidade magnética, é de se esperar que a maioria dos estudos optem pela separação magnética em altas intensidades, permitindo a concentração. Também é interessante este ponto de vista quando avalia-se o equipamento mais utilizado, que é o separador Jones, um equipamento de separação magnética de alta intensidade a úmido (WHIMS).

Com relação aos estudos de separação magnética, o gráfico da Figura 7 apresenta o número de observações e frequência percentual em períodos estabelecidos conforme o ano da primeira e última publicação selecionada pela revisão sistemática.

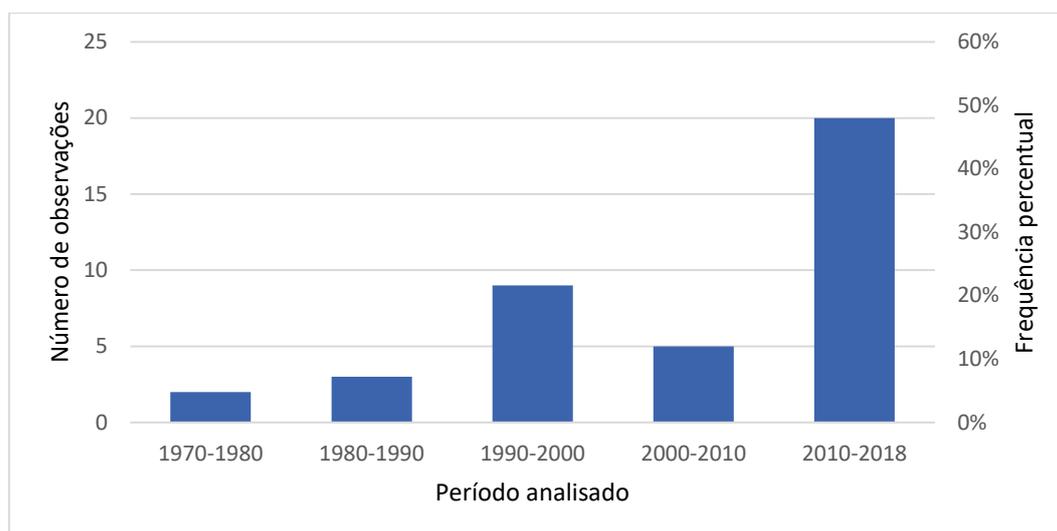


Figura 7 – Número de observações e frequência percentual de estudos ao longo de períodos pré-estabelecidos.

É possível notar que estudos de separação magnética relacionados ao setor de mineração tiveram um aumento considerável no período de 2010 a 2018 se comparado a décadas anteriores. Há duas situações que podem contribuir para este fato. A primeira relaciona-se ao avanço tecnológico e a globalização de serviços e informações alcançado nos últimos anos pela sociedade. Este contexto permite que novas tecnologias surjam na separação magnética do setor de mineração e o acesso a informação influenciada pela globalização facilita a realização de estudos e sua publicação no meio acadêmico.

A outra situação relaciona-se também a globalização e avanço tecnológico que levam a indústria a demandar uma quantidade maior de insumos, dentre eles o aço, material relacionado a exploração de depósitos de minério de ferro contendo hematita. Deste modo, o desenvolvimento de estudos para viabilização de novas tecnologias e otimização dos processos de separação magnética tornam-se comuns.

A China foi um país que se desenvolveu muito nos últimos anos. Atualmente está entre as maiores potências econômicas do mundo. Todo este desenvolvimento está relacionado ao fortalecimento da educação, da indústria, infraestrutura e desenvolvimento de tecnologia de ponta. Um dos insumos fundamentais para o fortalecimento da indústria e seu desenvolvimento é o aço, o que impulsiona a exploração de depósitos de minério de ferro.

Este contexto pelo qual a China passa reflete-se nesta revisão sistemática. Dentre todos os estudos selecionados, 24% são de autores chineses. Quando se considera os 20 estudos publicados no período de 2010 a 2018, os cientistas chineses contribuíram com 50% deles. Isto não significa que outros países não estejam desenvolvendo tecnologia e estudando este assunto para otimizar seus processos de mineração, mas os chineses têm um interesse muito grande nesta técnica, principalmente por estar relacionada a obtenção do aço, um dos principais insumos para o desenvolvimento de sua indústria nacional.

Ao analisar os autores que realizaram publicações relacionadas a separação magnética no setor de mineração nos últimos anos, Luzheng Chen se destaca com quatro publicações, focando seus estudos principalmente na separação magnética de alto gradiente. Este autor é professor e

pesquisador da Universidade de Ciência e Tecnologia de Kunming, na China, o que reforça novamente o interesse dos chineses na separação magnética no setor de mineração.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu identificar os principais materiais, equipamentos, variáveis operacionais, tipo de matrizes e condições do campo magnético estudados na separação magnética nos últimos anos. Também foi possível estabelecer uma correlação entre os autores, sua nacionalidade e o período de tempo analisado, o que deixou claro a forte influência que os chineses possuem no desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas a separação magnética no período de 2010 a 2018. Por fim, ficou claro que a maioria dos estudos se relacionam com equipamentos, materiais, matrizes e campos magnéticos de alta intensidade, principalmente relacionados a depósitos de minério de ferro contendo hematita. Considerando a tendência atual de exaurimento das principais reservas de minério de ferro no mundo e a exploração de depósitos minerais cada vez mais profundos e com teor baixo, a separação magnética certamente será um campo vasto para estudos futuros que busquem o desenvolvimento de novas tecnologias e otimização de processos existentes para redução de custos.

5 REFERÊNCIAS

- Bartnik, J. A.; Zabel, W. H.; & Hopstock, D. M. (1975). On the production of iron ore superconcentrates by high-intensity wet magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 2(2), p. 117–126.
- Bhagat, R. P. et al. (2001). Beneficiation tests on an Indian bauxite incorporating magnetic separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy: Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy*, Section C, 110(3), p. C165–C168.
- Bhagat, R. P.; & Pathak, P. N. (1996). The effect of polymeric dispersant on magnetic separation of tungsten ore slimes. *International Journal of Mineral Processing*, 47(3), p. 213–217.
- Blazy, P.; & Jdid, E. (1997). Removal of ferrous dolomite by magnetic separation from the Egyptian Abu Tartur phosphate ore. *International Journal of Mineral Processing*, 49(1), p. 49–58.
- Bolsaitis, P. et al. (1981). Beneficiation of ferruginous bauxites by high-gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 8(3), p. 249–263.
- Bruckarda, W. J. et al. (2005). Water leaching and magnetic separation for decreasing the chloride level and upgrading the zinc content of EAF steelmaking baghouse dusts. *International Journal of Mineral Processing*, 75(1), p. 1–20.
- Chaves, A. P.; & Chaves Filho, R. C. (2013). Separação magnética. In Chaves, A. P.; & Chaves Filho, R. C. *Teoria e prática do tratamento de minérios: Separação densitária*. (vol. 6). São Paulo: Oficina de Textos.



- Chen, L. et al. (2012). Vibrating high gradient magnetic separation for purification of iron impurities under dry condition. *International Journal of Mineral Processing*, 102–103, p. 136–140.
- Chen, L. et al. (2013). A Novel Process for Titanium Sand by Magnetic Separation and Gravity Concentration. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 34, p. 139–150.
- Chen, L. et al. (2013). High-Gradient Magnetic Separation of Ultrafine Particles with Rod Matrix. *Mineral Processing & Extractive Metallurgy Review*, 34(5), p. 340–347.
- Chun, T.; Zhu, D.; & Pan, J. (2015). Simultaneously roasting and magnetic separation to treat low grade siderite and hematite ores. *Mineral processing and extractive metallurgy review*, 36, p. 223-226.
- Drzymala, J.; & Luczczykiewicz, A. (1985). Microlaboratory study on magnetic, gravity and high-tension separation of hercynite and pleonaste from low-grade ilmenite concentrates. *International journal of mineral processing*, 14, p. 233-238.
- Jordens, A. et al. (2014). Processing a rare earth mineral deposit using gravity and magnetic separation. *Minerals engineering*, 62, p. 9–18.
- Karapinar, N. (2003). Magnetic separation of ferrihydrite from wastewater by magnetic seeding and high-gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 71(1), p. 45–54.
- Karapinar, N. (2003). Magnetic separation: an alternative method to the treatment of wastewater. *European journal of mineral processing and environmental protection*, 3(2), p. 215-223.
- Ma, B. et al. (2017). Pilot-scale plant study on solid-state metalized reduction-magnetic separation for magnesium-rich nickel oxide ores. *International journal of mineral processing*, 169, p. 99-105.
- Malanchuk, Y. et al. (2016). The results of magnetic separation use in ore processing of metalliferous raw basalt of volyn region. *Mining of mineral deposits*, 10, p. 77-83.
- Maurya, C. B.; & Dixit, S. G. (1990). Effect of pH on the high-gradient magnetic separation of kaolin clays. *International Journal of Mineral Processing*, 28(3), p. 199–207.
- Menad, N.; Kanari, N.; & Save, M. (2014). Recovery of high grade iron compounds from LD slag by enhanced magnetic separation techniques. *International Journal of Mineral Processing*, 126, p. 1–9.
- Meng, Q.; Feng, Q.; & Ou, L. (2017). Recovery enhancement of ultrafine wolframite through hydrophobic flocs magnetic separation. *Mineral processing and extractive metallurgy review*, 38(5), p. 298-303.
- Peres, A. E. C.; Salum, M. J. G.; Valadão, G. E. S.; & Araujo, A. C. (2007). Métodos de concentração. In: Valadão, G. E. S.; & Araujo, A. C. *Introdução ao tratamento de minérios*. Belo Horizonte: Editora UFMG.



- Piga, L.; & Marruzzo, G. (1992) Preconcentration of an Italian talc by magnetic separation and attrition. *International Journal of Mineral Processing*, 35(3), p. 291–297.
- Read., A. D.; Whitehead., A.; & Grainger-Allen, T. J. N. (1976). Pre-treatment of feed for dry magnetic separation of fine materials. *International journal of mineral processing*, 3, p. 343-355.
- Rikers, R.; Rem, P.; & Dalmijn, W. (1998). Improved method for prediction of heavy metal recoveries from soil using high intensity magnetic separation (HIMS). *International Journal of Mineral Processing*, 54(3), p. 165–182.
- Roy, S. (2012). Recovery Improvement of Fine Magnetic Particles by Floc Magnetic Separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 33(3), p. 170–179.
- Sampaio, J. A.; Luz, A. B.; França, S. C. A.; & Gonzaga, L. M. (2018). Separação magnética e eletrostática. In: Luz, A. B.; França, S. C. A.; & Braga, P. F. A. *Tratamento de minérios*. (6a ed.) Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC.
- Shaikh, A. M. H.; & Dixit, S. G. (1993). Beneficiation of phosphate ores using high gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 37(1), p. 149–162.
- Silva, J. P. M.; Peres, A. E. C.; & Isaac, A. C. (2018). Process route for low grade itabirites concentration: magnetic separation preceding flotation. *Mineral processing and extractive metallurgy review*, 39, p. 68-72.
- Stamboliadis, E. T.; & Kailis, G. (2004). Removal of limestone from bauxite by magnetic separation. *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, 4(2), p. 84–90.
- Stener, J. F. et al. (2016). Internal flow measurements in pilot scale wet low-intensity magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 155, p. 55–63.
- Suthers, S. P. et al. (2014). Experimental study on the beneficiation of low-grade iron ore fines using hydrocyclone desliming, reduction roasting and magnetic separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy: Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, Section C*, 123(4), p. 212–227.
- Svoboda, J.; Corrans, I. J.; & Spitze, M. H. E. (1986). The effect of pH on the recovery of uranium and gold by high-gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 17(1), p. 83–98.
- Tripathy, S. K. et al. (2016). Processing of Ferruginous Chromite Ore by Dry High-Intensity Magnetic Separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, (37)3, p. 196–210.
- Tripathy, S. K. et al. (2017). Influence of process parameters of dry high intensity magnetic separators on separation of hematite. *International Journal of Mineral Processing*, 160, p. 16–31.



- Veetil, S. P. et al. (2015). Magnetic separation of serpentinite mining residue as a precursor to mineral carbonation. *International Journal of Mineral Processing*, 140, p. 19–25.
- Videnov, N. et al. (1993). Beneficiation of diatomites by high gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 39(3), p. 291–298.
- Wang, Y.; Forssberg, E.; & Pugh, R. J. (1992). The influence of pH on the high gradient magnetic separation of < 10 µm particles of hematite and quartz. *International Journal of Mineral Processing*, 36(1), p. 93–105.
- Wills, B. A.; & Finch, J. (2015). Magnetic and electrical separation. In Wills, B. A.; & Finch, J. *Will's mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. Butterworth-Heinemann.
- Xiong, D.; Liu, S.; & Chen, J. (1998). New technology of pulsating high gradient magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 54(2), p. 111–127.
- Yang, C. et al. (2018). Application of superconducting high gradient magnetic separation technology on silica extraction from iron ore beneficiation tailings. *Mineral processing and extractive metallurgy review*, 39(1), p. 44-49.
- Yu, J. et al. (2017). Beneficiation of an iron ore fines by magnetization roasting and magnetic separation. *International journal of mineral processing*, 168, p. 102-108.
- Zeng, J. et al. (2017). Centrifugal high gradient magnetic separation of fine ilmenite. *International Journal of Mineral Processing*, 168, p. 48–54.
- Zhu, D. Q. et al. (2012). Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, 106–109, p. 1–7.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Mendes, M. V. A., Silva, G. S. R., Gomes, L. C., Siqueira, L. A., Silva, G. G., Pereira, P. E. C. (2021). Revisão sistemática: separação magnética no processamento mineral. *Holos*. 37(4), 1-15.

SOBRE OS AUTORES

M. V. A. MENDES

Engenheiro de Minas e Mestre em Gestão Organizacional pela Universidade Federal de Goiás (UFG); Professor do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão (UFCAT). E-mail: marcos.vinicius.agapito@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3713-9535>

G. S. R. SILVA

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal de Goiás (UFG). E-mail: guilherme.sousa00@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6526-3624>



L. C. GOMES

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e Especialista em Engenharia Geotécnica (Faculdade ÚNICA). E-mail: lucas.ch.gomes@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-5541>

L. A. SIQUEIRA

Discente do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão (UFCAT). E-mail: lucasasiqueira@hotmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0982-7007>

G. G. SILVA

Engenheiro de Minas, Especialização em Lavra e Geotecnia de Minas e Mestre em Modelagem e Otimização pela Universidade Federal de Goiás (UFG); Discente do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UnB); Professor do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão (UFCAT). E-mail: gabriel_gomess@hotmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2159-7590>

P. E. C. PEREIRA

Engenheiro de Minas e Mestre em Modelagem e Otimização pela Universidade Federal de Goiás (UFG); Professor do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão (UFCAT). E-mail: paulo_elias_carneiro@ufg.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6068-4692>

Editor(a) Responsável: Elenice Schons Silva

Pareceristas *Ad Hoc*: Eliseu Correia e Franciulli Araújo

