



DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO DE PARTÍCULAS MINERAIS ATRAVÉS DE *SOFTWARES* DE ANÁLISE DE IMAGENS

BRAGA, A.M.¹, FIDELIS, R.J.A.², FIGUEIREDO, T.D.³, LEITE, T.M. G.⁴, MAGALHAES, D.G.⁵.

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Departamento de Minas e Construção Civil. E-mail: andremagalhaesbraga@gmail.com.

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (POSMAT). E-mail: andraderayanne@hotmail.com.

³Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (PPGEM). E-mail: thiagoduarte1926@gmail.com.

⁴Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (PPGEM). E-mail: tiago.mozart_@hotmail.com.

⁵Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Departamento de Metalurgia e Química. E-mail: douglasmagalhaes@gmail.com.

RESUMO

O grau de liberação das partículas minerais é de grande importância nas operações de tratamento de minérios. A interpretação incorreta deste parâmetro afeta diretamente na eficiência das etapas de beneficiamento mineral, podendo até mesmo inviabilizar projetos. Atualmente, o método de determinação do grau de liberação mais usual é o chamado método de *Gaudin*, cuja representatividade dos resultados depende intensamente da boa prática e interpretação do operador. Esse trabalho objetiva a implantação de um *software* de análise de imagens para a determinação do grau de liberdade de minerais, reduzindo a participação humana no processo e conferindo maior certeza aos resultados. Para isso, foi determinado o grau de liberação de amostras de minério de ferro do município de Guanhães/MG através do método de *Gaudin* e da utilização do *software* desenvolvido para este estudo. Os respectivos resultados foram comparados, comprovando a eficácia do programa computacional, concluindo que as análises de grau de liberação podem ser realizadas através da computação, com maior velocidade, precisão e acurácia.

PALAVRAS-CHAVE: Grau de liberação, Análise computacional, Minério de ferro.

ABSTRACT

The degree of release of the mineral particles is of great importance in ore treatment operations. The incorrect interpretation of this parameter directly affects the efficiency of the mineral processing stages, and may even render projects unviable. Currently, the most usual method of determining the degree of release is the so-called Gaudin method, whose representativeness of the results depends heavily on the good practice and interpretation of the operator. This work aims to implement an image analysis software to determine the degree of freedom of minerals, reducing human participation in the process and giving greater certainty to the results. For this, the degree of release of iron ore samples from the municipality of Guanhães/MG was determined using the Gaudin method and the software developed for this study. The respective results were compared, proving the effectiveness of the computational program, concluding that, release-rate analyzes could be performed through computation, with greater speed, accuracy and accuracy.

KEYWORDS: Release degree, Computational Analysis, Iron ore.

1. INTRODUÇÃO

As operações de concentração mineral têm como objetivo principal a separação do elemento de interesse, denominado mineral-minério dos minerais de ganga, visando a obtenção de produtos a serem utilizados industrialmente. Para que tal separação ocorra, é necessário que existam diferenças físicas ou físico-químicas entre as espécies minerais, e, ainda, que os minerais de interesse estejam fisicamente desagregados aos que não possuem interesse econômico (FERREIRA, 2013).

Em determinados depósitos minerais, o minério encontra-se naturalmente liberado, dispensando etapas de fragmentação. Entretanto, na maioria das situações, os minerais de interesse se encontram consolidados, demandando etapas de cominuição para aumentar o grau de liberação mineral. Consoante a Delbem (2010), a liberação das partículas minerais é proporcional à fragmentação, ou seja, quanto mais fragmentado o minério, maior é o seu grau de liberação. Todavia, devido ao elevado custo operacional, e ao insatisfatório desempenho das partículas ultrafinas nas operações de concentração, a fragmentação dos minerais deve se limitar ao necessário para a viabilidade operacional.

Segundo Rodrigues (2016), dentre a variedade de métodos de determinação do grau de liberação, o mais empregado no setor mineral é o chamado método de *Gaudin* (1939). Este método define como grau de liberdade a porcentagem de determinada espécie mineral que ocorre como partícula livre em relação ao total de partículas de uma amostra, podendo ser utilizado para diferentes minerais, carecendo apenas que o mineral a ser analisado apresente diferença visual para os demais minerais. Contudo, uma das principais desvantagens do método de *Gaudin* é a alta dependência do operador, uma vez que um resultado com maior precisão é decorrente da boa prática e interpretação do mesmo.

Levando em consideração essa dependência do operador, a utilização de análises computacionais de imagens se justifica cada vez mais no estudo de liberação mineral (FERREIRA, 2013). Algumas técnicas já são difundidas como a microscopia eletrônica e análise óptica de imagem, ambas com limitações importantes, seja referente a representatividade ou a reprodutibilidade de resultados (DONSKOI et al., 2014).

Delbem et al. (2015) propõe um sistema de análise digital capaz de caracterizar e determinar o grau de liberação de diferentes tipos de amostras minerais de forma semi-automática, buscando aumentar a precisão do procedimento com a redução da influência humana nos resultados. Baseando-se em estudos e metodologias como os já citados, este artigo propõe a criação de um programa de análise de imagem que, em conjunto com *softwares* matemáticos, permite a obtenção de resultados quantitativos em tempo real, acerca do grau de liberação de minérios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo, foram utilizadas duas amostras de minério de ferro, disponibilizadas por uma mineradora situada no município de Guanhães - MG. A primeira (Am1) é proveniente da frente de lavra na região norte da mina e a segunda (Am2) é oriunda da pilha de homogeneização.

As amostras foram homogeneizadas utilizando a técnica de homogeneização em lona e quarteadas em quarteador tipo Jones. Depois da preparação, as mesmas foram

submetidas às etapas de lavagem e separação granulométrica por peneiramento. Na sequência, determinou-se o grau de liberação das partículas em diferentes faixas de tamanho, empregando para isso o método convencional definido por *Gaudin* e o método computacional por auxílio de um *software*. A Figura 1 sumariza a metodologia utilizada neste trabalho, mostrando os procedimentos desta etapa.

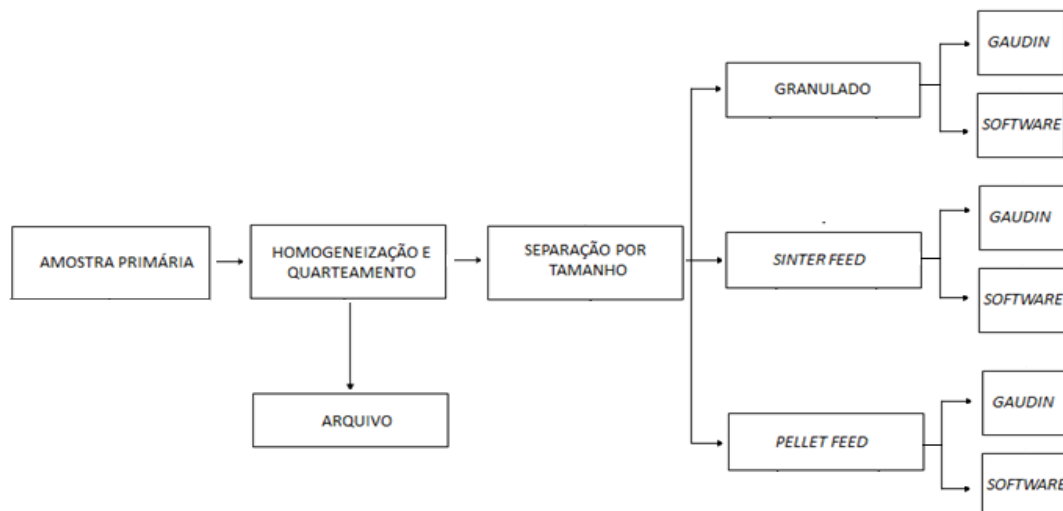


Figura 1. Fluxograma da metodologia.

2.1. Separação por tamanho por peneiramento

Essa etapa foi realizada com intuito de separar o material em três faixas granulométricas correspondentes aos produtos do minério de ferro, *pellet feed* (< 0,150 mm), *sinter feed* (0,150 mm a 6,3 mm) e granulado (6,3 mm a 37,1 mm). O processo foi realizado a úmido e com a utilização de um peneirador suspenso CDC, modelo PV-08. A Figura 2 representa as três faixas granulométricas amostradas.

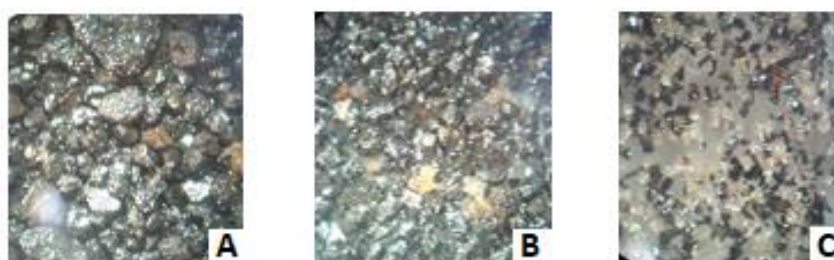


Figura 2 - Minério granulado (A) - *sinter feed* (B) - *pellet feed* (C).

2.2. Determinação do grau de liberação pelo método convencional (*Gaudin*)

O grau de liberação das amostras analisadas foi determinado através do método de *Gaudin*. Este método consiste na contagem de grãos minerais de uma amostra em uma determinada faixa granulométrica, avaliando a liberação de cada partícula e classificando-as de acordo com a proporção do mineral de interesse no grão. Cada partícula apresenta um índice de liberação proporcional à porcentagem do grão ocupada pelo mineral de interesse, no caso analisado, a hematita.

Para o presente estudo, foram analisadas, uma a uma, com o auxílio de um microscópio estereoscópio, 800 partículas para cada uma das faixas granulométricas resultantes do peneiramento, como exibido na Figura 3. As partículas foram classificadas unitariamente obedecendo a intervalos distintos quanto à liberação, sendo eles: (0-25%], (25%-50%], (50-75%], (75-100%).



Figura 3 - Análise de liberação pelo método convencional.

As partículas definidas nos intervalos (0-25%] e (75-100%) foram consideradas livres, enquanto as restantes se definiram partículas mistas. Desta forma a Equação 1 pôde ser aplicada a partir da formulação proposta por *Gaudin* (1939), fornecendo o grau de liberdade das amostras:

$$GL = \frac{\sum P_l}{\sum P_l + \sum P_m} * 100 \quad (1)$$

Onde:

GL= Grau de liberação;

P_l= Número de partículas consideradas livres;

P_m= Número de partículas classificadas como mistas.

2.3. Determinação do grau de liberação pelo método computacional

A determinação do grau de liberação das partículas pelo método computacional foi realizada por meio de fotografias capturadas por uma câmera de alta resolução e análise através de *software* de autoria própria. O *software* desenvolvido tem como função determinar o índice de liberação das partículas através de um algoritmo de diferenciação de cores.

A Figura 4 exemplifica o funcionamento do programa computacional de análise de grau de liberação, que consiste na captura das imagens das partículas (A), seguida pela binarização das mesmas para escala de cinza (B). Desta forma, através da diferenciação de tonalidades (C), o programa é capaz de delimitar as fronteiras das partículas e consequentemente a área das mesmas pelo método *Watershed* (D).

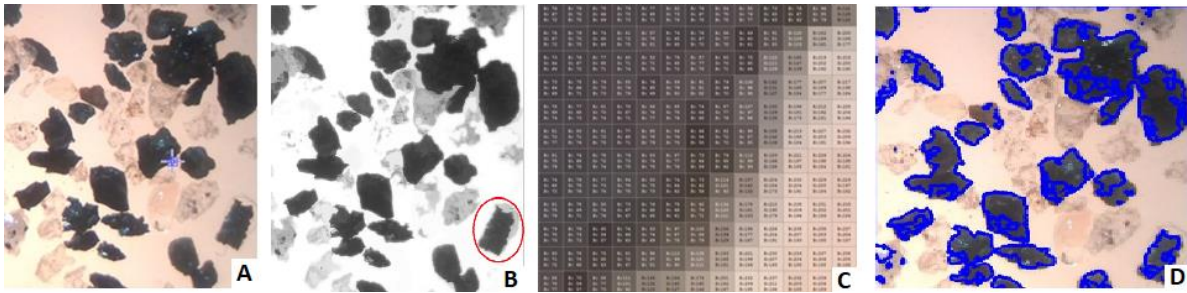


Figura 4 - Princípio de funcionamento do *software* utilizado.

Considerando como mineral-minério regiões mais escuras e ganga as áreas transparentes ou mais claras dos grãos, o *software* realiza por meio da identificação e contagem de pixels a medição da liberação das partículas. A análise realizada pelo programa pode ser sumarizada, portanto em 5 etapas básicas, conforme descrita no diagrama da Figura 5.

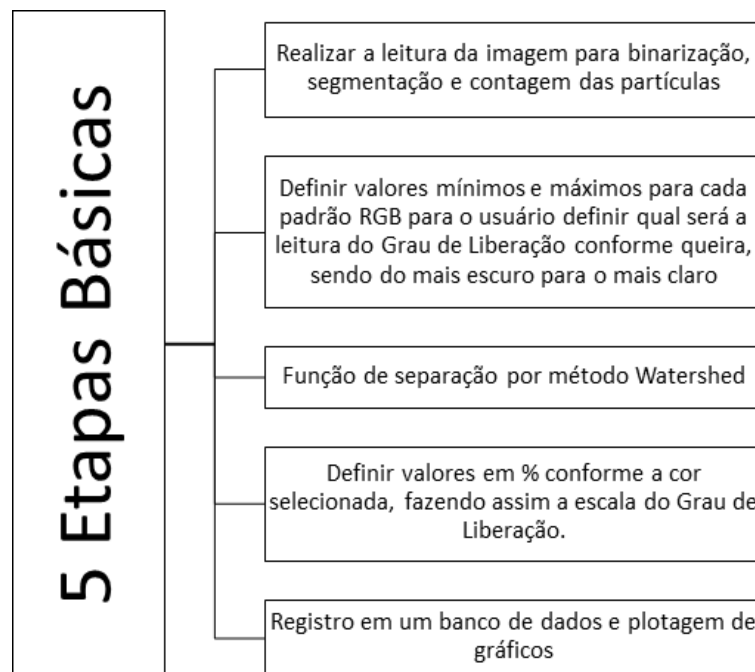


Figura 5. Etapas básicas para averiguar a qualidade de imagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise pelo método convencional

A análise do grau de liberação das amostras de minério de ferro inicialmente se deu pelo método convencional (*Gaudin*), com auxílio de microscopia óptica. As duas amostras (Am1 e Am2) foram analisadas visualmente pelo operador, que procedeu a contagem separadamente para cada fração de tamanho e, com posterior aplicação da Equação (1), obteve os resultados apresentados na Figura 6.

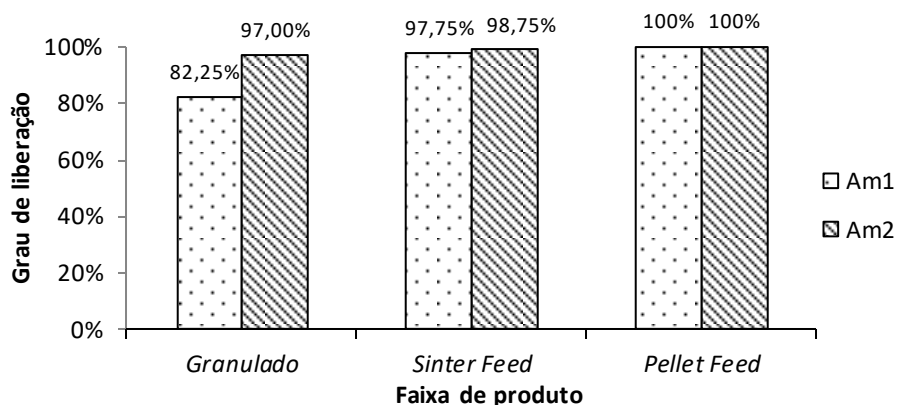


Figura 6 - Grau de liberação das amostras Am1 e Am2 por método convencional.

É possível constatar uma elevada liberação das partículas de ambas as amostras, com valores acima dos 80% mesmo em granulometrias na faixa de produto de granulado. Observa-se que as partículas que são consideradas livres abrangem um intervalo bastante extenso, de 0-25% e de 75-100% e desta forma, uma grande quantidade de grãos minerais é considerada liberada.

3.2. Análise pelo método computacional

O grau de liberação das amostras Am1 e Am2, determinados pelo método computacional puderam ser analisados e comparados graficamente. Desta forma, a Figura 7 apresenta os resultados referentes às análises realizadas via *software*.

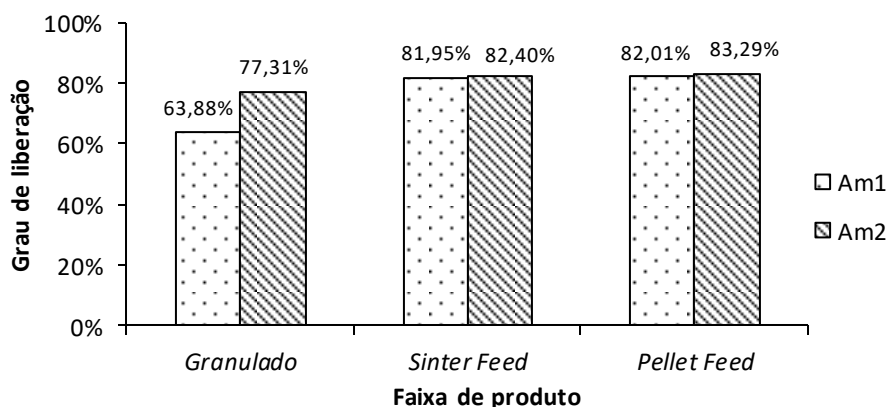


Figura 7 - Grau de liberação das amostras Am1 e Am2 por método computacional.

É possível notar que os resultados obtidos pelo método computacional apresentam tendência semelhante aos observados pelo método convencional (*Gaudin*). O *software* demonstrou um maior grau de liberação referente às partículas da amostra Am2, assim como o método convencional.

Percebe-se que em granulometrias na faixa de produto *pellet feed*, o comportamento das amostras foi semelhante, apresentando valores próximos de liberação das partículas. Tal característica deve-se principalmente ao fato de que, como citado por Rodrigues e Brandão (2017), quanto maior a cominuição de um mineral, maior será sua liberação.

3.3. Comparação dos resultados por meio de *software* e método convencional (*Gaudin*)

Após a obtenção dos resultados de grau de liberação das amostras por métodos convencionais (*Gaudin*) e computacionais, foi possível comparar a atuação de ambos, determinando suas principais peculiaridades. Os resultados encontrados para cada método foram representados graficamente, comparando inicialmente os dados obtidos para a amostra Am1, como ilustra a Figura 8 e em seguida para a amostra Am2.

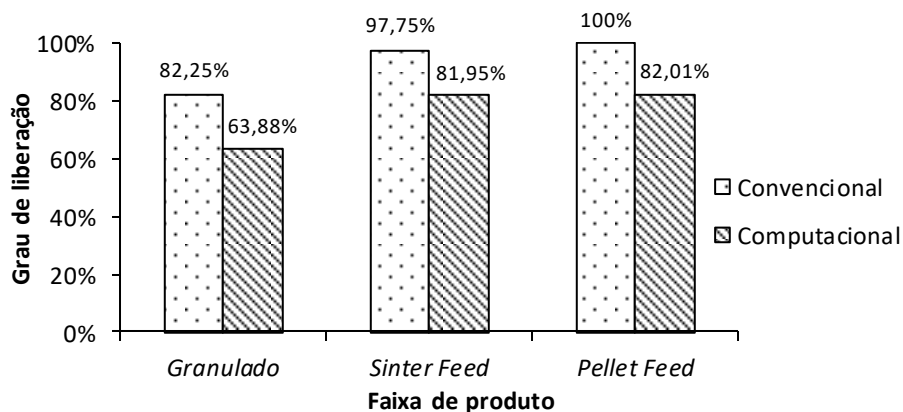


Figura 8 - Grau de liberação da amostra Am1 por diferentes métodos.

A liberação das partículas, quando determinada pelo método convencional (*Gaudin*), apresenta valores até 36% mais elevados em relação aos obtidos por meio do *software*. Além disso, percebe-se que para granulometrias mais finas, os resultados obtidos por ambos os métodos apresentam valores mais próximos.

Tal fato se deve principalmente ao fato de que partículas menores possuem maior grau de liberação e, portanto, maior facilidade na análise por microscopia óptica. A Figura 9 refere-se à análise da liberação da amostra Am2.

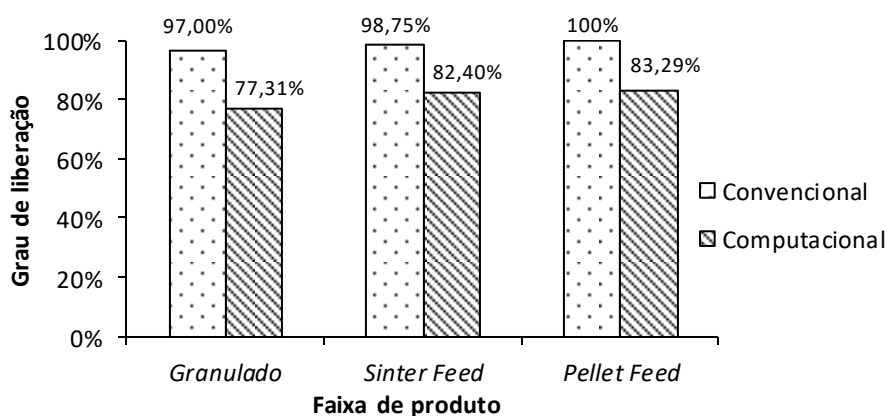


Figura 9 - Grau de liberação da amostra Am2 por diferentes métodos.

A análise do grau de liberação através do *software* apresenta valores inferiores aos observados pelo método convencional (*Gaudin*). Desta forma, percebe-se que o *software* fornece resultados mais conservadores para o grau de liberação das partículas, evitando assim superestimações dos dados.

Com isso, pode-se dizer que o *software* reduz as possibilidades de problemas operacionais em decorrência de erros na definição do grau de liberação das partículas. Além

disso, pelo fato de que o programa computacional utiliza-se de análises totalmente informatizadas, sua confiabilidade é maior, visto que há um padrão de cálculo de grau de liberação, abandonando a dependência por interpretações pessoais e reduzindo incertezas.

4. CONCLUSÕES

Os métodos convencionais de análise de graus de liberação estão intimamente relacionados à perícia do operador, o que reduz a confiabilidade e acurácia dos resultados. Com isso a criação e implantação de um *software* para este processo é de grande valia, pois permite resultados mais precisos e rápidos.

O *software* utilizado possui grande potencial de aplicação em larga escala, seja na indústria ou para o setor acadêmico. Seus resultados apresentados em comparação ao método de *Gaudin* se mostram satisfatórios e promissores, elevando a eficiência dos processos de análise mineral.

O método computacional evita superestimativas do grau de liberação do mineral, visto que apresenta valores mais baixos e de forma mais precisa que os métodos convencionais, pois seu padrão de medidas é constante e utiliza de alta tecnologia para as análises. Sendo assim, as medidas computacionais de liberação mineral geram resultados mais estáveis, de forma que as operações subsequentes de tratamento de minérios e os parâmetros operacionais definidos a partir do grau de liberação das partículas não apresentarão grandes distorções.

5. REFERÊNCIAS

- Delbem ID. Processamento e análise digital de imagens aplicados aos estudos de liberação mineral. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2010.
- Delbem ID, Galéry R, Brandão PRG, Peres AEC. Semi-automated iron ore characterisation based on optical microscope analysis: Quartz/resin classification. *Minerals Engineering* 2015; 8(8);90–6.
- Donskoi E, Manuel J, Austin P, Poliakov A, Peterson M, Hapugoda S. Comparative study of iron ore characterization using a scanning electron microscope and optical image analysis. *Applied Earth Science* 2014; 122(4); 217–229.
- Ferreira RF. Estudo de liberação das fases minerais em minérios de ferro. (Dissertação de Mestrado). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2013.
- Gaudin AM. Principles of mineral dressing. London: McGraw-Hill, 1939 apud WILLS, B. A. Wills. *Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. 7th. ed. Oxford: Elsevier; 2006.
- Rodrigues RS. 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 de Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2016.
- Rodrigues RS, Brandão PRG. Influência da Liberação Mineral nas Etapas de Moagem e Flotação do Minério de Ferro. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 2017; 14(3); 279–287.