

## CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ESCÓRIAS DE ALTO FORNO DA EMPRESA FERMAR DE MARABÁ/PA\*

Iasmim Ariane Silva<sup>1</sup>  
Pedro Henrique Medeiros Câmara<sup>1</sup>  
Jaiza Bernardo de Oliveira<sup>1</sup>  
Flánelson Maciel Monteiro<sup>2</sup>  
José Yvan Pereira Leite (In Memoriam)<sup>3</sup>

### Resumo

O processo de fabricação de ferro gusa nas unidades industriais de alto forno tem como consequência a geração de escórias, um rejeito que pode ser produzido em alta quantidade e apresentar prejuízos ao meio ambiente quando não reaproveitado. Na composição desse rejeito, por vezes se pode encontrar a presença de metais danosos à natureza, como o manganês, que tem uma importante e generalizada utilidade nas indústrias de metais, mas, ainda assim, as escórias acabam não sendo utilizadas como fonte potencial desse elemento. Sabendo disso, as escórias foram submetidas à etapas de britagem e quarteamento para separar alíquotas. Essas alíquotas foram usadas nos testes de caracterização tecnológica do material a partir de MEV, EDS, Soxhlet e análise de grau de liberação por microscópio digital, encontrando dados de análises diversas. Posto isso, o objetivo deste artigo é demonstrar, através da caracterização da escória, que este material tem em sua composição elementos metálicos, com foco no manganês, que podem ser reutilizados de modo a evitar a geração de passivos ambientais prejudiciais ao meio ambiente. Os resultados encontrados acusam teor de manganês com grau de liberação maior do que 80% em faixas a partir de 48#, as quais foram divididas da ganga por densidade, possibilitando, assim, a separação gravimétrica do material em questão.

**Palavras-chave:** Caracterização Tecnológica; Escórias; Grau de Liberação; Manganês

### TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF BLAST FURNACE SLAUGS OF THE FERMAR DE MARABÁ / PA COMPANY

#### Abstract

The process of manufacturing pig iron in the blast furnace industrial units has the consequence of the generation of slag, a waste that can be produced in high quantity and present damages to the environment, when not reused. In the composition of this tailings, it is sometimes possible to find the presence of metals harmful to nature, such as manganese, which has an important and widespread utility in the metal industries, but still, the slag ends up not being used as a potential source of this element. Knowing this, the slags were subjected to crushing and grading steps to separate the aliquots. These were applied in the tests of technological characterization of the material, from MEV, EDS, Soxhlet and analysis of liberation degree by digital microscope, finding data of several analyzes. Having said that, the objective of this paper is to demonstrate, through the characterization of the slag, that this material has in its composition metallic elements, focusing on manganese, that can be reused in order to avoid the generation of environmental liabilities harmful to the environment. The results show a manganese content with a degree of release greater than 80% in bands from 48 #, which were divided by density and thus allow the gravimetric separation of the material in question.

**Keywords:** Technological Characterization; Slags; Liberation Degree; Manganese.

<sup>1</sup> Discente do Curso Técnico em Mineração, Bolsista pelo CNPq, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

<sup>2</sup> Tecnólogo em Fabricação Mecânica/Doutor em Engenharia Mecânica – PPGEM-UFRN/ Professor/ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN/Campus Natal Central - CNAT/ Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais – DIAREN/Laboratório de Processamento Mineral e Resíduos/Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia de Minas - UFPB, Mestre em Engenharia Química – UFRN, Docente, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Laboratório de Tecnologia Mineral – LTM, IFRN/Campus Natal Central, RN, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas de fabricação do aço se dá por obtenção do chamado Ferro Gusa. A produção desse ferro ocorre majoritariamente nos espaços industriais de alto forno, feitos especialmente para a sua produção. Dentro deles, ocorre a redução de óxidos contidos no minério de ferro, o qual, entra no processo junto de suas impurezas e, após sofrer os processos aglomerantes de pelletização e sinterização, é unido a fundentes como o cal e a sílica juntamente com o coque metalúrgico (BARBOSA, 2010).

A produção de Ferro Gusa acaba gerando um rejeito que fica conhecido como escória de alto forno, que é definida como um subproduto do processo siderúrgico, classificada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, como resíduo da classe II, ou seja, uma substância quimicamente ativa, cuja disposição inadequada em grande escala e ao longo dos anos, pode ocasionar impactos ambientais, uma vez que podem ser encontrados teores de metais pesados e outros contaminantes em proporções superiores àquelas prescritas em normas (JUNIOR, 2009). Acerca dos processos de alto forno se sabe, de acordo com Barbosa (2010), que uma alta produtividade pode ter como resultado 10.000 ton/dia de Ferro Gusa e 3.000 ton/dia de escória.

A formação desse subproduto se dá durante o processo de fabricação no alto forno, a partir da fusão das impurezas do minério de ferro com a adição dos fundentes e cinzas do coque de carvão mineral ou vegetal. O material formado, por ter uma densidade inferior, flutua sobre o metal líquido dentro da unidade industrial, o que possibilita sua separação. Saindo do alto forno em alta temperatura e podendo ter carregado consigo elementos químicos metálicos, seu resfriamento é geralmente feito a partir de jatos d'água.

A composição química das escórias e suas propriedades físicas, mecânicas e geoquímicas, tornam a utilização do material viável para setores como a construção civil, indústrias de aglomerantes ou para composição granular de pavimentos.

Uma das características das escórias se refere a sua reação com água, a qual lhe condiciona propriedades aglomerantes semelhantes ao componente principal da fabricação de cimento, o clínquer, e quando adicionados juntos ao processo de moagem com o gesso, temos um produto que atende sem grandes dificuldades os usos mais comuns do cimento, podendo até superar a média quando se trata de durabilidade e resistência final (ABCP, 2002).

Nesse contexto, segundo Santos (2015), a empresa Fermar, que usa o manganês como base de fabricação de ligas, utiliza o rejeito do processo produtivo de Ferro-liga para trocar por quartzo com o grupo empresarial Areial Paraná, localizado no município de Marabá (PA). Esse grupo utiliza a escória para a composição de aterros de terrenos e estradas, não aproveitando o possível potencial que existe na composição química do material, o qual pode contar com a presença de substâncias como o Fe e o Mn em níveis aproveitáveis.

O manganês é um metal que pertence à classe dos metais de transição, tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento dos diversos processos de fabricação do aço, pois é o quarto metal mais utilizado do mundo, depois do ferro, alumínio e cobre, e está presente no nosso dia-a-dia. A demanda por manganês vem crescendo nos últimos anos impulsionada pela expansão da indústria de aço global, e, embora o minério do manganês possua grande importância e seja um dos mais abundantes na crosta terrestre, apenas uma a cada 300 concentrações podem ser consideradas depósitos (DNPM, 2009).

A partir disso, a caracterização tecnológica de um material apresenta características relevantes do objeto em estudo e ajudam a melhor entender sua natureza, utilizando técnicas como a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), microscopia eletrônica e digital, análise granulométrica, separação em meio denso, entre outros testes que servem para fornecer dados importantes para futuro uso por engenheiros na construção e planejamento de plantas otimizadas e com bom rendimento (LUZ, 2010).

Sendo assim, o objetivo deste artigo é demonstrar, através da caracterização da escória, que este material tem em sua composição elementos metálicos, com foco no manganês, que podem ser reutilizados de modo a evitar a geração de passivos ambientais que são prejudiciais ao meio ambiente.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

No Laboratório de Tecnologia Mineral – LTM, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, a escória foi submetida ao processo de britagem por um britador de mandíbulas, e ao processo de homogeneização em pilhas longitudinais e cônicas, com o objetivo final de separar alíquotas com cerca de 800g. Após esse processo, as escórias passaram pela análise granulométrica, com peneiras de 3/4# - 100#, pelo método a seco, a fim de analisar seu comportamento e separar amostras de diferentes dimensões. Após essas etapas iniciais, o material foi submetido aos seguintes processos:

- Densidade Aparente: O processo de densidade aparente foi feito seguindo a literatura de Tratamento de Minérios do autor Sampaio (2007). A partir disso, foi utilizada proveta e balança de precisão para fazer a medição da densidade com a fórmula (equação 1) padrão de massa sobre volume.

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

A proveta foi abastecida com o material até a marca de 700 ml para ser pesada e obter os dados para aplicar na fórmula. Para encontrar resultados mais precisos, o procedimento foi repetido três vezes.

- Densidade Real: Ainda seguindo a literatura de Sampaio (2007), a densidade real foi feita pelo método de picnômetro, utilizando de picnômetros de 100 ml e balança de precisão. Com os dados, usamos a fórmula (equação 2), na qual: A1 se refere a massa do picnômetro; A2 a massa do picnômetro + amostra; A3 massa do picnômetro + amostra + água; A4 a massa do picnômetro + água.

$$ds = \frac{(A2)-(A1)}{(A4+A2)-(A3+A1)} \quad (2)$$

O processo de densidade real também foi realizado três vezes para diminuir a margem de erro nos resultados.

- Separação em meio denso: Após a análise granulométrica, realizamos o processo de separação em meio denso, utilizando de Bromofórmio com densidade de 2,69 -

2,71. O objetivo desse processo de separação gravimétrica é separar por densidade os grãos dos minerais, em granulometrias de 14# (1,19 mm), 48# (0,297 mm), 65# (0,21 mm), 80# (0,177 mm) e 100# (0,149 mm) para se observar os diferentes graus de liberação em cada uma e separando-as em afundado e flutuado.

- Intemperismo Soxhlet: Com o equipamento de extração, soxhlet (Figura 1), foram realizados ensaios de precipitação intermitente com escória em: 10 ciclos, 20 ciclos e 30 ciclos. O objetivo desse procedimento é provocar o desgaste no material através da água e, conseqüentemente, analisar a possível liberação de componentes químicos como o Fe e o Mn no líquido que se deposita em balões de 250ml. Após o procedimento, a solução foi submetida a análise química total de baixa concentração de Fe e Mn no Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE) com uma metodologia de APHA et al. (2012). Além dessa, foram feitas no LTM análises de variação de condutibilidade e de pH realizadas por Condutivímetro e PHmetro, respectivamente.



Figura 1. Equipamento Soxhlet montado. Fonte: Autores (2019)

- Análise do Grau de Liberação por Microscópio Digital: Nesse teste, foi seguido o método de Gaudin (1993) para cálculo e determinação de grau de liberação. Usando do microscópio digital DM4, com ampliações variadas e com a câmera conectada à tela do computador, foi feita a identificação e medição do índice de partículas livres e mistas em 5 faixas granulométricas de pelo menos 50 grãos afundados na separação em meio denso. Para o cálculo de grau de liberação foi utilizada a fórmula (equação 3):

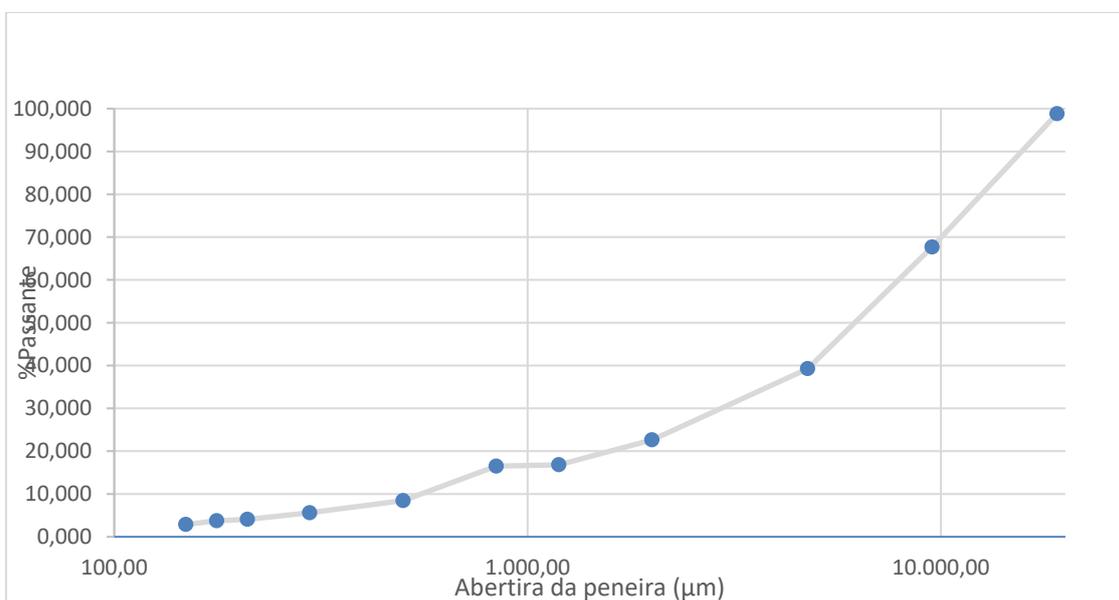
$$Gl = \frac{\sum IPl}{\sum (IPl + IPm)} \quad (3)$$

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Laboratório de Caracterização de Minerais do Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Para esse processo, as amostras passaram por metalização em banho de ouro para torná-las condutoras de elétrons. No mesmo aparelho, também foi realizada a Espectroscopia de energia dispersiva, na qual, a partir da

interação dos feixes com a amostra, se tem a composição química do grão em particular. As fotos tiradas pelo aparelho contavam com um aumento de 60x, 200x, 500x e 2000x. Para o trabalho foi selecionada a foto com aumento de 500x, onde é possível visualizar os grãos selecionados para espectroscopia.

## 2.2 Resultados e Discussão

A análise granulométrica do material quarteado foi realizada nas peneiras de 3/4# (19,1 mm), 3/8# (9,52 mm), 4# (4,76 mm), 9# (2 mm), 14# (1,19 mm), 20# (0,84), 32# (0,5 mm), 48# (0,297 mm), 65# (0,21 mm), 80# (0,177 mm) e 100# (0,149 mm). Nela, verifica-se que as escórias, após terem passado por britagem e quarteamento, possuem uma distribuição com grande variação entre as cinco primeiras peneiras, e uma normalização nas peneiras com uma abertura menor. Como podemos observar na Figura 2:



**Figura 2.** Gráfico da relação Passante e Abertura da análise granulométrica. Fonte: Autores (2019)

Dados de Barbosa (2010) e Moreira (2006), mostram que escórias de alto forno usualmente apresentam em suas composições teores variados de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, MnO e FeO, formando, então, composições mineralógicas de silicoaluminatos com óxidos de cálcio, manganês, magnésio etc.

Sabendo disso, foi feita a medição da densidade real e aparente do material, como podemos ver na Tabela 1:

**Tabela 1.** Densidade Real e Aparente da Escória de Alto Forno

-	Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Média	3,23	1,39
Desvio Padrão	0,07	0,07

Fonte: Autores (2019)

Sabendo que o manganês possui densidade entre 7,21 g/cm<sup>3</sup> e 7,40 g/cm<sup>3</sup> e que um de seus principais minerais, cuja composição se encaixa com as possíveis composições de escória, a Rodonita (Mn, Ca, Fe, Zn) SiO<sub>3</sub>, possui densidade de 3,4 g/cm<sup>3</sup> - 3,76 g/cm<sup>3</sup>, os resultados podem ser interpretados como fruto da variedade de diferentes composições possíveis para a escória, mas que se

encaminham, na maioria dos casos, para valores de densidade mais pesados devido à presença de íons metálicos.

Na Tabela 2 temos os dados de análise granulométrica relacionados com os dados do teste de separação em meio denso, no qual, os resultados, de acordo com Sampaio (2007), são usados na área de tratamento para separar parte da ganga, realizando um tipo de pré-concentração do mineral de interesse e reduzindo custos de tratamentos posteriores, sendo de uso adequado para minérios metálicos. Neste caso, o procedimento realizado adianta alguns resultados encontrados na análise de grau de liberação, mostrando que a medida em que a granulometria diminui, existe um aumento na taxa de liberação que se estabiliza nas últimas quatro granulometrias com uma média de 98,74% de afundado, com um desvio padrão baixo de 0,6. Os dados das peneiras com granulometria alta podem apresentar uma taxa de fluado 100%, como visto na de 3/4, em virtude de que, nesse ponto, o grão ainda possui pelo menos 19,1 mm, não demonstrando, então, um alto grau de liberação.

**Tabela 2.** Análise Granulométrica e Separação em meio denso

Malha (#)	Peso (g)	Retido (%)	RA (%)	P (%)	Afundado (g)	Afundado (%)	Flutuado (g)	Flutuado (%)	Peso (g)
3/4	8,96	1,20	1,20	98,80	8,60	100,00	0,00	0,00	8,60
3/8	232	31,11	32,31	67,69	0,00	0,00	1,46	100,00	1,46
4	212	28,43	60,73	39,27	1,27	100,00	0,00	0,00	1,27
9	124	16,63	77,36	22,64	0,86	79,91	0,22	20,09	1,07
14	43,48	5,83	83,19	16,81	0,81	81,76	0,18	18,24	0,99
20	2,35	0,32	83,51	16,49	0,87	88,90	0,11	11,10	0,98
32	60,07	8,05	91,56	8,44	0,88	92,87	0,07	7,13	0,95
48	21,13	2,83	94,39	5,61	0,90	98,51	0,01	1,49	0,91
65	11,45	1,54	95,93	4,07	0,92	97,98	0,02	2,02	0,94
80	2,38	0,32	96,25	3,75	0,98	99,48	0,01	0,52	0,98
100	6,63	0,89	97,14	2,86	0,98	98,99	0,01	1,01	0,99
-100	21,36	2,86	100,00	0,00					
Total	745,81	100,00							

Fonte: Autores (2019)

Na análise da solução, obtida pelo teste no Soxhlet, com resultados na Tabela 3, é possível observar a presença de íons metálicos na água a partir da variação de condutibilidade em cada ciclo. Além de demonstrar a basicidade das escórias que ocorrem dentro das unidades industriais de alto forno como descritas por Barbosa (2010), e no experimento foram responsáveis pela mudança do potencial hidrogeniônico das soluções. Na análise química de baixa concentração de Fe e Mn, nota-se um teor de ferro menor que 0,6, uma vez que, na fabricação do ferro dentro do alto forno, o elemento é praticamente todo consumido, enquanto o manganês pode ser observado em maiores quantidades na tabela a seguir:

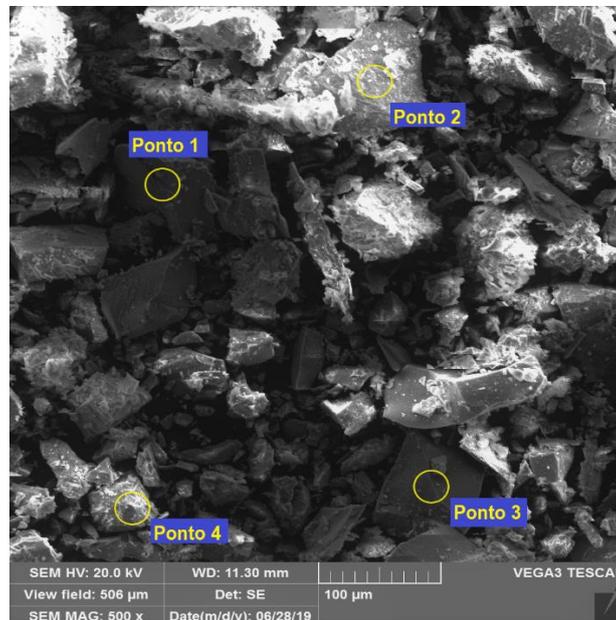
**Tabela 3.** Resultados das análises da solução do Soxhlet

Ciclos	pH inicial	pH final	$\Delta$ pH	Cond. Inicial	Cond. Final	$\Delta$ Condutibilidade	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)
10	5,43	7,57	2,14	352,7	418,4	65,7	0,31	<0,06
20	6,17	7,16	0,99	357	412,2	75,2	0,322	<0,06
30	4,99	7,6	2,61	358,4	444,9	86,5	0,4598	<0,06

Fonte: Autores (2019)

Temos na tabela que nem todas as variações apresentadas aconteceram progressivamente

Na Figura 3, temos a imagem tirada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) dos grãos, em granulometria passante em 200#.



**Figura 3.** Análise da escória no MEV, aumento de 500x. Fonte: Autores (2019)

Em cada um dos pontos marcados – 1, 2, 3 e 4 – foi feita a análise química de Espectroscopia por energia dispersiva. Como podemos observar na Tabela 4, o ponto que apresentou o maior teor de Manganês foi o ponto 4, com 46,04% do elemento, enquanto nos pontos 1, 2 e 3 os resultados foram de 15,66%; 16,08%; 24,05%, respectivamente. A presença em alta quantidade de Silício pode se dar em virtude da sílica dos fundentes utilizados ou da ganga do minério de ferro, o fato é que, no rejeito, esta compõe a maior parte e aparece em sua forma. Além disso, confirma-se parte do que foi dito anteriormente sobre os elementos presentes na escória, faltando apenas a presença do Mg.

**Tabela 4.** Dados de Espectroscopia por energia dispersiva dos pontos 1-4

Elemento	Ponto 1 (%)	Ponto 2 (%)	Ponto 3 (%)	Ponto 4 (%)
Mn	15,66	16,08	24,05	46,04
Si	63,12	56,01	51,79	46,10
Al	16,09	14,02	14,14	2,72
Fe	0,27	0,3	0,64	0,85
Ca	-	2,31	-	0,91

Fonte: Autores (2019)

A partir da análise dos grãos, e com a determinação daqueles que apresentariam bons teores de magnésio, foi feito o processo de análise de grau de liberação, e embora o MEV tenha sido feito com passante em 200#, os mesmos grãos com dimensões diferentes podiam ser observados nas amostras de granulometrias 20#, 48#, 65#, 80# e 100#. A contagem dos grãos e o resultado do grau de liberação em cada faixa podem ser vistos na Tabela 5 a seguir:

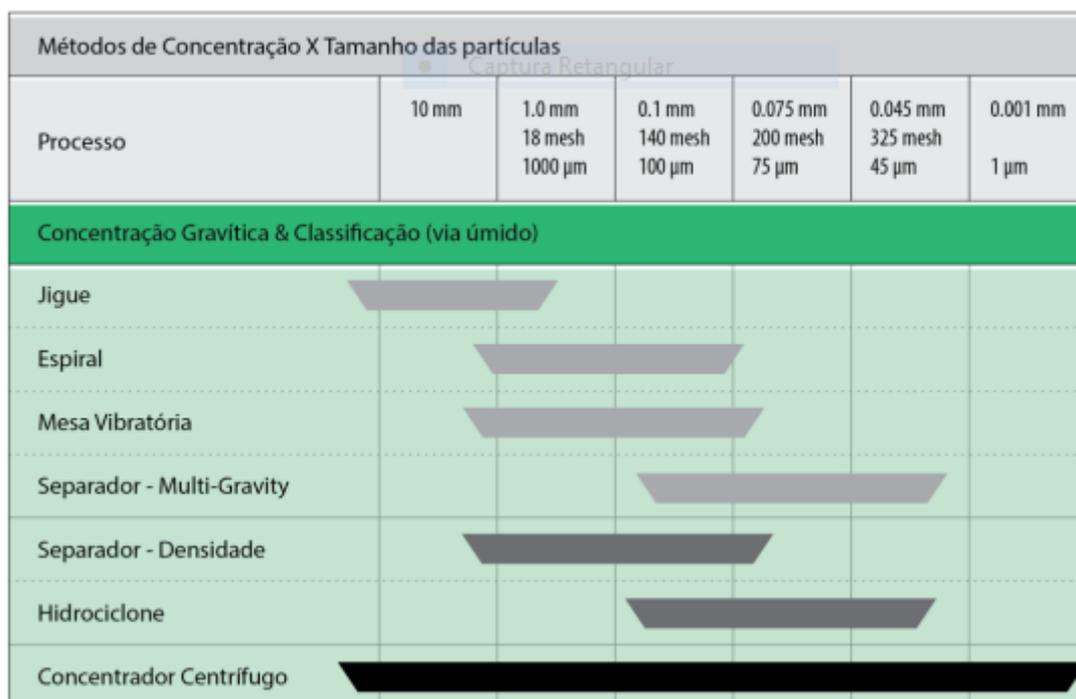
**Tabela 5.** Análise de Grau de liberação por faixa

Abertura (#)	100	100-75	75-50	50-25	25-0	QG	%GL
20	32	6	2	5	5	41,00	78,05
48	38	5	4	1	2	45,50	83,52
65	40	7	2	2	0	48,13	83,12
80	43	3	3	1	1	48,00	89,58
100	44	5	0	1	0	48,75	90,26

Fonte: Autores (2019)

Pode-se ver, então, que a amostra possui um grau de liberação de 78,05% mesmo em granulometrias mais grossas, como a de 20# (0,84 mm), mas que apresenta um bom aumento e uma tendência para a uniformização chegando nas menores granulometrias, como também foi observado no teste de separação em meio denso onde essas últimas quatro granulometrias apresentavam em média 98,74% de afundado, enquanto na análise por grãos temos um valor de 86,55% com um desvio padrão já mais alto, de 3,8, que mostra que, como esperado, nem todos os grãos afundados eram de interesse, mas que é nessas granulometrias que encontramos um grau de liberação alto com o qual se pode trabalhar para reaproveitamento.

Com os dados obtidos da diferença de densidade e com a análise de grau de liberação por faixa, pode se dizer que o material tem potencial para separação por processos gravimétricos. Na figura 4, a seguir, temos uma lista que mostra um grupo de equipamentos que realizam essa separação e suas respectivas faixas granulométricas de atuação, com autoria de Leite et al. (2012). Nela, podemos dizer que as mais adequadas seriam aquelas que atuam com tamanhos de 0,84 mm para menos, mas mais especificamente o concentrador centrífugo graças a sua ampla possibilidade de atuação.



**Figura 4.** Processadores gravimétricos e suas respectivas faixas de tamanho de atuação. Fonte: Leite et al. (2012).

### 3 CONCLUSÃO

Os resultados das análises feitas no material em MEV e na solução do soxhlet demonstram que, no material, há a presença de teor de metais como o manganês e uma baixa concentração de ferro devido a ação prévia do alto forno. Além disso, através da análise de grau de liberação por faixa, com o auxílio dos testes de separação em meio denso, observa-se uma boa taxa de liberação do manganês, maior do que 80% a partir de faixas em 0,297 mm, o que apresenta, então, a necessidade de cominuir o material, mas que, com as diferenças de densidade apresentadas, mostra-se propícia e justificável sua separação por processos gravimétricos, como é o caso do concentrador centrífugo.

### Agradecimentos

Ao CNPq pelo incentivo à pesquisa, juntamente com o professor José Yvan (In Memoriam) que nos orientou nos processos realizados. Além disso, ao NAAE pela análise da solução do Soxhlet e ao Laboratório de Caracterização de Minerais pela realização do MEV. Por fim, a Raulim Galvão professor da UFMT pelo material.

### REFERÊNCIAS

- 1 BARBOSA, Cássio. Processo Siderúrgico: 03- Alto Forno: Obtenção de Ferro Gusa. INFOMET: [Acesso em 09/06/2019] Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=234>
- 2 JUNIOR, José. Adição de escória de alto forno em argamassa colante tipo AC-I. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. [Acesso em: 20/06/2019.] Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/162.pdf>.
- 3 ABCP, Guia básico de utilização do cimento Portland. 7 ed, 27 p, São Paulo. ABCP. 2002. [Acesso em: 07/06/2019] Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>.
- 4 SANTOS, Marcelo Melo dos. A crise no setor siderúrgico do distrito industrial de Marabá e as estratégias empresariais. Dissertação (Mestrado) - Curso de Dinâmicas Territoriais e Sociedade na Amazônia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2015. [Acesso em: 11/06/2019.] Disponível em: <https://docplayer.com.br/44351614-Marcelo-melo-dos-santos.html>
- 5 DNPM. Economia Mineral do Brasil. Brasília-DF: DNPM; 2009
- 6 LUZ, A.B; Sampaio, J.A; França, S.C.A. Tratamento de Minérios. 5ª Edição. Rio de Janeiro, CETEM; 2010.
- 7 SAMPAIO, J.A; França, S.C.A; Braga, P.F.A. Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro, CETEM; 2010.
- 8 APHA et al. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Washington D C: American Public Health Associations, 2012;
- 9 Gaudin, A. M., Principles of Mineral Dressing. Nova York: McGRAW HILL BOOK COMPANY; 1939
- 10 MOREIRA, C.C. Características e desempenho de escórias de alto forno como agregado para utilização em camadas granulares de pavimentos. 37ª RAPV/11º ENACOR. 2006. [Acesso em: 13/06/2019.] Disponível em: <http://www.solocap.com.br/trabalhotecnico002.pdf>
- 11 LEITE, J.Y.P ET AL. Application of concentration centrifuge in tailings of small scale plant – Province Pegmatite Borborema (BRASIL). In: International Mineral Processing Congress, XXVI 2012. [Acesso em: 13/06/2019.] Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/279515778> APPLICATION OF CONCENTRATION CENTRIFUGE IN TAILINGS OF SMALL SCALE PLANT - PROVINCE PEGMATITE BORBOREMA BRAZIL