

AVALIAÇÃO TÉCNICA DA LAMA DE MINÉRIO DE FERRO PARA OBTENÇÃO DE PELOTAS*

Anderson Alves Cunha¹
Blênio Márcio Cunha Silva²
Jefferson Januario Mendes³
Ruben Antonio Llobel Solé⁴
Fernando Gabriel da Silva Araújo⁵

Resumo

Diante do cenário macroeconômico internacional, o setor mineral busca soluções inovadoras e sustentáveis para seus processos produtivos. Uma dessas soluções é, sem dúvida, aumentar a recuperação do mineral de interesse presente no rejeito proveniente de operações de beneficiamento de baixa recuperação metalúrgica. A substituição de matérias primas naturais por resíduos abre uma gama de oportunidades para melhorar a gestão de recursos não renováveis, contribuindo significativamente para o desenvolvimento sustentável e competitividade do negócio. O presente trabalho tem o objetivo de definir qual a faixa granulométrica, existente na lama, é mais adequada para concentrar e produzir pelotas, considerando a composição química, perda por calcinação, mineralogia e quantidade de elementos deletérios. Para isso, foram utilizadas técnicas de caracterização tecnológica, como: classificação granulométrica (peneiramento a úmido e *cyclosizer*), fluorescência de raios X, difração de raios X e microscopia óptica. Os resultados do trabalho permitiram identificar uma faixa granulométrica com alto teor de ferro e alto grau de liberação dos minerais de ferro, porém com teores de quartzo acima que um *pellet feed* comercial. Sendo assim, um determinado tratamento de concentração ou um *blend* será necessário para adequar quimicamente o material, para posterior obtenção de pelotas com baixo custo.

Palavras-chave: Minério de ferro; Lama; Pelota.

TECHNICAL EVALUATION OF IRON ORE TAILINGS FOR OBTAINING PELLET

Abstract

In the face of international macroeconomic scenario, the mining sector seeks innovative and sustainable solutions for their production processes. One of these solutions is undoubtedly increase the recovery of the mineral present in the waste interest from low metallurgical recovery processing operations. The replacement of natural raw materials by waste opens a range of opportunities to improve the management of non-renewable resources, contributing significantly to sustainable development and business competitiveness. This study aims to define the particle size range, existing in the mud, it is more appropriate to focus and produce pellets, considering the chemical composition, combustion loss, mineralogy and quantity of deleterious elements. For this technological characterization techniques were used, such as size classification (wet sieving and *cyclosizer*), X-ray fluorescence, X-ray diffraction and optical microscopy. Our results have identified a granulometric range with high iron content and high degree of release of iron minerals, but with quartz content above a pellet commercial feed. Thus, a particular treatment concentration or blend will be required to chemically tailor the material to subsequently obtain pellets with low cost.

Keywords: Iron ore; Tailings; Pellet.

¹ Engenheiro Metalurgista, MSc, Professor, Faculdade Santa Rita, Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil. REDEMAT - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

² Graduando em Física, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

³ Eng. de Produção, MSc, Prof. Associado, Instituto Federal de Minas Gerais, Congonhas, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Químico, Dr, DEPEC, Fundação Gorceix, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Físico, Dr, Professor associado, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

No processo do tratamento do minério geram-se dois materiais com diferentes características físicas e químicas: um é o concentrado, rico no teor do mineral de interesse, e o outro é o rejeito, rico em minerais e elementos indesejáveis para os processos de metalurgia extrativa. Esse último é produzido em grandes quantidades, provocando impactos ao meio ambiente e ocasionando custos na manutenção de barragens para as mineradoras.

Teoricamente, o rejeito deveria possuir baixo teor do mineral de interesse, porém, as caracterizações tecnológicas de rejeitos de minérios de ferro de diversos autores identificaram um teor considerável de ferro [1-2]. Analisando esses resultados, é plausível entender o porquê do interesse em pesquisar e desenvolver novas tecnologias de concentração para a indústria mineral.

As características físicas e químicas dos rejeitos dependem do tipo de minério e do processamento. A deslamagem (processo de retirada de lamas¹) é uma etapa usual no tratamento de minérios de ferro itabiríticos, devido ao fato de que as partículas ultrafinas provocam redução da eficiência e seletividade na operação de concentração. Sivamoham [3] afirma que o problema é consequência da pequena massa e alta superfície específica.

O presente trabalho tem o objetivo de identificar as oportunidades de concentração de partículas ultrafinas de ferro, existente na lama, para a produção de um *pellet feed* comercial, considerando a composição química, tamanho de partículas, perda por calcinação, mineralogia e elementos deletérios. A concentração de partículas ultrafinas é considerada um desafio da indústria mineral, a qual gera grandes volumes desses materiais com teor de ferro significativo. Essa busca tecnológica desenvolve a gestão sustentável e aumenta a competitividade do negócio.

O *pellet feed*, matéria prima essencial para produção de pelotas, possui granulometria abaixo de <0,15mm. Sendo que, quanto mais à fração predominante das partículas de um *pellet feed* se situa abaixo de 0,044mm mais eficiente é o pelotamento, por outro lado quanto mais se aproxima de 0,15mm a eficiência do pelotamento reduz drasticamente. Um *pellet feed* comercial possui composição química nas seguintes faixas 66,8 - 67,1% Fe, 1,18 - 1,72% SiO₂, 0,15-0,30% Al₂O₃, 0,05 - 0,038% P, 0,01 - 0,015% S, 1,08 - 1,10% CaO, 0,13 - 0,17% MgO e 0,17% perda por calcinação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para a realização desse trabalho contemplou: preparação da amostra e caracterização física, química e mineralógica. Foi utilizada uma amostra de lama que advém da etapa de deslamagem, coletada em uma mineração do Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais. A preparação da amostra consistiu em realizar a secagem a 90°C durante 24 horas, em seguida, homogeneização e quarteamento para as devidas caracterizações (figura 1).

¹material <10µm, misturas de colóides, ultrafinos naturais e aqueles gerados nos processos de cominuição (SOMASUNDARAN, 1980).



Figura 1. (a) homogeneização da amostra (b) pilha alongada.

2.1 Caracterização tecnológica

A figura 2 exibe o fluxograma para caracterização tecnológica da amostra.

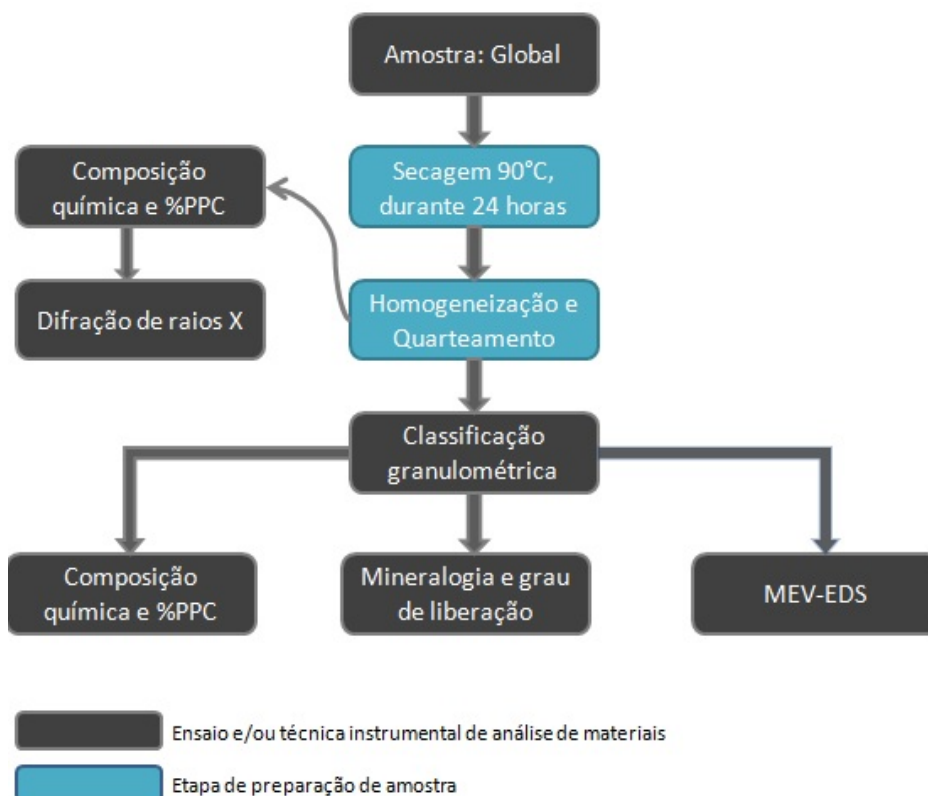


Figura 2. Fluxograma para caracterização da lama

2.1.1 Análise granulométrica

A análise da distribuição granulométrica foi realizada por peneiramento a úmido, utilizando peneiras da série Tyler, com aberturas de 150µm, 106µm, 75µm, 53µm e 45µm. O material passante na última malha foi alimentado no *cyclosizer* (marca CDC, modelo CL-502) com tempo de lavagem de 6 minutos e elutriação por 10 minutos, totalizando a classificação de 11 diferentes faixas de tamanhos. O peneiramento a úmido juntamente com o *cyclosizer* é mostrado na figura 3. O material passante no último ciclone do *cyclosizer* foi coletado em bombonas e filtrado em filtros de pressão, como pode ser visto na figura 3.



Figura 3. (a) peneiramento a úmido (b) *cyclosizer* (c) bombona com o material passante no último ciclone (d) filtros de pressão

2.1.2 Análise química

A amostra global da lama e suas frações granulométricas foram pulverizados a 80% passante em 200 mesh e, em seguida, analisadas pela fluorescência de raios X utilizando o método da pastilha fundida para determinação de Fe, SiO₂, Al₂O₃, P. O índice de PCC foi determinado por calcinação em forno mufla, a 1000°C.

2.1.3 Difração de raios X

A amostra global da lama e todas as suas frações granulométricas pulverizadas a um tamanho inferior a 0,045mm, foram devidamente preparadas e analisadas em um difratômetro de raios X, modelo XRD-6000 Shimadzu, equipado com tubo de Cu-K α ($\lambda = 1.54184 \text{ \AA}$) e monocromador de grafite. As medidas foram feitas entre 5° - 80° (2 θ) com velocidade do goniômetro de 1°/min, pelo método do pó.

2.1.4 Mineralogia e grau de liberação

Foram elaboradas seções polidas das frações granulométricas da amostra e estas foram então descritas com o auxílio de um microscópio ótico. Foi utilizado o método de contagem de grãos (mínimo de 500 grãos), possibilitando identificar a proporção em peso de cada fase mineralógica presente. Foi determinado também o grau de liberação do mineral quartzo em todas as frações granulométricas analisadas. O método utilizado foi o método de Gaudin.

2.1.5 Microscópio eletrônico de varredura

Fotomicrografias foram realizadas pelo microscópio eletrônico de varredura, da marca Tescan, com espectrômetro de energia dispersiva de raios X da marca Oxford.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico é apresentado os resultados juntamente com as discussões.

3.1 Distribuição granulométrica

A figura 4 apresenta a distribuição granulométrica da lama obtida por peneiramento a úmido e *cyclosizer*. O valor de d_{80}^2 e o percentual de partículas abaixo de $6\mu\text{m}$ foram respectivamente: $18\mu\text{m}$ e 57%. A distribuição granulométrica de um determinado *pellet feed*, para produção de pelotas para alto forno, corresponde aproximadamente 50% passante na malha de $16\mu\text{m}$, sendo que 22% estão abaixo de $5\mu\text{m}$.

Os resultados da distribuição granulométrica comprovam que a lama possui um percentual de finos maior que o *pellet feed*, porém sua especificação de tamanho se enquadra na faixa de utilização para produção de pelotas.

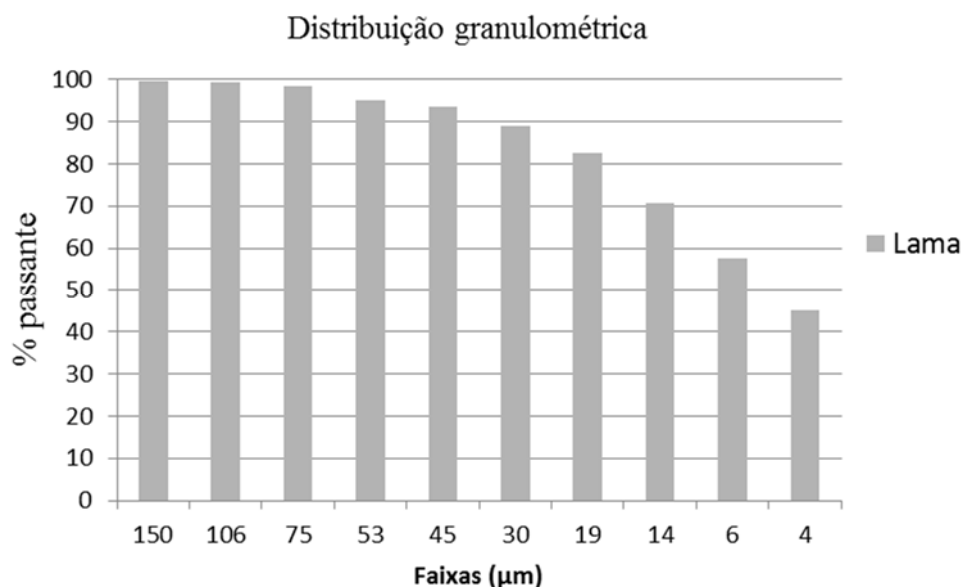


Figura 4. Distribuição granulométrica da lama

3.2 Análise Química

A tabela 1 mostra a composição química global e por faixa granulométrica da amostra. Verifica-se o aumento da quantidade de ferro contido em frações inferiores a $45\mu\text{m}$, logo com a predominância do quartzo em frações superiores. Contaminantes como alumina e fósforo se concentram na fração menor que $4\mu\text{m}$. A perda por calcinação obteve os maiores valores abaixo de $4\mu\text{m}$, indicando presença de hidróxidos de ferro nessa faixa.

A composição global da lama possui 44,4% em peso de ferro, 21,05% de quartzo, 5,88% de alumina e 0,142% de fósforo. Considerando apenas o intervalo entre $-45\mu\text{m}$ e $+4\mu\text{m}$, os teores em média são: 50,5% ferro, 24,43% de quartzo, 0,88% alumina, 0,045% fosforo e 1,17% de perda por calcinação. Comparando esse intervalo com a composição química do *pellet feed* comercial (66,8% ferro, 1,72 % SiO_2 , 0,35% Al_2O_3 , 0,015% P e 1,85% de perda por calcinação), o teor de SiO_2 é o

² diâmetro das partículas com 80% passante.

mais agravante, pois se encontra muito acima do especificado. Sendo assim, esse material precisa de um tratamento de concentração para reduzir a SiO₂, consequentemente, aumenta a concentração de ferro.

Tabela 1. Análise química global e por faixa granulométrica da lama

Faixa (µm)	Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P %	PPC %
Global	44,4	21,05	5,88	0,142	-
+ 150	43,64	32,08	2,72	0,084	-
- 150 + 106	32,21	51,8	0,76	0,045	-
- 106 + 75	28,03	57,48	0,59	0,032	-
- 75 + 53	23,73	63,29	0,69	0,033	0,98
-53 + 45	20,05	68,85	0,65	0,03	0,75
-45 + 30	48,61	28,76	0,41	0,032	0,64
-30 + 19	43,24	35,58	0,57	0,033	0,86
-19 + 14	49,17	27,02	0,74	0,038	1,01
-14 + 6	54,68	17,86	1,03	0,048	1,4
-6 + 4	56,8	12,95	1,64	0,075	1,96
-4	38,15	15,51	12,38	0,242	9,34

3.3 Difração de raios X

Os difratogramas de raios X mostrados na figura 5 identificaram as seguintes estruturas cristalinas: hematita (H), quartzo (Q) e caulinita (C). Pode observar que a medida que a granulometria diminui ocorre a redução da intensidade dos picos de quartzo e aumento dos picos de hematita. Os picos da caulinita se acentuam na fração menor que 4µm.

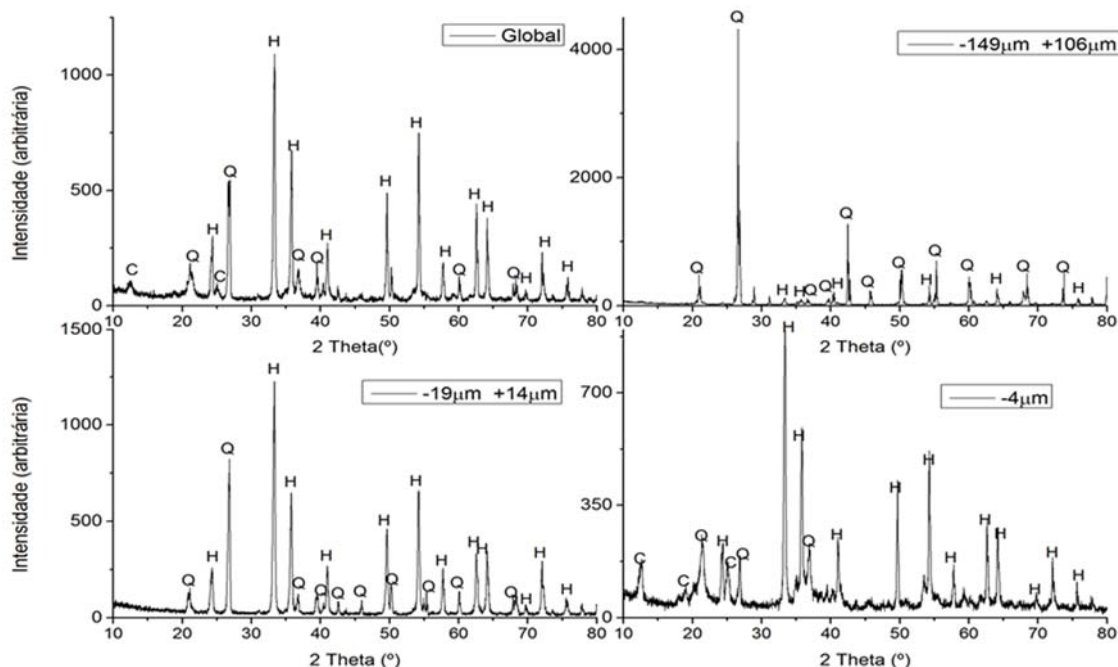


Figura 5. Difratograma de raios X da amostra global e por faixas granulométricas.

3.4 Mineralogia e grau de liberação

A tabela 2 apresenta as principais fases mineralógicas identificadas na lama e o grau de liberação do quartzo por faixa granulométrica. O quartzo é a fase

predominante nas frações grossas e a hematita nas frações mais finas. As fases mineralógicas de ferro mais abundantes nas amostras são hematita tabular monocristalina e hematita granular monocristalina. A goethita apresenta-se em maior quantidade na faixa entre 4 e 6 μ m. O material abaixo de 4 μ m não foi possível quantificar no microscópio óptico, devido às limitações de aumento e resolução. Considerando apenas o intervalo entre -45 μ m e +4 μ m o grau de liberação em média é de 93,5%.

Tabela 2. Análise mineralógica quantitativa e grau de liberação da lama

Análise mineralógica: Rejeito ultrafino

Faixa (μ m) / %massa	G. liberação	HTM	HGM	HTP	HGP	HL	MA	MG	GO	A	QZ	O
+ 150	94%	2,41	0,72	0,24	0,00	31,33	14,26	3,61	6,02	0,48	36,14	4,58
- 150 + 106	95%	1,69	1,32	0,38	0,19	21,09	10,55	0,38	3,20	1,69	56,12	3,39
- 106 +75	93%	1,31	1,31	0,37	0,00	26,59	7,68	0,37	3,00	0,56	57,49	1,31
- 75 +53	92%	2,26	4,33	0,38	0,19	12,43	3,01	0,38	2,82	0,75	71,19	2,26
-53 +45	88%	5,24	3,66	0,17	0,17	6,81	1,22	0,17	3,66	0,00	76,96	1,92
-45 +30	91%	34,56	19,47	0,18	0,00	7,02	4,74	0,53	2,81	0,00	30,00	0,7
-30 +19	92%	36,36	11,27	0,00	0,00	7,27	0,36	0,00	2,00	0,00	40,73	2
-19 +14	95%	49,38	16,40	0,18	0,00	1,25	2,32	0,36	3,92	0,00	23,89	2,32
-14 +6	89%	50,20	23,83	0,00	0,00	0,78	0,98	0,00	8,40	0,00	14,26	1,56
-6 +4	100%	66,55	17,63	0,00	0,00	0,54	0,54	0,00	10,43	0,00	3,24	1,08

HTM = Hematita tabular monocristalina; HGM = Hematita granular monocristalina; HTP = Hematita tabular policristalina
HGP = Hematita granular policristalina; HL = Hematita Lobular; MA = Martita; MG = magnetita;
GO = Goethita; A = Agregado; QZ = Quartzo; O = Outros.

3.5 Microscópio Eletrônico de Varredura

A figura 6 apresenta duas fotomicrografias da lama obtidas com um microscópio eletrônico de varredura. As imagens permitem distinguir claramente as partículas que contém maior teor de ferro (partículas claras) das de quartzo (partículas escuras). Também é possível, pela imagem, analisar que o tamanho das partículas de minérios de ferro exibem granulometrias inferiores as de quartzo.

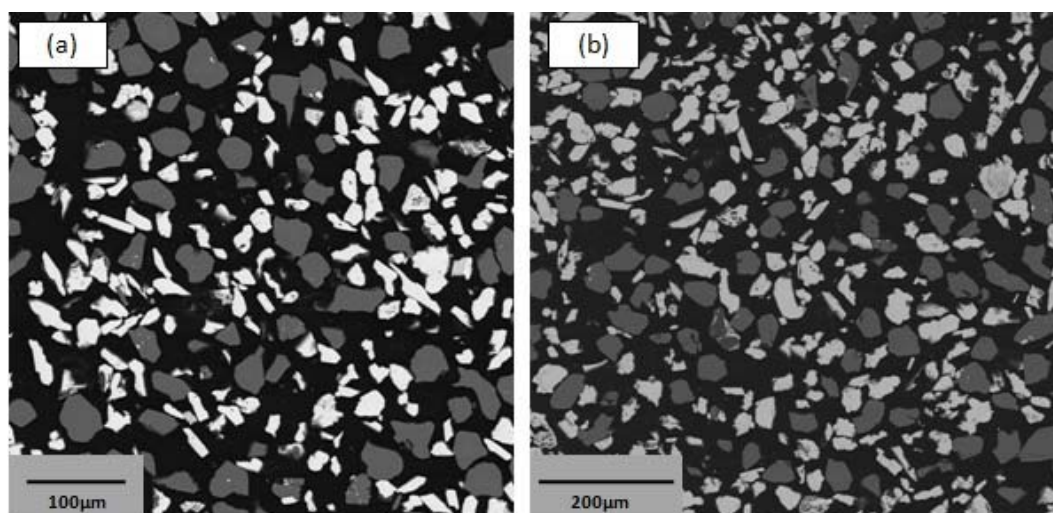


Figura 6. Imagens do microscópio eletrônico de varredura no modo BSE (a) aumento de 500x (b) aumento de 350x

4 CONCLUSÃO

A avaliação técnica da lama, por meio da caracterização tecnológica e um estudo comparativo entre um *pellet feed* comercial e a lama, permitiram obter as seguintes conclusões:

1. A avaliação técnica da distribuição granulométrica da lama permite estratificar uma fração de tamanho entre $-45\mu\text{m}$ e $+4\mu\text{m}$ com característica semelhante ao *pellet feed* comercial.
2. A avaliação técnica da composição química da lama na faixa entre $-45\mu\text{m}$ e $+4\mu\text{m}$ apresenta algumas variações comparadas com o *pellet feed* comercial, são elas: SiO_2 mais elevada e ferro menor. Sendo que, o teor de fósforo e a perda por calcinação se encontra em valores aceitos para comercialização.
3. O grau de liberação da faixa entre $-45\mu\text{m}$ e $+4\mu\text{m}$ é aproximadamente de 93,5%. Esse resultado demonstra que o material possui grande potencial para alimentar um processo de concentração, a qual permita concentrar essas partículas.
4. Devido o alto teor de SiO_2 na faixa entre $-45\mu\text{m}$ e $+4\mu\text{m}$ é necessária uma etapa de concentração, com objetivo de reduzir a SiO_2 e aumentar o teor de ferro, viabilizando a produção de pelotas a partir do rejeito.
5. O reaproveitamento desse rejeito promoverá na mineração o desenvolvimento de uma produção sustentável, contribuindo significativamente para gestão dos recursos não renováveis. Além de tornar o segmento mais competitivo, em função da utilização de uma matéria prima de baixo custo.

Agradecimentos

O presente trabalho teve o apoio da Fundação Gorceix - Departamento de Pesquisa em Engenharia e Educação Continuada (DEPEC).

REFERÊNCIAS

- 1 WOLFF, A. P., Costa, G. M., Dutra, F. C., A comparative study of ultra-fine iron ore tailings from Brazil. *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.*, 32 (2011) 47-59
- 2 GOMES, M. A. Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Minas - DEMIN). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - Minas Gerais, Brasil. 2009, 89p.
- 3 SIVAMOHAN, R., The problem of recovering very fine particles in mineral processing - a review. *Int. J. Miner. Process*, 28 (1990) 247-288.
- 4 CUNHA, A. A. Caracterização tecnológica e estudo termomagnético de rejeitos de minério de ferro. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação da REDEMAT), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - Minas Gerais, Brasil. 2015, 96p.