



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
UNIDADE ARAXÁ**

**FERNANDA PAIVA LOPES TEIXEIRA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DA ETAPA *SCAVANGER* NO  
CIRCUITO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DA MINERAL  
DO BRASIL LTDA.**

**ARAXÁ/MG**

**2018**

**FERNANDA PAIVA LOPES TEIXEIRA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DA ETAPA *SCAVANGER* NO  
CIRCUITO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DA MINERAL  
DO BRASIL LTDA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães.

**ARAXÁ/MG**

**2018**

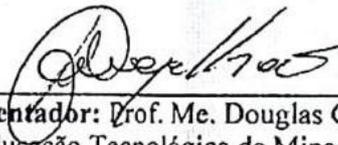
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**FERNANDA PAIVA LOPES TEIXEIRA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DA ETAPA SCAVANGER NO  
CIRCUITO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DA MINERAL  
DO BRASIL LTDA.**

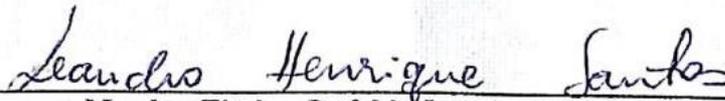
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia de  
Minas do Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais -  
CEFET/MG, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Minas.

Araxá, 07 de dezembro de 2018.



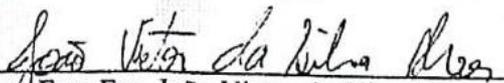
---

**Presidente e Orientador:** Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães.  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG  
Unidade Araxá



---

**Membro Titular:** Prof. Me. Leandro Henrique Santos.  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG  
Unidade Araxá



---

**Membro Titular:** Eng. Esp. João Victor da Silva Alves.  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG  
Unidade Araxá

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha mãe, Patrícia, por sempre acreditar em mim, me incentivar a continuar e permitir a realização dos meus sonhos.

À minha irmã Andréa, avó Titeca e toda minha família por todo amor, apoio e constantes incentivos.

Ao Professor Me. Douglas Geraldo Magalhães pela confiança e ensinamentos durante a realização desse trabalho.

À Mineral do Brasil LTDA., em especial ao meu supervisor Wanderley, por ceder as amostras utilizadas, além da oportunidade de estágio e todos os aprendizados.

Aos técnicos do Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-MG/Araxá João Victor da Silva Alves e João Antônio da Silva Neto pela ajuda durante a realização dos testes.

Aos meus amigos, em especial a Fabiana Cabrine, por toda assistência, apoio e ajuda durante esse processo.

## RESUMO

A empresa Mineral do Brasil LTDA., situada em Brumadinho – MG, na região do Quadrilátero Ferrífero, apresenta a necessidade de diminuir o volume e teor de ferro de seu rejeito final, proveniente da concentração magnética de alto campo. Sendo assim fez-se o estudo da viabilidade da concentração magnética a úmido em escala de bancada como etapa *scavenger*. Para isso foi avaliada a influência das variáveis porcentagens de sólidos da polpa na alimentação, volume de água de lavagem na operação e a intensidade do campo magnético. A metodologia consistiu em secagem de toda amostra inicial, seguida por peneiramento, homogeneização, quarteamento, análise granulométrica, ensaios de concentração magnética utilizando o separador magnético do tipo carrossel, a determinação dos teores de ferro da alimentação e dos rejeitos a partir da picnometria, enquanto o teor do concentrado foi determinado pela conservação das massas. Os resultados foram analisados em termos de teor de ferro no rejeito, perda mássica e perda metalúrgica. A análise dos resultados mostrou que a variável campo possui maior influência na operação, sendo que os testes em campo de 10.430 gauss apresentaram melhores resultados. A porcentagem de sólidos usadas foram de 20% e 40%, água de lavagem de volume 250 ml e 500 ml e campo de 7.000 gauss e 10.430 gauss. O melhor resultado obteve um rejeito com 22,79% de ferro, teor de concentrado de 51,87%, perda mássica de 56,68% e perda metalúrgica de 25,55%. E as variáveis nesse teste foram 40% de sólidos, 250 ml de água de lavagem e campo de 10.430 gauss.

**Palavras-chave:** Minério de Ferro. Rejeito. Concentração Magnética. *Scavenger*.

## ABSTRACT

The company Mineral do Brasil Ltda., Located in Brumadinho - MG, in the region of Quadrilátero Ferrífero, presents the need to reduce the volume and content of its final iron tailings, coming from high field magnetic concentration. Thus, the feasibility study of the wet magnetic concentration on bench scale was carried out as a scavenger step. For this, the influence of the variables pulp solids percentages in the feed, washing water volume in the operation and magnetic field were evaluated. The methodology consisted of drying the whole initial sample followed by sieving, homogenization, quarrying, granulometric analysis, magnetic concentration tests using the carousel type magnetic separator, determination of feed contents and of the rejects from the pycnometry, while the concentrate content was determined by the conservation of the masses. The results were analyzed in terms of iron content in the tailings, mass loss and metallurgical loss. The analysis of the results showed that the field variable has a greater influence on the operation, and the field tests of 10,430 gauss presented better results. The percentage of solids used was 20% and 40%, wash water volume 250 ml and 500 ml and field of 7,000 gauss and 10,430 gauss. The best result was a reject with 22.79% of iron, concentrate content of 51.87%, loss of mass of 56.68% and loss of metallurgy of 25.55%. And the variables in this test were 40% solids, 250 ml wash water and 10,430 gauss field.

**Keywords:** Tailings. Magnetic Concentration. Scavenger.

## LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Produtos provenientes da Mineral do Brasil LTDA. ....	11
Figura 2 - Principais minerais portadores de ferro. (a) magnetita (b) hematita (c) limonita. .....	13
Figura 3 - Mapa geológico e estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero, compilado a partir do trabalho de Dorr (1969) .....	14
Figura 4 - Evolução da produção mundial de concentrado de minério de ferro dos principais produtores mundiais no período de 2005 a 2010. ....	15
Figura 5 - Ocorrências de minério de ferro no Brasil .....	16
Figura 6 - Evolução da produção de minério de ferro no Brasil.....	18
Figura 7 - Campo magnético uniforme (A) e convergente (B), apresentando o gradiente de campo .....	21
Figura 8 - Indução magnética para diferentes espécies mineralógicas: (a) ferromagnéticas, (b) paramagnéticas e (c) diamagnéticas .....	22
Figura 9 - Diagrama contendo as características, classificação e aplicações dos separadores magnéticos .....	23
Figura 10 - Separador magnético de tambor da Mineral do Brasil LTDA.....	24
Figura 11 - Vista geral de um separador magnético de carrossel usado em escala laboratorial.....	25
Figura 12 - Montagem das matrizes de forma intercalada .....	25
Figura 13 - Pilha cônica amostra inicial. ....	26
Figura 14 - Pilha alongada do material passante em 0,425 mm. ....	27
Figura 15 - Amostra utilizada nos testes de separação magnética. ....	28
Figura 16 - Separador Magnético de escala laboratorial e alimentador.....	31
Figura 17 - Curva granulométrica da amostra de alimentação. ....	36
Figura 18- Concentrado e rejeito provenientes da etapa <i>scavenger</i> .....	37
Figura 19 - Gráfico comparativo entre teores e perda metalúrgica.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmula química e teor teórico dos principais minerais portadores de ferro...	12
Tabela 2 - Ranking das 10 maiores empresas produtoras mundiais de minério de ferro (2010) .....	15
Tabela 3 - Países com as maiores reservas de minério de ferro (em milhões de toneladas) e os respectivos teores médios de ferro (%).....	17
Tabela 4 - Malhas das peneiras usadas na análise granulométrica. ....	28
Tabela 5 - Planejamento dos testes de separação magnética.....	32
Tabela 6 - Distribuição granulométrica da amostra de alimentação.....	35
Tabela 7 - Resultados dos testes de picnometria para a alimentação.....	36
Tabela 8 - Resultado dos Testes da Concentração Magnética.....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
2.1 Minério de Ferro .....	11
2.2 Minerais portadores de Ferro. ....	12
2.3 Quadrilátero Ferrífero .....	13
2.4 Histórico do Minério de Ferro no mundo .....	14
2.5 Histórico do Minério de Ferro no Brasil .....	16
2.6 Métodos de Concentração de Minério de Ferro .....	18
2.6.1 Concentração Magnética .....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1 Origem e preparação da amostra .....	26
3.2 Análise granulométrica .....	28
3.3 Picnometria .....	29
3.4 Ensaios de concentração magnética .....	30
3.5 Determinação do Teor .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
4.1 Análise Granulométrica .....	35
4.2 Picnometria e Determinação do Teor .....	36
4.3 Ensaios de Separação Magnética .....	37
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de concentrado de minério de ferro do mundo e se destaca no cenário mundial por seu minério de alto teor, associado a menores quantidades de elementos indesejados para processos siderúrgicos, tais como enxofre, alumínio, fósforo e carbonatos. O mercado que mais absorve essa produção é o da siderurgia, que demanda um produto com teor de Fe de acima de 64%. Para os minérios de ferro de altos teores, as operações de beneficiamento se baseiam apenas em cominuição e classificação. Entretanto, para minérios de baixos teores, é necessário inserir etapas de concentração para que o teor mínimo seja atingido (NASCIMENTO, 2010).

A concentração magnética, enfoque no presente trabalho, explora como os minerais respondem ao campo magnético como propriedade diferenciadora, separando assim os minerais magnéticos dos não-magnéticos (SAMPAIO, 2010). Mesmo com a concentração, o aumento da produção de minério de ferro, em decorrência da alta demanda mundial e da exaustão das jazidas de altos teores, acarreta em uma grande produção de rejeitos que está associada a custos tanto de operação e estocagem quanto custos ambientais.

Dentre os estados brasileiros Minas Gerais é o maior produtor e possui também a maior reserva desse minério do país, situada na região do Quadrilátero Ferrífero (CARVALHO *et al*, 2014). Os principais métodos de concentração aplicados são gravíticos, magnéticos e flotação.

A empresa Mineral do Brasil LTDA. é uma mineradora de médio porte presente na cidade de Brumadinho – MG, na região do quadrilátero ferrífero, produz concentrado de minério de ferro com granulometrias variadas, dentre eles *lump ore* e *sínter feed*, e para isso utiliza o separador magnético do tipo tambor na etapa de concentração. Essa etapa do beneficiamento, atualmente, tem gerado uma quantidade significativa de rejeito com alto teor de ferro. Por se tratar de um rejeito arenoso, além da perda metalúrgica, existe um gasto com transporte e empilhamento.

Partindo desse contexto, o trabalho proposto envolve estudos para a implantação da etapa *scavanger* na concentração magnética visando, ao final do circuito, produzir um rejeito com teor de ferro menor que o atual e consequentemente redução na massa de rejeito gerado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo apresenta e conceitua os aspectos gerais do minério de ferro, sua ocorrência no Brasil e os principais métodos de concentração utilizados nos dias atuais, com foco na concentração magnética.

### 2.1 Minério de Ferro

O ferro é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (4,5% em massa), superado somente pelo oxigênio, silício e alumínio. O elemento quando comparado a outros metais é um fraco condutor de eletricidade, porém altamente magnetizável. A extração desse metal é feita analisando-se a concentração dos minerais na rocha e sua distribuição. Sabe-se que, aproximadamente, 300 minerais possuem ferro em sua composição, porém a exploração deve sempre ser economicamente viável, por isso nem todos os minerais e rochas portadoras de ferro são exploradas (CARVALHO *et al*, 2014).

Como é conhecido, os minérios de ferro podem ser classificados de acordo com a sua composição química, sendo assim, classificam-se como óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos. Hoje em dia, explora-se óxidos já que esses se mostram com maiores concentrações e são considerados economicamente exploráveis, em contrapartida o ferro nativo raramente é encontrado em sua forma natural (WALDE, 1986). Do ponto de vista metalúrgico, o minério de ferro é dividido segundo Carvalho e colaboradores (2014) por sua granulometria em três categorias, algumas delas mostradas na figura 1, sendo elas:

- Granulado ou *lump ore*. Entre 200mm e 12,5mm
- Finos para sinter ou *sinter feed*. Entre 12,5mm e 0,15mm
- Finos para pelotas ou *pellet feed*. Menores que 0,15mm.



Figura 1 - Produtos provenientes da Mineral do Brasil LTDA.

## 2.2 Minerais portadores de Ferro.

Os principais minerais portadores de ferro, suas fórmulas químicas e seus respectivos teores estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Fórmula química e teor teórico dos principais minerais portadores de ferro

Mineral	Fórmula química	Teor de Ferro (%)
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72,4
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	69,9
Goethita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62,9
Limonita	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	59,8
Ilmenita	$\text{FeTiO}_3$	36,8
Siderita	$\text{FeCO}_3$	48,2
Pirita	$\text{FeS}_2$	46,5

Fonte: Maia, 2011.

A magnetita é um mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III fortemente magnético, de cor preta e brilho metálico. É um componente recorrente da maioria das formações ferríferas e quando naturais contem, geralmente, menores quantidades de elementos contaminantes como Mg, Mn, Al, Ti e outros em sua estrutura. É disseminada como um mineral acessório em muitas rochas ígneas (DANA, 1976).

A hematita é o mineral de ferro mais importante e pode ser encontrada nos minérios pré cambrianos. Possui peso específico de  $5,30 \text{ g/cm}^3$ , brilho metálico nos cristais e opacos nas variedades terrosas. Sua cor pode variar de castanho avermelhado a preto e seu traço vermelho. É um mineral paramagnético (DANA, 1976). Os corpos desse minério são constituídos basicamente de hematita e apresentam comportamento mais homogêneos, por isso são mais ricos em ferro e encontrados em proporções variáveis na forma de lentes imersas das camadas de itabirito. (CARVALHO, 2014).

A limonita se difere da goethita devido à sua aparência vítrea e à ausência de esfoliação, além de sua cor castanha amarelada. É um mineral de origem supergênica formada pela solução ou alteração dos minerais de ferro previamente existentes. É a responsável pela coloração amarelada das argilas e dos solos e aparece comumente

associado à goethita, hematita, turgite, pirolusita, calcita e siderita (DANA, 1976). Os minerais comentados anteriormente estão representados na Figura 2.



Figura 2 - Principais minerais portadores de ferro. (a) magnetita (b) hematita (c) limonita.

Goethita é um dos minerais mais comuns e se forma sob condições de oxidação como produto de intemperismo dos minerais portadores de ferro. Muitos dos materiais inicialmente classificados como limonitas são na verdade goethitas já que é uma das formas mais frequentes (DANA, 1976).

Minério de rolamento é uma ocorrência comum no Quadrilátero Ferrífero, proveniente de processos de intemperismos. Também conhecido como “Rolado”, é explorado em alguns locais, mesmo possuindo menor valor agregado e menor importância econômica. Consiste em um minério fragmentado que se acumulou nos taludes das elevações das antigas formações ferríferas. É composto por cascalhos de itabirito que foram enriquecidos pela perda parcial de silício (CARVALHO, 2014).

### 2.3 Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero é a província mais importante de minério de ferro do país, produzindo cerca de 260 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (MAIA, 2011). Está situado na região centro sul do estado de Minas Gerais com uma área de cerca de 7.000 quilômetros quadrados, Figura 3, na borda sul do Cráton São Francisco destaca-se como uma região de grande concentração das reservas de minério de ferro (CASTRO *et al*, 2011). Nessa região, os depósitos são do tipo Lago Superior, e apresentam rochas quartzosas contendo óxido de ferro com alguns carbonatos e silicatos, denominados de itabiritos (Alecrim 1982 *apud* Nascimento 2010).

O minério de ferro encontrado no Quadrilátero Ferrífero, segundo Carvalho e colaboradores (2014) pode ser dividido em dois grupos principais de acordo com o conteúdo mineral e textura:

- Minério itabirítico: Definido pela alternância entre bandas constituídas de óxidos de ferro e bandas constituídas de sílica, de espessuras que variam de milimétricas a centimétricas, e com teores de ferro variando entre 20% e 55% de Fe total.
- Minério hematítico: Minério de alto teor constituído praticamente hematita (mais rico em ferro).

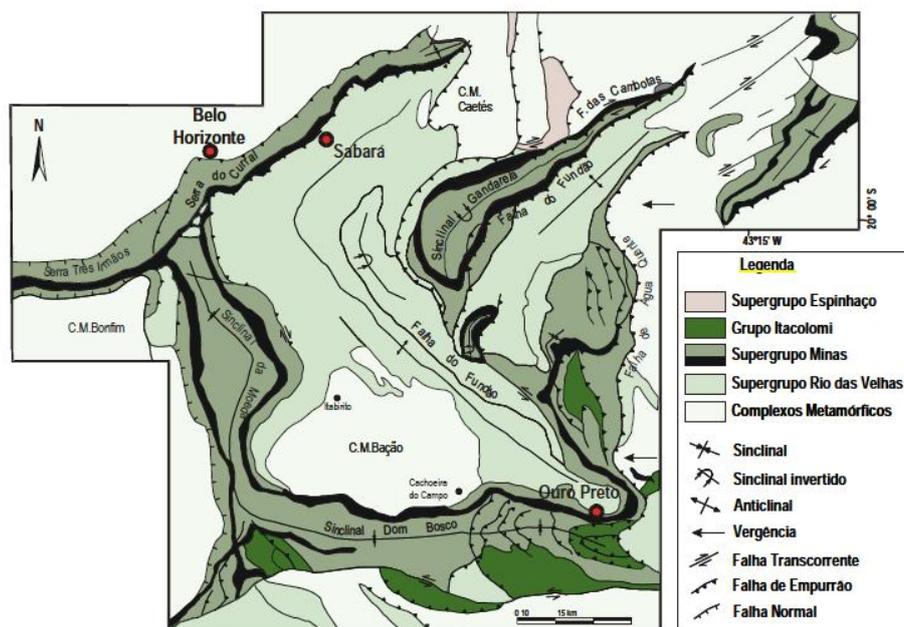


Figura 3 - Mapa geológico e estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero, compilado a partir do trabalho de Dorr (1969). Fonte: Fernandes, 2008.

## 2.4 Histórico do Minério de Ferro no mundo

O minério de ferro é extraído por cerca de 50 países, sendo os cinco maiores produtores Austrália, Brasil, China, Índia e Rússia, que correspondem a cerca de 80% da produção mundial total. Quando se analisa as reservas, as maiores estão no Brasil, Austrália, Rússia, Ucrânia e China, que somados, respondem por 70% do total de reservas de minério de ferro do mundo. A Figura 4 apresenta a evolução da produção mundial de

concentrado de minério de ferro dos principais produtores mundiais no período de 2005 a 2010 (MAIA, 2011).

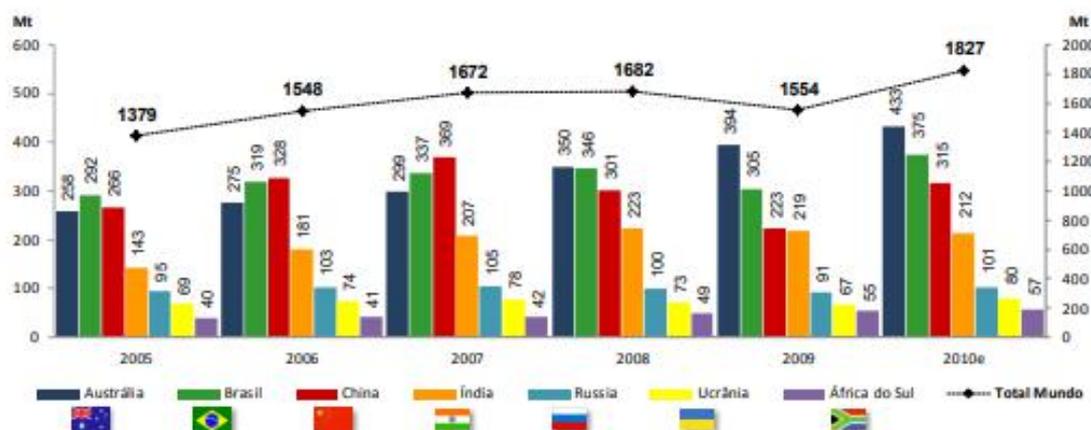


Figura 4 - Evolução da produção mundial de concentrado de minério de ferro dos principais produtores mundiais no período de 2005 a 2010. Fonte: Maia, 2011.

Quando se trata de empresas produtoras de concentrado de minério de ferro a Vale ficou em primeiro lugar no ranking mundial em 2010, como mostrado na Tabela 2, seguida por uma empresa do Reino Unido. Nota-se que mais de 50% da produção mundial desse minério está concentrado em 10 empresas pelo mundo.

Tabela 2 - 10 maiores empresas produtoras mundiais de minério de ferro (2010)

Posição	Empresa	País	Produção (%)
1°	Vale	Brasil	16,9
2°	Rio Tinto	Reino Unido	9,9
3°	BHP Billiton	Austrália	8,2
4°	Estado da Índia	Índia	3,1
5°	Arcelor Mittal	Luxemburgo	2,7
6°	Anglo American	Reino Unido	2,4
7°	Fortescue Metal Group	Austrália	2,1
8°	Cliffs Natural Resources	EUA	2,0
9°	Metalloinvest	Rússia	2,0
10°	System Capital Management	Ucrânia	1,7
<b>Total</b>			<b>51,0</b>

Fonte: Maia, 2011.

## 2.5 Histórico do Minério de Ferro no Brasil

A mineração de ferro foi impulsionada e encorajada no Brasil a partir de 1910, quando a qualidade do minério de ferro brasileiro foi difundida e produtores internacionais de ferro migraram para o país (CASTRO, 2011).

O Brasil possui muitas jazidas de minerais ferríferos, como mostrado na Figura 5, principalmente nos estados de Minas Gerais (Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero no Cráton São Francisco) e Pará (Província Mineral Carajás no Cráton Amazonas) e cada um desses depósitos minerais apresenta uma metalogenia específica. (NASCIMENTO, 2010).

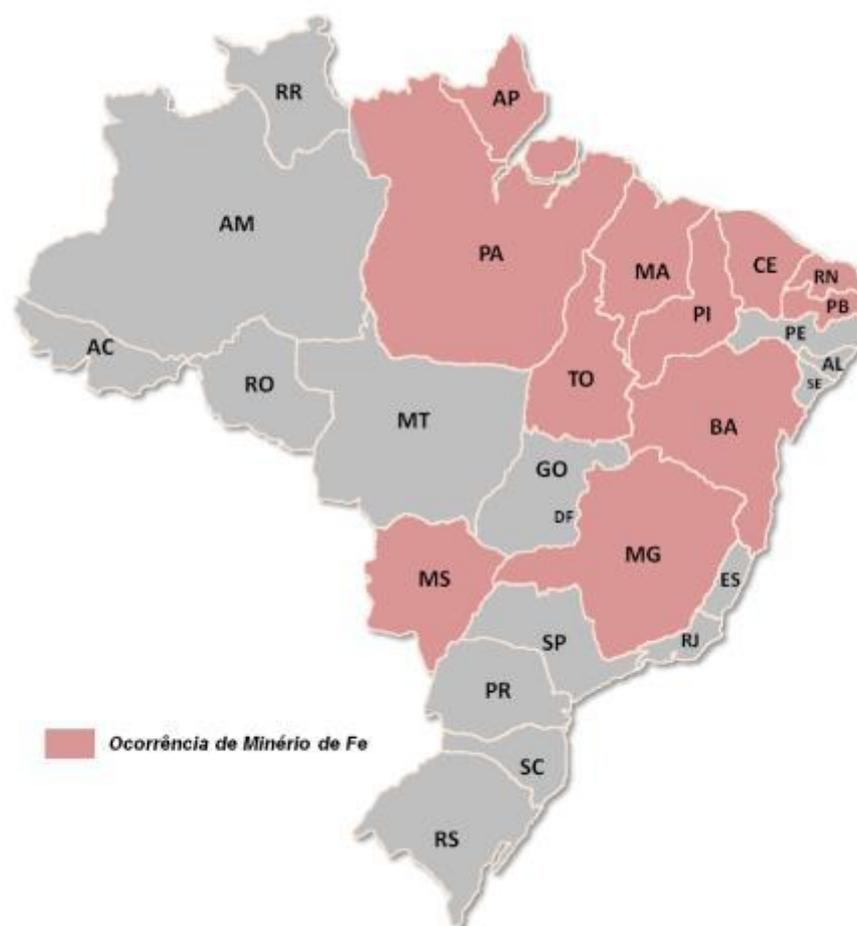


Figura 5 - Ocorrências de minério de ferro no Brasil. Fonte: Maia, 2011.

Por possuir uma grande reserva Minas Gerais é o maior produtor de minério de ferro do Brasil. extraindo mais de 160 milhões de toneladas/ano de minério de ferro e possui 24 mineradoras consideradas classe A (produzem mais de 3.000 t/ano de minério ROM) e 4 consideradas classe B (produzem entre 1.000 e 3.000 t/ano). Além disso, Minas

Gerias juntamente com o Pará, entram em destaque na produção mundial devido ao seu minério de alto teor (IBRAM, 2014).

Em relação as reservas, o Brasil encontra-se na segunda colocação com reservas medidas de 16.000 milhões de toneladas com um teor médio relativamente alto, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Países com as maiores reservas de minério de ferro (em milhões de toneladas) e os respectivos teores médios de ferro (%)

<b>País</b>	<b>Reservas (Milhões De Toneladas)</b>	<b>Fe (%)</b>
Austrália	17.000	48,6
Brasil	16.000	55,2
Rússia	14.000	56,0
China	7.200	31,3
Índia	4.500	64,3
Venezuela	2.400	60,0
Canadá	2.300	36,5
Ucrânia	2.300	35,4
Suécia	2.200	62,9
Estados Unidos Da América	2.100	30,4
Irã	1.400	56,0
Cazaquistão	900	36,0
Mauritânia	700	64,6
África Do Sul	650	65,0
México	400	57,1
<b>Total Mundo</b>	<b>80.050</b>	<b>48,2</b>

Fonte: USGS, 2013.

Pode-se dizer que o mercado de minério de ferro foi influenciado diretamente pelo crescimento acelerado na última década, impulsionado pela ascensão da China. Esse mercado tem se mostrado altamente dependente da indústria siderúrgica, que representa mais de 90% da procura pelo minério. (CARVALHO *et al* 2014).

Segundo a Conferência das Nações Unidas para o Comércio e Desenvolvimento, a produção Brasileira de minério de ferro em 2009 foi de 300 milhões de toneladas (Figura 6), o que gerou uma receita bruta, proveniente das exportações brasileiras desse minério, de US\$ 13,24 bilhões. Mesmo que alta, tanto a receita quanto produção foram inferiores às

de 2007 e 2008, o que condiz com a crise mundial do minério de ferro que começou no segundo semestre de 2008 (CASTRO, 2011).

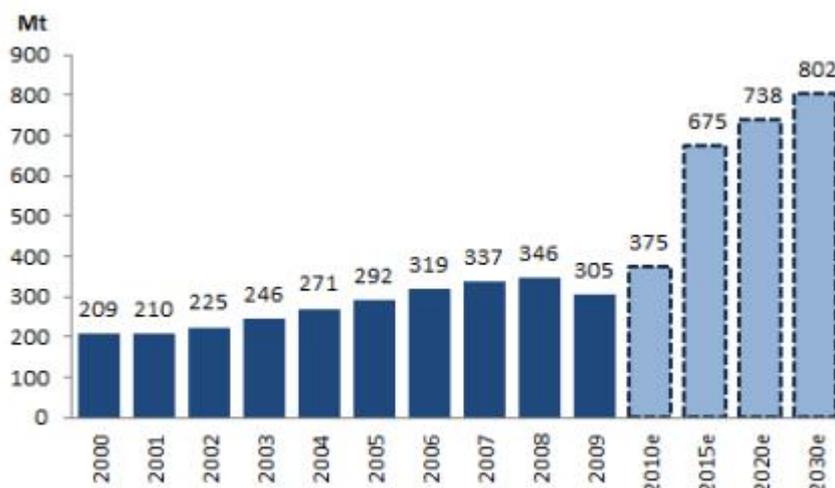


Figura 6 - Evolução da produção de minério de ferro no Brasil. Fonte: Maia, 2011.

Mesmo não atingindo os valores estimados por Maia (2011) o cenário de produção de minério de ferro aumentou em 2013 e em 2014 atingindo 411,8 milhões de toneladas, um aumento em relação a 2013 de 6,4%. Entretanto uma característica se manteve, já que Minas Gerais continuou como maior estado produtor do minério no Brasil com 68,4 %, seguido pelo Pará (29,2%) e Mato Grosso do Sul (1,2%) (JESUS, 2016).

## 2.6 Métodos de Concentração de Minério de Ferro

O minério de ferro apresenta características que permitem mais de um tipo de concentração e as vezes a utilização de mais de um método combinado. As diferenças de densidade e de propriedade superficial dos minerais de ganga e do mineral-minério, além da susceptibilidade magnética permitem que esse material seja concentrado por meios gravíticos, flotação e concentração magnética, respectivamente (ARAUJO *et al*, 2003).

Segundo Chaves e Filho (2013) a concentração gravítica é um processo no qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força de gravidade ou por forças centrífugas. Esse método pode ser dividido pelas seguintes operações:

- Jigagem;

- Operações de meio denso;
- Separação em lâmina d'água;
- Operações centrífugas.

Esse tipo de separação apresenta vantagens em relação aos outros métodos por não utilizar reagentes, além de gerar um menor impacto ambiental. Em contrapartida apresenta um elevado gasto de água, fazendo necessário sua recirculação (CHAVES E FILHO, 2013).

O método de concentração por flotação tem sido amplamente aplicado para minérios de ferro, já que o mesmo pode ser usado tanto como processo único ou combinado, sendo estágio final de concentração para obtenção de um produto de teor mais elevado (LOPES, 2009).

A flotação é um processo de concentração de partículas sólidas que explora diferenças nas características de superfícies entre as espécies minerais presentes na polpa. A seletividade do processo se baseia nas diferenças de superfícies dos minerais, que apresentam graus de hidrofobicidade distintos (GOMES, 2009). De forma prática no processo de flotação uma polpa de minério de ferro, já em granulometria adequada, e com determinada quantidade de reagentes, é inserida no equipamento e ar é borbulhado através da polpa. Os reagentes são inseridos para modificar a superfície dos óxidos de ferro ou dos minerais de ganga para que ocorra a adsorção-adesão das partículas as bolhas de ar. Após a adsorção o agregado bolha/partícula, sendo hidrofóbico, sobe em direção a camada de espuma onde é coletado, já as partículas hidrofílicas afundam e são coletadas separadamente (LOPES, 2009).

Para o minério de ferro a flotação pode ocorrer de duas formas: direta ou reversa. Na flotação direta o óxido de ferro é aderido à bolha e a sílica é afundada usando reagentes aniônicos (ácidos graxos). Esse método de flotação pode ser uma alternativa para minérios de menor teor e recuperação de materiais previamente depositados em barragens de rejeitos (ARAÚJO *et al* 2006). Já na flotação reversa, que é a mais usada para o minério de ferro, a sílica é flotada, ou seja, é coletada na espuma, enquanto o mineral-minério é deprimido, usando reagentes catiônicos (aminas) e depressores (amido de milho gelatinizado) (LOPES,2009).

### 2.6.1 Concentração Magnética

A concentração magnética é um método de concentração de ampla área de atuação e custo relativamente baixo. Pode ser usado para vários minerais, sejam eles ferrosos ou não, na remoção de impurezas magnéticas (combinada com outras operações), além da reciclagem de metais contidos em resíduos industriais, entre outros. Outra grande vantagem desse método é ser ambientalmente “amigável”, já que não apresenta uso de reagentes químicos e pode ser realizado tanto a seco ou a úmido, geralmente para matérias de maior granulometria e para materiais mais finos, respectivamente. Esse fato viabiliza sua utilização em locais com pouca disponibilidade de água (SAMPAIO *et al*, 2010).

A susceptibilidade magnética é a propriedade diferenciadora na concentração magnética. A partir dela que os materiais são concentrados e respondem com maior ou menor intensidade a um campo magnético. Pode ser diferenciada, segundo Sampaio e colaboradores (2010), em três categorias:

- Aqueles que são fortemente atraídos pelo campo magnético, chamados de Ferromagnéticos. Exemplo: Magnetita;
- Aqueles que são fracamente atraídos pelo campo magnético, chamados de Paramagnéticos. Exemplo: Hematita;
- E os minerais que são repelidos pelo campo, chamados de Diamagnéticos. Exemplo: Quartzo.

A concentração magnética está relacionada, segundo Sampaio (2010), às forças magnéticas que atuam sobre as partículas minerais e ao comportamento dos diferentes minerais quando expostos ao mesmo campo magnético.

“Uma partícula magnetizada comporta-se, temporariamente, como uma barra magnética, em cujas extremidades estão os polos norte e sul. Nos materiais ferromagnéticos, o alinhamento dos dipolos é permanente. Nos materiais paramagnéticos, tal alinhamento não é permanente, sendo apenas induzido enquanto o campo é aplicado, tornando-se totalmente aleatório na ausência do campo. Quando um campo magnético uniforme é aplicado a uma partícula, as forças que atuam sobre os dois polos da mesma são iguais e opostas, portanto a resultante dessas forças é nula. Se o campo

aplicado nas duas extremidades difere em intensidade, resultará numa força que age sobre a partícula” (SAMPAIO, 2010).

A variação citada por Sampaio (2010), também pode ser chamada de gradiente e gera uma força que pode ser atrativa ou repulsiva. Esse gradiente de campo descreve se as linhas de fluxo convergem ou divergem. A Figura 7 demonstra essa ocorrência onde tem-se um campo uniforme e um campo convergente. No campo uniforme demonstra-se que a força resultante é nula, enquanto no campo convergente existe uma força atuando sobre a partícula.

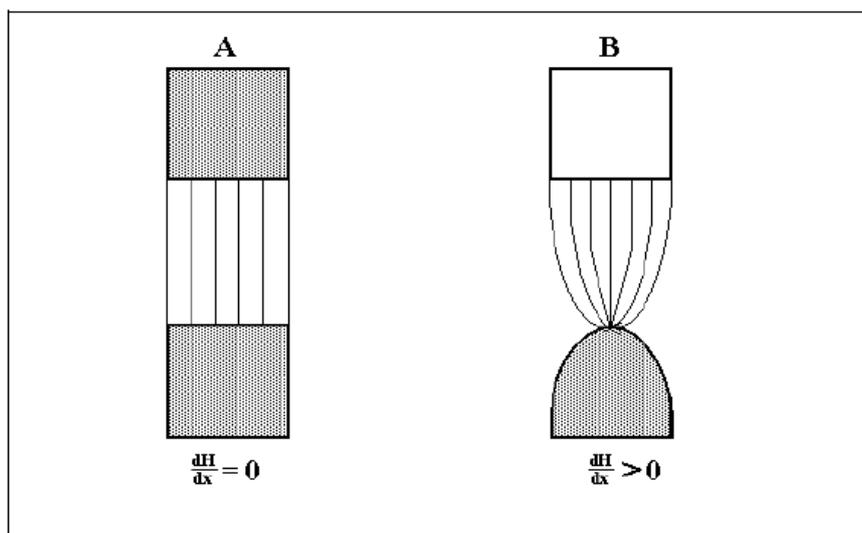


Figura 7 - Campo magnético uniforme (A) e convergente (B), apresentando o gradiente de campo. Fonte: Sampaio, 2010.

O comportamento dos diferentes minerais em função da intensidade do campo magnético aplicado está exposto na Figura 8. Nesse caso tem-se espécies ferromagnéticas (representada pela curva a) que respondem ao campo magnético de forma rápida, ou seja, campos mais baixos, já as paramagnéticas (curva b) apresentam indução mais lenta, menos acentuada, enquanto as espécies diamagnéticas (curva c) a indução magnética é negativa, ou seja, são repelidas pelo campo (SAMPAIO, 2010).

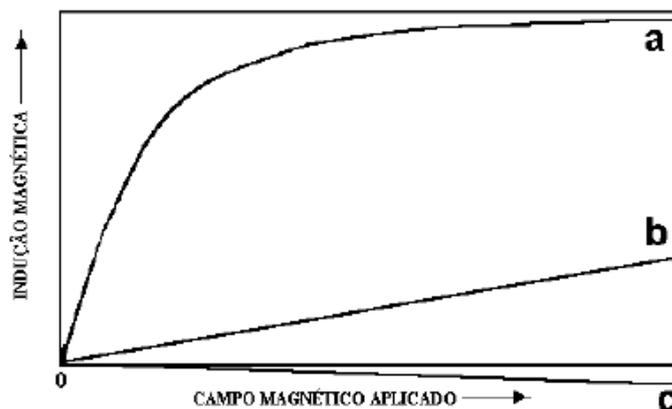


Figura 8 - Indução magnética para diferentes espécies mineralógicas: (a) ferromagnéticas, (b) paramagnéticas e (c) diamagnéticas. Fonte: Sampaio, 2010.

### 2.6.1.1 Equipamentos

Separadores magnéticos podem ser classificados de acordo com o uso (a seco ou a úmido) e também podem ser subdivididos em grupos de acordo com suas características do campo de indução, ou seja, podem ser separadores de alta ou baixa intensidade. A forma e mecanismos do separador também influenciam na concentração, por isso existem separadores denominados de tambor, rolos induzidos, correias cruzadas, de carrossel, dentre outros (SAMPAIO, 2010).

No presente trabalho foi dado enfoque nos separadores de tambor, que são os utilizados na Mineral do Brasil LTDA., empresa que cedeu as amostras para realização dos testes, e separadores do tipo carrossel, que é o modelo disponível no laboratório de tratamentos de minério do CEFET-MG/Araxá, onde os testes foram realizados. No diagrama mostrado na Figura 9 estão as características dos separadores magnéticos (SAMPAIO, 2010).

Ainda segundo Sampaio (2010), as matrizes ferromagnéticas, entre os polos do eletroímã, são usadas para construção e aumento do gradiente, já que a mesma produz sítios dentro dele com campo de alta intensidade. Existem vários modelos de matrizes no mercado, porém os mais utilizados são esferas, hastes, placas sulcadas, grades, lã de aço, dentre outros. A escolha da matriz deve levar em consideração as características do minério a ser concentrado, para que a mesma melhore o desempenho da separação (SAMPAIO, 2010).

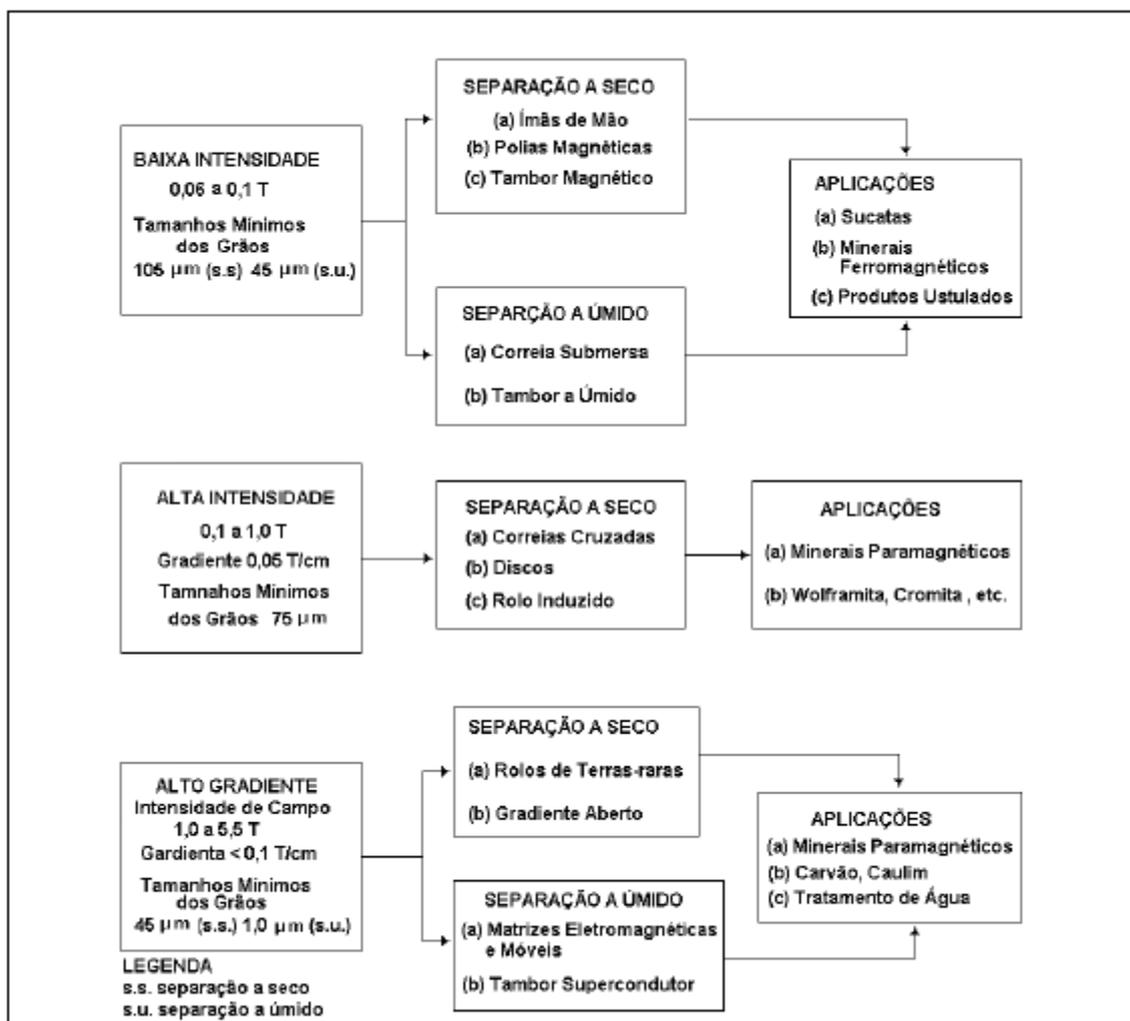


Figura 9 - Diagrama contendo as características, classificação e aplicações dos separadores magnéticos.

Fonte: Sampaio, 2010.

## Separadores magnéticos do tipo Tambor

Existem dois separadores magnéticos do tipo tambor: os de baixa e alta intensidade. Ambos os modelos são utilizados na Mineral do Brasil LDTA. Separadores de baixa intensidade produzem campos de 750 a 2.000 gauss, sendo que na empresa em questão faz-se uso desse separador a uma intensidade de 1.500 gauss. Esse tipo de separador é utilizado em via úmida e é aplicado em minerais fortemente magnéticos, como é o caso da magnetita. Já os separadores de alta intensidade produzem campos de 7.000 gauss e também operam via úmida. Ambos os separadores podem ser utilizados para granulometrias de *pellet* e *sínter feed* (INBRAS, 2013). Possuem um formato e funcionamento similares, porém o de baixa intensidade possui rolos maiores. A Figura 10 mostra o rolo de alta intensidade utilizado na planta de concentração da Mineral do Brasil produzido pela INBRAS.



Figura 10 - Separador magnético de tambor da Mineral do Brasil LTDA. com vista frontal e lateral.

### **Separador magnético do tipo Carrossel**

O separador magnético do tipo Carrossel é utilizado em testes de escala de bancada, em via úmida, para minerais fracamente magnéticos (paramagnéticos) que estejam em uma granulometria abaixo de 0,841 mm. Esse tipo de equipamento pode atingir campos de até 18.000 gauss, dependendo do modelo, produzidos pelas bobinas eletromagnéticas, e utiliza matrizes em seu processo de separação. Esse tipo de equipamento é de grande importância no laboratório, já que é usado para determinar a viabilidade de se concentrar magneticamente determinado minério e definir os melhores parâmetros para que se tenha a melhor separação (INBRAS, 2013).

A Figura 11 ilustra as principais partes de um separador magnético de carrossel usado em escala laboratorial.

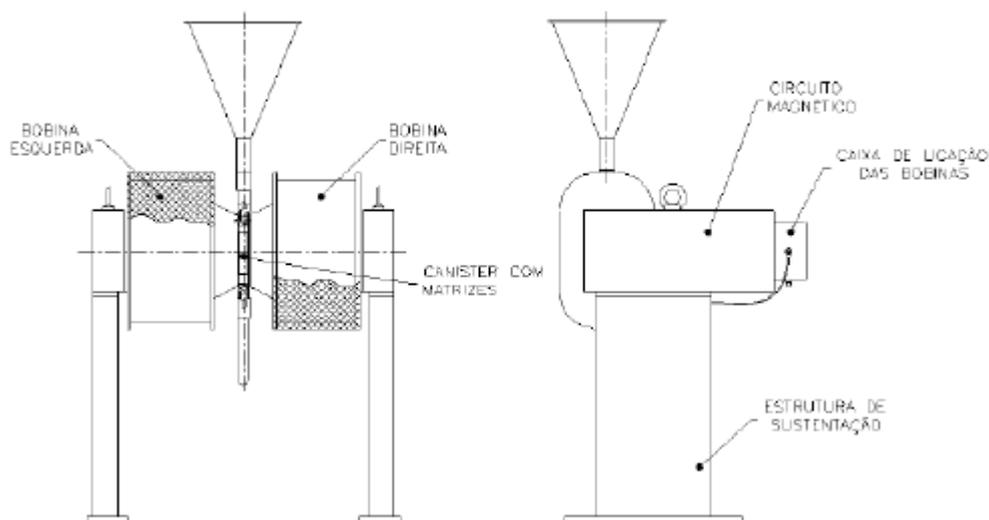


Figura 11 - Vista geral de um separador magnético de carrossel usado em escala laboratorial. Fonte: INBRAS, 2013.

O separador magnético do tipo carrossel faz uso de matrizes para otimizar a concentração. Elas têm como função amplificar o gradiente do campo na região entre os polos onde ocorre a separação magnética. As matrizes são um conjunto de telas, como é mostrado na Figura 12, para dificultar a passagem do material, porém não pode impedi-la. Desse modo a matriz utilizada deve ter o *gap* (abertura) de no mínimo 2,5 vezes o *top size* do minério a ser concentrado. (INBRAS, 2013).

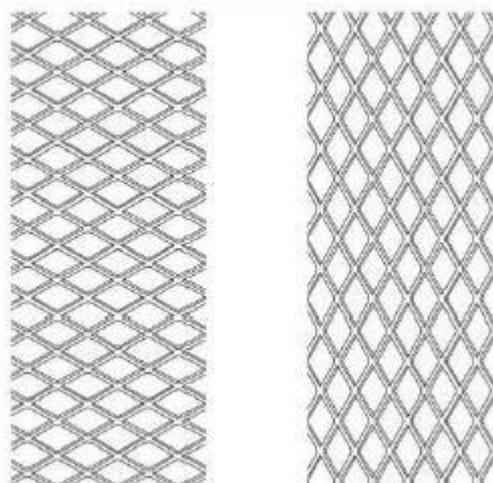


Figura 12 - Montagem das matrizes de forma intercalada. Fonte: INBRAS, 2013.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET -MG/Araxá. No capítulo descrito serão apresentados os procedimentos para a realização dos testes e desenvolvimento do estudo.

#### 3.1 Origem e preparação da amostra

Foi utilizada uma amostra de rejeito desaguado de minério de ferro proveniente da concentração magnética da empresa Mineral do Brasil LTDA. situada na região do Quadrilátero Ferrífero, no município de Brumadinho – MG.

As etapas de beneficiamento pelo qual a amostra passou, antes de ser coletada, foram: britagem (primária e secundária), peneiramento e concentração por meio de separadores magnéticos do tipo tambor. Após a concentração o rejeito passou por peneiras desaguadoras para retirada de água.

O primeiro passo para a preparação da amostra foi a secagem, já que a mesma apresentava umidade de 19,50%. Realizou-se então o peneiramento dos 15,2 kg da amostra inicial (Figura 13). O peneiramento, a seco, foi realizado em uma peneira de 0,425 mm, para que toda a amostra se adequasse aos parâmetros necessários para o ensaio de concentração magnética e também a malha maior malha disponível no laboratório, que corresponde a materiais abaixo de 0,500 mm.



Figura 13 - Pilha cônica amostra inicial.

O retido na peneira foi arquivado e procedeu-se a preparação dos 6,82kg de amostra composta pelo passante. Esse material foi homogeneizado pelo método de tombamento que posteriormente passou por uma etapa de separação magnética, no separador magnético do tipo carrossel, em baixo campo, 1000 gauss, para retirada da magnetita.

Após, o restante da amostra foi novamente homogeneizado, também por tombamento, disposta em uma pilha alongada de 80 cm (Figura 14) e retomada para formação de alíquotas de 150 g (Figura 15) que foram utilizadas nos testes de picnometria, análise granulométrica, concentração no separador magnético e arquivo.



Figura 14 - Pilha alongada do material passante em 0,425 mm.



Figura 15 - Amostra utilizada nos testes de separação magnética.

### 3.2 Análise granulométrica

A determinação da distribuição granulométrica das partículas presentes na amostra, que alimentou os testes de separação magnética, foi realizada por meio de um peneiramento a úmido utilizando umas das alíquotas de 150 g. Para realização do peneiramento foi utilizado um peneirador suspenso modelo PV-08 e marca CDC e a série de peneiras apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Malhas das peneiras usadas na análise granulométrica.

<b>Malha (Mesh #)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
35	0,425
48	0,300
65	0,212
100	0,150
150	0,104
200	0,074
325	0,045

Fonte: Adaptada de Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais CETEM, 2007.

Por se tratar de um peneiramento a úmido, não foi determinado tempo para sua realização. O encerramento do ensaio deve acontecer, segundo SAMPAIO *et al* (2007), quando o operador observar que ocorreram simultaneamente as duas condições seguintes:

- I. A água coletada na saída está tão limpa quanto a água nova adicionada na entrada;
- II. Não há mais partícula de minério, na fração passante na peneira de menor abertura.

Após o peneiramento as frações retidas foram levados a estufa a 100°C para secar individualmente. Posteriormente pesou-se o material retido em cada peneira para construção da curva granulométrica e indicação do d80.

### 3.3 Picnometria

Para determinação da densidade da amostra, foi realizado o método de picnometria para a alimentação e para os rejeitos provenientes dos testes de concentração magnética. Todos os testes de picnometria foram realizados em triplicata para aumentar a confiabilidade dos resultados. Os procedimentos para realização dos testes estão listados a seguir:

- I. Pesar o picnômetro vazio, previamente limpo e seco.
- II. Encher o picnômetro com água até transbordar, secar a água que molha a superfície externa e pesar o picnômetro com água.
- III. A diferença entre os pesos do picnômetro com água e sem água é a massa de água utilizada.
- IV. Adiciona-se a amostra de minério de ferro no picnômetro e, em seguida, pesa-se todo o conjunto. A massa da amostra é determinada pela diferença entre a massa do picnômetro com minério e do picnômetro vazio.

(SAMPAIO *et al*, 2007)

Com os dados obtidos a partir dos procedimentos descritos acima, calculou-se a densidade da amostra a partir da Equação 1 mostrada a seguir.

$$ds = \frac{(A2)-(A1)}{(A4+A2)-(A3+A1)} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- ds     densidade dos sólidos;
- A1     massa do picnômetro;
- A2     massa do picnômetro + amostra;
- A3     massa do picnômetro + amostra + água;
- A4     massa do picnômetro + água.

### **3.4 Ensaios de concentração magnética**

Para realização dos testes foi utilizado o separador magnético de escala laboratorial fabricado pela INBRAS modelo L-4 junto com um alimentador e agitador, como mostrado na Figura 16. Todos os testes de concentração magnética realizados no laboratório foram feitos em duplicata para assegurar a confiabilidade dos mesmos.



Figura 16 - Separador Magnético de escala laboratorial e alimentador.

Devido a granulometria do material, fez-se uso da maior matriz disponível no laboratório de tratamento de minérios do CEFET-MG/Araxá, nesse caso a matriz EXP 12A, que corresponde a materiais abaixo de 0,425 mm. O planejamento dos testes é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Planejamento dos testes de separação magnética

Testes	%Sólidos	Água de Lavagem (ml)	Campo (Gauss)
1	20%	500	7.000
2	40%	500	10.430
3	20%	500	10.430
4	40%	500	7.000
5	20%	250	10.430
6	20%	250	7.000
7	40%	250	10.430
8	40%	250	7.000

Após a escolha da matriz e determinação dos parâmetros, foi feita a preparação da polpa utilizada para alimentação, ligou-se o equipamento ajustando o campo determinado para cada teste e adicionou-se a amostra no funil de alimentação. Em seguida, abriu-se a válvula com a polpa em agitação por um agitador mecânico com rotação de 600 rpm e, por gravidade, alimentou-se o separador exatamente na matriz ferromagnética até esvaziar o funil de alimentação. Em seguida adicionou-se, direto na matriz, a água de lavagem, que consiste em água limpa para a retirada de materiais não magnéticos eventualmente presos na matriz.

Os produtos foram colocados em bandejas, catalogados e levados a estufa a 100°C até ficarem completamente secos. Após a secagem pesou-se os concentrados e rejeitos, sendo que os concentrados foram levados para arquivo e os rejeitos foram separados para os testes de picnometria afim de se determinar seus respectivos teores.

### 3.5 Determinação do Teor

Por se tratar de uma etapa scavenger analisou-se os teores dos rejeitos provenientes da concentração magnética realizada. A partir das densidades obtidas e considerando que a amostra era constituída somente de quartzo e hematita, calculou-se o teor seguindo a Equação 2:

$$\%MM = \frac{dmm \times (dm - dg)}{dm \times (dmm - dg)} \quad (2)$$

Onde:

- %MM*: Porcentagem de mineral-minério;  
*dmm*: Densidade do mineral-minério (Hematita = 5,30 g/cm<sup>3</sup>);  
*dm*: Densidade do sólido (Obtida através da picnometria);  
*dg*: Densidade da ganga (Quartzo = 2,65 g/cm<sup>3</sup>).

Para determinação dos teores dos concentrados utilizou-se do balanço de massa e da recuperação mássica dos produtos obtidos através da concentração magnética e posteriormente determinou-se os teores dos concentrados. Esse cálculo é baseado na teoria da conservação de massa que estipula que toda massa que entra no sistema é igual a massa que sai do sistema (BARCELOS, 2010), conforme demonstrado na Equação 3:

$$A = C + R \quad (3)$$

Onde,

- A: Massa da alimentação;  
 C: Massa de concentrado;  
 R: Massa de Rejeito.

Conforme descrito por Santos (2009) e representada na Equação 4 essa relação pode ser descrita também relacionando os teores dos produtos e da alimentação com as suas respectivas massas:

$$Aa = Cc + Rr \quad (4)$$

Onde,

- a: Teor da alimentação;  
 c: Teor do concentrado;  
 r: Teor do rejeito.

Os valores de teor da alimentação, concentrado e rejeito se relacionam ainda afim de se obter a recuperação metalúrgica ( $R_{\text{met}}$ ) e recuperação mássica ( $R_{\text{mass}}$ ) expressos nas Equações 5 e 6:

$$R_{\text{met}} = 100 \times \frac{c \times (a - r)}{a \times (c - r)} \quad (5)$$

$$R_{\text{mass}} = 100 \times \frac{(a - r)}{(c - r)} \quad (6)$$

Por se tratar de uma operação de *scavenger* o teor do concentrado não precisa atingir os parâmetros mínimos de venda de mercado, já que o produto será recirculado no processo. O maior interesse nessa etapa é a diminuição do teor do rejeito, assim como a diminuição da perda mássica e metalúrgica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No capítulo serão descritos os resultados dos ensaios feitos para caracterização da amostra, além dos resultados provenientes da concentração magnética.

### 4.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi feita usando uma série de sete peneiras que compreendiam uma faixa granulométrica entre 0,425 e 0,045 mm. O peneiramento foi realizado a úmido com uma alimentação de 150 g. Os resultados estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição granulométrica da amostra de alimentação

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Malha (#)</b>	<b>Massa Retida</b>	<b>%Retido Simples</b>	<b>%Retido Acumulado</b>	<b>%Passante Acumulado</b>
<b>0,425</b>	35	5,5	3,75	3,75	96,25
<b>0,300</b>	48	23,04	15,72	19,47	80,53
<b>0,212</b>	65	21,93	14,97	34,44	65,56
<b>0,150</b>	100	25,05	17,10	51,54	48,46
<b>0,104</b>	150	21,39	14,60	66,14	33,86
<b>0,074</b>	200	8,69	5,93	72,07	27,93
<b>0,045</b>	325	11,15	7,61	79,68	20,32
<b>-0,045</b>	-325	29,78	20,32	100	0
<b>TOTAL</b>	-	146,53	100	-	-

A partir dos resultados apresentados na tabela determinou-se uma perda mássica de 2,31% que representa 3,47 g da amostra inicial, além disso observou-se que a distribuição granulométrica da amostra está entre a faixa de 0,300 mm e 0,104mm. A partir da distribuição granulométrica observada na tabela acima plotou-se o gráfico apresentado na Figura 17.

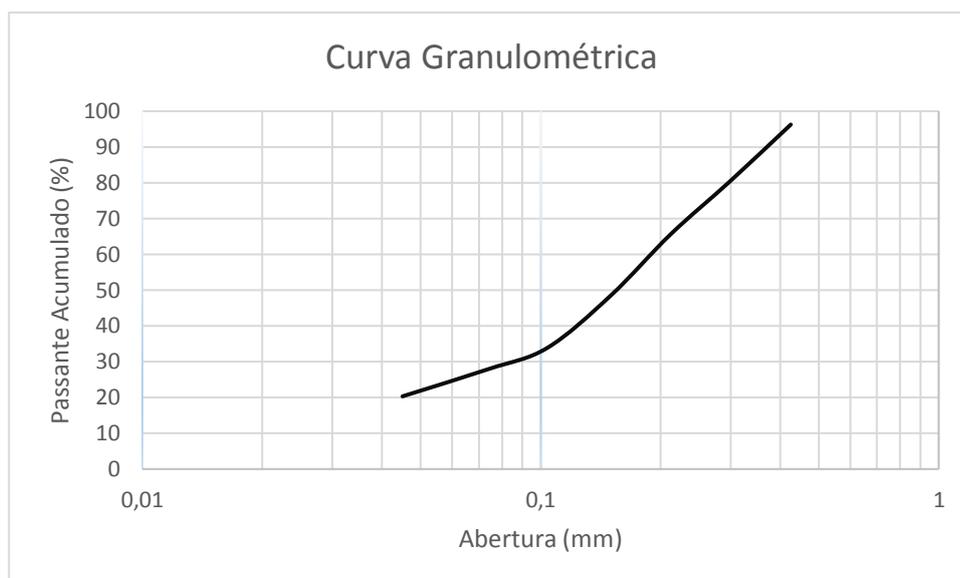


Figura 17 - Curva granulométrica da amostra de alimentação.

A partir do gráfico é possível constatar que d80 corresponde a abertura de 0,300 mm, ou seja, 80% das partículas presentes na amostra são passantes em 0,300 mm.

#### 4.2 Picnometria e Determinação do Teor

A Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de picnometria para o material utilizado como alimentação nos ensaios de concentração magnética. A densidade adotada foi adquirida a partir da média dos resultados das triplicatas. O valor da densidade da amostra de alimentação considerado foi de 3,545 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 7 - Resultados dos testes de picnometria para a alimentação

Alimentação	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Massa do Picnômetro	30,28	29,9	29,71
Massa do Picnômetro + Amostra	34,6	34,72	33,59
Massa do Picnômetro + Amostra + Água	84,12	84,08	82,98
Massa do Picnômetro + Água	81,06	80,57	80,2
Densidade do Sólido	3,428	3,679	3,527
Densidade Média do Sólido	<b>3,55</b>		

A partir da densidade da amostra, foi possível determinar o teor de hematita presente utilizando a Equação 2. A partir do valor encontrado e sabendo que a hematita possui 69,9% de ferro, determinou-se um teor de ferro de 35,30%.

### 4.3 Ensaio de Separação Magnética

Os testes realizados no separador magnético consistiam em uma etapa *scavenger*, ou seja, o objetivo da operação era determinar os melhores parâmetros operacionais para diminuição do teor encontrado no rejeito da empresa, gerando assim uma menor perda mássica e metalúrgica.

A figura 18 apresentam os produtos provenientes da etapa *scavenger*.



Figura 18- Concentrado (esquerda) e rejeito (direita) provenientes da etapa *scavenger*.

Os valores de teor do rejeito foram encontrados seguindo os mesmos procedimentos usados para a alimentação, já para o teor do concentrado foi usado o balanço de massas. Os resultados dos testes estão expressos na Tabela 8 e são provenientes das médias dos valores dos testes e suas respectivas duplicatas.

Tabela 8 - Resultado dos Testes da Concentração Magnética

Testes	%Sólidos	Água Lavagem (ml)	Campo (Gauss)	Teor de Fe Concentrado (%)	Teor Fe Rejeito (%)	Perda Mássica (%)	Perda Metalúrgica (%)
1	20%	500	7.000	59,03	32,66	90,01	58,21
2	40%	500	10.430	51,78	25,43	62,46	31,53
3	20%	500	10.430	59,31	21,9	64,22	27,87
4	40%	500	7.000	68,2	29,9	85,98	50,96
5	20%	250	10.430	54,32	23,67	62,11	29,13
6	20%	250	7.000	62,45	31,19	86,91	53,69
7	40%	250	10.430	51,87	22,79	56,68	25,55
8	40%	250	7.000	67,12	30,49	86,91	52,48

Um comparativo entre teores de rejeitos, perdas metalúrgicas e teores de concentrados (obtidos a partir da teoria de conservação das massas) está expresso no gráfico da Figura 19. A partir do mesmo é possível identificar quais foram os melhores resultados e portanto quais são os melhores parâmetros de concentração magnética como etapa *scavenger* do material de estudo.

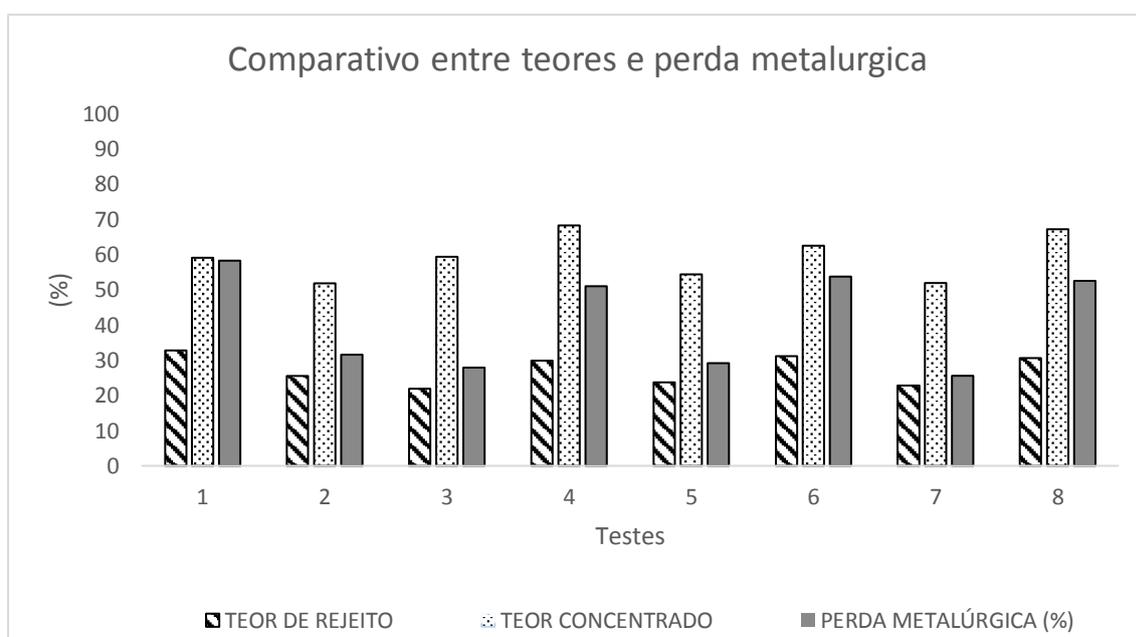


Figura 19 - Gráfico comparativo entre teores e perda metalúrgica.

A partir dos resultados obtidos nos testes de concentração magnética percebe-se que a concentração é mais eficiente em valores elevados de campo magnético, nesse caso 10.430 gauss, porém o material responde de forma positiva em todos os cenários propostos. Os melhores resultados foram obtidos nos testes 3 e 7, que apresentaram menor teor de ferro no rejeito e diminuição de perda mássica e metalúrgica. Pode-se ainda dizer que a água de lavagem e a porcentagem de sólidos tem influência menor do que a intensidade do campo, já que resultados positivos foram encontrados para ambas as porcentagens de sólido (20% e 40%) e também para ambas as águas de lavagem (250 ml e 500 ml).

Os piores resultados considerados foram os testes 1, 4, 6 e 8, que apresentaram menor diminuição no teor do rejeito, maior perda mássica e metalúrgica. A porcentagem de sólidos nos testes 1 e 6 foi de 20% e nos testes 4 e 8 foi de 40%; o volume de água de lavagem de 250 ml foi utilizado nos testes 6 e 8 e 500 ml nos testes 1 e 4. Todos esses testes foram realizados em campo de 7.000 o que comprova que a variável de maior influência no experimento é o campo magnético.

A melhor configuração para variáveis operacionais foi determinada pelo teste 7, já que o mesmo apresenta menor perda metalúrgica (25,55%) e teor de ferro no rejeito de 22,79%. Mesmo que nesse caso o teor no concentrado tenha sido mais baixo, o mesmo ainda supera o teor da alimentação da usina, o que faz com que sua recirculação seja vantajosa, pois esse concentrado enriqueceria a alimentação.

A partir da análise da perda mássica percebe-se que o teste 7 também apresenta o melhor resultado, com 56,68%. Esse resultado mostra que o uso de uma etapa *scavenger* resulta em uma recuperação em massa de material, que é muito vantajosa, já que a empresa Mineral do Brasil apresenta como problema o armazenamento do rejeito gerado por suas etapas de concentração.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho mostrou ser viável para recuperação do rejeito de minério de ferro da empresa Mineral do Brasil LTDA, como etapa *scavenger*, através da concentração magnética. Produzindo resultados que ajudariam nos problemas apresentados pela empresa, como a geração de grande quantidade de rejeito de alto teor.

A partir dos resultados obtidos nos testes pode-se concluir que o material responde à concentração magnética de forma positiva em todos os cenários propostos já que, em todos os testes os teores de rejeito foram diminuídos e os teores de concentrado aumentados. Porém analisando a perda metalúrgica de cada teste é possível determinar que os melhores resultados foram obtidos com um campo magnético de 10.430 gauss.

A partir dessa análise foi possível observar que a variável campo possui maior influência no resultado quando comparada aos outros parâmetros variados (água de lavagem e porcentagem de sólidos), já que os melhores resultados são provenientes dos testes 3 e 7. Sendo que o teste 3 foi realizado com porcentagem de sólidos igual a 20% e 500 ml de água de lavagem e o teste 7 com 40% de sólidos e 250 ml de água de lavagem.

Os piores resultados considerados foram os testes 1, 4, 6 e 8, que apresentaram menor diminuição no teor do rejeito, maior perda mássica e metalúrgica. Todos esses testes foram realizados em campo de 7.000 gauss, o que confirma que esta variável é que mais influencia nos resultados.

Por isso é possível concluir que os melhores parâmetros de água de lavagem e porcentagem de sólidos para a concentração magnética desse material devem ser as mais adequadas a operação da empresa, enquanto que o campo utilizado deve ser o de 10.430 gauss, para um melhor resultado.

## REFERÊNCIAS

- ALECRIM, J. D. *Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Metaning, 1982. 297 p.
- ARAÚJO, A. C. Flotação de minérios de ferro. In: CHAVES, A. P. Org. *Flotação: O estado da arte no Brasil*. São Paulo: Signus, 2006. p. 317-329.
- BARCELOS, H. O. *Jigagem de Minérios Itabiríticos*. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.
- CABRAL, A. S., PERES, A. E. C. *Concentração Magnética Aplicada a Minérios Goethíticos*. In: XXIV ENTMME, Salvador/Bahia, 2011.
- CARVALHO P. S. L., SILVA M. M., ROCIO M. A. R., MOSZKOWICZ J. *Minério de ferro*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2014. p. 197-234.
- CASTRO, P, T. de A.; NALINI JUNIOR, H. A.; LINA, H. M. de. *Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero*. 1ª edição. Belo Horizonte, 2011.
- DANA, J. D.; HURLBUT, C. S. *Manual de mineralogia*. v. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A, 1976. p. 312-315; 330-332.
- FERNANDES. E. Z. *Caracterização Física, Química, Mineralógica e Metalúrgica dos Produtos Granulados de Minério de Ferro*. Tese de Doutorado do departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- GOMES, M. A. *Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro*. 2009. 77 p. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto. 2009.
- HENRIQUES. A. B. *Caracterização e Estudo das Propriedades Eletrocinéticas dos Minerais de Ferro: Hematita, Goethita e Magnetita*. Tese de Doutorado do departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- IBRAM. *Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais*. Janeiro de 2014. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br> >. Acesso em: 30 de Out 2018.
- INBRAS. *Separador Eletromagnético modelo L-4: Manual de Instrução, Operação e Manutenção*. Diadema - SP, 2013.
- JESUS, C. A. G. *Sumário Mineral 2015*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2016. p. 66-67.
- LOPES G. M. 2009. *Flotação direta de minério de ferro*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas de Ouro Preto, Ouro Preto, 176 p.

MAIA, E.S. *Pelotização e Redução de Concentrado Magnetítico*. 2011. 144 p. Dissertação de Mestrado do Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NASCIMENTO, D. R. *Flotação Aniônica de Minério De Ferro*. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

ROSIÈRE, C.A. & CHEMALE JUNIOR, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero ferrífero - uma visão geral e discussão. *Geonomos* 8(2):27-43, 2000.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. *Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A. Separação magnética e eletrostática. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, FRANÇA, S. C. A. Eds. *Tratamento de minérios*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 367-395.

SANTOS, W. K. dos. *Rotas de processo para concentração de minérios itabiríticos e hematíticos da Mina de Fábrica*. Dissertação de mestrado do departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

USGS (United States Geological Survey). 2013. *Mineral commodity summaries*. United States Government Printing Office, Washington, 198 p.