

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais - Ceermin

MONOGRAFIA

**A Separação Magnética de Minérios
de Ferro no Brasil- Uma Revisão**

Autora: Rejane Cristina Crisóstomo

Orientadora: Prof. Rísia Magriotis Papini

Junho / 2015

Rejane Cristina Crisóstomo

**A Separação Magnética de Minérios
de Ferro no Brasil- Uma Revisão**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Área de concentração: Processamento de Minério de Ferro.

Professora orientadora: Rísia Magriotis Papini.

Junho / 2015

DEDICATÓRIA

A Deus por ter me dado mais esta oportunidade.
Aos meus pais Marcos e Rosangela, as minhas irmãs
Rosilene e Rafaela e ao meu namorado Pedro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão do curso.

Agradeço a minha orientadora, Rísia Magriotis Papini, pela ajuda, esclarecimento de idéias e atenção.

Aos demais professores do curso pela dedicação, apoio e pelos ensinamentos.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	08
2. OBJETIVO.....	10
3. DESENVOLVIMENTO.....	11
3.1 O Minério de Ferro.....	11
3.1.1 Formação do Minério de Ferro.....	11
3.1.2 Reservas no Brasil.....	12
3.1.3 Estados Brasileiros que contém os principais depósitos de ferro...14	
3.2 A Separação Magnética.....	14
3.2.1 Magnetismo.....	14
3.2.2 Princípios e Fundamentos.....	15
3.2.3 Classificação Magnética.....	20
3.3 Principais Equipamentos.....	21
3.3.1 Separador de Tambor de Baixa Intensidade (LIMS).....	22
3.3.2 Separador de Tambor de Alta Intensidade de terras raras (WDRE).....	23
3.3.3 Separador Magnético de Rolos Induzido.....	26
3.3.4 Separador Magnético Jones.....	27
3.3.5 Separador Magnético Ferrous Wheel.....	30
3.3.6 Separador Magnético Vertical de Pulsação de Alto gradiente (SLon).....	32
3.4 Variáveis da Separação Magnética.....	34
3.5 Principais Aplicações da Separação Magnética.....	35
4. CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

RESUMO

A separação Magnética é uma etapa de concentração, utilizada para a separação de espécies úteis, podendo concentrá-las ou purificá-las. Essa separação depende da resposta do mineral quando submetido a um campo magnético, chamada susceptibilidade magnética. Como o mercado esta cada vez mais exigente, e a concorrência maior, as variações nos teores dos minérios de ferro nas jazidas, levando em consideração os aspectos geológicos, como a mineralogia e a gênese do mesmo, exigem aprimoramento nas tecnologias e um maior conhecimento dos minerais envolvidos, para se obter um produto final adequado para o consumidor. Com base nos diferentes teores e produtos finais adequados, cada minério pode exigir uma técnica específica no beneficiamento. Existe no mercado uma variedade de separadores magnéticos, havendo separadores de baixas e altas intensidades que operam tanto a seco quanto a úmido, são classificados de acordo com a sua intensidade de campo e com o material a ser concentrado e/ou purificado. Os separadores são denominados separadores de tambor, de rolos induzidos, de correias cruzadas, de carrossel, etc. A escolha de qual equipamento a ser utilizado depende de várias considerações, sendo as mais importantes a distribuição granulométrica, a distribuição magnética do material a ser beneficiado e a capacidade do equipamento. O presente trabalho faz uma sintética revisão bibliográfica sobre a separação magnética de minérios de ferro. Conclui-se neste estudo que a separação magnética para óxidos de ferro é bastante eficaz.

Palavras- chaves: Minérios de ferro, separação magnética, magnetismo.

ABSTRACT

The magnetic separation step is a concentration used for the separation of useful species and may concentrate them or purify them. This separation depends on the mineral response when subjected to a magnetic field, called magnetic susceptibility. As the market is increasingly demanding, and the increased competition, changes in levels of iron ore in the mines, taking into account the geological aspects, like mineralogy and the genesis of it, require improvements in technology and a greater knowledge of minerals involved, to obtain a final product suitable for the consumer. Based on different levels and appropriate final products, these ores may require a specific technique in processing. Exists in the market a variety of magnetic separators, with low separators and high intensities that operate dry as wet, they are classified according to their field strength and the material to be concentrated and / or purified. The tabs are called drum separators, induced rolls, cross-belt, carousel, etc. The choice of which equipment to be used depends upon several considerations, the most important being the particle size distribution, the distribution of the magnetic material to be processed and the capacity of the equipment. This work is a synthetic literature review on the magnetic separation of iron ore. It is concluded in this study que one magnetic separation paragraph iron oxides and Very Effective .

Keys -words: Iron ore, magnetic separation, magnetic.

1. INTRODUÇÃO

O setor da mineração de ferro fornece produtos que atendem as exigências de seus consumidores (setor metalúrgico), havendo assim uma necessidade de beneficiar os minerais de ferro que estejam fora das especificações para concentrá-los de uma forma que os mesmo atendam a essas exigências.

O minério de ferro tem cada vez mais variado suas características físicas e químicas levando em conta aspectos geológicos, como mineralogia e a gênese, exigindo a necessidade da busca de melhores tecnologias para beneficiá-los, sendo a separação magnética uma das técnicas específicas para o mesmo.

A separação magnética é uma etapa unitária do beneficiamento mineral, a qual é utilizada para concentração e/ou purificação de minerais de ferro, por magnetismo mineral que é a propriedade diferenciadora do sistema para a separação.

A concentração magnética é importante para a concentração mineral, pois através da mesma, pode-se observar a reação do material ao sofrer a ação de campos magnéticos distintos, as informações fornecidas na concentração magnética possibilitam a escolha do equipamento a ser utilizado, garantindo assim um melhor rendimento. Com o resultado de testes de separação magnética pode-se prever qual o tipo de separador magnético a ser utilizado para um tipo específico de minério.

Os separadores magnéticos de baixa intensidade a seco, podem ser usados para a remoção de sucatas e impurezas altamente magnéticas ou para a concentração de metais de alto magnetismo com valor agregado, ou para o beneficiamento de minérios de ferro granulados.

Os Separadores magnéticos de baixa intensidade a úmido, são utilizados para recuperação de magnetita e ferrosilício, empregados na formação de meios-densos, e na concentração de minérios de ferro magnéticos.

Os Separadores magnéticos de alta intensidade a seco são aplicados quando há necessidade de se concentrar materiais grosseiros e de baixo potencial magnético.

Os Separadores de Rolo Induzido que operam a seco, são usados na remoção das impurezas ferruginosas presentes nos concentrados de sílica, feldspato, barita, etc.

Os Separadores de Tambor de Baixa Intensidade são utilizados na separação de minerais ferromagnéticos, desde que as intensidades de campo desses equipamentos atinjam valores de até 0,1 T.

2. OBJETIVO

Rever de forma sucinta a Separação Magnética no tratamento de Minério de Ferro no Brasil e seus princípios, destacando os principais minerais magnéticos e os principais equipamentos utilizados.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 O Minério de Ferro

3.1.1 Formação do Minério de Ferro

O ferro encontra-se entre os elementos de maior abundância na crosta terrestre, juntamente com o oxigênio, silício e alumínio. A tabela III.1 mostra a distribuição dos principais elementos químicos na crosta terrestre.

Tabela III.1: Elementos Químicos mais Comuns na Crosta Terrestre. (Adaptado de Araújo *et al.*, 2008)

Elementos	% peso	% atômico	% volume
O	46,60	62,55	93,8
Si	27,72	2,22	0,9
Al	8,13	6,47	0,5
Fe	5,00	1,92	0,4
Ca	3,63	1,94	1,0
Na	2,83	2,64	1,3
K	2,59	1,42	1,8
Mg	2,09	1,84	0,3
Total	98,59	100,00	100,00

Estes oito elementos perfazem 98,59% do peso da crosta. O restante constitui-se em elementos menores e elementos traços. Alguns resultados interessantes podem ser observados quando consideram-se os valores obtidos em termos do volume percentual dos elementos, como por exemplo o oxigênio que constitui mais de 90% do volume total da crosta. Os valores obtidos nesta coluna (% volume) indicam que minerais contendo oxigênio tais como, silicatos, óxidos e carbonatos devem ser os mais abundantes tipos de minerais na crosta da terra (Araújo, 2004).

As formações ferríferas distribuídas por todo mundo pertencem às idades pré-cambriana e fanerozóica. Os depósitos de ferro existentes podem ser agrupados em duas categorias: formações ferríferas bandadas (“Banded Iron Formation”–BIF) formadas no Proterozóico e os “Ironstones” de idade Fanerozóica. As formações ferríferas bandadas constituem os depósitos de maior ocorrência/distribuição e aproveitamento econômico, sendo caracterizados por finos leitos paralelos com espessuras entre 3 e 5 milímetros, que se constituem de sílica na forma de “chert” ou de sílica cristalizada na forma de quartzo, alternado com camadas de minerais de ferro (EVANS, 1983).

As principais reservas estão localizadas no Brasil, Austrália, China, Índia, Ucrânia, Rússia, Estados Unidos, Canadá e África do Sul, países que, juntos, dominam a produção mundial (UNCTAD, 2009). Mesmo sendo poucos os países produtores, as variações nas características do minério de ferro de uma região para outra tem gerado um diferencial competitivo no atual cenário de forte demanda pelo minério, proveniente do setor siderúrgico que busca potencializar sua capacidade produtiva com materiais mais finos (GAGGIATO, 2010).

3.1.2 Reservas no Brasil

As reservas medidas e indicadas de minério de ferro no Brasil alcançam 29 bilhões de toneladas, situando o país em quarto lugar em relação às reservas mundiais, de 160 bilhões de toneladas (IBRAM, 2010). A Tabela III.2 ilustra as reservas brasileiras de minério de ferro em 2007.

Entretanto, considerando-se as reservas em termos de ferro contido no minério, o Brasil assume lugar de destaque no cenário internacional. Esse fato ocorre devido ao alto teor encontrado nos minérios Hematíticos (>64% de Ferro), predominante no Pará, e Itabirito (50% de Ferro), predominante em Minas Gerais (IBRAM, 2010).

Tabela III.2 – Reservas brasileiras de minério de ferro (toneladas), em 2007 (DNPM, 2009).

UF	MEDIDA			INDICADA Minério	INFERIDA Minério	TOTAL Minério
	Minério	Teor (% de Fé)	Contido (t de Fé)			
AL	209.005	54,95	114.848			209.205
AM	11.856.115	65,92	7.815.551	60.077.694	1.889.559	73.823.368
BA	234.600	56,00	131.376	1.812.058		2.046.658
CE	7.948.043	35,69	2.836.657	17.729.278		25.677.321
DF	1.189.610	50,00	594.805	2.000	2.000	1.193.610
GO	4.269.208	50,00	2.134.604		30.902.263.956	30.906.533.164
MG	10.775.189.338	51,53	5.552.455.066	8.584.715.973	1.645.581.838	21.005.487.149
MS	3.142.749.710	55,09	1.731.340.815	1.329.598.857		4.472.348.567
PA	3.231.140.438	67,37	2.176.819.313	1.385.737.000	12.175.427.000	16.792.304.438
PE	3.860.367	60,62	2.340.154	5.082.437	8.178.648	17.121.452
RN	1.086.925	57,91	629.438			1.086.925
SP	203.495.171	31,91	64.935.309	141.082.437	18.198.381	362.775.914
TOTAL	17.383.228.530	54,89	9.542.147.937	11.525.837.659	44.751.541.382	73.660.607.571

Fonte: DNPM/DIDEM

3.1.3 Estados Brasileiros que contém os principais depósitos de ferro

Três estados brasileiros respondem majoritariamente pela produção de ferro no país: Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul. A tabela III.3 mostra os principais minerais que contém ferro.

Tabela III.3: Principais minerais que contêm ferro e suas respectivas características (Elaborada pela autora).

Mineral	Fórmula Química/ Composição	Sistema Cristalino	Dureza	Densidade	Brilho	Cor
Hematita	Fe ₂ O ₃ - 70% de ferro e 30% de oxigênio	Trigonal	5,5-6,5	4,9-5,3	Metálico azul do aço	Vermelho
Magnetita	Fe ₃ O ₄ - 72,4% de ferro e 27,6% de oxigênio	Hexaocáédrica	5,0	5,2	Submetálico e opaco em lamina degada	Preto com tons variados marron ou cinza ,azul de aço
Goethita	FeO(OH)-62,9% de Ferro, 27% de oxigênio e 10,1% de água, podendo conter variáveis de Al ₂ O ₃ , CaO, BaO, SiO ₂ e MnO aproximadamente 5% do total	Ortorrômbico	5,0- 5,5	3,6-4,0	Adamantino a opaco	Varia de castanho amarelado a castanho escuro
Limonita	FeO(OH).nH ₂ O- 50% a 66% de Ferro	Geralmente Amorfo	4,0-5,3	2,7-4.3	Marron amarelado a marron vermelhado	Normalmente terroso
Siderita	FeCO ₃ - 48,20% de Ferro e 37,99% de CO ₂ e 13,81% de oxigênio	Trigonal (Romboédrico)	3,5-4,5	3,83-3,88	Vítreo	Branco a cinza esverdeado a marron
Pirita	FeS ₂ - 46,55% de Ferro e 53,45% de enxofre.	Cúbico e Octaédrico	6,0-6,5	4,09-5,02	Opaco e metálico	Bronze amarelado
Pirrotita	(Fe(1-X)S)	Hexagonal	3,5-4,5	4,6-4,7	Metálico	Vermelho amarelado e tons de bronze.

3.2 Separação Magnética

3.2.1 Magnetismo

Todos conhecem os imãs e sabe-se que um material ferromagnético nas proximidades de um imã é por este atraído. O magnetismo é um fenômeno de atração que existe entre esses materiais. Nota-se que, por vezes, o fenômeno pode ser de repulsão ou de atração. Os imãs podem ser naturais, conhecidos como “pedras-imãs” e os artificiais, fabricados a partir de aços com propriedades magnéticas específicas para esse fim. A palavra “magnetismo” vem de Magnésia na Turquia onde séculos atrás observou-se o minério magnetita que é um imã natural (Andreucci, 2007). A figura 3.1 A, ilustra um imã permanente.

Quando se tem uma barra imantada, verifica-se que as características magnéticas da barra não são iguais ao longo da mesma, porém verifica-se que ocorre uma

concentração da força magnética de atração ou repulsão nas extremidades. A estes pontos onde se manifestam a atração com maior intensidade damos o nome de pólos magnéticos (Andreucci, 2007). A figura 3.1 B, ilustra as linhas de indução ou linhas de fluxo que formam o campo magnético.

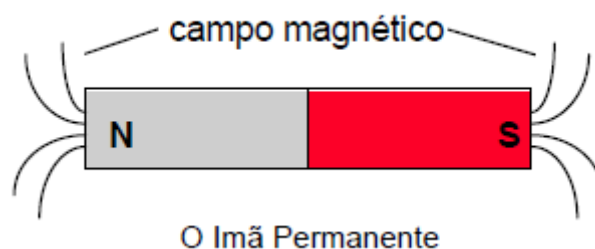


Figura 3.1 A - Ímã permanente (Andreucci, 2007).

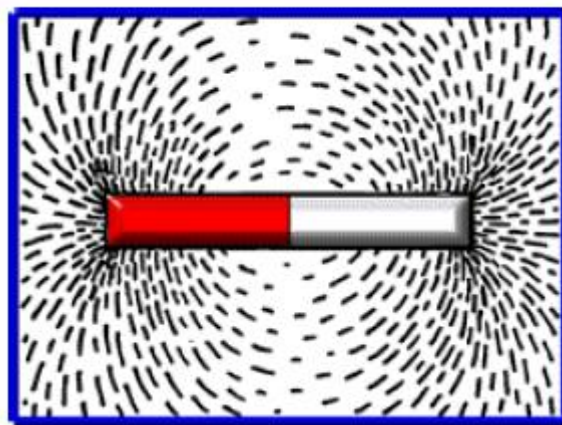


Figura 3.1 B - Forma do campo magnético produzido por uma barra imantada e visualizada por limalha de ferro (Andreucci, 2007).

3.2.2 Princípios e Fundamentos

A Separação Magnética é uma operação unitária do Beneficiamento Mineral que objetiva a concentração e/ou purificação de minerais.

O termo “concentração” é usado quando é removida uma alta quantidade de material magnético, de uma alimentação rica em materiais magnéticos. O termo “purificação” é

aplicado quando é removida uma baixa quantidade de material magnético de uma alimentação em que o material é predominantemente não magnético.

A Separação Magnética dos materiais ocorre de acordo com a resposta dos mesmos quando são submetidos a um campo magnético. A característica susceptibilidade magnética é a forma com que o material reage a um campo magnético, magnetizando-se ou não, ocorrendo assim a classificação dos minerais em 3 tipos:

Ferromagnéticos - Nos materiais ferromagnéticos os dipolos elementares são permanentes e, aparentemente, se alinham na direção de um campo magnético aplicado, resultando elevados níveis de magnetização, sendo assim atraídos fortemente pelo campo magnético.

O exemplo mais comum é a magnetita.

Paramagnéticos - Nos materiais paramagnéticos os dipolos elementares são permanentes e, na presença de um campo magnético, tendem a se alinhar com o mesmo, mas o alinhamento perfeito é impedido pelo movimento térmico.

A magnetização do material varia linearmente com o campo magnético aplicado e a temperatura, sendo assim são fracamente atraídos pelo campo magnético.

O exemplo mais comum é a hematita.

Diamagnéticos - Nos materiais diamagnéticos os dipolos elementares não são permanentes. Se um campo magnético é aplicado, os elétrons formam dipolos opostos ao campo atuante. Assim, o material sofre uma repulsão. Mas é um efeito muito fraco. Por sofrerem repulsão, a susceptibilidade magnética desses materiais é negativa, com valores de seu módulo muito baixos.

A rigor o diamagnetismo é inerente a toda a matéria, como decorrência da lei de Lenz. Como esse efeito é muito fraco, ele fica totalmente mascarado nos materiais para e ferromagnéticos.

Os exemplos mais comuns são: quartzo, calcita e fluorita.

A tabela III.4 representa a relação dos principais minerais com propriedades magnéticas, indicando a faixa de campo magnético onde os mesmos podem ser separados por processo de separação magnética, $1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$.

Tabela III.4 - Principais Minerais com propriedades magnéticas (Papini, 2014).

Grupo 1- Ferromagnéticos – Faixa de campo de 0,05 a 0,5T			
Ferro		Magnetita	
Grupo 2- Magnéticos – Faixa de campo de 0,5 a 1,0T			
Ilmenita	Pirrotita	Franklenita	
Grupo 3- Fracamente Magnéticos – Faixa de campo de 1 a 1,8T			
Hematita	Siderita	Apatita	Calcocita
Siderita	Rodocrosita	Tetrahedrita	Cinábrio
Rondonita	Granada	Willmenita	Gesso
Limonita	Serpentinita	Cerussita	Zincita
Braunita	Mica	Dolomia	Ortoclásio
Corindon	Molibdenita	Psilomelana	Epidoto
Pirolusita	Cerargirita	Arsenopirita	Fluorita
Manganita	Huebnerita	Calcopirita	Augita
Calamina	Wolframita	Talco	Hornblenda
Esfarelita	Bornita	Titanita	
Grupo 4- Muito fracamente Magnéticos- Faixa de campo acima de 1,8T			
Pirita	Serpentinita	Cobalita	
Smithsonita	Nicolita	Safira	
Esfarelita	Diopsídio	Cassiterita	
Criolita	Turmalina	Ortoclásio	
Enargita	Cuprita	Dolomita	
Berílio	Galena	Spinélio	
Magnesita	Whiterita	Rubi	
Azurita	Crisocola	Covelita	
Gesso	Rutilo	Feldspato	
Malaquita	Mica	Zircão	
Grupo 5- Não Magnéticos e Diamagnéticos			
Barita	Corindon	Apatita	
Bismuto	Topázio	Aragonita	
Clacita	Galena	Grafita	
Fluorita	Antimônio		

A separação magnética pode ser feita tanto a seco como a úmido. O método a seco é usado, em geral, para granulometria grossa e o a úmido para granulometrias mais finas.

Existem duas formas básicas de criação de um campo magnético: o campo de um ímã permanente e o campo criado por uma carga elétrica em movimento. Chama-se campo magnético de uma massa magnética a região que envolve essa massa, e, dentro da qual ela consegue exercer ações magnéticas. Não existe, na natureza, uma massa magnética isolada, pois um pólo norte sempre aparece associado a um pólo sul (Papini, 2014).

Quando se descreve um campo magnético é comum referir-se a duas grandezas; densidade de fluxo magnético \vec{B} , e intensidade de campo, \vec{H} , ambas são medidas em Tesla (T).

A indução magnética ou densidade de fluxo magnético (que representa o número de linhas de força passando pela unidade de área do material) é representada por B.

É definida como o produto da permeabilidade magnética do meio pelo campo magnético mais intensidade de magnetização nesse ponto.

$$|\mathbf{B}| = \mu \vec{H} + M$$

A direção e o sentido da indução são a própria direção e sentido do campo magnético H. No vácuo $M=0$ e no ar seu valor é muito baixo, logo:

$$|\mathbf{B}| = \mu \vec{H}$$

A indução magnética é o fenômeno pelo qual um corpo se imanta quando é colocado perto de um ímã já existente. O corpo que já estava imantado é chamado indutor. O corpo que se imanta por indução é chamado induzido (Papini, 2014).

A grandeza que relaciona a intensidade de magnetização (M) representa o número de linhas de força passando pela unidade de área do material e o campo magnetizante aplicando (H). Sendo denominada susceptibilidade magnética (K), Araujo (2007) e Papini (2014).

$$K = \frac{M}{H}$$

onde:

K = susceptibilidade magnética;

assume valores positivos para materiais paramagnéticos com valores inferiores a 10^{-3} .

assume valores negativos para materiais diamagnéticos com valores em módulo, $< 10^{-5}$.

M = número de linhas de força passando pela unidade de área.

H = ampere/m = 4×10^{-7} Tesla.

1 Gauss = 10^{-4} Tesla (T).

Nos equipamentos modernos tanto o campo quanto o gradiente são responsáveis de primeira ordem pelo processo de separação.

A intensidade de campo refere-se ao número de linhas de fluxo que passa por uma determinada área, enquanto que, o gradiente de campo descreve a convergência ou divergência das linhas de fluxo. O gradiente de campo é obtido pela correta colocação das peças que compõem os pólos do ímã. A escolha do tipo de matrizes e suas dimensões dependem do tamanho das partículas e da força magnética necessária a ser alcançada (Papini, 2014).

Há duas formas de se produzir um gradiente. A primeira, e, mais simples consiste na construção de um pólo de eletroímã com a área bem menor que a do pólo oposto. A segunda forma consiste na utilização de matrizes entre os pólos do eletroímã. A finalidade dessas matrizes consiste em de aumentar o gradiente produzindo sítios dentro das mesmas com campo de alta intensidade. Vários modelos foram propostos e/ou utilizados, dentre os quais destacam-se: esferas, hastes, placas sulcadas, grades, lâ de aço, etc. A matriz deve ser escolhida de tal modo que melhor se ajuste as características do minério. No processo de seleção da matriz devem ser feitas, entre outras, as seguintes considerações:

- Gradiente máximo de campo;
- Área superficial de captação por unidade de volume da zona da matriz;
- Capacidade de limpeza da matriz (retiradas das partículas magnéticas) com rapidez para manter o sistema de fluxo contínuo;

- Porosidade da matriz para permitir a vazão da polpa, caso ela tenha um valor muito baixo, é necessário maior pressão para obter a vazão ideal sem obstrução;
- O material usado na fabricação das matrizes deve reter o mínimo de magnetização quando as mesmas são removidas do campo, no caso da matriz reter quantidade significativa de magnetização, torna-se impossível a remoção das partículas magnetizadas (LUZ, 2004).

3.2.3 Classificação da Separação Magnética

A Separação Magnética é classificada quanto ao:

- Meio carreador:
 - ✓ a seco ou a úmido.
- Baseado nas necessidades do sistema:
 - ✓ remoção de ferro e materiais similares para proteção de equipamentos;
 - ✓ extração de constituintes magnéticos de valor;
 - ✓ remoção de impurezas magnéticas prejudiciais;
 - ✓ separação de materiais baseada em outras propriedades, tais como densidade, condutividade;
 - ✓ manuseio de materiais.
- Baseado na forma de geração do campo:
 - ✓ imãs permanentes;
 - ✓ eletroímãs;
 - ✓ solenóides resistivos;
 - ✓ Imãs supercondutores.
- Baseado na magnitude do campo e seu gradiente:
 - ✓ Alta intensidade;
 - ✓ Baixa Intensidade;
 - ✓ Alto gradiente.

3.3 Principais Equipamentos

Há uma grande variedade de separadores magnéticos, que podem ser classificados, de acordo com o uso, em dois grandes grupos, separadores a seco e a úmido, os quais podem ser subdivididos de acordo com as características do campo de indução. Logo, são encontrados os separadores de baixa e alta intensidade, tanto para a operação a seco, quanto a úmido. A forma dos elementos que executam o trabalho de separação no equipamento exerce influência significativa sobre a classificação dos separadores. Assim são denominados separadores de tambor, de rolos induzidos, de correias cruzadas, de carrossel etc. A figura 3.2 ilustra a classificação, características e aplicações dos separadores (Luz, 2004).

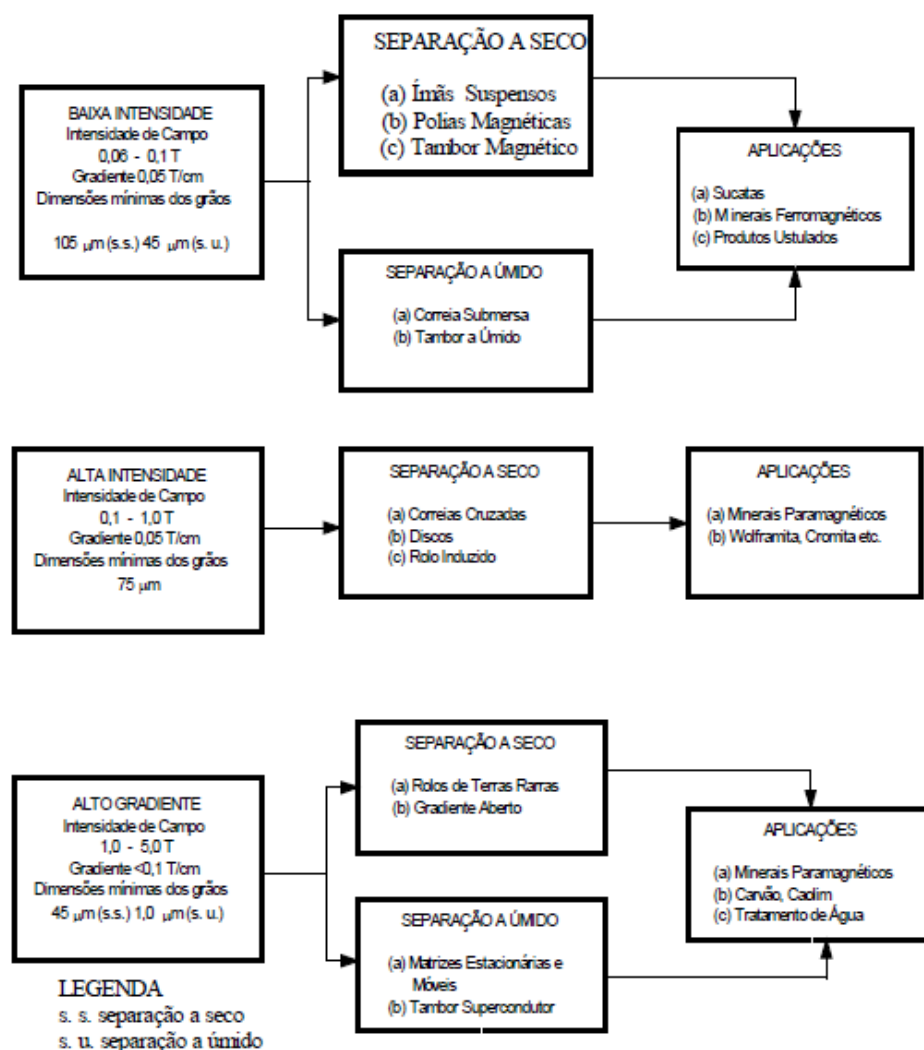


Figura 3.2 - Características, classificação e aplicações dos separadores magnéticos (Luz, 2004).

3.3.1 Separador de Tambor de Baixa Intensidade (LIMS)

O Separador magnético de baixa intensidade a úmido mais utilizado é o de tambores.

Esses separadores são utilizados na separação de minerais ferromagnéticos, e na recuperação de magnetita e ferrosilício, os quais são utilizados na formação de meios-densos, desde que as intensidades de campo desses equipamentos atinjam valores de até 0,1 T. A figura 3.3 ilustra um separador magnético de tambor via úmida.

O princípio de funcionamento destes separadores é baseado em magnetos permanentes, os quais podem ser orientados de forma radial ou axial ao tambor. Na configuração radial, a polaridade dos magnetos são alternadas ao longo do eixo do tambor, enquanto na configuração axial, os pólos são alternados no decorrer da circunferência do tambor. A configuração radial é normalmente aplicada onde a recuperação de materiais altamente magnéticos é importante, já o sistema axial é utilizado quando se objetivam um alto teor de concentrado. A figura 3.4 ilustra as configurações dos pólos, sendo A radial e B axial. O movimento e a agitação das partículas sobre os magnetos com polaridades alternadas facilita a remoção das partículas não magnéticas incrustadas gerando um aumento no teor do concentrado (SVOBODA, 2003).

A Principal aplicação de separação magnética de Baixa Intensidade é a recuperação de meio-denso nas plantas de preparação de carvão.

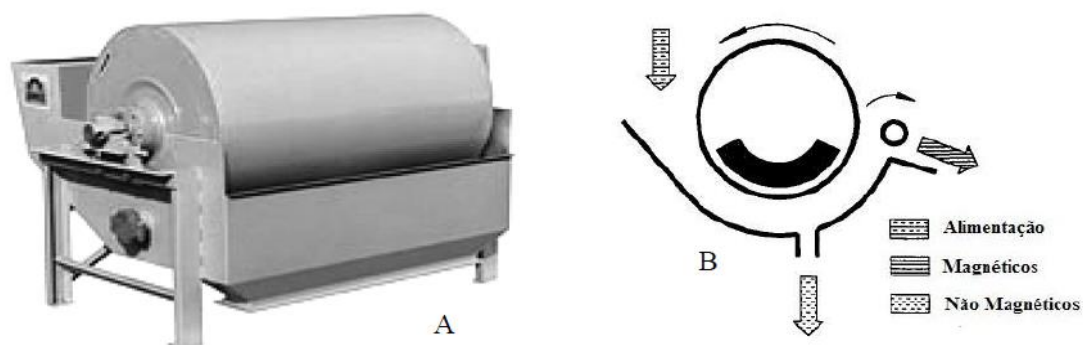


Figura 3.3 – Separador magnético de tambor via úmida (A), e esquema de separação (B) (SVOBODA, 2003).

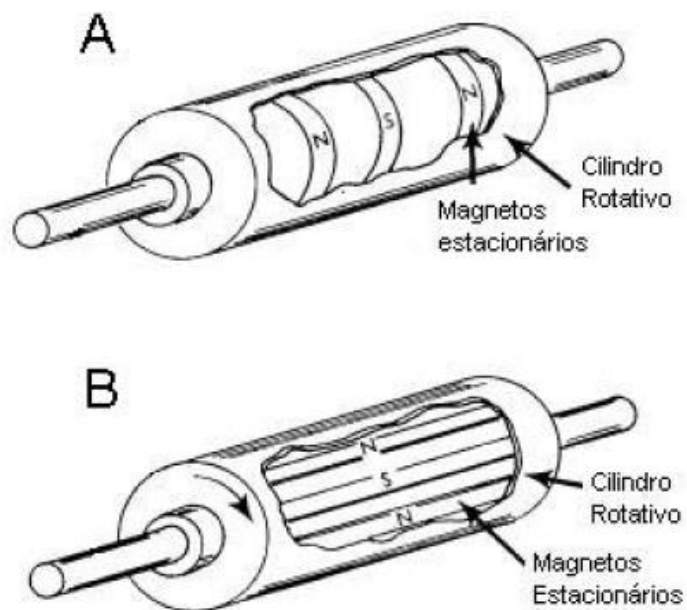


Figura 3.4 – Configurações dos pólos em separadores magnéticos de tambores (SVOBODA, 2003).

3.3.2 Separador de Tambor de Alta Intensidade de terras raras (WDRE).

Funciona via úmida com intensidade de campo magnético médio, pólos salientes e com tanque tipo concorrente, ou seja, a polpa (minério+ água) é alimentada a uma caixa posicionada em uma das laterais do tambor, e flui no sentido da rotação do mesmo. O circuito magnético é formado pelo conjunto de ímãs permanentes instalados no interior do tambor e pode ser posicionado manualmente através de um volante instalado em uma das laterais do concentrador magnético, sobre o segmento de eixo fixo.

Opera isolado quando é aplicado na concentração de minerais de mais alta susceptibilidade magnética (mais fáceis de serem atraídos pelo campo magnético) como martita e magnetita.

Os Principais Componentes do WDRE são:

- Tambor Magnético: Cilindro rotativo de aço que contém no seu interior os pólos magnéticos que transportam os minerais atraídos pelo ímã até a saída de concentrado.

- **Circuito Magnético:** Conjunto de ímãs em forma de arco, fixo no interior do tambor magnético, abrangendo aproximadamente 120°. Os pólos magnéticos são compostos por ímãs permanentes cuja intensidade em sua superfície é da ordem de 8.000 Gauss e na superfície em contato com a polpa é da ordem de 6.000 Gauss, porque é recoberto pelo tambor.
- **Caixa de Alimentação:** Alimentação da polpa contendo os minerais a serem concentrados.
- **Tanque:** Local que recebe a polpa distribuída na caixa de alimentação e envolve o tambor magnético. É o local onde os minerais magnéticos são atraídos para o tambor e ocorre a separação dos minerais magnéticos dos não-magnéticos que, fluem para as descargas de rejeito.
- **Bicos sprays de lavagem:** Direcionam o jato de água para retirada do concentrado “grudado” ao tambor magnético
- **Raspador rotativo:** Remove mecanicamente o concentrado do tambor magnético.
- **Calha de descarga do concentrado:** Calha onde escoam os minerais concentrados após serem retirados do tambor magnético.
- **Bocais de descarga do rejeito:** Saída regulável para descarga do rejeito (minerais não-magnéticos) e para ajuste do nível de polpa no tanque.
- **Calha de descarga de overflow:** Saída auxiliar para descartar o excesso de polpa de alimentação e/ou rejeito no tanque. A figura 3.5 ilustra os principais componentes do WDRE.

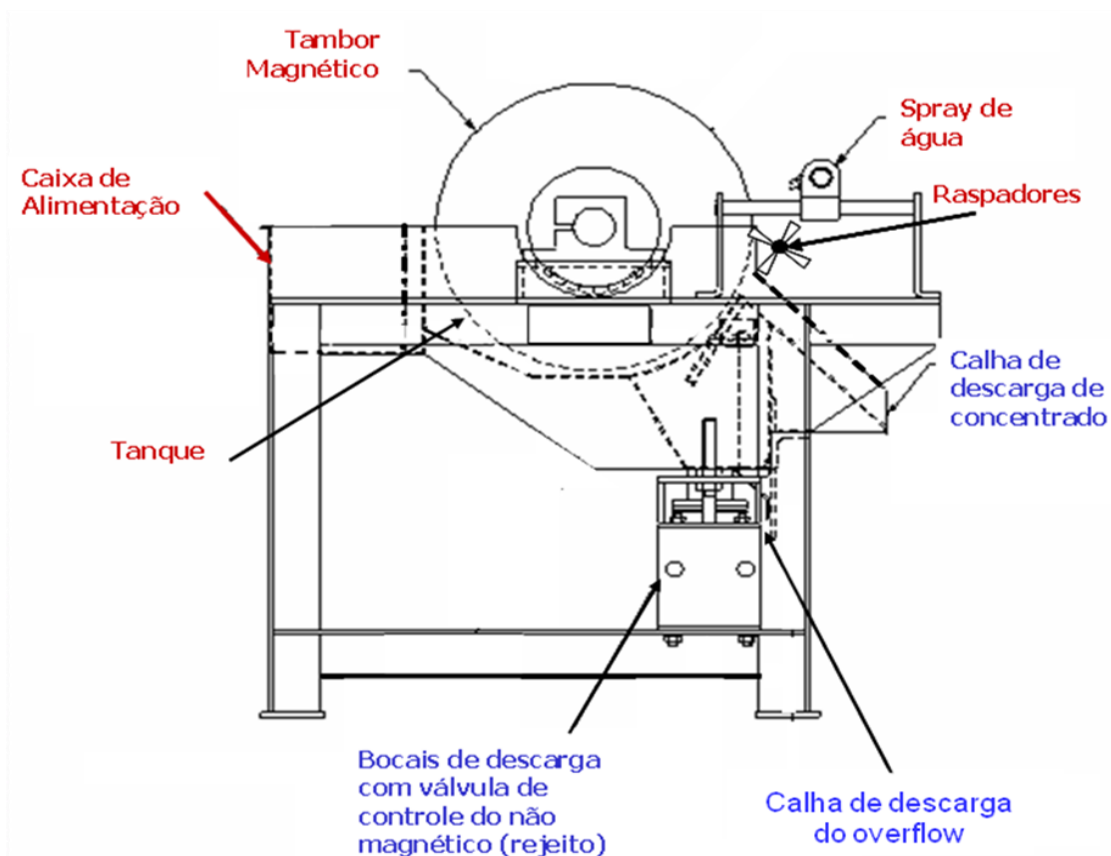


Figura 3.5 – Principais componentes do Separador de Tambor de Alta Intensidade de terras raras WDRE (Adaptado da Inbrás).

Princípio de Funcionamento - A polpa é inserida na caixa de alimentação e passa através de uma pequena abertura (gap) entre o tanque e o tambor em rotação. O concentrado que fica aderido ao tambor devido ao campo magnético é arrastado até a região onde termina o mesmo, e através dos bicos sprays de lavagem são removidos para a calha de descarga de concentrado.

O nível adequado de polpa no interior do tanque é ajustado pela abertura dos bocais de descarga do rejeito e pela quantidade de transbordo na calha de overflow. A figura 3.6 ilustra o princípio de funcionamento do Separador de Tambor de Alta Intensidade de terras raras WDRE.

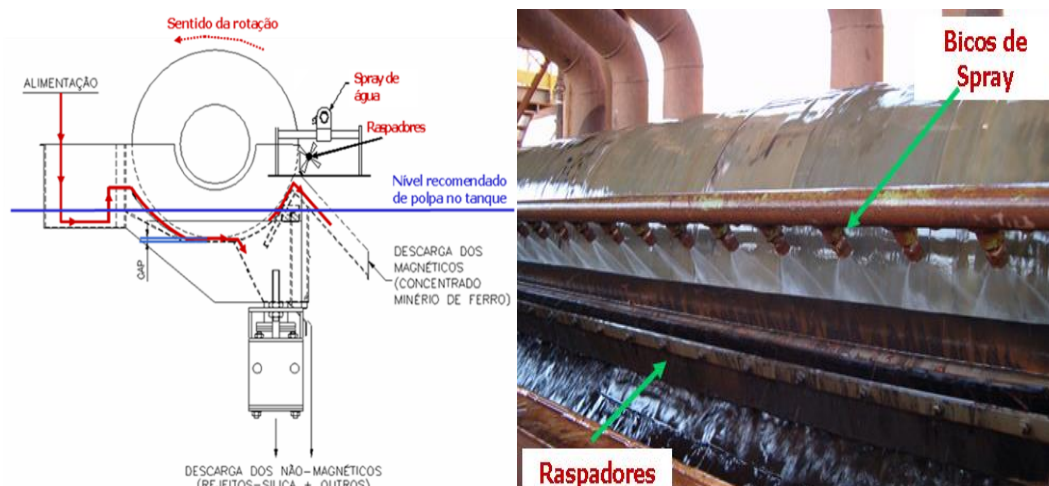


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do Separador de Tambor de Alta Intensidade de terras raras WDRE (Adaptado da Inbrás).

3.3.3 Separador Magnético de Rolos Induzido

A separação por Separador de Rolo Induzido ocorre quando o minério passa através dos campos magnéticos com intensidades de até 2 T, produzidos por rotores localizados entre os pólos de eletroímãs. O "vão" entre o pólo e o rotor pode ser ajustado para qualquer posição. Como o fluxo magnético é uma função inversa do quadrado do "vão", as forças de campo mais intensas são obtidas com o "vão" menor, e, conseqüentemente, uma alimentação com granulometria mais fina (Luz, 2004).

São utilizados na remoção de impurezas ferruginosas contidas em concentrados do processamento mineral ou mesmo de outros produtos, como por exemplo, aquelas obtidas por processos químicos. Tais impurezas podem ser paramagnéticas ou magnéticas e, em geral, são removidas nos processos de purificação de concentrados de quartzo, feldspato, caulim, calcita, talco, sílica (areia), barita, entre outros. Os separadores podem prover um campo de até 2 T e gradiente elevado, quando o fluxo de linhas de indução converge na região compreendida entre os rolos e os pólos de indução, opera na faixa de 17.700 a 35.400 kg/h.m de largura do rolo. A capacidade é de 1 a 3 t/h. A figura 3.7 ilustra os componentes do separador magnético de rolos induzidos.

A seletividade do processo é obtida por meio dos ajustes da velocidade do rotor e do fluxo magnético na região de separação, além do posicionamento dos defletores de fluxo.

O fluxo de partículas, alimentado no topo do separador, deve ser bem centralizado por meio de um alimentador vibratório. As partículas passam pelo vão livre (gap), distância entre o eletroímã e o pólo, e são desviadas da sua rota normal pela ação do campo magnético. Obtém-se então uma fração magnética e outra não magnética. As partículas magnéticas são atraídas pelo rotor e coletadas como primeiro produto magnético. A fração não atraída pelo primeiro rotor segue para o segundo rotor do separador e assim sucessivamente para o rotor seguinte com maior intensidade de campo (Luz, 2004).

O material ferromagnético passa por escalpe, para prevenir entupimentos.

O minério deve estar seco, liberado e a faixa granulométrica entre 2,0 mm e 100 μm , na qual se obtêm os melhores valores na eficiência da separação.

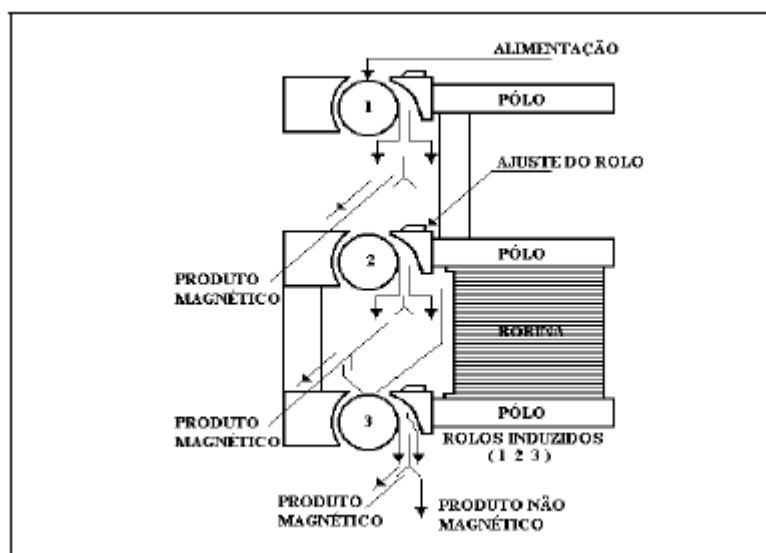


Figura 3.7 - Separador de rolos induzidos com três estágios de separação (Luz, 2004).

3.3.4 Separador Magnético Jones

O separador magnético Jones caracteriza-se por um campo magnético de alta intensidade criado por eletroímã. O aparelho tem dois níveis que trabalham de forma

simultânea. Há em cada nível uma estrutura circular com movimento rotatório. As placas que recebem a alimentação sob a ação do campo são ranhuradas e paralelas.

As principais variáveis são: % de sólidos na alimentação; abertura dos raios ao Gap; pressão de água de lavagem do médio (kgf/cm²); taxa horária da alimentação (kg/h); velocidade terminal da polpa de alimentação. A Figura 3.8 ilustra um separador magnético tipo Jones.

É um concentrador eletromagnético de carrossel, via úmido, que utiliza da propriedade magnética para fazer a separação dos minerais magnéticos dos não magnéticos. As partículas magnéticas são atraídas pelo magnetismo e ficam aderidas às placas de imantação (concentrado), as não magnéticas são descartadas por arraste hidráulico e pela gravidade (rejeito) e as partículas mistas são descartadas por ação entre forças competitivas (médio).

A alimentação nominal é realizada por partículas de tamanho de 0,01mm a 1,0mm. Sua capacidade é de 10t/h - 180t/h, com campo magnético entre 6.000 *Gauss* a 12.000 *Gauss*, Araujo *et al.*, 2008 e Papini (2014).

Os Principais Componentes do Separador Magnético Jones:

- **Magnetos/Bobinas Elétricas:** O Concentrador Magnético é dotado de magnetos que são componentes em forma de ferradura, e bobinas elétricas capazes de criar um campo magnético no interior do equipamento e com isso, proporcionar a seletividade e separação dos minerais presentes na polpa.
- **Rotor/Carrossel:** Anel móvel que recebe a alimentação, conduz a polpa à atuação do campo magnético e ao sistema de lavagem de produtos. Cada equipamento possui 2 rotores (superior e inferior). Os rotores são compostos de matrizes ferromagnéticas dispostas ao redor do anel.
- **Matrizes Ferromagnéticas:** Providas de ranhuras (placas de aço inox) com a finalidade de aumentar o gradiente magnético. A intensidade do campo magnético gerado depende da abertura (gap) das matrizes, do gradiente magnético e da corrente elétrica aplicada.

- Sistema de Alimentação: A alimentação é feita por tubos fixos e cada rotor recebe duas alimentações separadamente (direita e esquerda). Ao final de cada tubo existe uma caixa de alimentação que diminui a velocidade da polpa e ajuda a evitar que o material passe direto pelas matrizes.
- Sistema de Lavagem de produtos: Composto por jatos de spray fixos utilizados para desprender o material magnético dos rotores. O equipamento possui jatos para descarga de médio (água de rinse – baixa pressão) e para descarga de concentrado (água de lavagem – alta pressão).
- Descarga de Produtos: Os produtos gerados na separação são direcionados ao ponto de descarga por um sistema de canaletas (calhas).
- Sistema de Refrigeração: Os separadores magnéticos WHC são refrigerados à óleo. O sistema de troca de calor tem sensores para monitorar a temperatura das bobinas e garantir o desligamento do campo magnético, quando ultrapassar os limites de temperatura pré- estabelecidos, protegendo as bobinas. A qualidade da água do trocador de calor é muito importante para garantir que as bobinas operem em baixas temperaturas e como consequência maior segurança e com maior rendimento.

O Princípio de funcionamento - Os tubos fixos levam a alimentação às matrizes do separador. Os pontos de alimentação estão localizados no início do campo magnético. Sob a ação do campo magnético, as partículas magnéticas ficam retidas nas matrizes, enquanto as não magnéticas fluem para as canaletas. Antes de deixar o campo magnético o material retido na matriz é lavado pela água de rinse e recolhido como médio. Quando as matrizes alcançam o ponto médio entre os dois pólos magnéticos, onde o campo é essencialmente zero, as partículas magnéticas são lavadas com jatos de água de lavagem sob pressão e recolhidas nas canaletas como concentrado.

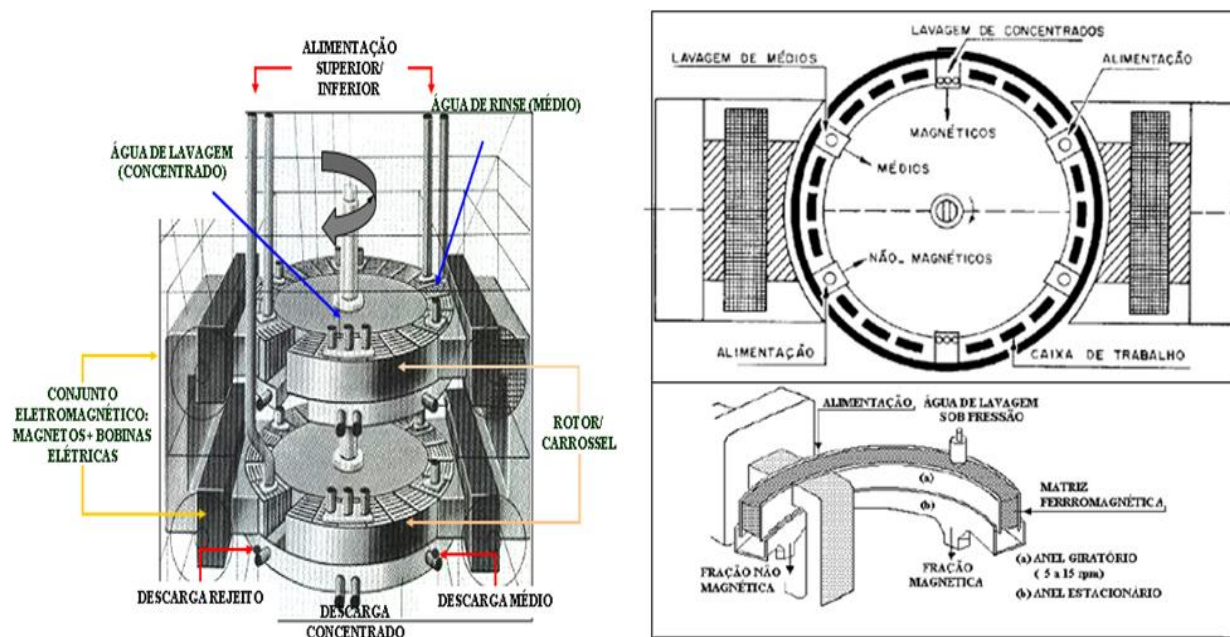


Figura 3.8 – Esquema do separador magnético tipo Jones (Adaptado Papini, 2014).

3.3.5 Separador Magnético Ferrous Wheel

O separador magnético *Ferrous Wheels* tem sua principal aplicação na diminuição do nível de minerais de ganga (quartzo e gibbsita) no “*pellet feed fines*”. A figura 3.9 ilustra o princípio de funcionamento do separador magnético Ferrous Wheel.

Princípio de Funcionamento - A alimentação é feita sobre o pólo magnético superior, no bocal localizado no topo do anel, que dispõe de *sprays* de água com baixa pressão, responsáveis pela retirada do material não magnético. O material magnético (concentrado) fica retido nas matrizes e com movimento circular do disco, sai da região de influência do campo magnético sendo lavado pelos *sprays* de água com alta pressão. Os pólos magnéticos são construídos com ímãs permanentes de alta potência e opera com matrizes de separação, o que propicia a geração de campos magnéticos de alto gradiente. A alimentação é feita com partículas entre 0,01mm a 0,15mm. Sua capacidade é de 1t/h -40t/h, com campo magnético aplicado entre 2.000 *Gauss* a 2.500 *Gauss*, podendo proporcionar fluxo magnético com alto gradiente, chegando a 12.000 *Gauss*, Araujo (2007) e Papini (2014).

Características do Equipamento:

- Baixos custos operacionais e de manutenção;
- Opção de troca da matriz de acordo com a granulometria do minério (para evitar entupimento);
- Alta intensidade;
- Campo magnético permanente;
- Operação contínua;
- Possui Ímãs Permanentes que: elimina a necessidade de um rolo magnético;
- Os custos operacionais são muito reduzidos;
- Vários enxágües para melhor separação;
- O campo magnético não é tão alto quanto o produzido por eletroímãs;
- Possui Capacidade de 2 a 22 t/h;
- Diâmetro padrão do anel: 96” (2,44 m);
- Afastamento de 5” (125 mm): campo magnético de 0,1T / 10 t/h;
- Afastamento de 2.1/2” (65 mm): campo magnético de 0,3T / 5 t/h;
- Com gradiente – 1,2 a 1,6T;
- Não necessitam de bobina magnética;
- Não necessitam de bombas e trocadores de calor para resfriar a bobina;
- São mais leves e compactos;
- Apresentam menor custo de bombeamento, pois a alimentação flui por gravidade dentro do equipamento;
- Os produtos também escoam do separador por gravidade;

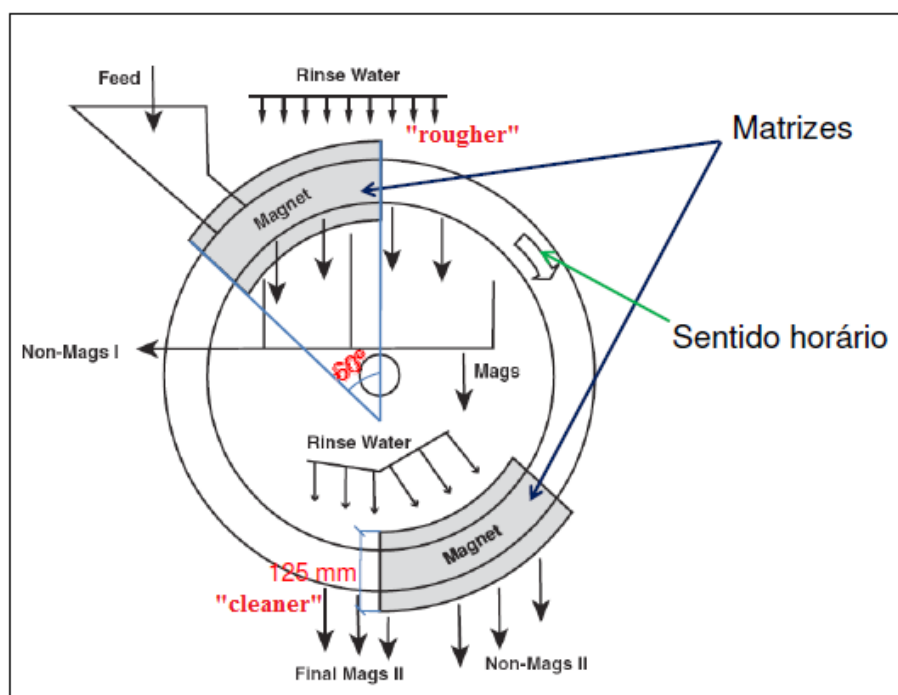


Figura 3.9 - Princípio de funcionamento do separador magnético Ferrous Wheel (Papini, 2014).

3.3.6 Separador Magnético Vertical de Pulsção de Alto gradiente conhecido como SLon

Foi desenvolvido na China e teve a primeira aplicação industrial em 1988. A aplicação industrial destes equipamentos mostrou que é possível produzir concentrados mais limpos e com alimentação composta de partículas menores que $100\mu\text{m}$. O desenvolvimento desta tecnologia foi conduzido em grande parte pela necessidade de concentrar minérios com teores abaixo de 30% de ferro na China (HEARN e DOBBINS, 2007).

É aplicado para concentração de minério de ferro, ilmenita, cromita e manganês, na purificação de minerais não- metálicos, na recuperação de materiais finos.

O SLon é um separador magnético de alta intensidade a úmido em que uma combinação de força magnética, pulsação de fluido e o uso da gravidade são usados para se obter um processo de separação eficiente para minerais fracamente magnéticos.

O sistema trabalha a úmido, sua capacidade é de até 150 t/h, partículas maiores que 0,006mm e menores que 1,3 mm, % sólidos de até 60% na polpa, com campo magnético aplicado entre 2.000 *Gauss* a 2.500 *Gauss*, podendo proporcionar fluxo magnético com alto gradiente, chegando a 12.000 *Gaus*. A figura 3.10 ilustra o esquema do separador magnético SLon.

Um campo magnético é gerado dentro da zona de separação. Um carrossel, que gira sobre o seu eixo horizontal, possui matrizes de barras paralelas. A polpa é introduzida na caixa de alimentação e as partículas magnéticas são atraídas para a superfície das barras das matrizes. As partículas não magnéticas são descarregadas na caixa de rejeito, auxiliadas pela gravidade e por uma força de pulsação hidrodinâmica. Após sair da zona de separação, onde o campo magnético é desprezível, as partículas magnéticas são descarregadas na caixa de concentrado (HEARN e DOBBINS, 2007; ZENG e DAHE, 2003).

Principais componentes do SLon:

- Spray de Lavagem do concentrado - A lavagem do produto magnético é feita diretamente no topo do equipamento com direção oposta ao fluxo de alimentação propositalmente para que as partículas mais grosseiras sejam mais facilmente lavadas sem que tenham que passar por toda a profundidade da matriz.
- Mecanismo de pulsação - No mecanismo de pulsação do slon a variação da velocidade do motor que conseqüentemente varia a frequência de pulsação causa diferentes efeitos na separação magnética, como retirada das partículas não magnéticas da matriz e melhora a captura dos magnéticos.
- Matriz - consiste de barras de aço inox arredondado das quais formam um conjunto de malhas magnéticas. Estas malhas, devido a sua característica e espaçamentos, melhoram a indução magnética e formam campos homogêneos entre as barras, além de evitarem o constante entupimento como ocorre na matriz de placas ranhuradas do WHIMS tradicional. Estas caixas que compõe as matrizes são aparafusadas no Anel Vertical, do qual mergulha no fluido pulsante e é magnetizada pela bobina.

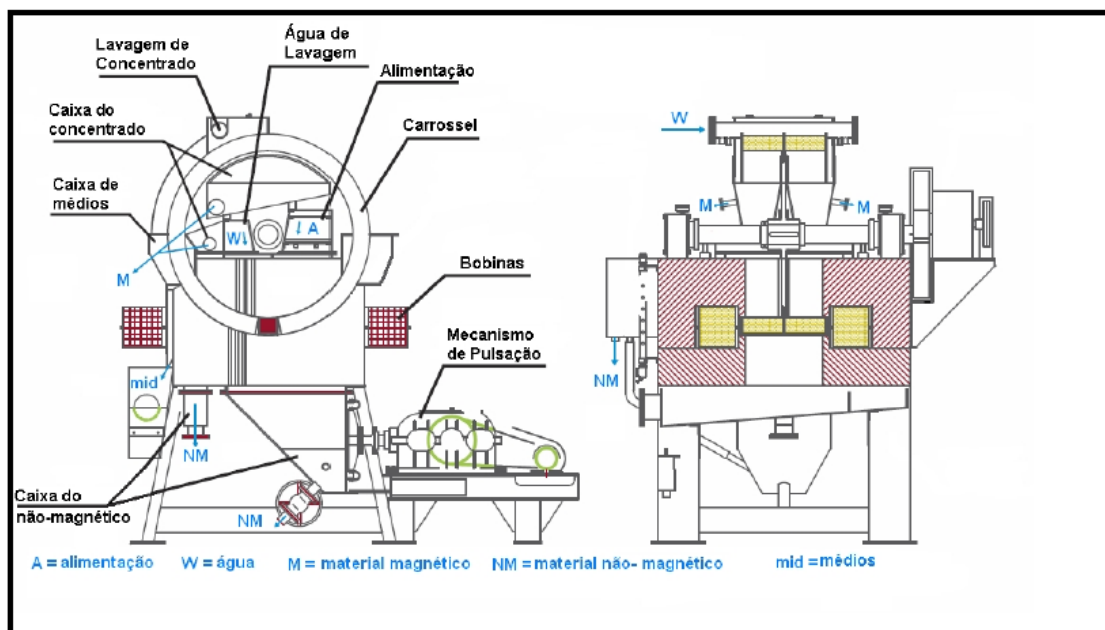


Figura 3.10 - Desenho esquemático do separador SLon (ZENG e DAHE, 2003).

3.4 VARIÁVEIS DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

As duas variáveis que afetam a otimização do processo de separação:

- **Intensidade do campo-** A natureza do campo magnético tem marcada influência na separação dos diferentes tipos de minerais. A história da separação magnética revela que sua aplicação em escala contínua, só foi possível quando se produziu um campo magnético convergente, para o qual fluem as partículas com maior susceptibilidade magnética. Por outro lado, o controle da intensidade de campo permite a separação seletiva das partículas com diferentes valores na susceptibilidade magnética. Com baixa intensidade de campo separam-se minerais com elevadas susceptibilidade e com alta intensidade separam-se aqueles com valores mais baixos desse parâmetro. Em geral, o controle da intensidade de campo é feito com o emprego de eletroímãs, variando a corrente elétrica. Para alguns separadores pode-se variar o campo mediante ajuste prévio da distância entre os pólos. Os equipamentos com ímãs permanentes não apresentam maiores flexibilidades à variação da intensidade de campo, comparados àqueles equipados com eletroímãs (SAMPAIO,2004).
- **Alimentação-** O controle da velocidade de passagem das partículas minerais através do campo magnético, constitui uma das variáveis operacionais. No caso da

separação a seco, é conveniente que o leito das partículas que atravessa o campo não seja espesso, pois em tais condições somente as partículas situadas na superfície do leito serão atraídas pelo campo. De outro modo, partículas magnéticas situadas na camada inferior do leito arrastarão aquelas não magnéticas, situadas na camada superior, contaminando o concentrado. A alimentação ideal, para os separadores de correias cruzadas, seria aquela cujo leito fosse constituído por uma única camada, o que nem sempre se verifica na prática. Tal procedimento diminui substancialmente a produção, contudo aumenta a seletividade.

O excesso de alimentação acarreta a formação de oclusões de minerais não magnéticos, dentro dos flocos magnéticos, prejudicando a separação, a seco, principalmente quando se trabalha com material fino e de elevada susceptibilidade. Tal contaminação deve-se não só a formação de flocos, como também à formação de cadeias instantâneas de partículas magnetizadas que arrastam as não magnéticas. Nos separadores a úmido não há grande velocidade das partículas na direção da maior intensidade de campo, devido à resistência oferecida pela água. Além de controle da alimentação, em alguns casos, é usado o recurso da reversão na polaridade para minimizar o efeito de adesão (SAMPAIO,2004).

3.5 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

O uso da separação magnética no beneficiamento de minérios consiste, não só na remoção dos minerais de ferro considerados contaminantes em diversos sistemas de processamento mineral, mas também principalmente na concentração de minérios de ferro contendo hematita, magnetita.

Outra grande aplicação da separação magnética é no beneficiamento de caulim, removendo minerais de ferro e titânio, prejudiciais à alvura do produto. Seguem abaixo outras utilizações:

- É aplicada também na remoção de impurezas magnéticas, dos concentrados de cassiterita, scheelita, areia quartzosa e do feldspato.
- Na Remoção da magnetita do amianto e dos minérios fosfatados.

- Purificação do talco, na recuperação de wolframita e minerais não sulfetados de molibdênio, contidos em rejeitos de flotação.
- No beneficiamento de minérios de urânio e de minerais pesados.
- Remoção da pirita, por separação magnética, contida no carvão.
- Utilizada na purificação da água, por meio do uso de separadores magnéticos, pode-se remover as impurezas magnéticas, em alguns casos cancerígenas, como também certos vírus e/ou bactérias que podem associar-se ao material magnético.

A separação magnética, pode também ser utilizada na reciclagem do plástico, removendo os materiais ferrosos da linha de produção, sendo indispensáveis pois separam os metais que vem junto com as sucatas que provem do lixo evitando que tais metais danifiquem as facas do moinho de reciclagem do PET.

Na reciclagem do concreto, os britadores móveis podem ser alimentados somente com resíduos de concreto. É estimado que cada metro cúbico de concreto contenha cerca 200 kg de aço.

Nas indústrias de beneficiamento de trigo são usados tambores magnéticos, na saída do transportador para assegurar que o trigo não esteja contaminado por corpos estranhos.

4. CONCLUSÃO

A etapa de separação magnética é empregada industrialmente no Brasil. A maioria dos métodos magnéticos no Brasil concentram-se nas áreas de minério de ferro e de fosfato, já que este método apresenta alta seletividade para os óxidos de ferro presentes nestes minérios.

A separação magnética é de extrema importância para concentração do minério de ferro, ela utiliza como propriedade diferenciadora o comportamento das partículas minerais sob a ação de um campo magnético, separando o material em 2 categorias: o produto de interesse e o rejeito. A propriedade diferenciadora é chamada susceptibilidade magnética, que se divide em 3 categorias: minerais ferromagnéticos, que são atraídos fortemente por um campo magnético, os paramagnéticos que são fracamente atraídos pelo campo magnético e os diamagnéticos que são repelidos por um campo magnético.

A separação magnética pode ser feita tanto a seco como a úmido, o método a seco, geralmente é utilizado para materiais com granulometria grossa, já o método a úmido é utilizado para granulometria mais finas.

A separação magnética é utilizada para remoção de ferro e materiais similares para proteção de equipamentos, para extração de constituintes magnéticos de valor, na remoção de impurezas magnéticas prejudiciais na separação de materiais baseadas em propriedades como densidade, condutividade.

No Brasil, para minérios de ferro, o equipamento mais utilizado de separação magnética é o separador Jones, o qual pode realizar as etapas rougher, cleaner e scavenger, de acordo com a necessidade.

Um outro equipamento está se apresentando como uma inovação para o tratamento de minérios de ferro de baixo teor, principalmente na China, é o chamado Slon, o qual se mostra extremamente eficiente por conter mecanismos da jigagem e da separação magnética ao mesmo tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUCCI, R. Partículas Magnéticas. Ed.Out./2007. P.4.

ARAÚJO, A.C.; PERES, A.E.C.; SALUM, M.J.G.; VALADÃO, G.E.S. Métodos de Concentração. In: ARAÚJO, A.C.; VALADÃO, G.E.S. Introdução ao Tratamento de Minérios. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. cap.6. p.105-139.

ARAÚJO, A. C., SANTOS, L. D., GIRODO A. C., PINTO C. L. L., GALÉRY R., PAPINI R. M., VALADÃO G. E. S., CASTRO L. F. A., TAVARES R. P. Minérios de ferro: Processos de Obtenção e sua Utilização na Siderurgia. Apostila curso ABM, 2008.

ARAÚJO, A. C., VIANA, P. R. M. Minérios de ferro e seus métodos de concentração. Apostila curso ABM, 2004.

EVANS, A. An Introduction to the ore geology. In: Deposits of sedimentary and volcanic environments. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983, Capítulo 16, p.195- 213;

GAGGIATO, V. C. A Competitividade no Mercado Transoceânico de Pelotas de Minério de Ferro, seus Delineadores e o Posicionamento dos Integrantes deste Mercado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. 154p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

HEARN, S. B.; DOBBINS, M. N. (2007) SLon magnetic separator: A new approach for recovering and concentrating iron ore fines. Montreal Energy & Mines, Montreal.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Produção mineral brasileira – 2010. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001157.pdf>. Acessado em 08/01/2015.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Tratamento de minérios. 4.ed. Rio de Janeiro: CETEM- MCT, 2004. 858 p.

PAPINI, R.M. Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2014. Notas de Aula. Curso de Pós Graduação em Engenharia de Minas – DEMIN.

Sampaio, J.A. e Luz, A. B. Separação magnética e eletrostática. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A. e Almeida, S.L.M. (Ed.) Tratamento de Minérios. 4ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p.303-335.

SVOBODA, J. ET AL. **Recent developments in magnetic methods of material separation.** Minerals Engineering 2003, Volume 16: páginas 785-792 – Elsevier.

UNCTAD - UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. *The iron ore market: 2008-2010.* Genebra: United Nations Publication, 2009b. 120p.

ZENG, W.; DAHE, X. (2003) The latest application of SLon vertical ring and pulsating high-gradient magnetic separator, Minerals Engineering, n.16, p.563-565.