

SCRUBBING¹

Ricardo Álvares de Campos Cordeiro²
José Cláudio de Figueiredo³

Resumo

As crescentes exigências do mercado quanto às especificações de qualidade para produtos é fator tradicional nas indústrias mineral e metalúrgica. Por outro lado, em função da natural exaustão das jazidas de teores mais altos, os novos minérios têm ficado cada vez mais pobres em percentuais de elementos aproveitáveis. Por isso, têm exigido constante aprimoramento dos processos de beneficiamento para a obtenção de produtos vendáveis com a preservação de custos operacionais competitivos. No caso específico das novas jazidas de minérios de ferro, além da diminuição de teores, ocorre, também, o aumento da proporção de goethita e limonita, que, muitas vezes, apresentam suas superfícies recobertas por partículas argilosas fortemente aderidas. Simples operações de lavagem em peneiras não são suficientes para remover com eficiência essas argilas aderidas. Dentre as alternativas em estudo, está a operação “scrubbing”, “escrubagem” no Brasil, que objetiva a remoção dessas argilas das superfícies das partículas de tal forma que as recuperações metalúrgicas e as especificações dos produtos gerados nos processos de concentração se mantenham em níveis de custos e de qualidade aceitáveis pela indústria mineral. Este artigo apresenta as formas de “scrubbing” existentes, os tipos de equipamentos disponíveis no mercado, citações e comentários sobre algumas aplicações, condições operacionais mais favoráveis, testes de bancada e piloto e potenciais novas aplicações.

Palavras-chave: “Escrubagem”; Argilas; Goethita; Limonita.

SCRUBBING

Abstract

The increasing requirement of market about the quality of products is usual factor in the mineral and metallurgical industries. On the other hand, because of the natural exhaustion of the higher grades deposits, the low grades ores have been feasible to mine. Therefore, the new ores have demanded improvement in the processes of concentration for obtaining marketable products with the preservation of competitive operational costs. In the specific case of the new iron ore deposits, beyond the grades reduction, it occurs, also, the increase of the ratio of goethite and limonite, that, many times, present its surfaces re-covered for clay materials particles strong adhered. Simple operations of washing in screens are not enough to remove efficiently these clays adhered. Amongst the new operations in study, there is the scrubbing, called "escrubagem" in Brazil, that objective the removal of these clays adhered on the surfaces of the particles, the preservation of usual metallurgical recoveries and the specifications of the products besides keeping the operational costs at an acceptable level for the mineral industry. This article presents the existing forms of "scrubbing", the more favorable types of available equipment in the market, citations and commentaries on some applications, operational conditions more favorable, group of bench and pilot tests and new potentials applications.

Key-words: Scrubbing; Clays; Goethite; Limonite.

¹ *Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Engenheiro de Minas, MSc., Área de Processo Mineral e Projetos de Minério de Ferro da Cia Vale do Rio Doce (CVRD); ricardo.cordeiro@cvr.com.br; ricardocordeiro@hotmail.com.*

³ *Engenheiro de Minas, Área de Processo Mineral e Projetos de Minério de Ferro da Cia Vale do Rio Doce (CVRD); jose.claudio.figueiredo@cvr.com.br.*

1 INTRODUÇÃO

A limpeza de superfície de partículas de minérios de ferro goethítico e limonítico, através de processo de *scrubbing*, “escrubagem” no Brasil, pode melhorar a qualidade de produtos, a eficiência de equipamentos e os processos de beneficiamento.

Em função da natural exaustão das jazidas de teores mais altos, os minérios têm ficado mais pobres em elementos aproveitáveis, mas as exigências de mercado quanto à qualidade são crescentes nas indústrias mineral e metalúrgica.

No caso específico das novas jazidas de minérios de ferro, além da diminuição de teores, ocorre, também, o aumento das proporções de goethita e limonita, ou goethita terrosa. As limonitas apresentam-se, normalmente, muito degradadas e, também, fortemente aderidas às superfícies dos outros minerais de ferro como a hematita e a magnetita.

No caso específico do Brasil, em função do ambiente geológico de forte intemperismo, a maioria das jazidas ainda apresenta formações argilosas em suas superfícies ou em intrusões que se misturam parcial ou totalmente às porções aproveitáveis. Essas argilas apresentam-se, muitas vezes, fortemente aderidas às superfícies das partículas de minério.

A não remoção dessas argilas aderidas redundará em aumento dos teores de deletérios dos produtos ou reduz, no caso de minério de ferro, a eficiência de processos tradicionais, como: sedimentação, peneiramento em umidade natural, separação magnética, concentração em espirais e jiques e, especialmente, flotação e filtração.

Para sanar ou diminuir os efeitos desses finos aderidos, há o *scrubbing*, “escrubagem” no Brasil, que objetiva a remoção das argilas e das limonitas das superfícies das partículas aproveitáveis de tal forma que as recuperações metalúrgicas, as especificações e os custos dos produtos se mantenham em níveis aceitáveis pela indústria mineral.

2 REVISÃO

Foi iniciada uma busca preliminar de correlação entre a estratigrafia e a mineralogia dos minérios de ferro frente às necessidades de “escrubagem”.

Foram analisados o processo e os tipos de *scrubbers* existentes, bem como os resultados práticos dos sistemas de “escrubagem” em *scrubber mill* das usinas industriais de beneficiamento de minério de ferro da Urucum Mineração, situada em Corumbá (MS) e de minério de manganês do Azul, localizada em Carajás (PA).

Da extinta Planta Piloto de Titânio, que foi localizada em Tapira (MG), foram analisados os resultados das “escrubagens” em *scrubber mill* e em célula de atrição, que eram feitas em seqüência.

Foram analisados, também, os resultados de testes piloto de “escrubagem” em *trommel*, realizados no Centro de Desenvolvimento Mineral (CDM), da CVRD, localizado em Santa Luzia (MG), com “sinter feed” de minérios de ferro das minas de Chacrinha e Onça, localizadas em Itabira (MG), que são beneficiados na usina da mina de Cauê.

No caso específico da flotação, artigos de Queiroz⁽¹⁾ e Chaves e Leal Filho⁽²⁾ comprovam a grande utilidade da “escrubagem” e da atrição para a limpeza das

superfícies das partículas, que é fundamental para a utilização com eficiência desse importante processo de concentração.

2.1 Geologia e Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero

Lage⁽³⁾ descreve o Quadrilátero Ferrífero como uma área de aproximadamente 7.000 km², situado no centro do Estado de Minas Gerais, Brasil, é uma das mais antigas províncias metalogenéticas exploradas no Brasil. A seção pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero é formada por rochas arqueanas e paleoproterozóicas englobadas em quatro unidades litoestratigráficas maiores que são: Complexo Metamórfico do Embasamento, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi.

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero engloba unidades litoestratigráficas cujas idades estendem-se do Arqueano, de rochas mais antigas, que formam o Supergrupo Rio das Velhas, ao Paleoproterozóico, de rochas mais novas, que formam o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi. O Supergrupo Rio das Velhas é constituído por rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas com metassedimentos químicos e clásticos associados. O Grupo Nova Lima engloba uma assembléia de rochas que se referem a um ambiente do tipo *greenstone belt*, encerrando importantes depósitos de ouro. O Grupo Maquiné compreende uma seqüência essencialmente clástica, de natureza metapelítico arenosa, com metavulcânicas subordinadas. Assentado em discordância, sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, encontra-se o Supergrupo Minas. O Grupo Tamanduá é formado por um conjunto de quartzitos, filitos, itabiritos filíticos e dolomíticos, conglomerados e quartzitos. O Grupo Caraça engloba metassedimentos conglomeráticos - arenosos (Quartzito Moeda) que passam a metassedimentos pelíticos (Filito Batatal), caracterizando a transição de ambientes flúvio - litorâneos para marinhos num regime transgressivo de plataforma. O Grupo Itabira é o que aloja os grandes depósitos de minério de ferro da província do Quadrilátero Ferrífero. A Formação Cauê é a unidade que engloba os depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, sendo constituída por formações ferríferas de fácies óxido - itabiritos *sensu stricto*, silicosos, compostos por bandas alternadas de hematita e quartzo - e também itabiritos anfíbolíticos e carbonáticos, com filitos, margas e horizontes manganésíferos subordinados. A Formação Gandarela é formada por um pacote de dolomitos aos quais se associam, em menor proporção, itabiritos, filitos e filitos dolomíticos. Ambas as unidades litoestratigráficas têm sido interpretadas como depositadas em ambiente marinho transgressivo sobre uma plataforma estável, passiva. O Grupo Piracicaba congrega, da base para o topo, as formações Cercadinho (quartzitos e filitos, às vezes ferruginosos, com dolomitos subordinados), Fecho do Funil (filitos, filitos dolomíticos e dolomitos), Taboões (quartzitos finos e maciços), e Barreiro (filitos e filitos grafitosos). O Grupo Sabará é a unidade mais espessa do Super Grupo Minas congrega clorita xistos, metatufos, grauvacas, quartzitos e metaconglomerados. Por fim, o Grupo Itacolomi, que corresponde a um pacote de sedimentos aluviais com cerca de 1800m de espessura, jaz em discordância sobre as rochas do Supergrupo Minas. O Quadro 1 mostra a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero segundo Alkmin e Marshak.⁽⁴⁾

SUPER GRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	IDADE
Minas	Itacolomi	<ul style="list-style-type: none"> Barreiro Taboões Fecho do Funil Cercadinho Gandarela Cauê Batatal Moeda 	Paleoproterozóico
	Sabará		
	Piracicaba		
	Itabira		
	Caraça		
Tamanduá	Arqueano		
Rio das Velhas		Maquiné	
Nova Lima			
Embasamento Cristalino			

Quadro 1: Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero.⁽⁴⁾

2.2 Mineralogia dos Depósitos de Minério de Ferro

Segundo Queiroz et al.,⁽⁵⁾ os minerais das jazidas de minério de ferro mais importantes para as operações de tratamento e concentração mineral são:

- **Hematita:** Óxido férrico, Fe_2O_3 (67,45 a 69,61% Fe). Pode conter titânio.
- **Magnetita:** Fe_3O_4 ou $FeFe_2O_4$.Fe (71,68 a 72,19% Fe). Pode conter magnésio e manganês.
- **Goethita:** Óxido de ferro e hidrogênio, $HFeO_2$ (58,02 a 62,70% Fe). O Manganês pode estar presente em quantidade acima de 5% e as variedades maciças contêm, muitas vezes, água adsorvida ou água capilar. A **goethita terrosa**, ou **limonita**, apresenta-se fortemente degradada. Podem conter fósforo.
- **Quartzo:** Apresenta a fórmula química SiO_2 (46,7% de Si e 53,3% de O). Seus cristais podem ter traços de lítio, sódio, potássio, alumínio, ferro férrico, manganês bivalente e titânio.
- **Caulinita:** É um silicato de alumínio hidratado, $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ (38,07 a 39,82% Al_2O_3 , 45,48 a 46,07% SiO_2 e 13,47 a 13,92% PF).
- **Gibbinita:** $Al(OH)_3$ (62,8 a 65,3% Al_2O_3 , 31,8 a 34,12% PF).
- **Associações Minerais mais comuns:** A principal associação mineral é a do quartzo com os minerais de ferro. Outra associação muito comum é a de caulinita $[Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8]$, gibbista ($Al(OH)_3$) e massas terrosas em poros e interstícios dos minerais de ferro. Em geral, depósitos que sofreram forte ação de intemperismo apresentam partículas minerais com grandes variações de associações minerais onde a goethita, em suas mais variadas formas, está presente e tem porosidade de partícula relativamente elevada.

2.3 Processo de “Escrubagem”

A “escrubagem” é uma operação que visa, principalmente: a preparação de matérias primas para a otimização da concentração em equipamentos em uma usina de

beneficiamento mineral; a limpeza de produtos de uma usina de beneficiamento para melhorar suas qualidades para clientes; e a preparação de produtos para a otimização de operações metalúrgicas subseqüentes aos processos de concentração mineral.

Os processos industriais de “escrubagem” existentes são a úmido e consistem, basicamente, na liberação e extração dos finos pela aplicação de força mecânica de atrição às partículas imersas em água, isto é, ao minério em forma de polpa. O fator preponderante de processo para a extração dessas partículas é a percentagem de sólidos aliada a um tempo de residência. No caso de partículas maiores, na faixa 1mm a 5”, a percentagem de sólidos mais adequada varia, grosso modo, entre 50 a 60% em peso; no caso de partículas menores, abaixo de 1/4” ou de 1mm, a percentagem de sólidos fica entre 60 a 80% em peso.

Internacionalmente, o processo é denominado *scrubbing*. No Brasil, para partículas maiores e na faixa de granulado e *sinter feed* grosso, é denominado de “escrubagem”; para partículas menores e na faixa de *sinter feed* fino e de *pellet feed*, é chamado de atrição.

2.3.1 Métodos e Equipamentos Industriais de “Escrubagem”

O processo de *scrubbing* é o mesmo para todos os tipos de equipamentos, pois todos são baseados na força de atrição entre as partículas, mas, basicamente, os principais tipos de equipamentos existentes são:

- **“Scrubber”**: tambor rotativo que gira em torno de um eixo e movimenta, com a rotação do próprio tambor, a massa de sólidos e água (polpa) alimentada. Há um tipo especial de *scrubber*, o *Scrubber Mill* ou “*Super-Scrubber*”, que tem rotação entre 60 e 90% em relação à velocidade crítica e que transmite à carga de polpa a forma de “catarata” ou de “cascata” semelhantes aos moinhos revolventes. No Catálogo da Engendrar⁽⁶⁾ é possível encontrar a Figura 1, um *scrubber*.



Figura 1 – Scrubber. ⁽⁶⁾

- **Trommel (ou Peneira Rotativa)**: tambor rotativo que gira em torno de um eixo e cujas laterais, em toda sua extensão, são telas circulares; usado para desagregar e, ao mesmo tempo, funcionar como peneira a úmido; sua rotação fica entre 30 e 40% da velocidade crítica para os sólidos terem maior possível contato com as telas. No Catálogo da Metso⁽⁷⁾ é possível encontrar a Figura 2, um *trommel*.



Figura 2 – Trommel. ⁽⁷⁾

- **Célula de Atrição:** são caixas que têm seção normalmente quadrada ou até hexagonal, fabricadas em metal e dotadas de eixos com hélices movidas por motos-redutores, cuja polpa é movimentada e mantida em suspensão pela força de rotação das hélices. No Catálogo da Denver ⁽⁸⁾ é possível encontrar a Figura 3, uma célula de atrição.

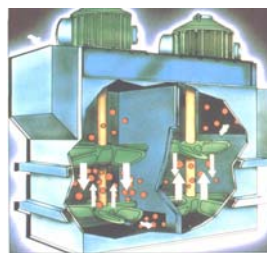


Figura 3 – Célula de Atrição ⁽⁸⁾

O consumo de energia desses equipamentos de “escrubagem” depende do tempo de residência e da percentagem de sólidos, bem como do tipo de equipamento e fabricante, mas, grosso modo, varia de 0,3 a 0,6 kWh/t.

2.4 Resultados

2.4.1 Minério de ferro – Urucum

O granulado (<38mm>19mm) e a hematitinha (<19mm>6,35mm) de minério de ferro da Urucum Mineração, da CVRD, localizada em Corumbá (MS), é, desde 2004, “escrubado” em *scrubber mill* que tem 1,9m de diâmetro por 5,0m de comprimento para a remoção de arcóseo (arenito feldspático) e argilas fortemente aderidas às superfícies das hematitas. O *scrubber mill* tem alimentação de aproximadamente 200t/h com de 50% de sólido em peso, gira com 21rpm (70% da rotação crítica), volume útil de 2m³ e tempo de residência em torno de trinta segundos; é alimentado com o *oversize* de peneiras vibratórias a úmido. Na Tabela 1, resultados típicos de análise química do granulado com e sem “escrubagem”.

Tabela 1 - Granulado Com e Sem Escrubagem				
	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃
C/Scrubber	66,84	0,058	2,19	1,00
S/Scrubber	65,97	0,056	2,77	1,45

Fonte: Urucum Mineração – CVRD

2.4.2 Minério de Anatásio – *Scrubber mill* e célula de atrição

O minério de anatásio da Planta Piloto de Titânio da CVRD, localizada em Tapira (MG), que operou de 1983 até 1989, era “escrubado” em *scrubber mill* e em “célula de atrição”. O ROM era “escrubado” em *scrubber mill* de 2m de diâmetro por 4m de comprimento, volume útil de 1,2m³, tempo de residência de sessenta segundos, com taxa entre 50 e 70t/h. O *scrubber mill* girava com 27rpm (90% da rotação crítica) e era alimentado com tamanho máximo de 5” e 50% de sólidos em peso. O produto do *scrubber mill* era ainda britado, classificado em peneiras vibratórias a úmido, sofria separação magnética de baixa intensidade, era deslamado em classificador espiral e homogeneizado para geração de produto na faixa de *sinter feed*. O *sinter feed* era, então, moído em moinho de bolas, passava por separação magnética de baixa intensidade, era classificado e deslamado em classificador espiral, resultando em produto com tamanho entre 1mm e 200mesh, *underflow* de classificador espiral, que seguia para célula de atrição de 60cm x 60cm x 1,5m, dois estágios, era “escrubado” em percentagem de sólidos entre 60 e 70% a uma taxa de 8t/h, com tempo de residência de 10 minutos, sendo, em seguida, deslamado em outro classificador espiral e filtrado em filtro plano horizontal.

Com apenas o *scrubber mill*, sem a célula de atrição, a umidade do produto filtrado (filtro horizontal) da moagem era de aproximadamente 22%; essa alta umidade provocava constantes entupimentos e ineficiências nas operações subseqüentes da área de fornos (secagem a 120°C em *flash dryer*; calcinação e redução em leito fluidizado, a 700°C e 550°C, respectivamente), da área de concentração a seco (separações magnéticas de baixa e média intensidades; separação eletrostática) e da área de lixiviação ácida (a 90°C) e neutralização com soda cáustica e solução de cal. Com a célula de atrição, e mantido o *scrubber mill*, a umidade do produto filtrado da moagem caiu para 15%, redundando em duplicação do tempo de vida do elemento filtrante, eliminação total dos entupimentos na área de fornos e redução das ineficiências na concentração a seco; na área de tratamento químico, os tanques de lixiviação passaram a não produzir lixívia de finos, verdadeiro “gel”, com sensível influência benéfica também na neutralização de efluentes. Ocorreu um enorme ganho ambiental em função da menor emissão de finos das chaminés e dutos das áreas de fornos e de concentração a seco.

Depois do acréscimo da célula de atrição e eliminação quase total dos finos argilosos, a Planta Piloto de Titânio passou a funcionar sem nenhuma interrupção e continuamente, o que permitiu à equipe envolvida fazer corretamente a avaliação do processo em foco.

2.4.3 Minério de manganês da Mina do Azul

No caso da mina de manganês do Azul, da CVRD, situada na região de Carajás, são identificados e considerados três tipos distintos de minérios. Os pelíticos são predominantes e são associados aos siltitos; os detríticos, mais superficiais, também estão em matriz argilosa e são contaminados por porções de solos; os minérios maciços, a terceira tipologia, representam aproximadamente dez por cento das reservas, estão quase isentos de argilas e necessitam, para limpeza, apenas de forte lavagem com água em peneiras vibratórias. Os minérios detríticos e pelíticos, correspondentes a noventa por cento das reservas, necessitam de forte e eficiente “escrubagem” para se colocarem em condições de uso metalúrgico.

Os fornos de eletro-redução para produção de ligas de manganês são muito sensíveis aos finos abaixo de 1/4” e, principalmente, aos finos argilosos aderidos às partículas; esses finos abaixo de 1/4” e os argilosos causam baixa porosidade e alta umidade da carga, resultando em redução da eficiência operacional, aumento de custos, emissão de poeiras e particulados e, em consequência, levam grande risco à segurança dos operadores e dos equipamentos em função de eventuais e incontroláveis explosões provocadas pela retenção de gases.

A “escrubagem” na usina do Azul é feita atualmente em dois *scrubbers mill* com 2m de diâmetro e 6m de comprimento, rotação de 14rpm (47% da rotação crítica), taxa de alimentação de 300t/h; como resultado, elimina parte dos finos e argilas indesejáveis e, ainda, aumenta as reservas minerais ao incorporar os produtos dos tipos pelíticos e detrítico, conforme Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Reservas de Produtos da Mina do Azul - C/Scrubber

Minério	Massa (t)	Mn (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	K ₂ O
Detritico	2.037.260	44,50	4,60	4,60	8,60	0,09	1,30
Pelito Tabular	7.602.973	42,00	4,50	7,50	9,20	0,07	1,20
Pelito Rico	8.201.063	45,80	3,80	5,60	7,30	0,09	1,20
Maciço	5.091.910	51,80	2,80	2,70	4,30	0,11	1,30
Total	22.933.206	45,80	3,90	5,50	7,40	0,09	1,20

Fonte: Mina de Manganês do Azul - CVRD

O aumento da rotação dos dois *scrubbers* está em estudo. A investigação dos efeitos da atrição nas partículas abaixo de 1/4” é recomendada em função de possível aproveitamento comercial de minérios marginais pelíticos e de finos dispostos em barragens.

2.4.4 Minério de ferro das Minas de Onça e Chacrinha

Com o objetivo de redução do teor de alumina no *sinter feed*, foram realizados testes piloto de “escrubagem”, conforme Zacharias et al.,⁽⁹⁾ em *trommel*, na fração entre 8mm e 1,6mm, em amostras das minas de Onça e Chacrinha, que abastecem a usina de concentração de Cauê, em Itabira (MG), tendo-se obtido os resultados conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Testes de Escrubagem em "Sinter Feed" - Minério de Ferro

Tipo (Mina)	Resid. (min.)	Alimentação			Oversize			Undersize			
		Teor (%)			Massa (%)	Teor (%)		Teor (%)			
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Onça	5,00	68,60	0,45	0,86	81,72	69,15	0,21	0,56	66,87	1,33	1,75
	10,00				76,75	69,11	0,29	0,40	67,27	0,89	1,72
Onça	5,00	66,40	2,35	1,62	72,95	67,82	1,28	0,96	63,14	4,63	3,17
	10,00				72,92	67,93	1,17	0,96	62,28	5,44	3,38
Chacrinha	5,00	55,10	6,38	3,29	82,92	57,60	4,08	2,84	49,18	11,98	6,07
	10,00				82,50	56,54	4,76	2,42	49,72	11,11	6,18

Fonte: Relatório Interno CDM-CVRD 2003

3 DIMENSIONAMENTO - TESTES DE BANCADA E PILOTO

Os *scrubbers* são dimensionados a partir unicamente de resultados de testes de bancada, que podem ser feitos em betoneiras ou em *scrubbers* de laboratório que simulem os equipamentos industriais. No caso de células de atrição, também testes de bancada em células de laboratório são suficientes para o dimensionamento industrial. Para comprovação dos efeitos da “escrubagem” em operações subseqüentes de processo ou de concentração, às vezes é necessária a elaboração também de testes piloto em seqüência aos de bancada.

No caso da Urucum Mineração e do Projeto Titânio de Tapira (MG), os equipamentos industriais foram dimensionados diretamente a partir de resultados de testes de bancada feitos nas instalações do CDM, da CVRD, em Santa Luzia (MG). Na Usina do Azul, um tambor lavador/*trommel* foi transformado em *scrubber mill* com base em resultados de observações e testes feitos na própria planta industrial.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os efeitos da “escrubagem” na flotação são conhecidos e comprovados para vários tipos de minérios, sendo operação usual em usinas de concentração conforme já comprovado neste artigo.

Na Planta Piloto de Titânio, foram demonstrados os grandes benefícios da “escrubagem” na filtração e em operações de concentração a seco e em umidade natural, bem como em operações piro e hidrometalúrgicas; ficou comprovado, também, que a moagem e outras operações de beneficiamento podem não substituir a “escrubagem”.

Os resultados obtidos com o granulado da Urucum Mineração comprovam a utilidade da “escrubagem” na limpeza de produtos.

Os testes de atrição no “sinter feed” das minas de Chacrinha e Onça, localizadas em Itabira (MG), comprovam que até minérios de ferro das jazidas mais ricas situadas na Formação Cauê podem exigir a “escrubagem”.

Conforme o exemplo da Mina do Azul, a “escrubagem” redundou em aumento de reservas minerais.

As altas percentagens de sólidos usadas no processo de "escrubagem" levam a consumos de água menores que os usuais na lavagem sobre peneiras.

Os testes de "escrubagem" do "sinter feed" das minas de Onça e Chacrinha mostram que a geração de finos é aproximadamente a mesma nos tempos de cinco e dez minutos.

Os equipamentos de "escrubagem" disponíveis no mercado têm altas capacidades e baixo consumo de energia.

5 CONCLUSÃO

Qualquer avaliação de viabilidade técnico-econômica do uso da "escrubagem", bem como seus efeitos em produtos e operações de concentração subseqüentes, deve ser feita com base em conhecimento geológico e mineralógico de cada jazida, na caracterização geometalúrgica dos minérios e em testes de bancada ou até piloto.

As altas capacidades e a simplicidade dos equipamentos disponíveis no mercado, bem como o baixo consumo de energia, tornam viável o uso da "escrubagem" no beneficiamento de minério de ferro em alta escala.

Comprovadamente, a "escrubagem" pode ter grande efeito na flotação, na filtração e em todas as operações de concentração a seco e em umidade natural, tendo, portanto, grande potencial para ser usada também em usinas de tratamento e concentração de minério de ferro.

A "escrubagem" pode trazer grandes benefícios também às qualidades química e física dos produtos de minério de ferro, bem como diminuir a emissão de particulados durante o transporte e o manuseio.

A incorporação de reservas de teores mais baixos pode ser, também, outro efeito benéfico da "escrubagem" para as jazidas de minério de ferro, principalmente aquelas que têm maior ocorrência de argilas e limonitas.

Recomenda-se o aprofundamento de estudos dos efeitos da "escrubagem" nas operações de concentração gravítica, pois, ao evitar-se a presença de partículas coloidais na polpa, pode haver potencial para a diminuição da viscosidade da polpa e, em conseqüência, otimização do processo de separação.

Neste artigo, foi comprovada que a "escrubagem" não é uma grande geradora de finos e de perdas, e, de forma alguma, pode ser comparada a uma operação de moagem; mas ficou indicado, entretanto, que tem o efeito aproximado do tamboramento. Por esse motivo, recomendam-se mais estudos para consolidação desta indicação.

Em função das altas percentagens de sólidos usadas, ficou comprovado também que a "escrubagem" não é uma grande consumidora de água e, neste quesito, pode ser comparada a qualquer outra operação de tratamento a úmido.

É recomendável que a viabilidade técnico-econômica da "escrubagem" seja investigada em todas as novas jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, principalmente naquelas situadas acima da Formação Cauê. Entretanto, a simples correlação estratigráfica não é indicador seguro da necessidade de "escrubagem", pois todas as jazidas, qualquer que seja a localização estratigráfica, têm coberturas estéreis e argilosas que podem motivar, também, a exigência de intensa limpeza das superfícies das partículas.

Agradecimentos

- Gerente da Gerência Geral de Desenvolvimento de Processos Minerais (GEPMF-DIPF-CVRD), Vagner Silva de Loyola Reis.
- Gerente da Gerência de Desenvolvimento e Controle de Processos (GACPF-GEPMF-DIPF-CVRD), Ernandes Sávio de Souza.
- Vânia Lúcia de Lima Andrade, GEPMF-DIPF-CVRD.
- Fernanda Tarbes M. Saturnino, GEPMF-DOPF-CVRD.
- Coordenador de Projetos da GACPF-CVRD, Leonardo de Almeida Queiroz.
- Flávio de Castro Dutra, GACPF-CVRD.
- Julliana Souza Oliveira, GACPF-CVRD.
- Klaydison Carlaile Silva, GACPF-CVRD.
- Issamu Endo, da UFOP.
- Fernando F. Alkmin, da UFOP.
- Jorge Alberto C. de Menezes, Dorr-Oliver Eimco.
- Luiz Botelho e Maximiliano de A. Carvalho, Engendrar.
- Metso Minerals.
- Simplex.
- João Antunes Nogueira Neto, engenheiro de minas, MSc., especialista contratado da CVRD em planejamento de lavra.
- Taciana de Almeida Gomes e Nisa S. M. Gonçalves, CDM-CVRD.

REFERÊNCIAS

- 1 QUEIROZ, L.A. Emprego da atrição na deslamagem: efeitos na flotação reversa de minérios itabiríticos. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2003, 165 p. (Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de Tecnologia Mineral).
- 2 Chaves, A. P.; Leal Filho, L.S. Flotação. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S.L.M. Tratamento de Minérios 4^a. Edição, Rio de Janeiro: CETEM- MCT, 2004, cap. 10, p.423 – 424
- 3 Lage, Dílson Guerra, 2006 – Relatório para Plano de Pesquisa de Ferro e Ouro, Relatório Interno.
- 4 ALKMIM F. F. A. & MARSHAK S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*. 90(1/2):29-52
- 5 Queiroz, L.A, Ferreira, A.D., Padovezi, A.D., Purificação, E.X., Cândido, M.H.Z., 2006 - Análise Mineralógica Aplicada ao Desenvolvimento de Processos e Produtos de Minério de Ferro, Relatório Interno.
- 6 Catálogo Comercial Digital da Empresa Engendrar.
- 7 Catálogo Comercial Digital da Empresa Metso.
- 8 Catálogo Comercial Digital da Empresa Denver.
- 9 Zacharias, O.I.R.; Fujikawa, L.H.; Pereira, M. Redução da Alumina no Sinter Feed Cauê, Estudos em escalas de bancada e piloto com amostras das minas Chacrinha e Onça. Relatório Final, Companhia Vale do Rio Doce, Gerência Geral de Desenvolvimento e Tecnologia [GETEK]. Arquivo: 10.18.1/167 (Registro CDI: 28/2003). Santa Luzia, Minas Gerais: 2003.