

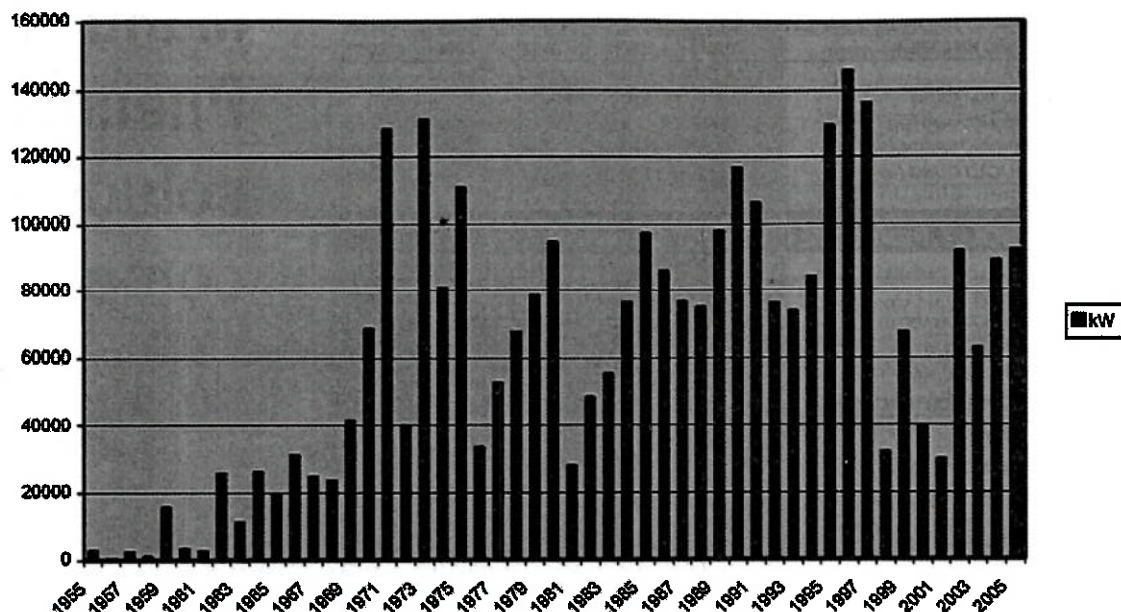


Figura 1.1 – Capacidade instalada (kW) da moagem autógena / semi-autógena vendida por ano (fonte: Jones, 2006)

Operação e otimização de moinhos semi-autógenos

Mauricio Guimarães Bergerman (*), Homero Delboni Jr (**)

A história da moagem autógena está ligada à moagem de minérios de ouro. O primeiro trabalho publicado sobre o tema foi de Kenneth L. Graham (1907) apud Bond (1985), na África do Sul, que fez um estudo comparativo de moagem entre um moinho que utilizava corpos moedores do próprio minério e um moinho usando pebbles importados (oriundos de outras minas), mostrando os ganhos de se trabalhar com o próprio minério. A moagem autógena continuou sendo usada na África do Sul, mas foi substituída pela moagem de bolas no restante das operações. Em 1949, o método foi revisto por B.S. Crocker, para uma aplicação de moagem de minério de ouro muito fina, abaixo de 30 μ m, com a substituição das bolas de aço por corpos moedores do próprio minério (Bond, 1985).

A partir de 1950, este revolucionário equipamento foi introduzido com sucesso nas instalações de processamento mineral. Esta opção se mostrou tão viável que hoje não é incomum observar, em usinas com altas capacidades, a

substituição dos tradicionais circuitos com britagem, moagem de barras e bolas por circuitos de moagem autógena com um único estágio (DELBONI, 1999). Deve-se destacar também os problemas observados no processamento de minérios muito úmidos em britadores e de minérios muito viscosos em moinhos de barras e bolas. A figura 1.1 ilustra a venda anual de moinhos autógenos e semi-autógenos, pela capacidade instalada (kW).

Há diversos tipos de configurações de circuitos de moagem que utilizam moinhos autógenos e semi-autógenos. Uma descrição detalhada destas configurações é feita por Delboni (2007). As principais alternativas incluem circuitos com moinho semi-autógeno em estágio único, seguido de moagem de pebbles ou moagem de bolas e com a utilização de rebritadores para a fração grosseira do moinho semi-autógeno.

No Brasil, a história da moagem semi-autógena é relativamente recente. Alguns moinhos de pequeno porte operam desde a década de 1980, mas o primeiro moinho deste tipo de grande

porte a entrar em operação foi a da usina do Sossego, no Pará, para o processamento de cobre sulfetado. Este circuito é descrito em detalhes por Bergerman (2009). Atualmente, outros circuitos de grande porte encontram-se em operação, para minérios de cobre, níquel, bauxita e ouro.

2. Operação e otimização de circuitos de moagem semi-autógenos

2.1. Operação

Napier-Munn et al. (1999) descrevem com muitos detalhes as características básicas de operação de um moinho semi-autógeno. A seguir, foi feito um levantamento de diversas experiências ressaltando os pontos a serem observados na operação de um moinho semi-autógeno.

As fotos 2.1 a 2.4 ilustram um moinho semi-autógeno industrial, seu interior, uma operação de troca de revestimentos, assim como detalhes da carga e dos revestimentos.

Segundo Mular e Burkert (1989), a operação de moinhos semi-autógenos deve visar a maximização da vazão de alimentação dos mesmos. Os

Resumo

Os primeiros registros de moagem semi-autógena datam do início do século XX. No Brasil, as primeiras unidades destes equipamentos iniciaram suas operações nos anos 1980, em operações de pequeno porte. O primeiro moinho semi-autógeno de grande porte iniciou operação em 2004, para a moagem de minério sulfetado de cobre no Pará, na mina denominada Sossego. Atualmente, mais três operações de grande porte, nas áreas de cobre, bauxita e ouro, encontram-se em operação.

Tendo em vista o caráter pioneiro do circuito de moagem existente no Sossego e a expansão deste tipo de circuito no Brasil para diversos minérios, foi realizado este trabalho, que apresenta uma extensa revisão bibliográfica sobre a operação e a otimização desse tipo de circuito, visando contribuir para a consolidação deste conhecimento no País.

Palavras-chave: Moagem semi-autógena. Cominuição. Otimização.

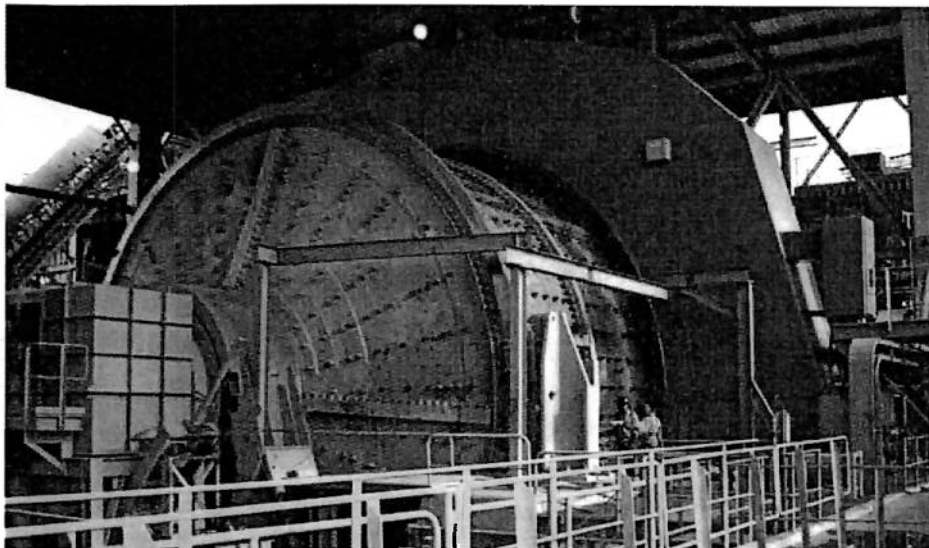


Foto 2.1 – Moinho semi-autógeno de 38 pés de diâmetro da usina do Sossego

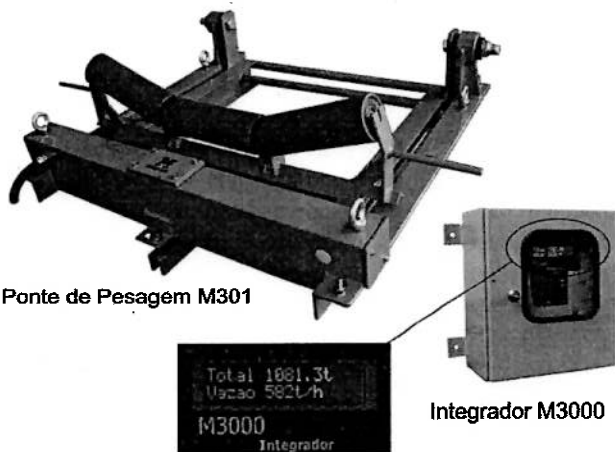
fatores que afetam a operação de circuitos com moinhos semi-autógenos são classificados como distúrbios, variáveis do equipamento e variáveis operacionais, conforme descrito a seguir:

- **distúrbios:** relacionados a características da alimentação, como a resistência à moagem, à distribuição granulométrica e à densidade. Mesmo que não possam ser controlados diretamente,

devem ser identificados e compensados com controles operacionais;

- **variáveis do equipamento:** relacionadas a características do equipamento, como a velocidade de rotação, a distribuição de tamanhos de bolas, a quantidade de carga, a área aberta de grelha, etc. Com exceção da velocidade, as demais características não podem ser mudadas rapidamente.

Balança Integradora para Correias Transportadoras M301/M3000



Ponte de Pesagem M301

Integrador M3000

- Medição da vazão instantânea (t/h) e totalização de material
- Display LCD com 2 linhas de 16 caracteres

- Calibração e monitoração da balança por menus de fácil acesso
- Integrador digital microprocessado de última geração M3000
- Registro de dados em memória não volátil (Não requer baterias)
- Alta precisão

M
magcon

Magcon Indústria e Comércio Ltda.

Rua Inspetor Lúcio Bertoldo, 95 - Vila Odete

CEP 34000-000 - Nova Lima - MG

Fone: (31) 3581-7408 - Fax: (31) 3581-7425

e-mail: magcon@magcon.com.br

www.magcon.com.br



**CORPOS MOEDORES
GRINDING BALLS
CUERPOS MOLEDORES**



Novo Forno T. T. a Ar



ESCRITÓRIO / HEAD OFFICE / OFICINA

Rua Gustaf Dalen, 151 - Dist. Ind. Paulo Camilo - Betim - MG - Brasil - CEP: 32.659-174

TEL: (31) 3071-9540 / 3071-9550 - FAX: (31) 3071-9552 / 3071-9553 - comercial@roque@sadasiderurgia.com

FÁBRICA / PLANT / FABRICA

Rodovia BR 496 - Km 29 - S/N - Predio 01 - Bairro das Indústrias
Varzea da Palma - MG - Brasil - CEP: 39.260-000 - TEL/FAX: (55 38) 3731-1003

Soluções em Parafusos Técnicos



Par-Tec

A **PAR-TEC** PARAFUSO TÉCNICO É UMA DAS PRINCIPAIS FORJARIAS DO PAÍS ESPECIALIZADA NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS ESPECIAIS, PORÇAS E ARRUELAS NOS MAIS DIVERSOS TIPOS DE AÇO PARA O SEGUIMENTO DE MINERAÇÃO, SIDERÚRGIA, CIMENTEIRO, FERROVIÁRIO, ENTRE OUTROS... PRODUZINDO TAMBÉM ELEMENTOS DE FIXAÇÃO NORMATIZADOS

Av. Guinle, 574 - Guarulhos - SP - CEP: 07221-070
TEL. 55-11 2412.9927 / FAX. 55-11 2488-7199
partec@partec.ind.br / www.partec.ind.br



Projetos e Consultoria Ltda.

**PROJETOS
MULTIDISCIPLINARES PARA
MINERAÇÃO
SIDERURGIA
PELOTIZAÇÃO
CAL
CIMENTO
INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS
MANUSEIO**

Estudos de viabilidade
Projetos conceituais, básicos e executivos
Processos minerais
Projetos de lavra
Meio ambiente

Instalações industriais	Tubulações e utilidades
Equipamentos	Eleticidade
Manuseio de materiais	Instrumentação, controle e automação
Estocagem e homogeneização	Civil e arquitetura
Instalações portuárias	Barragens
Terminais ferroviários	Hidrologia e hidráulica
Estruturas metálicas	Planejamento e gerenciamento

Rua Tomé de Souza, 830 Pílotis Funcionários
CEP: 30.140-131 - Belo Horizonte MG Brasil
Telefax.: (5531) 3261-4232
E-mail: tecnomin@tecnomin.com.br
Site: www.tecnomin.com.br

Por isso, modificações nestas variáveis devem levar em conta as características atuais e futuras do minério que alimenta o moinho;

- *variáveis operacionais*: envolve a vazão de sólidos e água, a carga circulante, potência, a carga de bolas e de minério, a velocidade, o nível de ruído devido ao impacto e a granulometria de alimentação do moinho.

Ressalta-se que a operação é altamente influenciada pela velocidade de rotação do moinho, pelo tamanho de corpos moedores, pela granulometria da alimentação, pela carga de bolas, pela carga total (Westhuizen; Powell, 2006) e pela resistência do minério (Morell; Valery, 2001).

Devem-se evitar o choque da carga contra o revestimento, provocada pela velocidade de rotação do moinho muito alta ou volumes baixos, para prevenir quebras de revestimentos (Powell et al., 2006). Para controlar esta variável, além de se conhecer o peso ou a potência que representam o enchimento adequado, deve-se ficar atento ao ruído próximo à carcaça, tendo em vista que a ocorrência de impacto de bolas no revestimento irá gerar um ruído facilmente perceptível, seja pelo operador, seja por equipamentos automatizados que fazem este monitoramento (Veloo et al., 2006).

É importante também ficar atento à acumulação de polpa no moinho, fenômeno chamado de *slurry pool* (Powell; Valery, 2006), que ocorre quando o volume de polpa a ser descarregado do moinho é maior que a capacidade de descarga do descarregador de polpa. Este fenômeno leva à perda de eficiência de moagem.

2.2. Otimização

Diversos autores apresentam uma série de trabalhos sobre a otimização da operação de moinhos semi-autôgenos. A seguir, é apresentado um sumário de trabalhos selecionados, segundo a variável analisada, a modificação realizada e, quando citado, o ganho obtido.

2.2.1. Revestimentos e grelhas

São de importância fundamental para a manutenção e o desempenho do processo de moagem. Revestimentos têm importância primária para proteger o moinho de desgaste e de danos



Foto 2.2 – Interior de um moinho semi-autôgeno. Ao fundo, observam-se as grelhas de descarga do material

estruturais e transferir energia à carga. As grelhas retêm os corpos moedores e classificam o material. Grelhas e descarregadores de polpa, (*pulp lifters*), controlam a descarga. Para o controle do desempenho dos revestimentos, devem-se monitorar as peças utilizadas em aspectos como peso, tipo, fornecedor, material, bem como as condições de operação e as trocas prematuras.

Parte importante dos cuidados de operação de um moinho semi-autôgeno refere-se aos revestimentos, principalmente após o início da operação de moinhos de grande diâmetro, nos anos 1970. Como apontado por Parks e Kjos (1989), usinas com circuitos convencionais possuíam rendimentos operacionais (disponibilidade x utilização) aproximadas de 95%, enquanto circuitos com moinhos semi-autôgenos tinham dificuldade para atingir 80%. Ganhos significativos na vida dos revestimentos podem ser obtidos tomando-se alguns cuidados, como seleção adequada de materiais e correta operação, mantendo-se um grau de enchimento e uma relação minério bolas adequados.

Os revestimentos do corpo do moinho semi-autôgeno são do tipo placa e barra elevatória. Os ângulos de ataque desses revestimentos, altura e número das barras têm influência relevante no desgaste e na movimentação da carga no moinho.

Com exceção das modificações dos primeiros perfis, utilizados nos primeiros moinhos de grande diâmetro, que possuíam ângulos muito baixos, as atuais otimizações de revestimentos não geram ganhos tão significativos em termos de capacidade, mas sim em termos de vida útil do revestimento. Em geral, o que se observa na literatura analisada é uma suavização dos ângulos de ataque dos revestimentos, assim como modificações na estratégia de trocas, no uso de placas maiores e nos descarregadores de polpa

curvos e duplos.

2.2.2. Distribuição granulométrica de alimentação e resistência do minério

Tendo em vista que os principais fatores que impactam a capacidade dos moinhos semi-autógenos são a granulometria e a resistência do minério, diversos trabalhos avaliam o impacto destas variáveis. Morell e Valery (2001) propõem que a variável que mais impacta a capacidade é a resistência do minério, seguida da granulometria. Os autores ressaltam a importância de se usar métodos *on line* de análise granulométrica e usar o F_{80} e o tamanho máximo para o controle dos resultados da granulometria de alimentação. Afirmam também que é importante usar os alimentadores laterais de retomada do material das pilhas pulmões de alimentação dos moinhos, que recebem material grosseiro, quando o moinho semi-autógeno não está limitando a vazão da usina, para formar uma pilha pulmão com granulometria mais fina.

Na literatura, observa-se que uma série de operações conseguiram otimizações na granulometria de alimentação do moinho semi-autógeno, principalmente pela melhora do desmonte, aumentando assim sua produção significativa-

mente (BERGERMAN; DELBONI; NANKRAN, 2009; DANCE et al., 2006). Também há registros de alterações nas características de alimentação, otimizando-se os *blends* realizados, conseguindo ganhos significativos de vazão (MCCAFERRY et al., 2006).

2.2.3. Variação da velocidade de rotação do moinho semi-autógeno

Há uma relação direta entre o aumento de velocidade de rotação e o incremento de vazão de alimentação do moinho semi-autógeno. Ganhos de 6 a 10% são citados por Smith e Courchesne (1989) e Kendrick e Marsden (2001). Schaffner e Mile (1996) citam também ganhos de vazão, po-

rém sem quantificação. Hart et al. (2001) ressaltam a importância de se aumentar a velocidade até os valores máximos permitidos, observando a ocorrência de ruídos críticos devido aos impactos das bolas contra o revestimento. Em alguns casos, aumentou-se o enchimento total do moinho para evitar impactos (Smith; Courchesne, 1989).

2.2.4. Aumento do tamanho de bolas

Assim como o aumento da velocidade, o aumento do tamanho das

bolas tende a aumentar a energia de quebra, melhorando a fragmentação das partículas maiores, resultando, assim, em aumentos de capacidade. Em moinhos de grande porte, aumentos no diâmetro das bolas empregadas, de 4,5" para 5", 5,5" e até 6" são relatados (Kendrick; Marsden, 2001 e Burguer et al, 2006). Não é apresentada a quantificação desses ganhos, mas trata-se de ganhos relativamente pequenos, conforme pode ser observado em simulação computacional.

Outro aspecto positivo de se aumentar o tamanho das bolas do moinho é o aumento de sua vida útil. Maia (1994) mostra que existe uma significativa diferença de qualidade de corpos moedores de diversos fornecedores, ressaltando



Foto 2.3 – Manipulador de placas, equipamento utilizado para troca dos revestimentos de moinhos de grandes diâmetros

PIMENTA DE AVILA
CONSULTORIA LTDA

EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001



ENGENHARIA E CONSULTORIA

GEOTECNIA DE BARRAGENS E MACIÇOS DE TERRA
CONCEPÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
BARRAGENS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
CONCEPÇÃO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA
GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

AUDITORIA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS
PLANOS DE AÇÕES EMERGENCIAIS
PLANOS DE FECHAMENTO
SUPERVISÃO DE CONSTRUÇÃO
CONTROLE DE QUALIDADE DE OBRAS

DESDE 1989, ATUANDO NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO, INDÚSTRIA E GERAÇÃO DE ENERGIA

CLIENTES

ALCOA, ALUMAR, ALUNORTE, ANGLO FERROUS, ANGLO GOLD ASHANTI, BHP BILLITON, BUNGE, CBA, CEMIG, CONSÓRCIO GALVÃO CARIÓICA, COPASA, CSN, ELETRORIVER, FEAM, FERROUS RESOURCES, IBRAM, LISA, MGS, MRN, MMX, NOVELIS, PETROBRÁS, SAMARCO, SÃO BENTO, THYSSENKRUPP USIMINAS, VALE, VALESUL, V&M, VOTORANTIM E YAMANA GOLD.

ENDEREÇO:

Alameda da Serra, nº 420 - 2º andar, Bairro Vale do Sereno. 34.000-000
Nova Lima - MG - Tel.: 31 3286.1711 / Fax: 31 3286.33.07
www.pimentadeavila.com.br / pimentadeavila@pimentadeavila.com.br

a importância de se ter um controle efetivo quanto à qualidade dos corpos moedores utilizados em processos de moagem.

2.2.5. Sistemas avançados de controle

A fim de manter a operação de moinhos semi-autógenos o mais estável possível, diversas minas têm instalado sistemas avançados de controle. Trata-se de programas que fazem a leitura das variáveis de processo dos sistemas de controle das usinas, analisam os mesmos e retornam novos *set points* para o sistema de controle (Coutinho et al. 2008). Tais sistemas substituem o trabalho que o operador faria em intervalos de tempos maiores, realizando o mesmo serviço diversas vezes por minuto. Mediante a adoção destes sistemas, foram relatados ganhos de até 4% de vazão e redução de até 3% no consumo de energia (Morales; Montero e Viveros, 2006).

2.2.6. Rebritagem de pebbles

Tendo em vista que moinhos semi-autógenos apresentam, via de regra, baixa fragmentação de material intermediário, da chamada fração crítica, composta por material em torno de 35 - 70 mm, diversas usinas instalaram rebritadores para reduzir esta fração, retornando este material já britado ao moinho semi-autógeno ou ao moinho de bolas, conforme circuito SABC ou SABC-A. Ganhos de até 60% de capacidade são reportados para minérios duros (Hart et al., 2001; Villouta, 2001).

2.2.7. Modificações da grelha

Tendo em vista que diversos minérios têm a característica de formar pebbles na chamada fração crítica, que apresentam baixa eficiência de fragmentação nos moinhos semi-autógenos, o correto dimensionamento do tamanho das aberturas das grelhas se mostra de fundamental importância para que o moinho atinja as vazões requeridas. De modo contrário, a fração crítica tenderá a se acumular no moinho, causando a diminuição da vazão de alimentação do mesmo. A literatura apresenta vários exemplos de trabalhos sobre a variação na área aberta e no tamanho dos pebbles ports das grelhas dos moinhos. Com isso, pode-se variar a energia gasta na moagem, entre o moinho semi-autógeno, os rebritadores e os moinhos de bolas. Staples et al. (2001) cita ganhos de produtividade de 15 a 25% com esta alternativa. Ressalta-se que, para se utilizar esta opção, deve-se atentar às condições de resistência mecânica da grelha, assim como à disponibilidade dos rebritadores

e a dos moinhos de bolas, tendo em vista a maior energia que será requerida destes.

Nos casos em que o moinho semi-autógeno não é o limitante da capacidade, e sim os rebritadores ou o moinho de bolas, pode-se optar pelo fechamento das grelhas, visando menor carga circulante e o afinamento do produto do moinho semi-autógeno.

2.2.8. Abertura da tela da peneira de descarga do moinho semi-autógeno

Para ajuste das vazões da rebritagem de pebbles e do moinho semi-autógeno, pode-se aumentar as dimensões das aberturas das telas da peneira ou *trommel* da descarga do moinho semi-autógeno. Para isto, é preciso que se avalie se a moagem de bolas pode ter a sua granulometria de alimentação aumentada, assim como as restrições quanto à granulometria de alimentação da etapa subsequente de concentração. Nos casos em que esses pontos não se constituem como limitações, ganhos de até 10% na capacidade de moinhos semi-autógenos são reportados com esta alteração (Mular; Burkert, 1989 e Rosas et al., 1996).

2.2.11. Abertura do circuito

Como descrito nos itens 2.2.6 e 7, sobre a britagem de pebbles e abertura das grelhas, diversos minérios possuem a característica de formar frações críticas que reduzem as vazões de alimentação dos moinhos semi-autógenos. Após ser retirado do moinho e britado, este material pode retornar ao moinho semi-autógeno, caso dos circuitos SABC, ou ser encaminhado diretamente aos moinhos de bolas, caso do circuito SABC aberto, descritos anteriormente. Esta segunda opção, chamada de abertura do circuito, permite uma melhor distribuição da energia de moagem entre o moinho semi-autógeno e o moinho de bolas, nos casos em que o moinho semi-autógeno está operando com sua capacidade máxima e os moinhos de bolas ainda dispõem de energia adicional. A fim de realizar esta adequação, devem-se observar as condições de trabalho do moinho de bolas, que irá receber uma alimentação mais grosseira. Ajustes na carga ou no tamanho de bolas podem ser necessários.

Ganhos de até 10% foram obtidos com esta alternativa (Hart et al., 2001, Staples et al., 2001 e Nankran et al. 2007a).

2.2.12. Aumento do grau de enchimento de bolas

O aumento do grau de enchimento de

Laboratório de Metais Nobres
Fire Assay é o método universalmente utilizado para a determinação de metais nobres (Au, Pt, Pd, e Rh) em amostras de exploração mineral.

Princípio do método:

A amostra a ser analisada é fundida com um fluxo de composição química adequada a matriz do material. Durante a fusão o monóxido de chumbo adicionado ao fluxo é reduzido a chumbo metálico, que tem a capacidade de absorver os metais nobres existentes na amostra. Posteriormente o botão de chumbo obtido é separado da escória e colocada em um copelo poroso e aquecido a cerca de 950°C. Nesta etapa o chumbo metálico é absorvido pela copela permanecendo em sua superfície um botão de prala que contém os metais nobres. Posteriormente esta pérola é dissolvida em meio ácido e a solução utilizada para a quantificação dos metais de interesse através de absorção atômica ou ICP.



EMPRESA CERTIFICADA NBR ISO 9001:2008 - NBR ISO 14001:2004
E ACREDITADA NBR ISO 17025:2005

Matriz

Rodovia, MG 10 - KM 24,5 - Angicos
Vespasiano/MG - Brasil - CEP 33200-000
Tel: (31) 3045-0200 / Fax: (31) 3045-0223
comercial@sgsgeosol.com.br
www.sgsgeosol.com.br

Filial

Brasília/DF
Goiânia/GO
Parauapebas/PA

**Você determina
onde quer chegar.
Nós mostramos
o caminho.**



Equipamentos para Mineração Exploração e Geologia

www.tribeldobrasil.com.br
tribel@tribeldobrasil.com.br
(31) 3428-9108

bolas do moinho semi-autógeno, apesar de acarretar aumentos significativos de capacidade, deve ser feito com cautela, tendo em vista a ocorrência de impactos sobre os revestimentos. Em geral, moinhos semi-autógenos operam com até 16% de bolas, podendo chegar a 18% em alguns casos. Ganhos de capacidade de 5 a 10% foram reportados para aumentos no grau de enchimento de 1 a 2% de bolas (Hart et al., 2001; Burguer et al., 2006).

2.2.13. Britagem secundária

A instalação de uma britagem secundária antes da moagem semi-autógena, para britagem do material crítico, é, sem dúvida, uma das opções que mais ganhos pode trazer à capacidade do moinho semi-autógeno. Esta opção consiste em britar o produto da britagem primária. Existem circuitos que britam todo o produto da britagem primária acima de determinada malha, enquanto outros britam apenas a fração crítica, podendo ambos operar em circuito aberto ou fechado com o britador secundário.

Experiências de britagem secundária em operações de moagem semi-autógena ao redor do mundo reportam ganhos de 5 a 60% de aumento de capacidade (Siddall e Putland, 2007). Observa-se também um aumento significativo, nos últimos anos, das minerações que utilizam esta alternativa.

No entanto, esta é uma opção que requer alto investimento e aumenta consideravelmente o custo de operação da usina. Por isso, é uma alternativa que deve ser bem estudada, após esgotadas as outras opções com menor custo, já citadas anteriormente.

2.2.14 – Dois estágios de classificação

Os circuitos de moagem semi-autógena têm a vantagem de gerar uma grande quantidade de partículas finas, que já poderiam ser consideradas como produto final da etapa de moagem, prontas para serem encaminhadas à flotação. No entanto, como estes circuitos, em geral, operam com ciclones de grande diâmetro, da ordem de 26 a 33", observa-se

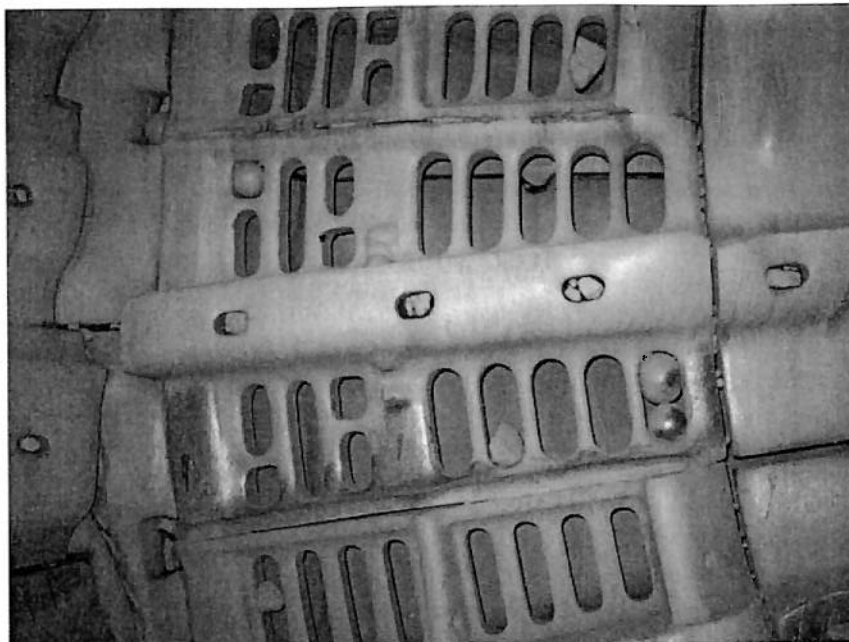


Foto 2.4 – Detalhe da grelha de descarga de um moinho semi-autógeno

uma grande ineficiência nesta etapa de classificação, gastando-se, desta forma, energia desnecessária na etapa de moagem de bolas. Alguns circuitos novos já estão sendo projetados com dois estágios de ciclonagem, de forma a minimizar o *by-pass* de finos (Delboni, 2007). Com esta alternativa, pode-se obter uma economia significativa com a etapa de moagem de bolas, tornando os circuitos semi-autógenos mais competitivos quando comparados aos circuitos com moinhos de rolos de alta pressão, que vêm sendo utilizado atualmente na moagem de minérios mais competentes.

Conclusões

A revisão bibliográfica apresentada neste trabalho abordou, em detalhes, os aspectos de operação e otimização de moinhos semi-autógenos. Foi ilustrada uma ampla gama de aspectos que devem ser observados para a melhor operação destes tipos de circuito, que exigem cuidados diferenciados em relação aos circuitos convencionais de britagem e moagem atualmente em operação no País. É importante destacar a influência de características como granulometria de alimentação e resistência do minério que alimenta o moinho. Estes pontos citados ilustram como é importante a interação entre as equipes que trabalham na mina e na usina, em operações com este tipo de equipamento. Caso as áreas trabalhem de forma isolada, grandes perdas de produção podem ser observadas.

Referências Bibliográficas

- BERGERMAN, M.B.; DELBONI, H.; NANKRAN, M. Estudo de variabilidade e otimização do circuito de moagem sag da usina do sossego. *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 62, n. 1, p. 93 – 97, jan/mar. 2009.
- BERGERMAN, M. B. Modelagem e simulação do circuito de moagem do Sossego. 2009. 207 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BOND, F.C. History of autogenous grinding. In: WEISS, N. *SME Mineral Processing Handbook*. New York: Society of Mining Engineers, 1985. p. 3C-57 – 3C-58.
- BURGUER, B. et al. Batu Hijau – seven years of operation and continuous improvement. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. *Proceedings: SAG 06*. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v. 1, p. I-120 – I-132.
- COUTINHO, S. et al. Optimizing control system® for desliming and flotation in an iron ore column flotation at the pico mine. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRON ORE, 2nd, 2008, São Luis. São Paulo: ABM, 2008. p. 104 – 113. Em CD-ROM.
- DANCE, A. et al. Higher productivity through cooperative effort: a method of revealing and correcting hidden operating inefficiencies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. *Proceedings: SAG 06*. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v. 4, p. IV-375 – IV-390.
- DELBONI JR., H. A load-interactive modelo f autogenous and semi-autogenous mills. 1999. 313 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Queensland, Brisbane, 1999.
- DELBONI JR. H. Cominuição. In: FERNANDES, F. et al. *Tendências tecnológicas Brasil 2015: Geociências e tecnologia mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 103 – 131.
- HART, S. et al. Optimisation of the cadia hill sag mill circuit. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2001, Vancouver. *Proceedings: SAG 01*. Vancouver: University of British Columbia, 2001. v. 1, p. I-11 – I-30.
- JONES, S. Autogenous and semiautogenous mills 2005 update. In: INTERNATIONAL CONFERENCE

ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. **Proceedings:** SAG 06. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v. 1, p. I-398 - I-425.

KENDRICK, M.J.; MARSDEN, J.O. Candelaria post expansion evolution of sag mill liner design and milling performance, 1998 to 2001. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2001, Vancouver. **Proceedings:** SAG 01. Vancouver: University of British Columbia, 2001. v. 3, p. III-270 - III-287.

MACCAFERRY, K. et al. Batu hijau - controlled mine blasting and blending to optimise process production at batu hijau. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. **Proceedings:** SAG 06. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v. 2, p. II-372 - II-393.

MORALES, R.; MONTERO, J.; VIVEROS, P. Sag grinding integral optimization project at codelco norte. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. **Proceedings:** SAG 06. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v. 1, p. I-206 - I-216.

MORELL, S.; VALERY, W. Influence of feed size on AG/SAG mill performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2001, Vancouver. **Proceedings:** SAG 01. Vancouver: University of British Columbia, 2001. v. 1, p. I-203 - I-214.

MULAR, A.L.; BURKERTZ, A. Automatic control of semiautogenous grinding (sag) circuits. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 1989, Vancouver. **Proceedings:** SAG 89. Vancouver: University of British Columbia, 1989. v. 2, p. 651-668.

NANKRAN, M. et al. Abertura do circuito de moagem da usina do sossego, In: Encontro nacional de tratamento de minérios, 21, 2007, Ouro Preto. **Anais.** Ouro Preto: s.n., 2007. v. 1, p. 123 - 126.

NAPIER-MUNN, T.J. et al. Mineral comminution circuits: their operation and optimization. Indoorroopilly: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre/University of Queensland, 1999 413 p. (JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing)

PARKS, J.L.; KJOS, D.M. Liner designs, materials and operating practices for large pklmary mills. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 1989, Vancouver. **Proceedings:** SAG 89. Vancouver: University of British Columbia, 1989. v. 2, p. 565-580.

POWELL, M. et al. The value of rigorous surveys - the los bronces experience. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. **Proceedings:** SAG 06. Vancouver: University of

British Columbia, 2006. v. 1, p. I-233 - I-248.

ROSAS, J.E. et al. A review of sag milling performance at chuquicamata. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 1996, Vancouver. **Proceedings:** SAG 96. Vancouver: University of British Columbia, 1996. v. 1, p. 49-66.

SCHAFFNER, M.; MILE, V.A. Sag mill operation and control at echo bay mines mccooy mill. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 1996, Vancouver. **Proceedings:** SAG 96. Vancouver: University of British Columbia, 1996. v. 1, p. 97-105.

SIDDALL, B.; PUTLAND, B. Process design and implementation techniques for secondary crushing to increase milling capacity. SME annual meeting. SME, 2007. p. 1 - 5. Disponível em: < <http://www.onemine.org> > . Acesso restrito efetuado em: 02 ago. 2008.

SMITH, T.; COURCHESNE, M. Increasing mill throughput at simlco. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 1989, Vancouver. **Proceedings:** SAG 89. Vancouver: University of British Columbia, 1989. v. 1, p. 323-332.

STAPLES, P. et al. Sag concentrator improvements at pt freeport indonesia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2001, Vancouver.

Proceedings: SAG 01. Vancouver: University of British Columbia, 2001. v. 1, p. I-91 - I-108.

VILLOUTA, R.M. Collahuasi: after two years of operation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2001, Vancouver. **Proceedings:** SAG 01. Vancouver: University of British Columbia, 2001. v.1, p. I-31 - I-42.

WESTHUIZEN, A. P.; POWELL, M.S. Milling curves as a tool for characterising sag mill performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOGENOUS AND SEMIAUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY, 2006, Vancouver. **Proceedings:** SAG 06. Vancouver: University of British Columbia, 2006. v.1, p. I-217 - I-232.

(*) - Mestre em engenharia mineral. E-mail: mbergerman@gmail.com; (**) - Professor Doutor. E-mail: hdelboni@usp.br. Depto. de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

1. Fragmentos de rocha gerados em processos de britagem ou moagem, em geral entre 35 e 70 mm, que em alguns casos são usados como corpos moedores. Em português, na área de moagem de bolas, usa-se o termo seixos. Neste trabalho, usouse a conotação pebbles, por ser a mais usada na área de moagem semi-autógena, mesmo no Brasil.

POLIGUINDASTES "KABÍ-MULTI-CAÇAMBAS"



Projetados e fabricados nos mais diversos modelos e capacidades, sendo acopláveis em diferentes tipos de chassis.



CAÇAMBAS ESTACIONÁRIAS & BASCULANTES "KABÍ-TUDO"



Próprias para coleta seletiva dos mais diversos tipos de resíduos.



PLATAFORMAS PANTOGRÁFICAS "KABÍ-LIFT" PARA MINERADORAS






LANÇAS ELEVATÓRIAS "KABÍ-GIRAFA"



www.kabi.ind.br • kabi@kabi.ind.br • (21) 3301-9090

NOVA **KABÍ** *Alta Qualidade Anos*