

OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE DESLAMAGEM DA CSN - CASA DE PEDRA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO POR MODELOS MATEMÁTICOS⁽⁰¹⁾

Marco Aurélio Soares Martins*

Antônio Aloisio Barbosa**

RESUMO

Este trabalho contempla o estudo do comportamento do circuito de deslamagem em hidrociclones da Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra, para identificar alternativas visando aumentar sua recuperação em massa e diminuir o teor de alumina (Al_2O_3) e, conseqüentemente, de lama na alimentação da flotação em colunas.

A metodologia adotada envolve a utilização de recursos de simulação do processo através de modelamentos matemáticos, devidamente calibrados a partir de testes industriais. Através da simulação de processo, foi possível investigar o comportamento do circuito, com respeito às diferentes variáveis operacionais e de projeto. Foram investigados, também, novas configurações para o circuito, visando aumentar o rendimento mássico e diminuição do teor de alumina no produto deslamado.

Foi utilizado o software USIMPAC 2.0 para windows, que se mostrou bastante eficaz como ferramenta de trabalho no desenvolvimento dos trabalhos. As características principais deste software, que permitiram o desenvolvimento deste estudo são:

- integração de todas as etapas do estudo no mesmo software;
- obtenção de balanço de massas, a partir de características físicas e químicas para todo o circuito conjuntamente;
- possibilidade de simulação, levando-se em conta as características físicas e químicas do minério.

Palavras chave: Otimização, simulação, modelos matemáticos, Usim Pac.

⁽⁰¹⁾ Trabalho a ser apresentado ao I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro da ABM, Ouro Preto, M.G., 14 a 17 de outubro de 1996.

* Diretor de operação - CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral Ltda.

** Engenheiro de desenvolvimento - Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

INTRODUÇÃO

Este trabalho contempla o estudo do comportamento do circuito de deslamagem em hidrociclones da Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra, para identificar alternativas, visando aumentar sua recuperação em massa e diminuir o teor de alumina (Al_2O_3) e conseqüentemente de lama na alimentação da flotação em colunas.

Este relatório reúne todos os resultados dos estudos realizados a partir da investigação do comportamento do circuito com base nos dados de amostragem realizada pela Paulo Abib Engenharia S.A em maio de 1994 e apresentados no relatório com número de documento PAA 412-01-000-131-001- Rev 0.

Adicionalmente, foi realizada amostragem no circuito industrial, visando a obtenção de amostras para testes de deslamagem e ensaios de flotação em laboratório. Concomitantemente, foram amostrados todos pontos do circuito, a fim de produzir dados adicionais para detalhamento posterior dos estudos.

A metodologia adotada neste trabalho consta da utilização de recursos de simulação do processo, através de modelamento matemático, devidamente calibrado a partir de testes industriais.

Através da simulação do processo foi possível investigar o comportamento do circuito, com respeito às diferentes variáveis operacionais e de projeto. Foram investigadas, também, novas configurações para o circuito, buscando atingir o objetivo de aumento da recuperação mássica e diminuição do teor de alumina no produto deslamado.

Foi utilizado o software Usim Pac 2.0 para windows, que se mostrou bastante eficaz como ferramenta de trabalho no desenvolvimento dos trabalhos. As características principais deste software que permitiram o desenvolvimento do estudo são:

- Integração de todas as etapas do estudo no mesmo software;
- obtenção de balanço de massas a partir de características físicas e químicas e para todo o circuito conjuntamente;
- possibilidade de simulação levando-se em conta as características físicas e químicas do minério.

ESCOPO DO TRABALHO

O estudo foi realizado visando a investigação do desempenho do circuito de deslamagem com o objetivo de diminuir o teor de Al_2O_3 proveniente de lamas e aumentar a recuperação em massa no produto final. Foram desenvolvidas as seguintes atividades básicas:

- acompanhamento da rotina operacional, visando determinar o nível de desempenho atual, métodos de controle e dificuldades operacionais;

- cálculo de balanços de massas com distribuição de desvios;
- calibração de modelos para cada etapa de processo de deslamagem;
- teste de validação dos modelos;
- simulação de condições;
- determinação das opções de otimização para o circuito de deslamagem.
- testes de deslamagem e flotação em escala de bancada.

DESCRIÇÃO DO CIRCUITO DE DESLAMAGEM E CONCENTRAÇÃO

O circuito de deslamagem da **Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra** tem a finalidade de processar o *overflow* dos classificadores espirais, promovendo a retirada de lamas naturais contidas no minério. O produto da deslamagem constitui-se na alimentação do circuito de concentração em colunas de flotação.

O circuito atual de deslamagem é realizado em hidrociclones, em três diferentes estágios e três linhas paralelas a saber:

- estágio 1: ciclonagem primária operando com até 7 hidrociclones de 20", em cada bateria. Recebe como alimentação a polpa do *overflow* dos classificadores espirais com cerca de 20% sólidos em peso, operando com pressão de 120 kPa;
- estágio 2: ciclonagem de finos, operando com até 27 hidrociclones de 6", em cada bateria. Recebe como alimentação a polpa do *overflow* da ciclonagem primária. Eventualmente, quando o circuito opera em circuito fechado, recebe também o *overflow* da ciclonagem de grossos (3º estágio). O *overflow* deste estágio é encaminhado para espessador de rejeitos;
- estágio 3 : ciclonagem de grossos, operando com até 14 hidrociclones de 6", em cada bateria. Recebe como alimentação o *overflow* do 1º e 2º estágios e água de diluição. O objetivo desta etapa é promover a retirada de lama residual ainda existente. O *underflow* deste estágio de ciclonagem constitui-se na alimentação da flotação em colunas. O *overflow* desta etapa é encaminhado para o espessador de rejeito ou, opcionalmente, recirculado para o 2º estágio de ciclonagem.

O circuito de concentração objetiva adequar, principalmente, o teor de SiO₂ no produto. A flotação em colunas é feita em dois estágios: Rougher e Cleaner, através de flotação reserva. O concentrado é encaminhado para filtragem em filtros rotativos verticais à vácuo. O rejeito é encaminhado para barragem de rejeito.

A figura 1, a seguir, apresenta o fluxograma do circuito de deslamagem.

Circuito atual

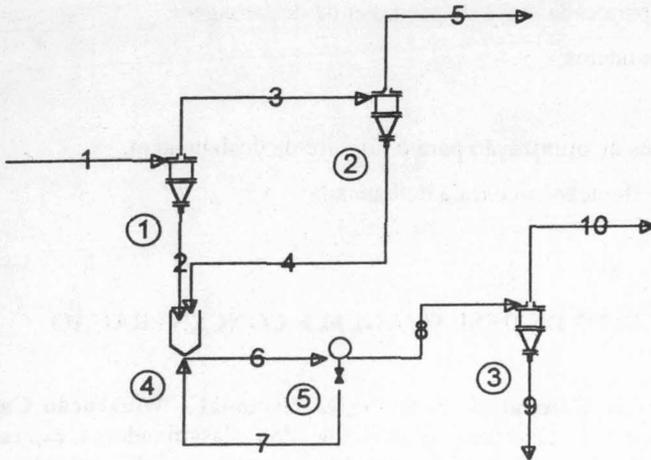


Figura 1 - Circuito de deslamagem da CSN

AMOSTRAGENS E TESTES EXPERIMENTAIS

O estudo, de caráter expedito, foi concebido tomando como base de dados uma amostragem realizada anteriormente pela CSN, em maio de 1994. Esta solicitação da Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra embasou-se na justificativa de urgência de resultados.

Deste modo, foram utilizados os dados da referida amostragem (granulometria, vazões, condições operacionais) como referência para os estudos de simulação realizados. Os resultados desta campanha de amostragem são apresentados na tabela I.

Os seguintes comentários sobre a amostragem de maio/94 merecem destaque:

- Os dados de granulometria e teores são bastante coerentes, contendo erros aceitáveis, conforme constatado pelo balanço de massas e metalúrgico;
- As vazões de alimentação dos ciclones foram estimadas e não medidas, o que pode causar problemas nas calibrações dos modelos matemáticos;
- Não foi amostrada a alimentação da ciclonagem de grossos, prejudicando o fechamento de balanço de massas do circuito global;

Tabela I - Dados da amostragem de maio/94

DESCRIÇÃO	PRIMÁRIA	FINOS	GROSSOS
% sólidos alimentação (peso)	22	*	*
vazão alimentação (m ³ /h)	*	*	*
-Calculada	1233,51	*	*
-Medida			
% sólidos underflow	60,25	61,0	61,75
% sólidos overflow	6,63	3,38	2,38
Nº ciclones em operação	5 a 6	24	10
Pressão (kgf/cm ²)	0,99	1,54	2,0
Diâmetro ciclone - DC (pol.)	20	6	6
Altura (vortex/apex) - H (pol-H/Dc)	66 (3,3)	33 (5,5)	33 (5,5)
Diâmetro alim. Da (pol. - Da/Dc)	33 (0,2933)	2,2 (0,2789)	2,2 (0,2789)
Diâmetro vortex Do (pol. - Do/Dc)	8 ¼ (0,4126)	3 (0,5)	3 (0,5)
Diâmetro apex Du (pol. - Du/Dc)	4 ¼ (0,2126)	1 (0,1667)	1 (0,1667)

Durante a execução dos trabalhos foi realizada, durante a retomada da pilha de homogeneização (pilha 7), uma segunda campanha de amostragem de todo o circuito de deslamagem, cujos resultados são mostrados na tabela II.

Tabela 2 - Dados da amostragem CEMI abril/95

DESCRIÇÃO	PRIMÁRIA	FINOS	GROSSOS
% sólidos alimentação (peso)	22	14,99	53,2
vazão alimentação (m ³ /h)	*	*	*
-Calculada	*	958,95	331,70
-Medida	1242,8	863,0	398,1
% sólidos underflow	68,25	69,41	71,07
% sólidos overflow	14,99	9,1	10,21
Nº ciclones em operação	04	26	11
Pressão (kgf/cm ²)	1,21	2,14	1,61
Diâmetro ciclone - DC (pol.)	20	6	6
Altura (vortex/apex) - H (pol-H/Dc)	66 (3,3)	33(5,5)	33 (5,5)
Diâmetro alim. Da (pol. - Da/Dc)	33 (0,2933)	2,2(0,2789)	2,2 (0,2789)
Diâmetro vortex Do (pol. - Do/Dc)	8 ¼ (0,4126)	3 (0,5)	3 (0,5)
Diâmetro apex Du (pol. - Du/Dc)	4 ¼ (0,2126)	1 (0,1667)	2 (0,3333)

Com relação a esta amostragem, os seguintes comentários merecem destaque:

- Obtenção das vazões das alimentações das três etapas de ciclonagem através de medição de tempo (em cronômetro) para completar um nível conhecido nas caixas de bombas quando estas eram desligadas;
- Medição das densidades de polpa em todos os pontos do circuito;
- Obtenção de amostras de todos os pontos do circuito para realização de análises granulométricas, inclusive da alimentação da ciclonagem de grossos. Para este ponto foi retirado um ciclone da bateria para possibilitar a amostragem.

A preparação do circuito para esta campanha de amostragem foi bastante criteriosa, visando colocá-lo nas condições operacionais normais, mas eliminando problemas que pudessem causar distúrbios nos resultados. Os principais pontos observados e corrigidos foram:

- Posicionamento de válvulas manuais totalmente abertas ou fechadas. Nunca em posições intermediárias, pois a pressão no ciclone específico seria alterada;
- Controle do número de ciclones, de forma a manter a percentagem de sólidos no underflow de todos os três estágios na faixa de 65 a 70%, para minimização de *bypass* e conseqüente obtenção valores ótimos de teores de Al_2O_3 ;
- Manutenção de *Set-Point* em nível alto na caixa de alimentação da ciclonagem de grossos, para manter a percentagem de sólidos da polpa a menor possível. Apesar desta medida, o valor obtido foi de 53% sólidos.

SIMULAÇÕES MATEMÁTICAS

Balanço de massas e metalúrgico

Foi utilizado, para obtenção dos balanços de massas, referentes a ambas as amostragens, para todo o circuito conjuntamente, o software USIM PAC 2.0. Foram utilizados os dados de granulometria e teores por faixa para todos os pontos e dados de vazões de sólidos e água.

Para cada situação foram assumidos desvios percentuais diferentes para cada classe de medida (granulometria, teores, sólidos e água), como fator ponderador, de acordo com o nível de confiabilidade da medida. Para variáveis não medidas de alguns fluxos foram assumidos altos desvios.

O critério de obtenção de balanço de massas do USIM PAC 2.0 baseia-se na utilização do método dos multiplicadores de Lagrange e ponderação dos erros em função do inverso da correspondente variância de estimação.

Os resultados de ambos balanços indicaram pequenos desvios entre dados medidos e calculados, confirmando que as amostragens foram satisfatórias

Calibração dos modelos

O modelo matemático utilizado para simulação do processo de deslamagem por hidrociclones é baseado nas equações empíricas estabelecidas através de resultados experimentais do trabalho de Plitt (1976).

Para calibração do modelo, para cada etapa do circuito estudado, foram estimados quatro fatores de ajuste, de forma a permitir o perfeito ajuste dos resultados simulados aos dados medidos experimentalmente. Estes fatores são:

- Ajuste do D_{50} corrigido;
- ajuste da imperfeição da curva de partição;
- ajuste da fração de curto - circuito;
- ajuste do limite de descarga em cordão.

Os três primeiros parâmetros tratam de um ajuste fino da curva de partição a ser obtida pelo modelo matemático. O último parâmetro é relacionado com o próprio material. A adequada calibração destes parâmetros, para cada etapa distinta do circuito, permite a simulação em condições diferentes, com bastante precisão de predição de resultados. Contudo, é importante ressaltar que para obter uma calibração segura e abrangente é importante planejar os testes industriais para esta finalidade.

A condição ideal para calibração deve considerar uma certa abrangência de condições operacionais para permitir avaliar as interferências nos parâmetros de calibração. Para ciclonagem, de forma ideal, os testes industriais devem ser planejados da seguinte forma:

<u>Teste</u>	<u>% Sólidos Alimentados</u>	<u>Pressão</u>
1	Padrão	Padrão
2	Alta	Alta
3	Alta	Baixa
4	Baixa	Alta
5	Baixa	Baixa

Contudo, o modelo de hidrociclonagem de Plitt, utilizado neste trabalho, é bastante robusto, o que significa dizer que os resultados preditos são bastante próximos da realidade, mesmo quando calibrados com apenas um ou dois testes industriais em condições controladas.

Devido à urgência do diagnóstico do circuito atual e levantamento de opções de otimização, foi desenvolvido um trabalho mais resumido, mas com os cuidados indicados para levantar condições ótimas de forma segura.

A seqüência de testes e tratamento de dados para a calibração é apresentada na figura 2:

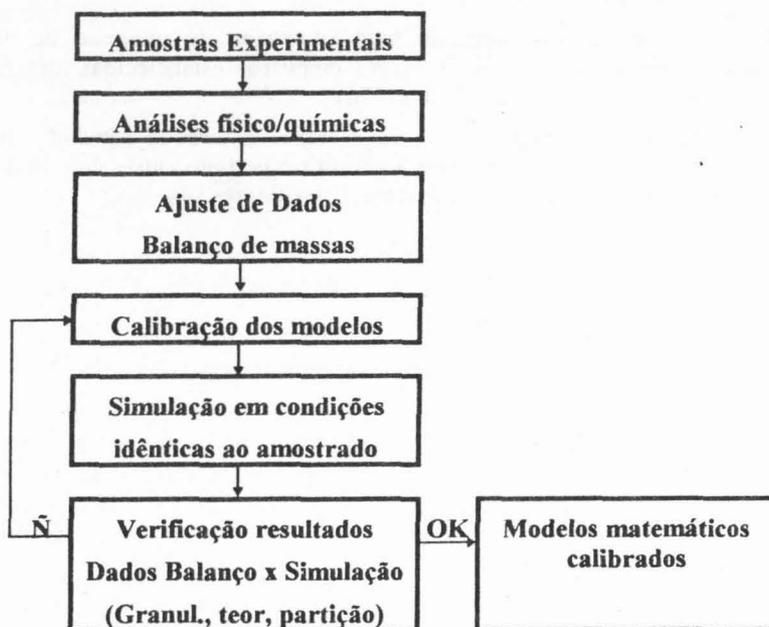


Figura 2 - Seqüência de testes e tratamento de dados para a calibração

A figura 3 apresenta o resultado de calibração em forma de curvas de partição para as várias etapas do circuito.

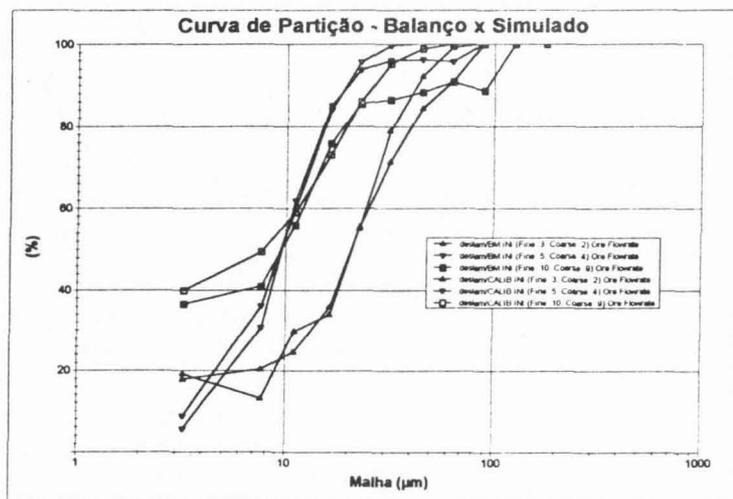


Figura 3 - Resultado de calibração dos modelos

Os resultados de calibração dos modelos para os dois testes distintos foram satisfatórios, mostrando que os dados preditos ajustam-se muito bem aos dados medidos.

Resultados de otimização do circuito atual

As opções de otimização do circuito atual de deslamagem foram obtidas a partir de estudos de simulação por objetivo e acompanhamento operacional. Desta forma foi possível avaliar melhor as várias opções estudadas e direcionar o estudo para os objetivos da otimização: maximizar a recuperação mássica e minimizar o teor de Al_2O_3 na alimentação da flotação.

Os valores adotados como premissa, como base em solicitação da **Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra**, no estudo para a otimização da deslamagem foram:

- Recuperação em massa: 80% no mínimo;
- Teor de Al_2O_3 : 0,6% no máximo no underflow.

A lama pode ser retirada através do circuito de deslamagem com relativa facilidade a partir do adequado ajuste das variáveis operacionais e controle do circuito. Para atender esta condição otimizada, conclui-se que é necessário o controle rígido do *by-pass* no underflow de todas as etapas de ciclonação. Quanto mais altos são os valores de percentagem de sólidos no underflow, menor será o *by-pass* de lamas e menor será o teor de Al_2O_3 . Contudo, limites devem ser estabelecidos para não prejudicar a recuperação.

A partir das simulações utilizando dados de granulometria e teores por faixa, foi possível concluir que o valor ideal de percentagem de sólidos no underflow é de 70%. Além disto, é fundamental a reciclagem do underflow das etapas primária e finos, para retirada de lama ainda presente. Para esta reciclagem (ciclonação de grossos) é sempre necessário a diluição com água nova, para promover uma retirada mais eficiente de lama no *overflow*.

Operacionalmente, a necessidade da reciclagem do underflow das etapas primária e finos é ainda mais evidenciada. Normalmente ocorrem variações das condições operacionais como: número de ciclones em operação, diluição da alimentação, granulometria, pressão, etc., ocasionando variações no conteúdo de lamas como *by-pass* no *underflow* das ciclonações. Deste modo, foram eliminadas estas hipóteses de utilização de circuito com encaminhamento do *underflow* primário e de finos diretamente para a flotação, como produto final da deslamagem.

Os estudos foram realizados com a investigação de três configurações distintas, mantendo-se a filosofia de três estágios, com várias condições de regulagem, pressões e diferentes diâmetros de ciclones. A análise dos resultados foi feita considerando-se as recuperações, teores e, também, projetando-se as facilidades operacionais a serem obtidas.

As três configurações detalhadas no estudo são apresentadas nas Figuras 4 e 5, a seguir.

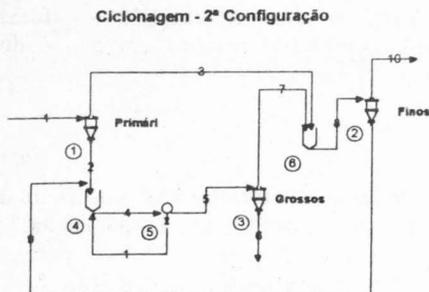


Figura 4 - Circuito 2 - Recirculação do *overflow* da ciclonagem de grossos para a ciclonagem de finos.

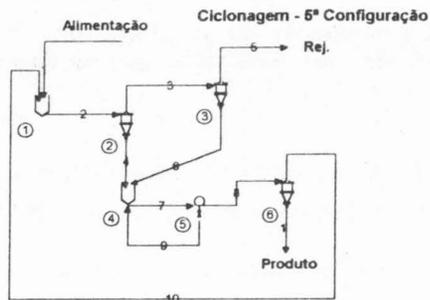


Figura 5 - Circuito 3 - Recirculação do *overflow* da ciclonagem de grossos para a ciclonagem primária

O objetivo sempre procurado em todas as simulações, em cada conjunto de condições estudadas, foi o de se alcançar o menor teor de Al_2O_3 no *underflow* da ciclonagem de grossos (alimentação da concentração) e a maior recuperação em massa neste produto. Para alcançar estes objetivos foram adotados, como padrão, as seguintes premissas nas simulações:

- Porcentagem de sólidos de 65 a 70% no *underflow* das ciclonagens primária e de finos;
- Porcentagem de sólidos no *underflow* da ciclonagem de grossos de 70 a 72% para minimizar o teor de Al_2O_3 no produto final;
- variação do número de ciclones para cada estágio, para alcançar os objetivos acima e, em alguns casos, manter a configuração atual. Em outros casos foram utilizadas maiores pressões, o que poderá implicar em alterações das condições de bombeamento;
- busca de conjunto de condições operacionais que proporcionassem menor D_{50} em cada estágio de ciclonagem;
- variação do diâmetro do apex, quando não se conseguia controlar a porcentagem de sólidos para um conjunto de variáveis estudadas. Este recurso foi utilizado somente no caso de não se alcançar objetivo apenas pela variação do número de ciclones.

As condições mais otimizadas para três concepções do circuito estão resumidas na tabela 3, a seguir. Estes resultados contemplam duas abordagens distintas: manutenção dos diâmetros dos hidrociclones atuais ou alterações dos diâmetros dos hidrociclones.

A figura 6 apresenta algumas curvas de partição dos componentes químicos individualizados na etapa de ciclonagem de grossos, que foram muito úteis na avaliação dos resultados de simulação e no estabelecimento de condições otimizadas para conciliar máxima recuperação e mínimos teores de Al_2O_3 no produto.

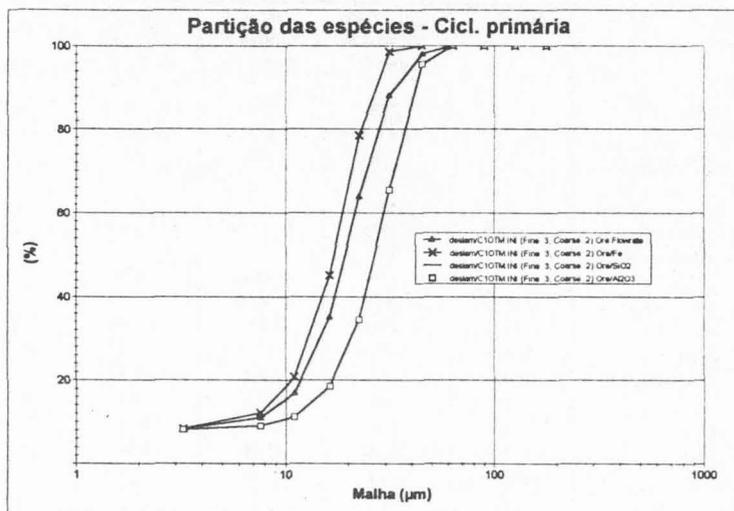


Figura 6 - Curvas de partição para as várias espécies na ciclonação de grossos.

Cada uma destas duas concepções precisa ser analisada separadamente, levando-se em conta aspectos econômicos, operacionais e estratégicos. O custo-benefício será o principal fator determinante da melhor opção a ser escolhida.

A tabela 4 apresenta um resumo dos principais resultados das simulações.

TABELA 3 - RESULTADOS DE SIMULAÇÃO - Calibração com dados da pilha 7 - abril/95

Descrição	Balanco massas	Circ. atual otimizado dados P7	Circ. C2 otimizado dados P7	Circ. C3 otimizado dados P7	Circ. atual Ø cicl. menores
Alimentação Deslamagem					
Sólidos (t/h)	314,10	258	258	258	258
Água (m ³ /h)	995,41	1033,30	1033,3	1033,3	1033,3
% sólidos (em peso)	22	20	20	20	20
Ciclonação Primária					
Nº ciclones	4	5	5	6	20
Diam. ciclone-Dc (pol./m)	20,000	0,508	20/0,5080	20/0,5080	6/0,1524
Altura - H (H/Dc)	3,3	3,3	3,3	3,3	5,5
Área alim. ft ² (F/Dc)	0,2933	0,2598	0,2598	0,2598	0,3333
Diam. vortex-Do (Do/Dc)	0,4126	0,3000	0,3000	0,3000	0,4167
Diam. apex - Du (Du/Dc)	0,2126	0,1700	0,175	0,160	0,250
Pressão (kpa)	121,0	145,0	143,0	16,8	255,0
D ₅₀ (micrômetros)	39,86	24,80	24,4	23,4	12,0
Imperfeição	0,60	0,41	0,41	0,40	0,56
Rec. massa global (%)	41,83	53,90	51,40	51,70	73,82
Rec. massa no estágio (%)	41,83	53,90	51,40	51,70	73,82
Teor Al ₂ O ₃ (%)	1,13	0,93	1,36	1,32	1,06
% sólidos alimentação	22	20	20	20	20
% sólidos underflow	62,50	68,50	63,80	66,60	67,21
Ciclonação Finos					
Nº ciclones	26	20	26	26	44
Diam. ciclone Dc (pol./m)	6,0000	0,1524	6/0,1524	6/0,1524	4/0,1016
Altura - H (H/Dc)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Área alim. ft ² (F/Dc)	0,2789	0,2789	0,2789	0,2789	0,2789
Diam. vortex-Do (Do/Dc)	0,5000	0,4167	0,4167	0,4167	0,4167
Diam. apex - Du (Du/Dc)	0,1667	0,135	0,135	0,135	0,100
Pressão (kpa)	214,0	255,0	258,7	261,0	267,0
D ₅₀ (micrômetros)	19,20	21,64	16,10	16,00	133,00
Imperfeição	0,19	0,43	0,43	0,43	0,44
Rec. massa global (%)	29,91	22,90	28,4	27,77	13,78
Rec. massa no estágio (%)	51,41	49,80	55,50	54,90	52,65
Teor Al ₂ O ₃ (%)	0,56	1,25	1,41	1,41	1,59
% sólidos alimentação	16,63	10,94	9,40	9,20	4,26
% sólidos underflow	73,90	64,30	62,7	61,9	60,0
Ciclonação Grossos					
Nº ciclones	9	12	12	12	25
Diam. ciclone Dc (pol./m)	6,0000	0,1524	6/0,1524	6/0,1524	4/0,1016
Altura - H (H/Dc)	5,5	5,5	5,5000	6/0,1524	5,5000
Área alim. ft ² (F/Dc)	0,2789	0,2144	0,2144	0,2144	0,2789
Diam. vortex-Do (Do/Dc)	0,5000	0,3333	0,3330	0,3330	0,3333
Diam. apex - Du (Du/Dc)	0,3333	0,2200	0,220	0,220	0,225
Pressão (kpa)	161,0	248,0	265,0	263,7	252,7
D ₅₀ (micrômetros)	11,00	13,50	13,3	13,3	12,7
Imperfeição	-	0,42	0,43	0,43	0,47
Rec. massa global (%)	65,18	75,30	77,3	77,1	84,8
Rec. massa no estágio (%)	90,87	98,00	96,9	97,1	96,8
Teor Al ₂ O ₃ (%)	0,89	0,88	0,90	0,90	0,74
% sólidos alimentação	44,65	35,00	35	35	35
% sólidos underflow	69,0	75,40	75,5	75,5	74,7
Arquivo USIM PAC		P7C1S10	P7C2514	P7C552	P7C159

TABELA 4 - RESUMO DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

CONDIÇÃO	Cicl. Prim.	Cicl. Finos	Cicl. Grossos	Recuperação %		GANHO %			
				Dados	Amost.	Dados	Amost	Média	
				PAA	P7	PAA	P7		
Circuito Atual (C1)									
Aberto. Nº Cicl	Nº Cicl	5,0	24,0	10,0	73,5	63,2	-	-	-
3 estágios	Dc (Pol/m)	20/0,508	6/0,152	6/0,152					
2 linhas em oper.	Aa (Aa/Dc)	1,2933	0,2789	0,2789					
	(Do/Dc)	0,4126	0,5	0,5					
	(Du/Dc)	0,2126	0,1667	0,333					
	Pressão(kpa)	98,8	208,0	151,0					
Opção 1 - Circ. C1									
Aberto Otimizado	Nº Cicl	5	26,00	12,00	78,50	75,30	+6,80	+19,15	+12,98
3 estágios	Dc (Pol/m)	20/0,508	6/0,152	6/0,152					
Dia. cicl. atuais	Aa (Aa/Dc)	0,2598	0,2598	0,2144					
	(Do/Dc)	0,3	0,4167	0,333					
	(Du/Dc)	0,14	0,15	0,22					
3 linhas em oper.	Pressão (kpa)	160	223	308					
Opção 2 Circ. C1									
Aberto Otimizado	Nº Cicl	20,00	44,00	25,00	80,00	84,08	+8,84	+34,17	+25,50
3 estágios	Dc (Pol/m)	6/0,152	4/0,102	4/0,102					
Dia. cicl. menores	Aa (Aa/Dc)	0,3330	0,2789	0,2789					
	(Do/Dc)	0,4167	0,4167	0,3330					
	(Du/Dc)	0,250	0,100	0,225					
	Pressão (kpa)	255	267	253					
Opção 3 Circ. C2									
Fech. Gros./Finos	Nº Cicl	5,00	26,00	12,00	81,40	77,30	+10,75	+22,31	+16,53
3 estágios	Dc (Pol/m)	20/0,51	6/0,152	6/0,152					
Dia. cicl. atuais	Aa (Aa/Dc)	0,2598	0,2789	0,2144					
	(Do/Dc)	0,3000	0,4167	0,3330					
	(Du/Dc)	0,140	0,135	0,220					
	Pressão (kpa)	160	311	332					
Opção 5 Circ. C3									
Fech. Gros./Prim	Nº Cicl	5,00	26,00	12,00	81,40	77,10	+10,75	+22,00	+16,38
3 estágios	Dc (Pol/m)	20/0,510	6/0,152	6/0,152					
Dia. cicl. atuais	Aa (Aa/Dc)	0,2598	0,2789	0,2144					
	(Do/Dc)	0,3000	0,4167	0,3333					
	(Du/Dc)	0,140	0,135	0,220					
	Pressão (kpa)	186	298	336					
Opção 6 Circ.1									
Aberto Otimizado	Nº Cicl	5,00	20,00	12,00	76,10	74,60	+3,54	+18,04	+10,79
3 estágios	Dc	20/0,510	6/0,1524	6/0,152					
Do Gros. de 2 ½"	Aa	0,2598	0,2789	0,2789					
	(Do/Dc)	0,3000	0,4167	0,4167					
	Pressão (kpa)	145	223	215					

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Apresentam-se, a seguir, alguns comentários relevantes, com respeito às opções de otimização estudadas e acompanhamento operacional:

- O circuito atual apresenta desempenho insatisfatório de recuperação e Al_2O_3 no produto, devido a problemas de variáveis operacionais inadequadas e controle de processo deficiente. Os principais problemas observados foram:
 - √ alta porcentagem de sólidos na alimentação da ciclonagem de grossos e com grande variação;
 - √ dificuldade no controle de vazão da ciclonagem primária, devido à alta capacidade volumétrica dos ciclones de 20";
 - √ ocorrência de entupimentos nos ciclones;
 - √ ocorrência de transbordamentos na ciclonagem de finos, quando o circuito é operado com apenas duas linhas;
 - √ deficiências no sistema de controle, com significativa interferência de operadores no processo;
 - √ variáveis dos ciclones (área de alimentação, vortex, apex) não otimizadas;
- As condições simuladas otimizadas, com os ciclones primários sem modificações em suas variáveis que afetam sua capacidade volumétrica (vortex e área de alimentação), dificilmente poderão ser reproduzidas na prática, devido a problemas de controle operacional;
- Pode-se obter ganhos significativos de otimização do circuito, a partir da alteração apenas das variáveis operacionais com os ciclones atuais em cada etapa. Na prática, estas alterações somente permitirão computar ganhos reais a partir de uma revisão minuciosa dos sistemas operacional e de controle automático. É extremamente necessária a diminuição da capacidade volumétrica dos ciclones individuais da ciclonagem primária;
- A melhor condição otimizada a ser obtida para a deslamagem, no caso de se manter os diâmetros dos ciclones atuais, será a alteração do circuito aberto para fechado com a recirculação do overflow da ciclonagem de grossos para a ciclonagem primária. Esta condição trará vantagens operacionais, por amenizar o problema da alta capacidade de cada ciclone individual de 20", além de permitir a recuperação de partículas grosseiras, que por ventura estiverem presentes no underflow da ciclonagem de grossos. O arranjo mecânico do circuito atual e a grande facilidade na troca das peças de regulagem dos ciclones atuais possibilitará a implementação desta condição mesmo que seja provisória;
- Os resultados da amostragem da pilha de homogeneização indicaram um desempenho da ciclonagem de finos muito insatisfatório e inferior aos resultados da amostragem feita pela PAA anteriormente. Esta deficiência na ciclonagem de finos pode ser decorrente de problemas operacionais como: entupimentos de ciclones,

instabilidade no controle automático de nível de caixa/número de ciclones etc. Mesmo que estes problemas sejam minimizados, os resultados desta amostragem indicaram que a ciclonagem de finos é ponto vulnerável. A partir desta constatação, é mais indicado afinar o corte da ciclonagem primária com a diminuição do diâmetro dos ciclones, de maneira a reduzir o compromisso da ciclonagem de finos;

- A melhor condição de otimização para o circuito de deslamagem pode ser obtida, a partir da alteração dos diâmetros das três etapas de ciclonagem. A princípio poderiam ser trocados apenas os ciclones da ciclonagem de grossos e finos de 6" para 4" de maneira a obter ganho significativo de recuperação em massa. Contudo, a partir da constatação de dificuldades operacionais na ciclonagem primária (corte grosseiro e alta capacidade volumétrica dos ciclones de 20") e possibilidade de perdas na ciclonagem de finos, será mais recomendável a substituição dos ciclones de 20" para 6" na ciclonagem primária. Para esta condição pode-se aproveitar as mesmas baterias de ciclones da etapa de ciclonagem de finos. Esta concepção apresenta vantagens tanto operacionais, quanto de controle, desempenho em recuperação e qualidade do produto;
- O teor mínimo de Al_2O_3 no produto da deslamagem pode ser alcançado, a partir do controle rígido da percentagem de sólidos no underflow das três etapas de ciclonagem. É importante ressaltar que a deslamagem será capaz de eliminar apenas a alumina contida nas lamas. A alumina eventualmente associada às superfícies das partículas grosseiras dificilmente pode ser separada apenas por classificação em hidrociclones. Para este caso, estágios de atrição adicionais podem ser estudados. Este aspecto específico não foi contemplado no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Durance, M. V., Guillaneau, J.-C., Villeneuve, Fourniguet, G., Brochot, S., Usim Pac 2 for windows: "Advanced simulation of mineral Processes", *Progress in Mineral Processing Technology*, Demirel & Ersayin (eds) © 1994, Balkema, ISBN
- Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, J., Guyot, O., "Computer aided Optimization of Mineral Processing Plant: Usim Pac 2.0 for Windows", *Advanced Technologies for Mineral Processes, three years of innovation*, junho de 1993, Orleans, França.
- Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, Fourniguet, G., Brochot, S., "Computer simulation of mineral and hidrometallurgical processes: Usim Pac 2.0, a single software from design optimization", *International Symposium on Modeling, Simulation and Control of Hidrometallurgical Processes*, 24 de agosto a 2 de setembro, 1993, Quebec, Canadá.
- Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, J., Brochot, S., Fourniguet, G., "Simulation Improvements in Mineral Processing", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1995, Vol. 15, pp. 205-215
- Libaude, J., Morizot, G., Morin, D., Guillaneau, J.-C., "New Technological Developments in Mineral Processing", *Asian Mining*, 1993, Índia.
- Plitt, L. R., "a Mathematical model of the hydrociclone classifier", *CIM Bull.*, dezembro de 1976.
- Relatório "Otimização do circuito de deslamagem da CSN - Casa de Pedra", *CEMI*, 16
- Sastry, K. V. S., "Principles and Methodology of Mineral Process Modeling", *Control 90 - Mineral/Metallurgical Processing, AIME SME*, pp. 3-10.

OPTIMIZATION OF THE CSN-CASA DE PEDRA DESLIMING CIRCUIT BY THE MATHEMATICAL MODEL SIMULATION.

ABSTRACT

This paper contemplates the study of the behavior of the CSN-Mineração Casa de Pedra Desliming Circuit in hydrocyclones, to evaluate industrial options designed to increase the metallurgical recovery allied to the diminishing of the alumina (Al_2O_3) content in the column flotation feed.

The adopted methodology includes the use of mathematical models and process simulation, properly calibrated from industrial tests. It was possible to investigate the circuit behavior in function of process variables. It was also investigated new circuit configurations that permits the increase of metallurgical recovery allied to the diminishing of the alumina (Al_2O_3) content in the deslimed product.

The work was performed with the help of the software USIM PAC 2.0 for windows, that has shown very effective as project development tool in all situations performed. The main characteristics of this software are:

- integration of the all steps in the same software;
- mass balances from the physical and chemical characteristics for the whole circuit
- possibility of the simulation based on the ore physical and chemical properties.

Key words: Optimization, Simulation, Mathematical Models, USIM PAC.

