

UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADOR MAGNÉTICO COMO ETAPA DE PRÉ-CONCENTRAÇÃO PARA A CARGA CIRCULANTE DA FLOTAÇÃO DA USINA DE BENEFICIAMENTO DO MINAS-RIO*

Késsius Bortolan Menezes¹

Henrique Dias Gatti Turrer²

Júlio César Silva³

Fabiano Henrique Pereira Gonzaga⁴

Junio Pereira Simões⁵

José Francisco Cabello Russo⁶

Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho de uma etapa adicional de pré-concentração da carga circulante da flotação da usina de concentração do Projeto Minas-Rio com o intuito de reduzir a presença de sílica grosseira no circuito. Foram realizados testes exploratórios com um equipamento de separação magnética em escala piloto para avaliar as melhores condições de determinados parâmetros como tipo de matriz, abertura da matriz (gap), intensidade do campo magnético e até mesmo o percentual de ferro presente na alimentação do concentrador magnético, de forma a se obter os melhores ajustes e parâmetros para os teores de ferro no concentrado e no rejeito, ambos da etapa da concentração magnética.

Palavras-chave: Minério de ferro, separação magnética

USE OF MAGNETIC CONCENTRATOR AS A PRE-CONCENTRATION STAGE FOR THE CLOSED CIRCUIT OF THE FLOATING OF THE MINAS-RIO PROCESSING PLANT

Abstract

The objective of this study was to evaluate the performance of an additional stage of pre-concentration of the circulating flotation load of the Minas-Rio Project's concentration plant in order to reduce the presence of coarse silica in the circuit. Was performed exploratory tests with a magnetic separation equipment in pilot scale to evaluate the best conditions of certain parameters such as matrix type, gap opening, magnetic field strength and even the percentage of iron present in the feeding of the magnetic concentrator, in order to obtain the best adjustments and parameters for iron contents in the concentrate and in the tailings, both of the magnetic concentration step

Keywords: Iron ore, magnetic separation

¹ *Késsius Bortolan Menezes, Bacharel em Engenharia Metalúrgica UFOP, Engenheiro de Processos – Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil;*

² *Henrique Gatti Dias Turrer, Doutor em Engenharia de Minas UFMG, Coordenador de Processos – Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil;*

³ *Júlio César Silva, Bacharel em Engenharia de Produção Centro Universitário Claretiano, Técnico de Processos – Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil;*

⁴ *Fabiano Henrique Pereira Gonzaga, Técnico de Mineração CEFET-MG, Técnico de Processos – Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil;*

⁵ *Junio Pereira Simões, Técnico de Mineração SENAI-MG, Técnico de Processos – Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil;*

⁶ *José Francisco Cabello Russo, Gerente de processos - AngloAmerican, Conceição do Mato Dentro.*

1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro processado no complexo industrial do Minas-Rio, Anglo American, totalizou quase 15 milhões de toneladas de concentrado em 2017. O minério é lavrado na mina da Serra do Sapo em Conceição do Mato Dentro, MG. O seu tratamento contempla as etapas de cominuição, por britadores de mandíbulas, britadores cônicos, prensas de rolos e moinhos de bolas, seguido por deslamagem, flotação, remoagem em moinhos verticais para adequação da granulometria de transporte, espessamento, bombeamento por 529 km de mineroduto e separação sólido-líquido para embarque, conforme *Figura 1*.

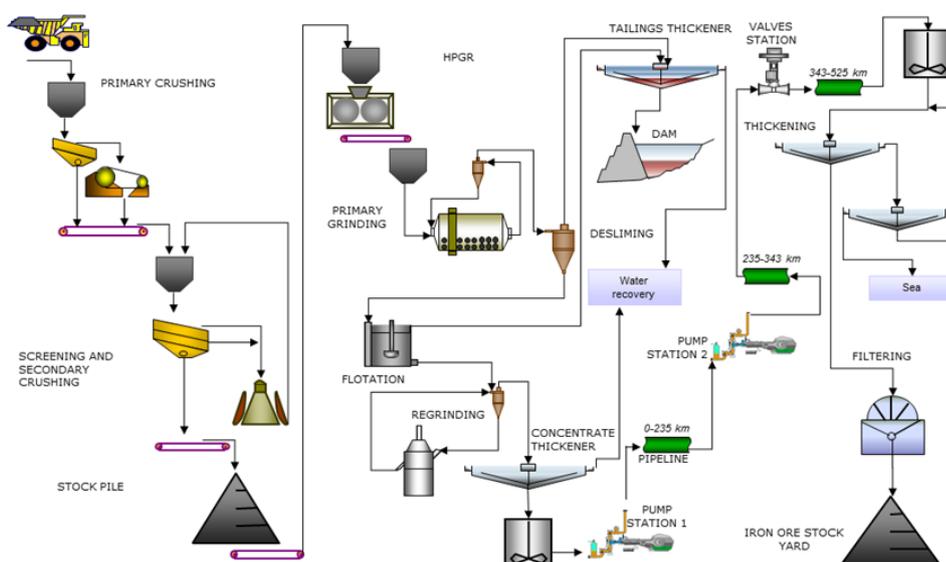


Figura 1 - Fluxograma de processo Minas/ Rio

A utilização de concentradores magnéticos de baixa intensidade para produção de pellet feed já é praticada industrialmente há algumas décadas (Bartnik et al., 1975). A utilização do magnetismo para produção de concentrados de minérios de ferro hematíticos se estabeleceu um pouco depois, com o uso de elevados campos magnéticos gerados por correntes elétricas (Wasmuth e Unkelbach, 1991).

Recentemente, a separação magnética voltou a ganhar destaque na concentração de minérios de ferro com baixos teores e no reaproveitamento de subprodutos do processamento de diferentes minérios.

Uliana et al. (2013) avaliaram o tratamento de rejeito de flotação com cerca de 10% de teor de ferro. Utilizaram um WHIMS de 85 t/h de capacidade para produção de um concentrado rougher que foi enriquecido numa etapa cleaner. Conseguiram resultados de 3,1% de sílica no concentrado, 6,2% de ferro no rejeito e recuperações de 5,1% e 36,5%, respectivamente, em massa e metalúrgica.

A separação magnética já foi alvo de estudos com o minério do Minas-Rio.

Os primeiros testes foram realizados para avaliar a possibilidade de realização de uma pré-concentração para a retirada de parte do quartzo do minério compacto de baixo teor de ferro antes da moagem. Esse cenário se mostrou menos promissor devido ao alto CAPEX e baixa recuperação metálica nessa etapa do que outros avaliados e, por isso, os estudos não prosseguiram. Os resultados de caracterização e testes magnéticos realizados nas amostras estão registrados em relatórios internos (Delboni Jr. e Foggiatto; 2010a; Delboni Jr. e Foggiatto; 2010b).

Alguns anos depois, avaliou-se a possibilidade de utilização da separação magnética para recuperação do material descartado como lama ou rejeito da flotação. Foram realizados vários testes com Minimag G-340 da empresa Gaustec, que apontaram resultados mais promissores em sua utilização no rejeito da flotação e retorno do concentrado para a alimentação da flotação (Turrer et al. 2014).

É objetivo desse estudo simular uma etapa de pré-concentração com equipamento piloto de separação magnética para amostras provenientes da carga circulante da flotação da usina de concentração do Minas-Rio uma vez que é pretendida a eliminação da sílica grosseira do circuito de flotação vinda, principalmente, da carga circulante e, portanto, seria de suma importância a obtenção de um pré-concentrado.

2 DESENVOLVIMENTO

Os testes em concentrador magnético foram realizados seguindo procedimentos internos definidos com as recomendações do manual dos fornecedores e experiência da equipe da Gerência de Otimização de Processos da Anglo American.

As análises químicas foram determinadas por fluorescência de raios-X em pastilha fundida com equipamento Axios da Panalytical. Os percentuais de sólidos foram determinados por pesagem em balança analítica e de precisão.

As amostragens ocorreram durante períodos específicos em que não foram detectadas anomalias no processo produtivo que pudessem impactar a representatividade da amostra. Nos locais em que existia cortador automático, o mesmo foi utilizado. Os cortes, manuais ou automáticos, aconteceram durante um período prolongado para aumentar a representatividade das amostras.

O equipamento usado nos testes de separação foi o Minimag G-340 da empresa Gaustec, que possui matrizes, denominadas como convencionais, com abertura de 1,1mm, 1,5mm, 2,5mm, 3,8mm e 5,0 mm. As matrizes de 1,1mm, 1,5mm e 3,8mm também possuem o modelo BigFlux, ou seja, um novo tipo de matriz desenvolvida pela empresa Gaustec que possui uma maior área de fluxo livre entre as placas. O percentual de sólidos utilizado na alimentação do concentrador magnético foi de 40%. A taxa de alimentação foi utilizada conforme manual do fornecedor, porque varia de acordo com a abertura das matrizes e com o campo magnético em uso. Esta variação foi de 0,472m³/h a 0,980m³/h.

Foram coletados um total aproximado de 300kg de amostra da carga circulante da flotação da Usina. Inicialmente, foram feitas análises químicas e granulométricas das amostras coletadas.

O teor de Fe na alimentação de cada fluxo testado e para todas as baterias testadas, está apresentado na Figura 2.

Id.	Fluxo	%Fe
CCP	Alimentação da Carga Circulante pobre	18%
CCR	Alimentação da Carga Circulante rica	34%

Figura 2- %Fe alimentação de cada fluxo testado

2.1 Bateria I (%Fe Carga Circulante como variável)

Os testes propostos foram realizados em duplicatas e seguiram as condições apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2, abaixo. Todos os testes da Bateria I foram realizados com matriz do tipo BigFlux, com gap de 1,50mm.

Tabela 1 - Condições operacionais dos testes exploratórios. CCP: Carga Circulante Pobre e Matriz BigFlux.

Teste	Fluxo	Matriz (mm)	Campo (Gauss)
01	CCP	1,50	10K
01 (DUP)	CCP	1,50	10K
02	CCP	1,50	12K
02 (DUP)	CCP	1,50	12K
03	CCP	1,50	14K
03 (DUP)	CCP	1,50	14K
04	CCP	1,50	16K
04 (DUP)	CCP	1,50	16K
05	CCP	1,50	18K
05 (DUP)	CCP	1,50	18K

Tabela 2 - Condições operacionais dos testes exploratórios. CCR: Carga Circulante Rica e Matriz BigFlux

Teste	Fluxo	Matriz (mm)	Campo (Gauss)
01	CCR	1,50	10K
01 (DUP)	CCR	1,50	10K
02	CCR	1,50	12K
02 (DUP)	CCR	1,50	12K
03	CCR	1,50	14K
03 (DUP)	CCR	1,50	14K
04	CCR	1,50	16K
04 (DUP)	CCR	1,50	16K
05	CCR	1,50	18K
05 (DUP)	CCR	1,50	18K

2.2 Bateria II (Tipo de Matriz como variável)

Os testes propostos seguiram as condições apresentadas na Tabela 3, abaixo. Todos os testes da Bateria II foram realizados com a Carga Circulante RICA (%Fe = 34%) e com matriz do tipo CONVENCIONAL.

Tabela 3 - Condições operacionais dos testes exploratórios. CCR: Carga Circulante Rica e Matriz Convencional

Teste	Fluxo	Matriz (mm)	Campo (Gauss)
01	CCR	1,50	10K
02	CCR	1,50	12K
03	CCR	1,50	14K
04	CCR	1,50	16K
05	CCR	1,50	18K

Após estes testes, os resultados obtidos com esta matriz foram comparados com aqueles obtidos nos testes anteriores (Condição I) com matriz do tipo BigFlux, sob as mesmas condições (Carga Circulante RICA e gap de 1,5mm).

2.3 Bateria III (Abertura da matriz como variável)

Os testes propostos seguiram as condições conforme Tabela 4, abaixo. Todos os testes da Bateria III foram realizados com a Carga Circulante RICA (%Fe = 34%) e com matriz do tipo BigFlux.

Tabela 4- Condições operacionais dos testes. CCR: Carga Circulante Rica e Gap de 3,80mm

Teste	Fluxo	Matriz (mm)	Campo (Gauss)
01	CCR	3,80	10K
02	CCR	3,80	12K
03	CCR	3,80	14K
04	CCR	3,80	16K
05	CCR	3,80	18K

Após estes testes, os resultados obtidos com esta matriz foram comparados com aqueles obtidos nos testes anteriores (Condição I) com matriz do tipo BigFlux, sob as mesmas condições (Carga Circulante RICA e gap de 1,5mm).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes da Bateria I, mostraram os seguintes resultados:

Fluxo	Teste	Campo (kGauss)	%Fe conc.	%Fe rej.	%SiO2 conc.	%RM	%SiO2 rej.	I.S.
CCP	Principal	10	58,0	6,5	16,8	22,8	90,3	6,9
		12	54,3	5,5	21,7	24,8	91,6	6,4
		14	54,0	5,1	22,1	25,7	92,3	6,7
		16	54,6	4,9	21,3	26,4	92,2	6,9
		18	55,2	4,6	20,5	26,2	92,9	7,4
	Duplicata	10	54,8	6,7	21,2	24,2	90,8	5,9
		12	59,1	6,2	15,3	23,2	90,8	7,5
		14	55,5	4,4	20,4	25,2	93,1	7,6
		16	54,1	4,6	21,9	26,6	93,5	7,1
		18	57,7	4,5	17,6	25,8	93,2	8,3
CCR	Principal	10	65,3	16,9	5,3	40,4	74,7	7,4
		12	65,3	15,2	5,7	43,9	77,6	7,7
		14	65,0	12,6	5,9	44,6	80,9	8,4
		16	65,4	10,6	5,1	47,0	84,4	10,1
		18	65,3	10,7	5,3	48,0	83,9	9,8
	Duplicata	10	65,2	16,7	5,7	39,8	75,0	7,1
		12	64,9	13,4	5,8	44,8	79,6	8,2
		14	65,2	11,7	5,3	46,6	82,4	9,3
		16	64,9	10,4	5,7	46,8	84,4	9,7
		18	65,6	10,6	5,2	47,9	83,7	10,0

Figura 3 -Resumo esquemático com os principais resultados na Bateria I

Foram consideradas para as análises realizadas na Bateria I, as médias entre os testes principais e duplicatas e, como resultados promissores obtidos, foram considerados aqueles que fornecessem menor %Fe no rejeito possível e %Fe concentrado em torno de 40% (teor de alimentação da flotação considerado no projeto).

[Revisor1] Comentário: O que seria "resultados promissores obtidos"?

[MKB2] Comentário: "aqueles que fornecessem menor %Fe no rejeito possível e %Fe concentrado em torno de 40%" conforme texto.

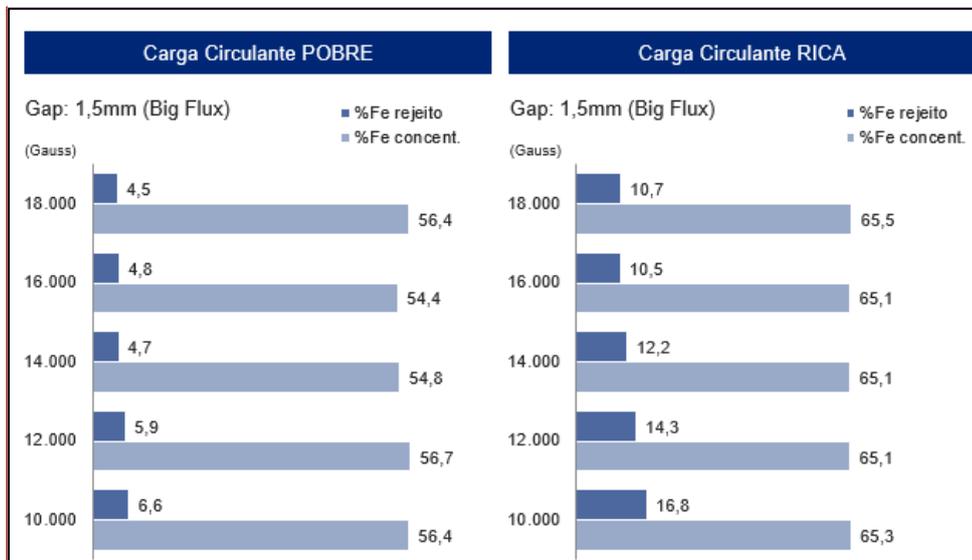


Figura 4 – Resumo dos resultados obtidos na Condição I e considerando apenas %Fe Concentrado e %Fe Rejeito.

[Revisor3] Comentário: Avalie uma alteração no tipo de gráfico para o de linhas

[MKB4] Comentário: Devido à grande diferença de escalas e à grande quantidade de informações, o layout adotado ainda é uma alternativa melhor que um gráfico de linhas

A análise do %RFe (recuperação metálica) abaixo mostra que os melhores resultados foram obtidos para %Fe na alimentação mais alto (Carga Circulante Rica). Para campo magnético, ainda é recomendado, segundo os resultados obtidos, trabalhar com o mesmo variando entre 16.000 e 18.000 Gauss.

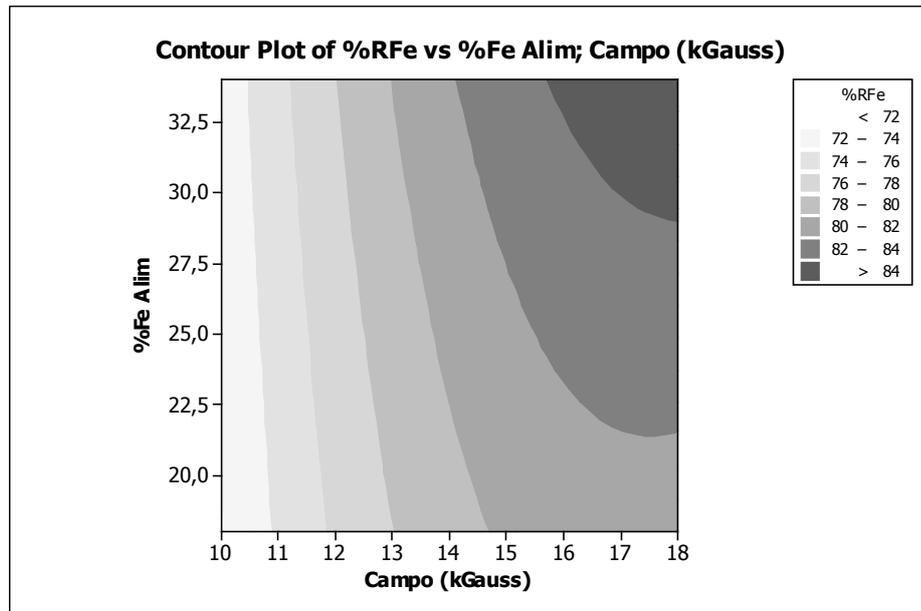


Figura 5- Superfície de respostas para %RFe considerando %Fe Alim (CC Rica x CC Pobre)

Os testes da Bateria II, mostraram os seguintes resultados:

Fluxo	Tipo de Matriz (1,50mm)	Campo (kGauss)	%Fe conc.	%Fe rej.	%SiO2 conc.	%RM	%SiO2 rej.	I.S.
CCR	BigFlux	10	65,3	16,8	5,5	40,1	74,8	7,3
		12	65,1	14,3	5,7	44,4	78,6	7,9
		14	65,1	12,2	5,6	45,6	81,6	8,9
		16	65,1	10,5	5,4	46,9	84,4	9,9
		18	65,5	10,7	5,3	47,9	83,8	9,9
	Convencional	10	60,9	11,3	11,3	56,0	83,0	6,0
		12	58,7	10,2	10,2	53,5	85,2	5,7
		14	57,9	9,6	9,6	53,2	85,9	5,7
		16	59,7	10,6	10,6	55,9	83,8	5,8
		18	56,6	9,6	9,6	51,0	85,7	5,3

Figura 6 - Resumo esquemático com os principais resultados obtidos na Bateria II.

Resultados promissores foram considerados como aqueles que fornecessem menor %Fe no rejeito possível e %Fe no concentrado em torno de 40% (teor de alimentação da flotação considerado no projeto).

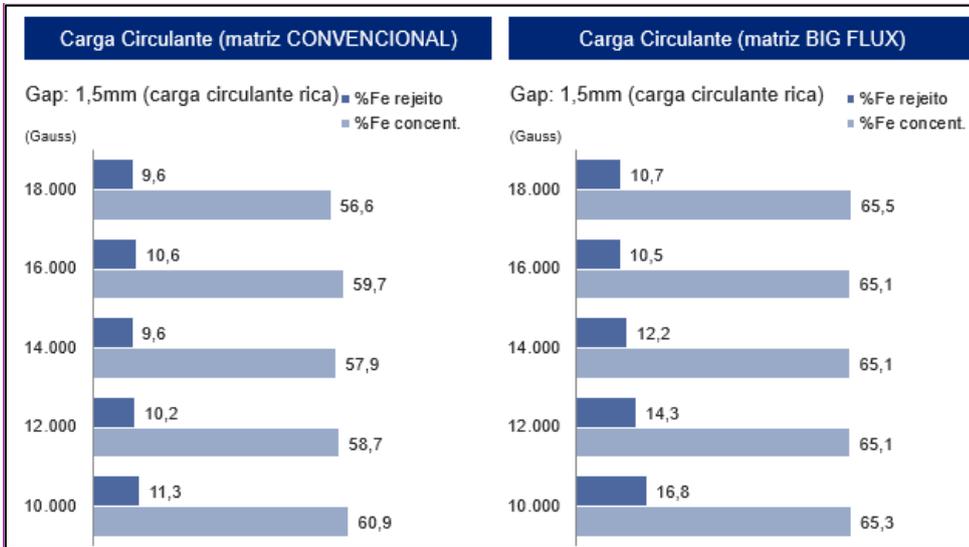


Figura 7– Resumo dos resultados obtidos na Condição II e considerando apenas %Fe Concentrado e %Fe Rejeito.

[Revisor5] Comentário: Avalie uma alteração no tipo de gráfico para o de linhas

Para avaliar os resultados mais promissores foi considerada, porém, a recuperação metalúrgica na etapa. Os testes realizados com a matriz do tipo “CONVENCIONAL”, tiveram melhor desempenho, embora se obtenha um concentrado mais limpo utilizando a matriz do tipo “BIGFLUX”.

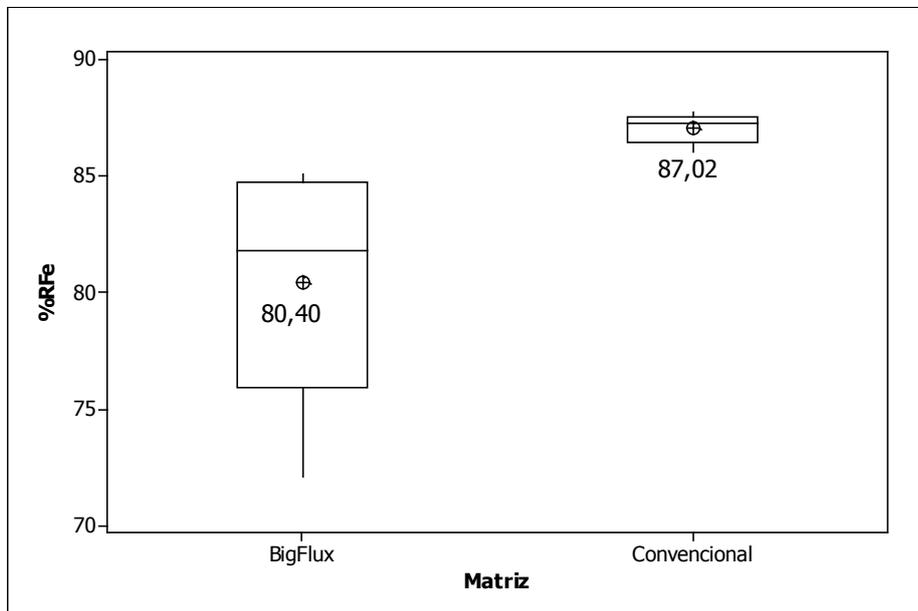


Figura 8– Resposta para %RFe considerando Tipo de Matriz (BigFlux x Convencional). *Nesse caso não foi possível gerar uma superfície de resposta devido à natureza da variável considerada.

Os testes da Bateria III, mostraram os seguintes resultados:

Fluxo	BigFlux - Gap (mm)	Campo (kGauss)	%Fe conc.	%Fe rej.	%SiO2 conc.	%RM	%SiO2 rej.	I.S.
CCR	1,50	10	65,3	16,8	5,5	40,1	74,8	7,3
		12	65,1	14,3	5,7	44,4	78,6	7,9
		14	65,1	12,2	5,6	45,6	81,6	8,9
		16	65,1	10,5	5,4	46,9	84,4	9,9
		18	65,5	10,7	5,3	47,9	83,8	9,9
	3,80	10	60,9	11,3	12,3	56,0	83,0	6,0
		12	58,7	10,2	14,9	53,5	85,2	5,7
		14	57,9	9,6	15,9	53,2	85,9	5,7
		16	59,7	10,6	14,0	55,9	83,8	5,8
		18	56,6	9,6	17,9	51,0	85,7	5,3

Figura 9 - Resumo esquemático com os principais resultados obtidos na Bateria III.

Foram considerados como resultados mais promissores obtidos, aqueles que forneceram menor %Fe no rejeito possível e %Fe concentrado em torno de 40% (teor de alimentação da flotação considerado no projeto).

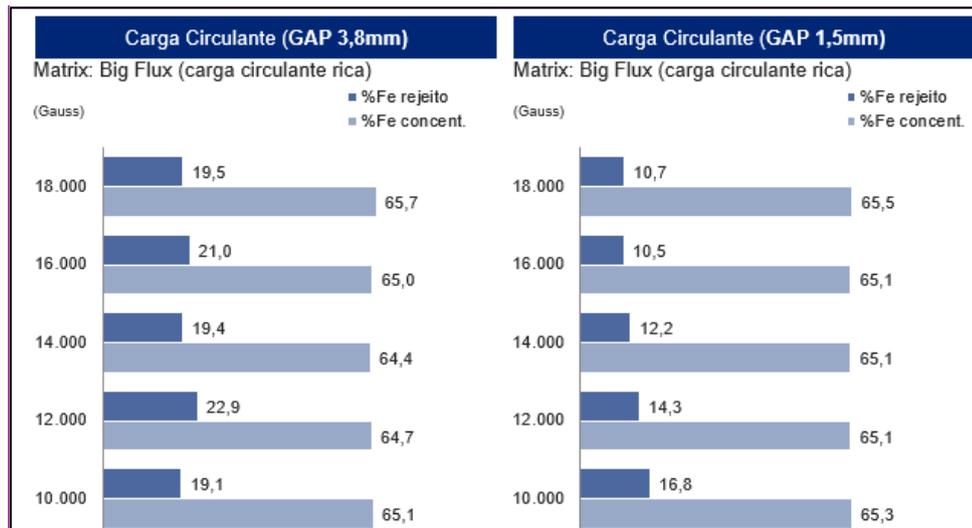


Figura 10- Resumo dos resultados obtidos segundo Condição II e considerando apenas %Fe Concentrado e %Fe Rejeito.

Utilizando novamente a recuperação metalúrgica na etapa como fator que gera os resultados mais promissores, tivemos a seguinte análise abaixo:

[Revisor6] Comentário: Avalie uma alteração no tipo de gráfico para o de linhas

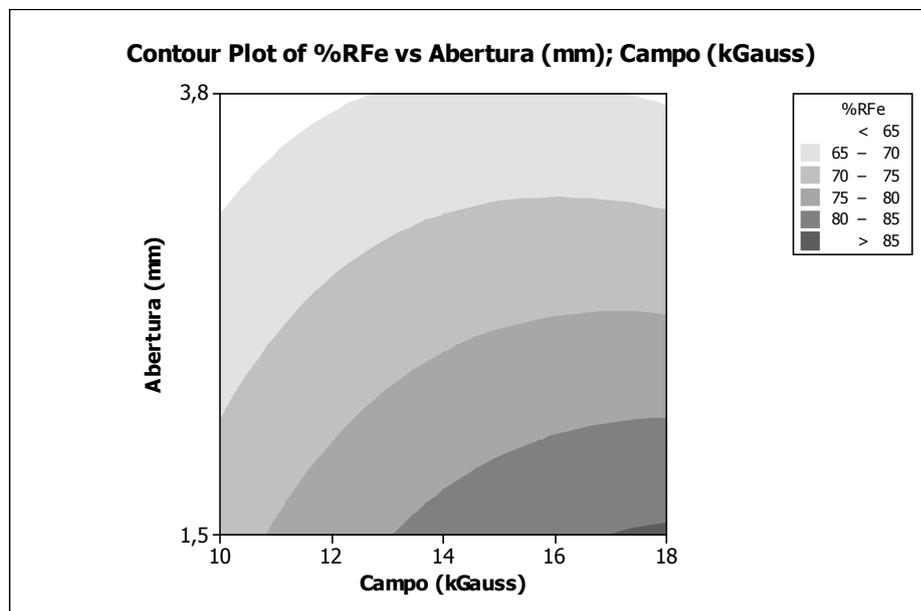


Figura 11– Superfície de respostas para %RFe considerando abertura da matriz (1,50mm x 3,80mm)

Trabalhando-se com matrizes mais fechadas sob a influência de campos magnéticos de alta intensidade, obtém-se o melhor desempenho em termos de recuperação metalúrgica conforme sugere, também, as respostas obtidas das análises para percentual de ferro no concentrado e no rejeito.

Os testes exploratórios realizados utilizando concentrador magnético para tratamento da carga circulante da flotação foram realizados para avaliar as melhores condições de determinados parâmetros como tipo de matriz, abertura da matriz (gap), intensidade do campo magnético e até mesmo o %Fe presente na alimentação do concentrador magnético. As variáveis respostas consideradas e analisadas para determinar os melhores ajustes e parâmetros foram %Fe no concentrado e %Fe no rejeito, ambos da etapa da concentração magnética. Analisando cada parâmetro individualmente, tem-se:

Matriz: Nos testes realizados e considerados, não foi notado efeito expressivo do tipo da matriz utilizada para otimização dos percentuais de ferro obtidos tanto no concentrado quanto no rejeito da etapa de concentração magnética. Porém, em relação à recuperação metalúrgica, a matriz “CONVENCIONAL” teve melhor desempenho embora a “BIGFLUX” tenha produzido um concentrado mais limpo.

Campo Magnético (Gauss): A utilização de campos magnéticos mais altos mostrou que é possível obter percentuais de ferro no rejeito menores, na etapa de concentração magnética. Em relação ao concentrado desta mesma etapa, não são notadas diferenças expressivas entre se trabalhar sob um campo magnético mais baixo ou mais alto, apesar da tendência de uma queda no teor de ferro do concentrado à medida em que é aumentada a intensidade do campo magnético.

Recuperação metalúrgica também tem melhor desempenho sob campos de alta intensidade magnética.

Abertura – gap (mm): Parâmetro que afetou de forma expressiva as variáveis respostas analisadas. Nota-se um expressivo aumento para o teor de ferro no rejeito da etapa de concentração magnética no mesmo sentido em que é aumentada a abertura das matrizes. Da mesma maneira ocorre com o teor de ferro do concentrado obtido, ou seja, aumentando-se a abertura das matrizes, a qualidade do concentrado, em termos de ferro, também é aumentada. Recuperação metalúrgica inversamente proporcional à abertura da matriz.

%Fe na alimentação da concentração magnética (%): Outro parâmetro que também afetou de forma mais expressiva as variáveis respostas analisadas. Enriquecendo-se a alimentação, em termos de ferro, obtém-se um concentrado com qualidade melhor, porém, em contrapartida, o rejeito também é enriquecido. Para obtenção de um rejeito mais pobre em termos de ferro, a carga circulante mais pobre foi melhor avaliada. Porém, como o parâmetro utilizado para medir melhor desempenho foi a recuperação metalúrgica, amostras com a alimentação da concentração magnética contendo maior %Fe, foram as que tiveram melhor desempenho.

3 CONCLUSÃO

Os melhores resultados foram obtidos para carga circulante contendo um maior percentual de ferro aplicando-se campos magnéticos de alta intensidade e matrizes mais fechadas. Os demais testes, embora tenham tido desempenho inferior, também forneceram bons resultados e devem ser considerados para demais testes futuros. A etapa de separação magnética mostrou-se bastante eficaz, como um todo, na recuperação de ferro da carga circulante da flotação industrial e possui grande potencial para aplicação como etapa de pré-concentração para a carga circulante da flotação.

REFERÊNCIAS

- 1 BARTNIK, J.A.; ZABEL, W.H.; HOPSTOCK, D.M. (1975) On the production of iron ore superconcentrates by high-intensity wet magnetic separation. *International Journal of Mineral Processing*, v.2, p.117-126.
- 2 DELBONI JR.,H.; FOGGIATTO, B. (2010) Desenvolvimento de Processo de Beneficiamento dos Itabiritos Compactos da Serra do Sapo – Etapa 1: Caracterização Tecnológica. Relatório interno preparado pela HDA Serviços para a Anglo FerrousBrazil, 195p.
- 3 DELBONI JR.,H.; FOGGIATTO, B. (2010) Desenvolvimento de Processo para Beneficiamento de Itabiritos Compactos da Mina do Sapo - Parte II. Relatório interno preparado pela HDA Serviços para a Anglo FerrousBrazil, 182p.
- 4 TURRER, H.D.G.; MENEZES, K.B.; GONZAGA, F.H.P.; SILVA, J.C.; ALMEIDA, J.A.; MAGALHÃES, C.R.; RUSSO, J.C.; PIMENTEL, D.A.; MAZZINGHY, D.B. (2014) Concentração magnética para recuperação do ferro contido no rejeito da flotação. In: Anais do 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, p.295-303.

- 5 ULIANA, A., SILVA, J.P.M., GUEDES, T.S. (2013) (Re)aproveitamento de rejeitos da flotação de minério de ferro visando a obtenção de concentrado final. In: Anais do XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, Outubro 8p.
- 6 WASMUTH, H.D.; UNKELBACH, K.H. (1991) Recent developments in magnetic separation of feebly magnetic minerals. Minerals Engineering, v.4, p.825-837.