

## 4 SOLUÇÕES PARA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE (WHIMS): RECUPERAÇÃO DE REJEITOS E FINOS\*

Rafaella Bicalho da Rocha<sup>1</sup>

José Pancrácio Ribeiro<sup>2</sup>

Cláudio Henrique Ribeiro<sup>3</sup>

### Resumo

Ao longo de mais de cinco anos a GAUSTEC, juntamente com grandes empresas da Indústria Mineral, buscou soluções para concentrar rejeitos de flotação e finos utilizando Separadores Magnéticos de Alta Intensidade (WHIMS). Em 2014, a GAUSTEC lançou no mercado o **maior separador magnético** do mundo, o GHX 1400, com capacidade para até 1400t/h. Em 2015, ela lança no mercado a tecnologia NoBLOCK<sup>®</sup>, uma proteção para entupimentos dos separadores magnéticos. Finalmente em 2017 ela lança duas tecnologias que, associadas às duas anteriores, revolucionam o mercado para separação magnética, a Matriz BigFLUX<sup>®</sup> e a tecnologia SuperWHIMS<sup>®</sup>. Esse artigo tem como objetivo mostrar todas essas tecnologias juntas e mostrar a eficiência das mesmas já empregadas em mineradoras.

**Palavras-chave:** Separação Magnética, Matriz BigFLUX, SuperWHIMS, NoBLOCK.

### 4 SOLUTIONS TO WET HIGH INTENSITY SEPARATION (WHIMS): BOOST THE PRODUCTION

#### Abstract

For more than five years, GAUSTEC, along with large Mineral Industry companies, has sought solutions to concentrate flotation tailings and fines by using High Intensity Magnetic Separators (WHIMS). In 2014, GAUSTEC launches the world's largest magnetic separator, the GHX 1400, with capacity up to 1400t/h. By 2015, it launches NoBLOCK<sup>®</sup> technology, a protection for magnetic separators against clogging. Finally in 2017, it launches two technologies that, together with the previous two, revolutionize the market for magnetic separation, the BigFLUX<sup>®</sup> Matrix and SuperWHIMS<sup>®</sup> technology. This article aims to show all these technologies together and to show the efficiency of the same ones already employed in mining companies.

**Keywords:** Magnetic Separation, Matriz BigFLUX, SuperWHIMS, NoBLOCK.

<sup>1</sup> Engenheira de Minas, Mestre em Tecnologia Mineral, Coordenadora de Desenvolvimento de Processos, Centro de Pesquisa, GAUSTEC, Nova Lima, Minas Gerais e Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista, Chairman, GAUSTEC, Nova Lima, Minas Gerais e Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Eletrônico, CEO, GAUSTEC, Nova Lima, Minas Gerais e Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário atual da mineração proporciona novos desafios para os engenheiros de processo. Os minérios in situ estão cada vez mais pobres, mais finos e menos susceptíveis ao campo magnético. Também hoje temos de esgotar com a disposição de rejeitos, seja diminuindo a quantidade de rejeitos gerados, seja beneficiando rejeitos gerados no passado.

Ao longo de mais de cinco anos a GAUSTEC, juntamente com grandes empresas da Indústria Mineral, buscou soluções para concentrar rejeitos de flotação e finos utilizando Separadores Magnéticos de Alta Intensidade (WHIMS). No início dos anos 80, nos Estados Unidos, foi concedida a patente US 4,192,738 demonstrando a viabilidade desta tecnologia, porém, 30 anos se passaram sem que esta solução tivesse encontrado, industrialmente, qualquer aplicação mesmo tendo sido comprovada por ensaios em laboratórios.

O motivo da inviabilidade para aplicação industrial foi a falta de equipamentos de alta capacidade volumétrica, necessitando assim de um grande número de equipamentos cerca de 20 a 30 equipamentos para tratar rejeitos gerados das usinas de flotação (USA e Canadá). Essa quantidade de equipamentos tem um custo alto para implementação e implicações para manutenção, espaço físico e custos operacionais.

Contribuíram ainda para esse cenário uma legislação ambiental mais flexível à construção de barragens para disposição de rejeitos, o que acarreta na não pesquisa para tratamento desses efluentes.

Em 2014, a GAUSTEC lança no mercado o **maior separador magnético** do mundo, o GHX 1400, com capacidade para até 1400t/h. Esse lançamento foi divulgado na Revista Escola de Minas (REM) v.66, página 529 e uma apresentação na Conferência Anual de 2014 da SME/USA, em Salt Lake City – Utah.

Com equipamentos dessa capacidade outras tecnologias foram desenvolvidas para melhorar a operação. O entupimento das matrizes era um dos principais problemas da disponibilidade de operação dos separadores magnéticos. Para sanar esse problema, a GAUSTEC desenvolveu a NoBLOCK® que protege os separadores magnéticos dos entupimentos das matrizes por material *oversize*.

Para concentrar materiais finos, se faz necessária a presença de mais campo magnético no interior da matriz, uma vez que as forças competidoras à força magnética são mais evidentes. SVOBODA e FUJITA (2003) ainda explicam que para que haja a concentração magnética dos minerais, a força magnética de atração das partículas deve ser superior às forças competidoras como gravidade, arraste hidráulico, inércia, forças superficiais e interpartículas.

Na Figura 1 está apresentado um esquema básico para concentração magnética, sendo os produtos gerados (magnético, misto e não magnético) provenientes das características dos materiais da polpa mas também da diferença da força magnética de atração e as forças competidoras.

A performance do separador magnético está intimamente ligado à ação da força magnética, e a resposta das partículas magnetizáveis para separação dentro da polpa, das forças competidoras. (SVOBODA, 1993)

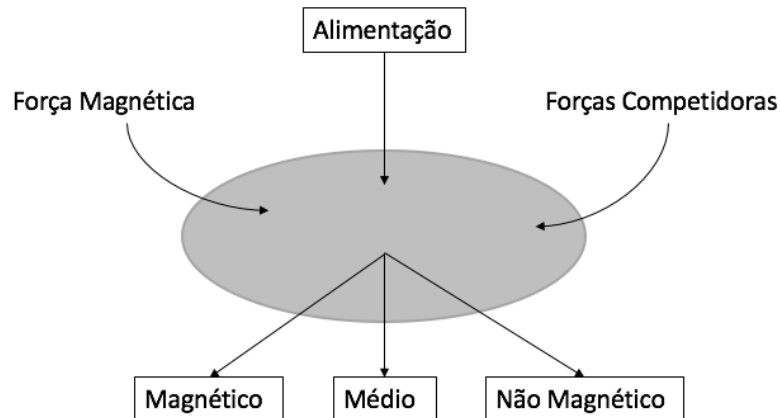


Figura 1. Esquema de produtos gerados pela separação magnética

SVOBODA e FUJITA (2003) e SHAO, et. al. (1996) apresentam uma fórmula, Equação 1, que representa a força que uma partícula sofre quando entra em um espaço com um campo magnético atuante.

$$\vec{F}_m = \frac{k}{\mu_0} V B \nabla \vec{B} \quad (1)$$

onde  $k$  é a susceptibilidade magnética da partícula;  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no vácuo;  $V$  o volume da partícula;  $B$  o campo magnético aplicado;  $\nabla \vec{B}$  é o gradiente de campo magnético externo.

Pela Equação 1 é possível observar que o tamanho da partícula é diretamente proporcional à força magnética de atração da mesma, portanto quanto menor a partícula menor a força de atração magnética. Dessa forma, para utilização da concentração magnética para materiais mais finos, se faz necessário aumentar a intensidade de campo magnético e/ou gradiente de campo.

Dentro desse contexto desenvolveu-se as tecnologias BigFLUX e SuperWHIMS para aumento da intensidade de campo no interior da matriz.

## 2 SOLUÇÕES

### 2.1 – GHX 1400

O GHX 1400 é o maior separador magnético de alta intensidade do mundo, podendo chegar à uma taxa de alimentação de até 1400t/h. Esse equipamento foi desenvolvido com um aproveitamento maior do campo magnético induzido, para atingir campos magnéticos mais altos; um footprint que diminui os custos de investimento e um baixo consumo de água por seus bicos spray. (RIBEIRO e RIBEIRO, 2013).

Abaixo temos a Figura 2 mostrando o tamanho do equipamento em comparação com o operador. Esse equipamento está instalado na Itaminas Mineração S/A, que hoje possui duas unidades desse equipamento.



**Figura 2.** Esquema de produtos gerados pela separação magnética

Devido ao tamanho desse equipamento, e sua independência de processo, se torna possível realizar mais de um estágio de concentração em um mesmo equipamento. A primeira unidade foi desenvolvida para concentração dos rejeitos da usina de beneficiamento e dimensionada para uma alimentação de 480t/h, fazendo três estágios de concentração (*scavenger*, *cleaner* e *re-cleaner*). A alimentação do equipamento foi em torno de 45% de ferro e o concentrado final teve teor de 65% e o rejeito teor de 35% de ferro, aproximadamente. (RIBEIRO e RIBEIRO, 2013)

A capacidade do equipamento varia de acordo com o gap utilizado, bem como o alcance de campo magnético. Na Figura 3 é possível verificar as capacidades nominais desse equipamento e na Figura 4 o campo magnético alcançado por potência aplicada nas bobinas.

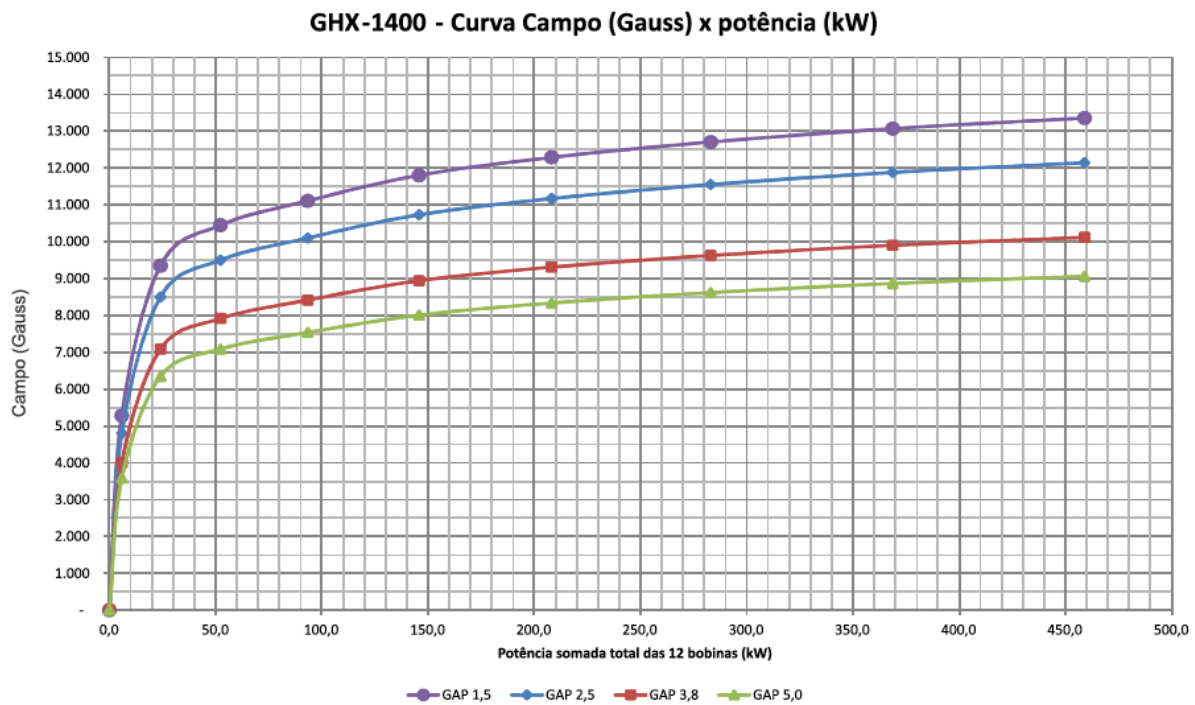
### Capacidade de alimentação (tph)\*

GAP	1,5 mm	2,5 mm	3,8 mm	5,0 mm
GHX-1400	630 t/h	840 t/h	1.230 t/h	1.400 t/h

\* Valores para minério de ferro, a 50% de sólidos. Condicionado à realização de testes.

**Figura 3.** Capacidade de alimentação do GHX 1400 por gap utilizado





**Figura 4.** Curva de campo magnético por potência aplicada às bobinas por gap

## 2.2 – NoBLOCK®

Um dos principais problemas para a concentração é o entupimento das matrizes magnéticas por material fora da granulometria. As matrizes possuem espaçamentos internos específicos, e quanto menor o gap menor esse espaçamento.

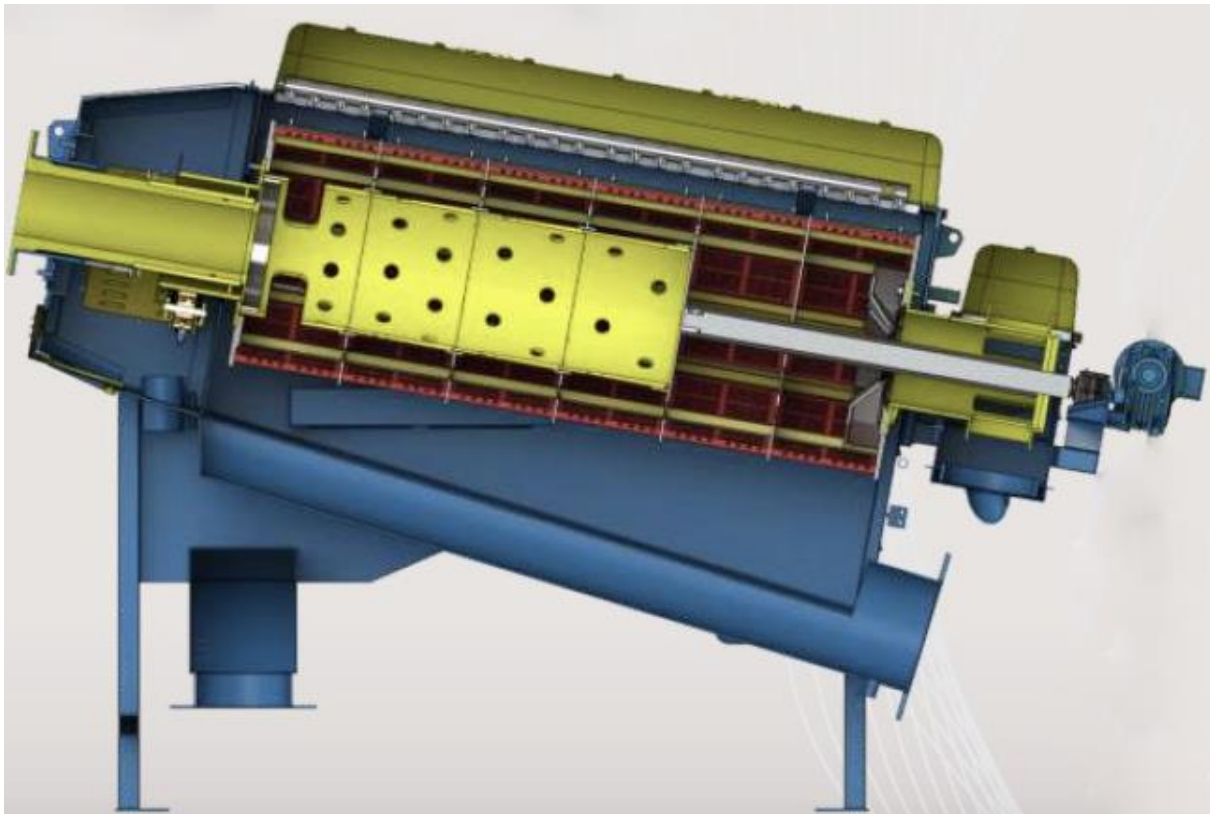
A primeira consequência desse entupimento é a redução de taxa de polpa, ocasionando uma perda na produção, redução da eficiência da separação e uma baixa qualidade no produto final. A limpeza dessas matrizes é feita de maneira manual e o equipamento deve permanecer inoperante durante essa operação, o que diminui a taxa de utilização do equipamento (RIBEIRO e RIBEIRO, 2015).

Buscando diminuir os gaps para concentração de finos e rejeitos essas obstruções tornariam inviável a utilização dessas matrizes fechadas, dessa forma, foi proposta a tecnologia NoBLOCK® que retira esses materiais antes do separador magnético.

Na Figura 5 há um esquema em corte do NoBLOCK® evidenciando seu sistema de desaceleração de polpa (amarelo). O princípio básico de operação é a utilização de um rotor composto por telas de poliuretano, nas quais o material necessariamente tem de passar e por isso sua classificação é de 100%, O material *oversize* sai ao final (à direita na figura, perto do redutor) enquanto o *underzise* é encaminhado ao fundo do NoBLOCK® pela tubulação em azul.

Os principais objetivos do NoBLOCK® são: um equipamento sem vibração e portanto maior durabilidade das telas; as telas não deslocam criando espaços e por isso a classificação é garantida; as telas são a todo tempo limpas por bicos spray de água que retornam com as partículas aprisionadas nas aberturas para o interior do rotor; manutenção rápida pois o rotor pode ser facilmente trocado por um novo e a manutenção do mesmo ocorre fora da carcaça, melhorando a taxa de utilização do equipamento; baixo consumo de energia.

A Tabela 1 apresenta as taxas de alimentação do NoBLOCK® para gaps de abertura das telas.



**Figura 5.** Desenho esquemático em corte do NoBLOCK®

**Tabela 1.** Taxas de alimentação do NoBLOCK® para diferentes gaps

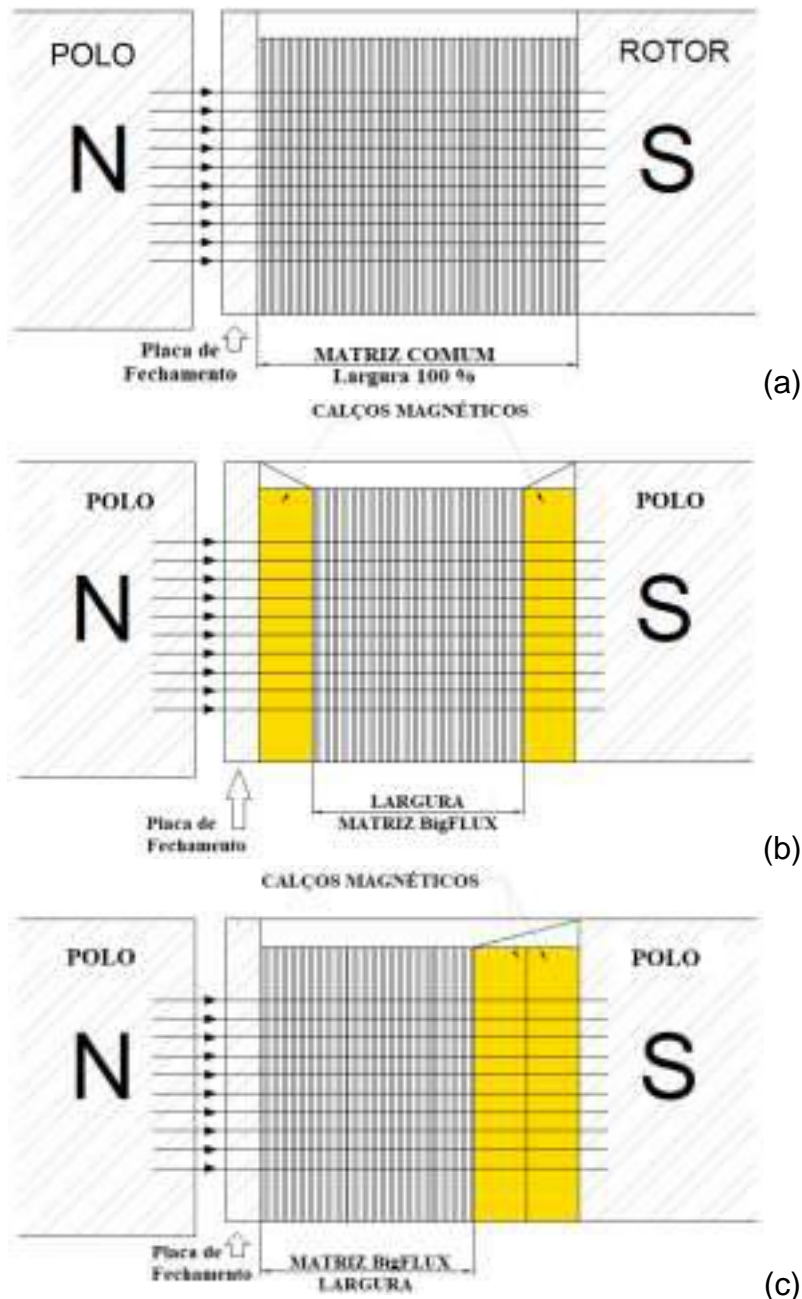
Tela	0,6 mm	1,4 mm	3,5 mm
Taxa de alimentação(*)	80 m <sup>3</sup> /h	250 m <sup>3</sup> /h	300m <sup>3</sup> /h

(\*) Referência para polpa de minério de ferro, 50% sólidos. Pode variar de acordo com a distribuição granulométrica.

### 2.3 – SuperWHIMS®

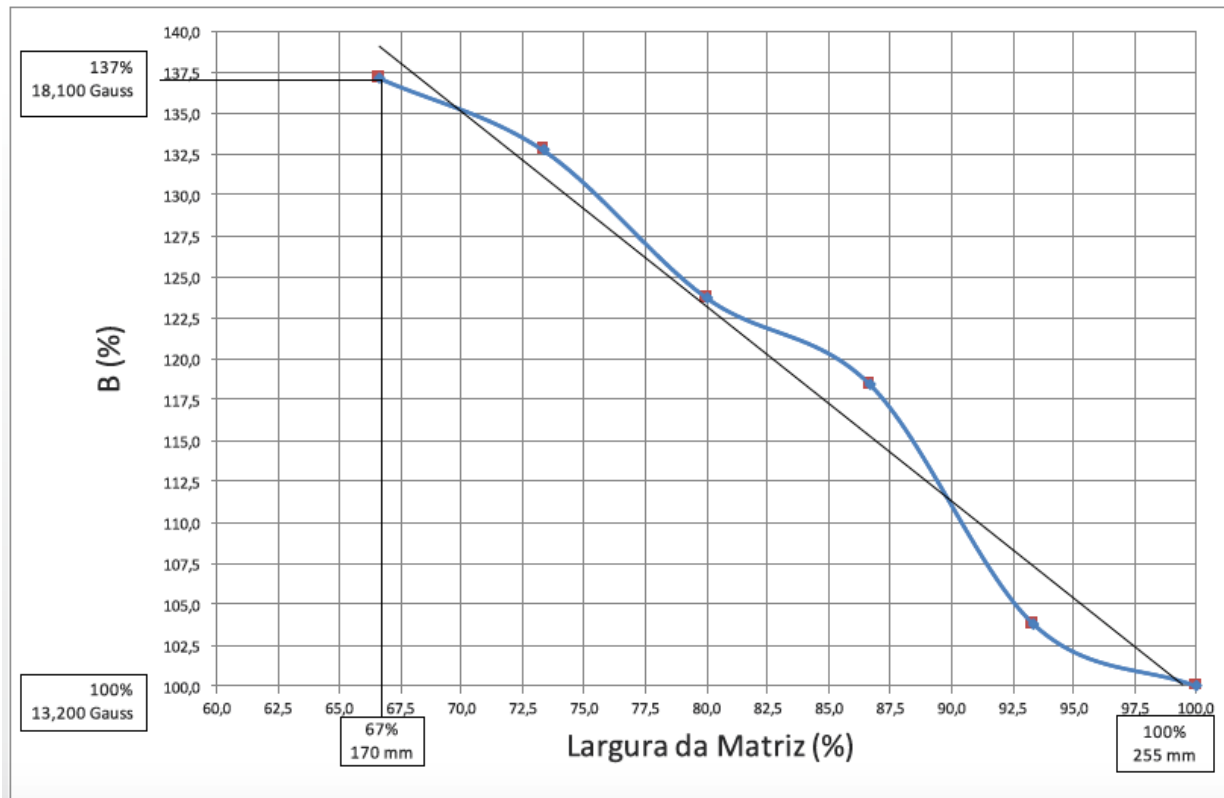
Mesmo com equipamentos de alta capacidade e a não obstrução das matrizes por *oversize*, os campos magnéticos alcançados até o momento eram de até 14.000G (1,4T) em gap de 1,5mm. Para concentração de material fino e menos susceptível é necessário aumentar o campo magnético no interior da matriz, sem grandes mudanças no equipamento.

Dessa forma foi desenvolvido o SuperWHIMS® que consiste em um calço magnético de aço, montado ao lado da matriz magnética. Esse aço tem uma permeabilidade magnética igual ou superior a 500, que diminui a relutância global no circuito magnético, aumentando assim o campo magnético no interior da matriz. Na Figura 6 tem-se um esquema da colocação do calço magnético em comparação à configuração sem calço.



**Figura 6.** Desenho esquemático da colocação do SuperWHIMS®: (a) sem a colocação dos calços; (b) colocação dos calços nos dois lados da matriz; (c) calços montados apenas em um lado da matriz, mais próximo ao rotor.

A intensificação de campo magnético é dependente do tamanho do calço magnético colocado. Foram realizados experimentos em uma magnetizadora, com um gap de 1,5mm com uma matriz de 255mm, ou seja sem calço magnético e o campo magnético inicial foi de 14.000G. A largura da matriz foi gradualmente reduzida enquanto calços magnéticos foram colocados e medições de campo realizadas. Quando essa redução da matriz chegou à uma redução de 67% (matriz com 170mm e calço de 85mm) o campo alcançou 18.100G. Durante os ensaios a potência das bobinas foram mantidas constantes. Os resultados obtidos estão na Figura 7 (RIBEIRO et. al., 2017).



**Figura 7.** Gráfico da intensidade de campo gerada versus a redução da matriz e colocação de calços magnéticos.

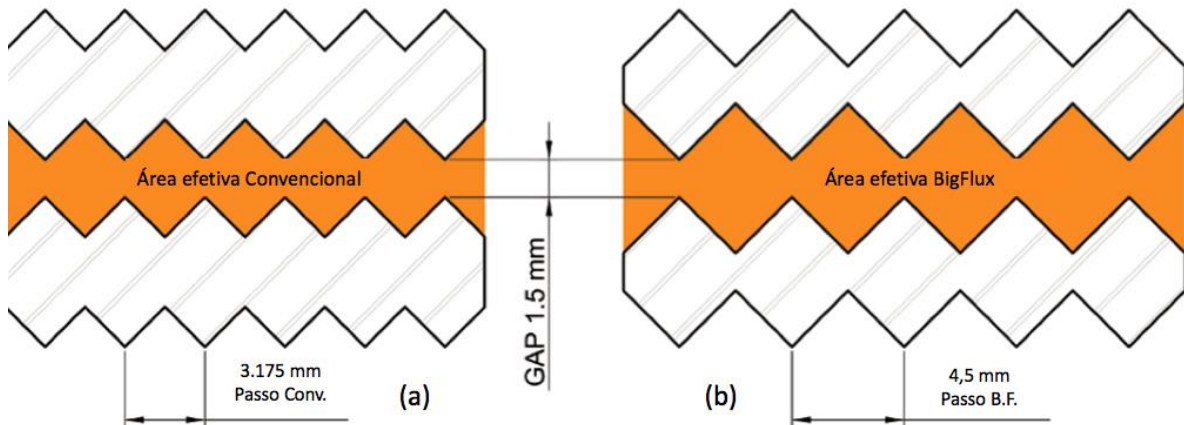
Qualquer matriz magnética pode ser adaptada para atingir maiores campos, porém a área efetiva de passagem de polpa será menor, uma vez que os calços são maciços, diminuindo assim a capacidade do equipamento. Dessa forma criou-se a matriz BigFLUX® para compensar essa queda na capacidade.

## 2.4 – BigFLUX®

Essa nova matriz foi criada modificando as ranhuras das placas que constituem a matriz magnética. Usualmente as matrizes possuem 8 ranhuras por polegada com um espaçamento entre as cristas (passo) de 3,175mm, totalizando assim 93 ranhuras por placa. A matriz BigFLUX® foi desenvolvida para ter o dobro da área quadrada da convencional, dessa forma o passo foi modificado para 4,5mm, possuindo então 66 ranhuras por placa (uma razão de 5,6 ranhuras por polegada). Em um gap de 1,5mm de uma matriz convencional resulta em uma área de 911mm<sup>2</sup> em cada ranhura, e para a matriz essa área passa a ser 1113mm<sup>2</sup> por ranhura, resultando em um aumento de 22%. Essa diferença pode ser observada na Figura 8. (RIBEIRO et. al., 2017).

Embora a Matriz BigFLUX® tenha sido projetada primariamente para aumentar o fluxo de polpa onde for aplicada a tecnologia SuperWHIMS®, esta nova matriz mostrou muito efetiva para melhorar processos e o funcionamento da separação magnética, uma vez que o risco de obstrução por granulometria e magnetismo é menor, devido à maior área que proporciona maior eficiência na lavagem de médio e concentrado.





**Figura 8.** Representação da matriz convencional (a) em comparação com a matriz BigFLUX® (b) para um gap de 1,5mm. (Adaptado de RIBEIRO, et. al.. 2017)

Outro campo de aplicação da matriz BigFLUX® é a substituição das matrizes convencionais de gaps mais abertos por gap de 1,5mm dessa nova matriz. A matriz BigFLUX® possibilita fechar o gap de 2,5mm para 1,5mm com o aumento do campo magnético sem prejudicar a capacidade do equipamento. Ribeiro et.al. (2017) fizeram cálculos comparativos de área efetiva por ranhura, de forma semelhante tem-se a Tabela 2 que apresenta a área de uma ranhura para gaps convencionais de 2,5mm e 3,0mm comparando com 1,5mm BigFLUX®.

**Tabela 2.** Área efetiva de uma ranhura por gap e tipo de matriz

GAP	Matriz	Área
3,0mm	Convencional	1354,57mm <sup>2</sup>
2,5mm	Convencional	1206,94mm <sup>2</sup>
1,5mm	BigFLUX®	1113,75mm <sup>2</sup>

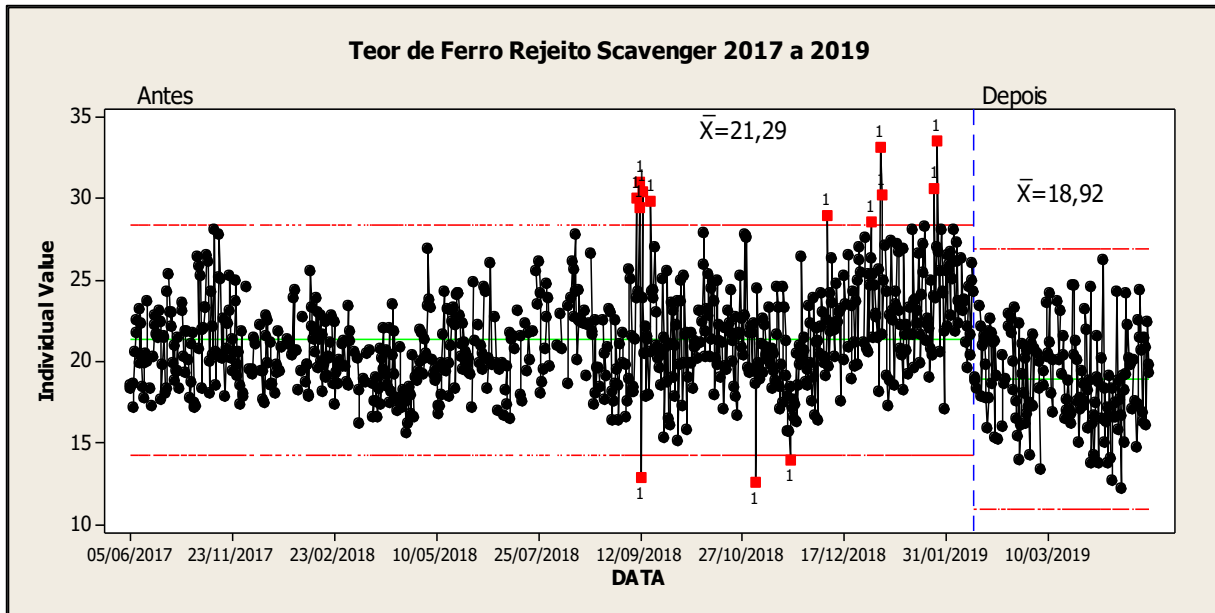
A redução de área do gap de 2,5mm convencional para um gap de 1,5mm BigFLUX® é de apenas 7,72% e portanto a capacidade nominal do equipamento não ficaria comprometida com essa mudança. Já a redução de 3,0mm convencional para 1,5mm BigFLUX® é de 17,8%.

#### 2.4.1 – Primeiro Estudo de Caso

Uma mineração realizou a troca de seus gaps de 2,5mm convencional para 1,5mm BigFLUX®, após ensaios piloto, e os resultados mostraram um menor teor de ferro no rejeito final e uma maior recuperação em massa.

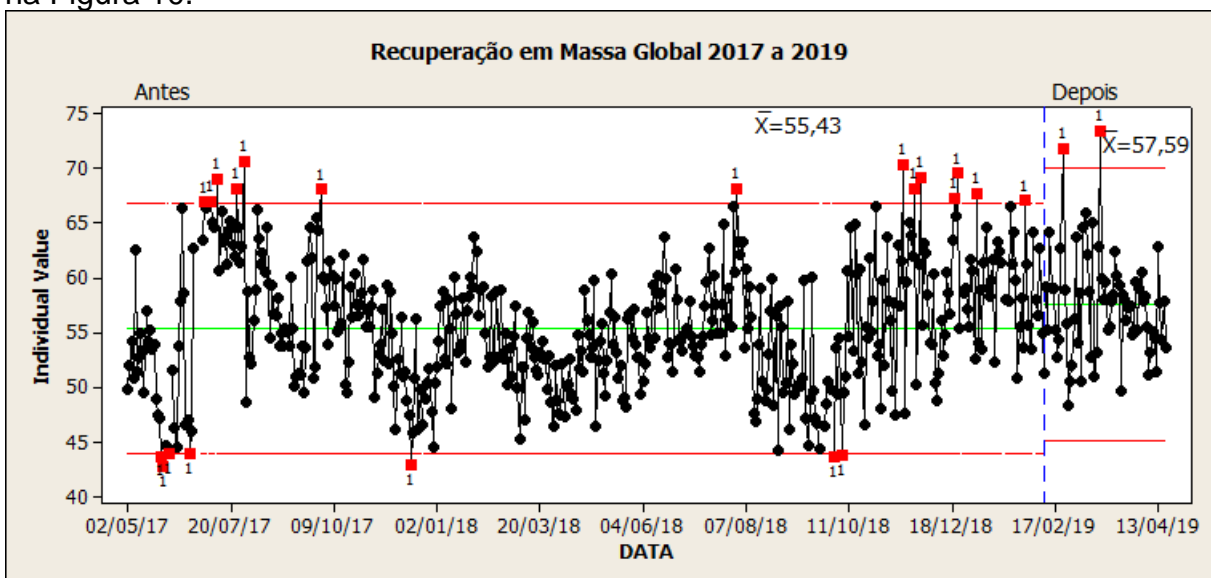
Em um mesmo equipamento manteve-se um rotor com a matriz pré existente de 2,5mm convencional (rotor inferior) e trocou-se as matrizes do rotor superior para 1,5mm BigFLUX®. Inicialmente foram analisados os teores de ferro no rejeito, que estão dispostos na Figura 9.

Na Figura 9 é possível observar que com a utilização da matriz convencional de 2,5mm, de 2017 até início de 2019 a média dos teores de ferro foi de 21,29%. Após a troca das matrizes esse teor caiu para 18,92%, uma queda de 11,13% no teor do rejeito final.



**Figura 9.** Comparação dos teores de ferro de 2017 a 2019 com a troca das matrizes em 2019

Ainda foi analisada a recuperação em massa para o mesmo período, demonstrado na Figura 10.



**Figura 10.** Comparação das recuperações em massa de 2017 a 2019 com a troca das matrizes em 2019

O traço vertical em azul corresponde ao momento em que as matrizes BigFLUX® foram trocadas no equipamento. No período anterior à essa linha, de 2017 a início de janeiro de 2019, a recuperação em massa da concentração magnética era de 55,43% em média. Após a troca das matrizes essa recuperação aumentou para 57,59% sendo um acréscimo de 3,9% (2,16 pontos percentuais). Foi relatado que o teor do produto final não sofreu alterações após a troca das matrizes. Com esse ganho de produção, foi realizada uma estimativa de aumento na produção anual da usina de beneficiamento em 126.822 toneladas no ano.

## 2.4.2 – Segundo Estudo de Caso

No segundo caso em estudo, a matriz de 3,0mm convencional foi trocada por matriz de 1,5mm BigFLUX®. Mesmo a redução de área sendo maior do que a anterior a taxa de alimentação do equipamento não foi reduzida, mantendo assim todas as operações unitárias anteriores inalteradas.

Nesse caso, analisou-se o teor de ferro do rejeito total e arenoso bem como o teor de ferro do concentrado ao longo de alguns meses. Os resultados estão dispostos na Figura 11.

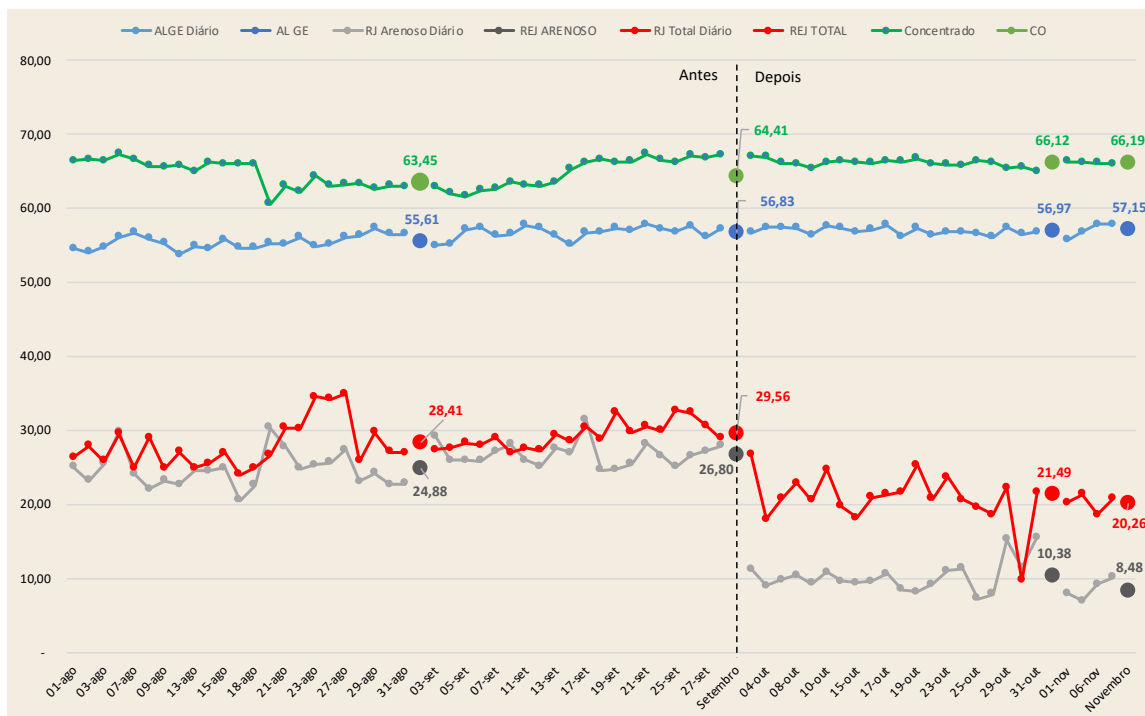


Figura 11. Gráfico para análise dos teores de ferro para os rejeitos e concentrado

Na figura 11 é possível observar que o teor do rejeito total antes da troca das matrizes teve média de teor de 27,6% Fe e o rejeito arenoso de 25,19% Fe enquanto o concentrado tinha teor médio de 64,29% Fe.

Após a troca das matrizes, realizada no dia 02 de outubro de 2018, o teor médio do rejeito total caiu para 20,76% Fe, o rejeito arenoso para 9,99% Fe e o concentrado subiu para 66,10%.

Com esses resultados a recuperação em massa aumentou de 75,99% para 79,96% e a recuperação metalúrgica aumentou de 87,70% para 92,72% evidenciando assim uma eficiência maior da matriz BigFLUX® para o material alimentado.

## 3 CONCLUSÃO

A GAUSTEC apresentou 4 inovações tecnológicas ao longo de 6 anos que buscam um melhor aproveitamento do recurso mineral e aproveitamento de rejeitos.

As tecnologias apresentadas podem ser adaptadas à sistemas já em operação, aumentando recuperações e diminuindo rejeitos gerados, bem como aplicadas à empreendimentos novos, com dimensionamento de equipamentos adequados para cada processo.

Há muita pesquisa a ser realizada perante essas tecnologias, porém os resultados obtidos até o momento mostram quão promissor a Separação Magnética de Alta

Intensidade e as 4 tecnologias pilares da GAUSTEC são promissoras para mineração mais sustentável.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao corpo técnico GAUSTEC por todo desenvolvimento de tecnologias desde sua formação e a crescente produção de tecnologia nos últimos anos. Agradecemos também aos nossos clientes parceiros que nos disponibilizaram dados dos processos para divulgação nesse artigo.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 RIBEIRO, J. P.; RIBEIRO, C. H. T.; PINTO, P. F.; ROCHA, R. B. D. **The Challenge to Scavenge Iron from Tailings Produced By Flotation. A New Approach: The Super-WHIMS & the BigFLUX Magnetic Matrix.** Revista Escola de Minas, v. 70, n. 3, jul/set, 2017. p. 357-363.
- 2 SVOBODA, J. **The effect of magnetic field strength on the efficiency of magnetic separation.** Minerals Engineering. v.7, p. 747-757. 1993.
- 3 SVOBODA, J., FUJITA, T. **Recent developments in magnetic methods of material separation.** Minerals Engineering. v.16, p 785-792. 2003.
- 4 SHAO, T., VEASEY, T. J., and ROWSON, N. A. **Wet High Intensity Magnetic Separation of Iron Minerals.** Magnetic and Electrical Separation, Volume 9, p. 41-51, 1996.
- 5 RIBEIRO, J. P.; RIBEIRO, C. H. T. **The NoBLOCK Technology: A major breaking through in Wet High Intensity Magnetic Separation (WHIMS).** Revista Escola de Minas, v. 68, n. 3, jul/set, 2015. p. 361-366.
- 6 RIBEIRO, J.P.; RIBEIRO, C. H. T. **New mega-sized wet high intensity magnetic separator: a cost-effective solution to reclaim iron ore fines from tailing dams.** Revista Escola de Minas, v. 65, n. 4, out/dez, 2013. p. 529-533.