

## **AVALIAÇÃO DE DIFERENTES CIRCUITOS DE BOMBEAMENTO PARA DOSAGEM DE REAGENTES EM CIRCUITOS DE FLOTAÇÃO**

**FONSECA, R.<sup>1</sup>, OLEGARIO, F.<sup>2</sup>, BERGERMAN, M.G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Vale S.A. ronaldo.fonseca@vale.com

<sup>2</sup>Vale S.A. olegario.francisco@vale.com

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo. mbergerman@usp.br

### **RESUMO**

As usinas de beneficiamento mineral da Vale utilizam diferentes tipos de circuitos de bombeamento, para a dosagem de reagentes na flotação. Os mais comumente utilizados são os circuitos com bombas centrífugas, bombas de diafragma e bombas peristálticas. Outras alternativas ainda podem ser utilizadas, como bombas helicoidais, dosadores de canecas e dosagem direto dos tambores de estocagem (regulagem manual). Este estudo visa avaliar tecnicamente algumas das alternativas disponíveis no mercado e apresentar os resultados de uma avaliação industrial comparando um circuito com bomba peristáltica e um circuito com bombas centrífugas e de diafragma, todos operando em paralelo. Os resultados mostram que os três tipos de circuitos atendem as demandas operacionais de controle da dosagem de reagentes. O circuito com bombas peristálticas, no entanto, se mostrou menos complexo e de menor custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Flotação, Cobre, Dosagem de reagentes.

### **ABSTRACT**

Vale's mineral processing plants use different types of pumping circuits for the dosing of reagents in the flotation. The most commonly used are circuits with centrifugal pumps, diaphragm pumps and peristaltic pumps. Other alternatives can still be used, such as helicoidal pumps and direct dosing of the storage drums (manual adjustment). This study aims to evaluate technically some of the alternatives available in the market and present the results of an industrial evaluation comparing a circuit with peristaltic pump to a circuit with centrifugal and diaphragm pumps, all operating in parallel. The results shown that the three types of circuits meet the operational demands of controlling the dosage of reagents. The circuit with peristaltic pumps, however, was less complex and less costly.

**KEY-WORDS:** Flotation, copper, reagents dosage

## 1. INTRODUÇÃO

Os projetos de cobre da Vale, atualmente em desenvolvimento, consideram duas alternativas para a dosagem de reagentes na flotação. Ambas são utilizadas na usina do Sossego. A primeira consiste na utilização de bombas de diafragma, com medidores de vazão individuais por linha. A segunda consiste no uso de bombas centrífugas com válvulas microprocessadas para controle da vazão. Esta alternativa também necessita de medidores individuais de vazão por linha. As Figuras 1 a 4 ilustram os dois tipos de sistemas de dosagem de reagentes na usina do Sossego. O circuito da usina do Sossego é descrito em detalhes por Bergerman (2009) e Rosa *et al.* (2007).



Figura 1. Sistema de dosagem de reagentes com bombas de diafragma



Figura 2. Sistema de dosagem de reagentes com bombas de diafragma



Figura 3. Sistema de dosagem de reagentes com bombas centrífugas



Figura 4. Sistema de dosagem de reagentes com bombas centrífugas

O sistema que utiliza bombas de diafragma não apresenta um bom histórico de operação na usina do Sossego, devido a muitas ocorrências relacionadas a entupimento, além de grande necessidade de manutenção. No Sossego estas bombas operam com medidores de vazão, que poderiam ser dispensados já que este tipo de bomba permite o controle de vazão pela pulsação, após a devida calibração da relação pulsação / vazão bombeada. O sistema com bomba centrífuga apresenta bom desempenho. Ambos, no entanto, possuem altos custos de investimento inicial, em função principalmente da necessidade de medidores de vazão individuais para cada linha de dosagem de reagentes, ao custo aproximado de R\$ 6.000,00 cada, considerando-se os medidores de vazão eletromagnéticos, que podem ser usados em fluidos condutores (como o xantato, que é dosado a uma diluição de 1% em água). Caso o fluido não seja condutor (caso dos espumantes), os medidores de vazão do

tipo coriolis são necessários, elevando o custo unitário de medição de vazão para aproximadamente R\$ 33.000,00. Além disso, o uso dos medidores de vazão implicam em falhas inerentes a estes equipamentos, como medições equivocadas ou diferenças entre o campo e a sala de controle, algo recorrente com os sistemas em uso atualmente e que demandam constante calibração. No caso do circuito com bomba centrífuga, ainda é necessário o uso de válvulas de controle para divisão do fluxo de reagente entre os diferentes pontos de dosagem.

A fim de avaliar alternativas confiáveis e de menor custo para a dosagem de reagentes na flotação, foi realizado o presente estudo, com uma bomba peristáltica modelo SPX10, do fabricante Watson Marlow Bredel.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A Vale solicitou a Watson Marlow Bredel que dimensionasse e fornecesse para o teste uma bomba peristáltica que possibilita-se uma vazão média de 20 l/h, máxima de 50 l/h e que fosse informada a menor vazão possível. A bomba deveria trabalhar com reagente de flotação, que no caso poderia ser o ditiofosfato de sódio, xantato, propileno glicol ou o metil isobutil carbinol. A bomba selecionada foi uma Watson Marlow Bredel modelo SPX10, que poderia operar entre 4 e 50 l/h.

O processo para aquisição do material se iniciou em maio de 2009, sendo que a bomba chegou a usina do Sossego em fevereiro de 2010. A mesma foi instalada no tanque de adição de ditiofosfato de sódio (coletor) no lugar da 2401-BA-34 e iniciou sua operação a partir de março de 2010. Ao longo da operação da mesma, foram observados aspectos como disponibilidade mecânica, ocorrência de sifonamentos, oscilação da vazão bombeada e relação entre a rotação e a vazão bombeada. A figura 5 ilustra a bomba instalada na área.



Figura 5. Bomba peristáltica SPX10 instalada na área

O estudo contemplou ainda a realização de uma avaliação econômica simplificada, levando em conta os custos das diferentes bombas disponíveis no mercado e os principais equipamentos auxiliares – válvulas de controle, medidores de pressão e vazão e sensores de fluxo. Considerou-se que o sistema de controle seria o mesmo para todos e já estará disponível nas usinas em caso de novos projetos.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 6 ilustra o tempo mensal de operação da bomba peristáltica durante o teste.

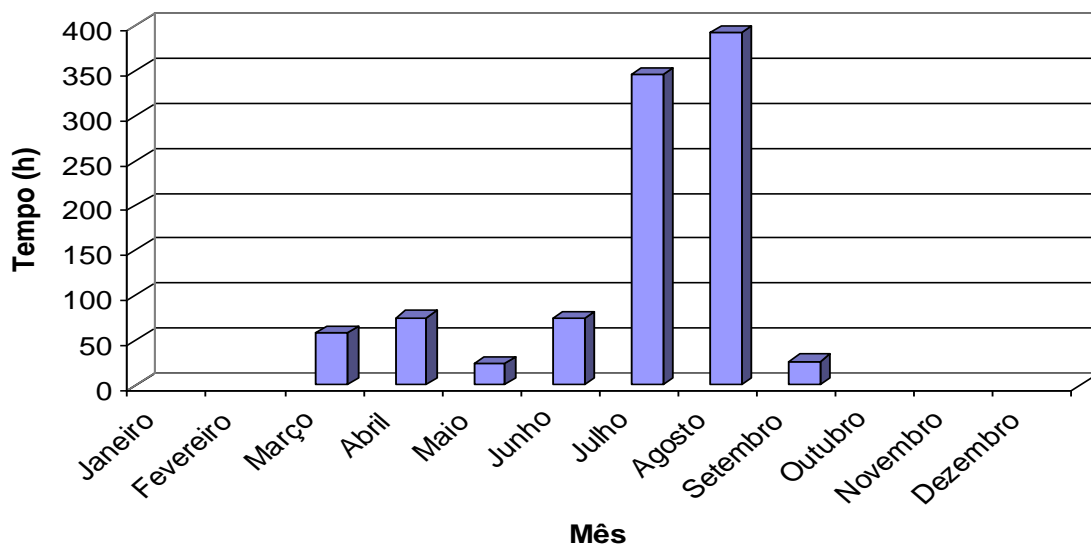


Figura 6 – Tempo de operação mensal da bomba peristáltica SPX10 no ano de 2010

Quanto a disponibilidade mecânica, não foi observada nenhuma ocorrência ao longo do período de operação. A única ressalva foi que a bomba não conseguiu atingir a vazão mínima informada de 4 l/h. Ao operar em vazões menores que 10 l/h o motor da mesma desarmava. O fabricante informou, ao ser questionado sobre este ponto, que podem ser utilizados diferentes reduções em seu redutor para obter menores ou maiores vazões. Esse ponto poderia ser avaliado futuramente na bomba que está instalada no Sossego. A mangueira apresentou boa vida útil e não mostrou nenhum sinal de desgaste ao longo dos 8 meses de operação da bomba. As Figuras 7 e 8 ilustram as condições da mangueira e do óleo após o término do teste, em novembro de 2010.



Figura 7. Detalhe da mangueira da bomba peristáltica após 8 meses de operação



Figura 8. Detalhe do óleo da bomba peristáltica após 8 meses de operação

Quanto ao sifonamento, não foi registrada nenhuma ocorrência durante o teste.

Sobre o último aspecto avaliado, a oscilação da vazão bombeada e a relação entre a rotação e a vazão bombeada, os resultados obtidos foram muito bons. Observou-se ótima repetibilidade para a medida de vazão ao longo do tempo para uma mesma rotação, independentemente do tempo de operação/vida da mangueira. Também foi observada uma ótima correlação entre a vazão medida e a rotação da bomba. O medidor de vazão instalado na linha desta bomba confirmou essas observações. A

figura abaixo ilustra os resultados das medições de campo realizadas para avaliar a repetibilidade da vazão (neste caso, foram realizadas três amostragens ao longo de 30 minutos para uma mesma rotação da bomba) e da correlação entre a vazão e a rotação da bomba (neste caso, realizou-se a medida de vazão para várias rotações em diversos momentos ao longo do teste). Pode-se observar, na Figura 9, a ótima correlação entre as vazões medidas e rotação da bomba, assim como a boa repetibilidade das medidas realizadas para uma mesma rotação.

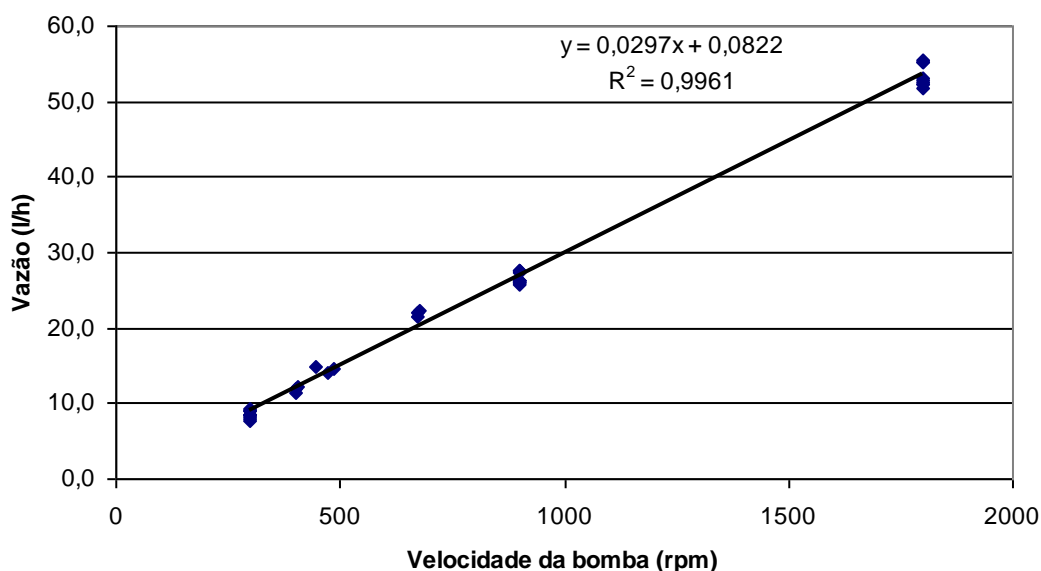


Figura 9. Resultado das medidas de campo da vazão da bomba peristáltica

Frente ao avaliado, a conclusão é que a bomba peristáltica XPS10 atende aos requisitos técnicos e operacionais para utilização como bomba dosadora de reagentes. A fim de avaliar o aspecto econômico da utilização da mesma, foi realizada uma comparação com as outras alternativas atualmente utilizadas no Sossego, além de se incluírem as demais alternativas existentes no mercado. A tabela 1 ilustra esta comparação, em termos de CAPEX, referentes a orçamentos solicitados no mês de maio de 2017, junto aos principais fornecedores do mercado de cada tipo de equipamento.

Tabela 1. Avaliação do CAPEX das diferentes alternativas de bombas de reagentes

Equipamento / Alternativa	Valor unitário (R\$)*	Quantidade	Custo total (R\$)				
			Dosagem com bomba de diafragma	Dosagem com bomba centrífuga	Dosagem com bomba peristáltica	Dosagem com dosador de canecas	Dosagem com bomba helicoidal
Bomba diafragma	4.010,00 – 6.700,00	30**	120.300,00	-	-		
Bomba centrífuga	32.250,00	10***	-	322.500,00	-		
Bomba peristáltica	5.500,00 - 11.186,00	30**	-	-	165.000,00		
Dosador de canecas	34.440,00	30**				1.032.000,00	
Bomba helicoidal	3.429,00	30**					102.870,00
Medidor de vazão coriolis	33.000,00 – 65.000,00	24		792.000,00	-		
Medidor de vazão eletromagnético	6.235,00 - 21.000,00	6		37.410,00	-		
Medidor de pressão	5.550,00	5	-	27.500,00	-		
Válvulas microprocessadas	13.000,00 – 24.000,00	30	-	390.000,00	-		
Sensor de fluxo	1.000,00	30	30.000,00	-	30.000,00	30.000,00	30.000,00
<b>Total</b>			<b>150.300,00</b>	<b>1.569.410,00</b>	<b>195.000,00</b>	<b>1.062.000,00</b>	<b>132.870,00</b>

\* Foi considerado o menor preço na estimativa econômica.

\*\*Considerando 5 tanques de dosagem de reagentes com 6 bombas por linha

\*\*\* Considerando 5 tanques de reagentes com 2 bombas por linha

Pela avaliação da Tabela 1, podemos observar que, por dispensar os medidores de vazão, o custo total das bombas peristálticas, de diafragma e helicoidais é significativamente menor que o custo das bombas centrífugas. Não foi avaliado o custo operacional, tendo em vista que o mesmo é muito baixo em todas as alternativas – destaca-se que não existem diferenças significativas de consumo energético nas três bombas, já que os motores de todas as opções são de baixa potência (menor que 1 cv no caso das bombas de diafragma, peristáltica e dosador de canecas e 3 cv no caso da bomba centrífuga), o que significa uma parcela muito pequena do consumo das usinas.

No caso da bomba peristáltica, o principal item de manutenção é a mangueira e o óleo. Baseado no teste realizado no Sossego, seria necessária a troca a cada 8 meses destes dois itens em cada bomba, o que resultaria em um custo anual de aproximadamente R\$ 500 por bomba.

Tendo em vista os bons resultados obtidos no teste industrial, o sistema com bomba peristáltica foi instalado no projeto Salobo. A Figura 10 ilustra o circuito de bombeamento do Salobo e as Figuras 11 a 13 as curvas de dosagem em relação a rotação das bombas, mostrando a boa correlação observadas para os três tamanhos de bombas existentes.



Figura 10. Sistema de dosagem de reagentes da usina do Salobo

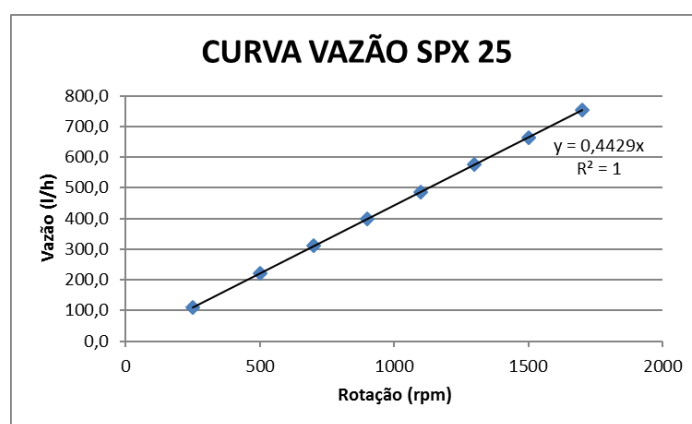


Figura 11. Resultado das medidas de campo da vazão da bomba peristáltica do Salobo SPX 25

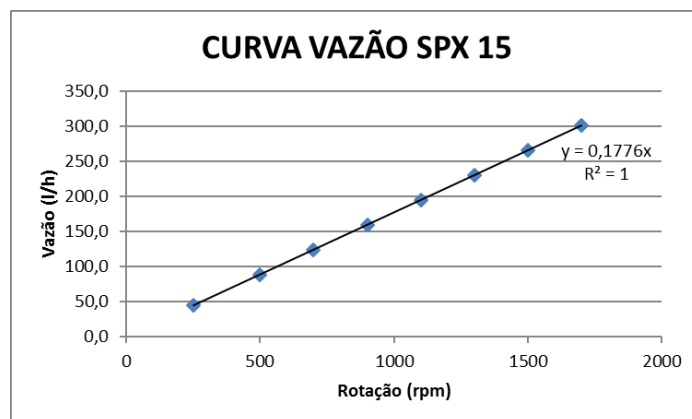


Figura 12. Resultado das medidas de campo da vazão da bomba peristáltica do Salobo SPX 15

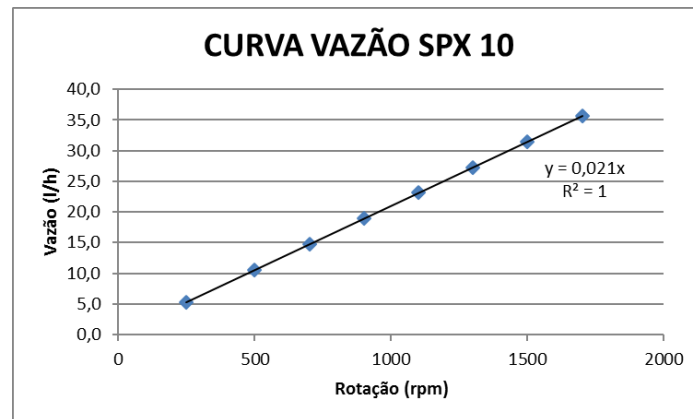


Figura 13. Resultado das medidas de campo da vazão da bomba peristáltica do Salobo SPX 10

#### 4. CONCLUSÕES

O teste realizado na usina do Sossego, com a bomba peristáltica SPX10 da Watson Marlow Bredel, mostrou que a mesma atende as necessidades para dosagem de reagente da flotação desta usina. Não foram observados problemas mecânicos e operacionais, assim como o problema de sifonamento. O controle da vazão de reagentes pela velocidade de rotação da bomba se mostrou efetivo e muito preciso.

O único ponto de atenção é relativo à faixa de operação da bomba. Para vazões baixas, pode ser necessária a utilização de uma bomba de menor porte, o que levaria a necessidade de dois tipos de bombas para cada reagente – uma para altas vazões e outra para baixas vazões.

A avaliação econômica realizada mostrou que, devido ao fato da bomba peristáltica dispensar o uso de medidores de vazão, a sua utilização é muita mais vantajosa em termos do investimento inicial. O custo de operação desta alternativa não difere das demais sendo considerado baixo.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Vale S/A pela autorização para a publicação deste trabalho e a Watson Marlow Bredel pelo apoio para a realização deste estudo.

#### 6. REFERÊNCIAS

Bergerman MG. Modelagem e simulação do circuito de moagem do Sossego [dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009.

Rosa MAN, Bergerman MG, Miranda A, Oliveira JL, Souza M, Batista Filho J, Cardoso W. Controle operacional da usina do Sossego. In: Meeting of the southern hemisphere on mineral technology e Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa. Proceedings do VII Meeting of the southern hemisphere on mineral technology e XXII Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2007. v. III. p. 505-512.