



COLETORES DE BAIXA TOXICIDADE PARA FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO

ALBINO, K.I.P.¹, DEPIERI, J. P.², LIMA, O.A.³

¹Nouryon, Mining Chemicals, e-mail: kelly.albino@nouryon.com

²Nouryon, Mining Chemicals, e-mail: Jessica.pedrassolli@nouryon.com

³Nouryon, Mining Chemicals, e-mail: odair.lima@nouryon.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a apresentação e discussão dos resultados de flotação reversa de minério de ferro alcançados com uma nova tecnologia de coletores usada como alternativa ao uso das conhecidas alquileteraminas. Por se tratar de produtos ainda em fase de pesquisa & desenvolvimento (P&D), tais coletores foram codificados como MDB 1903 e MDB 1904 e constituem uma química completamente distinta das eteraminas. O desenvolvimento dessa nova tecnologia foi norteadado pela crescente demanda de utilização de produtos químicos amigáveis ao meio ambiente e à saúde humana. Quando comparados com as eteraminas tradicionais, os novos coletores apresentam uma ecotoxicidade mais baixa, em alguns casos, como por exemplo, para algas, a ecotoxicidade pode ser até 100 vezes mais baixas. Além disso, são biodegradáveis e não-corrosivos. Em testes de flotação realizados com duas amostras de minério de ferro (itabirito), para ambas as amostras, o coletor MDB 1904 foi positivamente afetado pelo aumento de dosagem, levando à obtenção de resultados similares aos obtidos com eteraminas tradicionais. Por estarem em fase de pesquisa & desenvolvimento ainda precisam passar por processos de otimização, mas lançam luz sobre a utilização de coletores alternativos às eteraminas na flotação de minério de ferro, porém mais amigáveis ao meio ambiente e ao ser humano.

PALAVRAS-CHAVE: Flotação, Minério de ferro, Coletores, Toxicidade.

ABSTRACT

The aim of this work is to present and discuss the results of lab tests on reverse flotation of iron ore achieved with a brand new collector technology. The collectors are still in R&D phase so that they were coded as MDB 1903 and MDB 1904 and represent a new chemistry completely different from the etheramines largely used in iron ore flotation. This development was driven by the increased demand for the utilization of chemicals that are safer for the human health and also environmentally friends. When compared to traditional etheramines the new chemicals present lower toxicity, which can be in some cases up to 100 times less toxic than etheramines. Besides, the new collectors are both readily biodegradable and non-corrosive. Flotation tests done with both iron ore samples (itabirite) showed that a dosage increase of the collector MDB 1904 conducted to results similar to those achieved with etheramines. As previously said, those collectors are still in R&D phase, so it means that the collectors MDB 1903 and MDB 1904 need to go through an optimization process but, most importantly, it shines a light on the utilization of safer and environmentally friends technology as an alternative to the use the traditional etheramines currently used in froth flotation.

KEYWORDS: Flotation, Iron ore, Collectors, Toxicity.

1. INTRODUÇÃO

O processo de concentração de minerais de ferro é feito por meio da técnica conhecida como flotação reversa, ou seja, o mineral de minério se reporta ao material afundado enquanto os minerais de ganga são flotados e, posteriormente, bombeados para uma barragem de contenção de rejeitos. Nesse processo de flotação, alquiletermonoaminas ou alquileterdiaminas ou, em alguns casos, misturas de ambas, são os coletores utilizados na separação dos minerais de ganga e concentração do mineral de minério. Apesar de serem efetivas na concentração de minerais de ferro, alquileteraminas são coletores tóxicos a organismos aquáticos. Esse fato somado ao endurecimento das legislações ambientais e às políticas organizacionais de proteção ao meio ambiente, podem ter impacto direto na aprovação ou rejeição de um coletor à base de eteramina.

Segundo Araujo et al. (2010) alguns trabalhos sobre a degradabilidade de aminas presentes nos rejeitos de flotação de minério de ferro estão sendo publicados mais ainda pouco se sabe sobre o processo de degradação e possível formação de subprodutos. A degradabilidade é um importante mecanismo na remoção natural destas aminas dos efluentes e rejeitos nas plantas de mineração.

Peres et al. (2000) realizaram estudos de toxicidade e biodegradabilidade em amostras de água coletadas em diferentes pontos, tais como: lagoa de rejeito, recirculação de água, tanque de alimentação e efluente final de 6 empresas que utilizam etermonoamina como coletor e concluíram que a utilização deste produto não traz um impacto negativo ao meio ambiente. No entanto, o trabalho não informa qual a dosagem de amina utilizada por cada mineradora no momento da coleta.

O desenvolvimento de novos coletores para flotação reversa de minério de ferro tem como objetivo melhorar a sustentabilidade no que diz respeito às questões ambientais por meio da redução de sua toxicidade, do aumento da taxa de degradação e da manutenção ou aumento de seu desempenho na flotação. Tal desenvolvimento também está alinhado com uma demanda da sociedade que exige que novos produtos mais ambientalmente corretos sejam utilizados, enquanto àqueles com maior capacidade de dano ao meio ambiente sejam banidos.

A Nouryon, antiga divisão de Especialidades Químicas da AkzoNobel, é um parceiro dos clientes no desenvolvimento de uma química essencial para um futuro sustentável por meio da utilização de alta tecnologia e produtos inovadores. Ao longo de seus mais de 50 anos de experiência no desenvolvimento de produtos para concentração mineral, está comprometida com o desenvolvimento e lançamento de produtos que estejam alinhados com a necessidade dos clientes, e este trabalho foca exatamente em ponto muito importante para todos, que é a utilização de produtos de menor toxicidade nas atividades de concentração mineral. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o desempenho de dois novos coletores para flotação reversa de minérios de ferro itabiríticos.

É importante ressaltar que os novos coletores ora apresentados estão ainda em fase de P&D, não são produtos comerciais e ainda estão sendo submetidos a vários processos de otimização, tanto em suas propriedades físico-químicas como em suas eficiências e desempenhos na flotação. Diferentemente da eteraminas tradicionais, os novos coletores não são corrosivos, ou seja, seu manuseio traz mais segurança para o operador.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostra de minério de ferro

Os ensaios de flotação foram realizados com duas amostras de minério de ferro itabirítico proveniente do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. As amostras da alimentação da flotação foram recebidas já secas e depois homogeneizadas por pilha alongada donde se retirou alíquotas de 650g, de cada amostra, para os testes de flotação. As amostras foram codificadas como Amostra 1 e Amostra 2. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química de cada amostra. Figura 1 ilustra a distribuição granulométrica.

Tabela 1. Composição química das amostras de minério de ferro.

Amostra	Composição química, %							
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	CaO	MgO	TiO ₂
Amostra 1	43.9	32.8	1.21	0.039	0.07	<0.10	<0.10	<0.10
Amostra 2	43.2	35.8	0.28	0.013	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

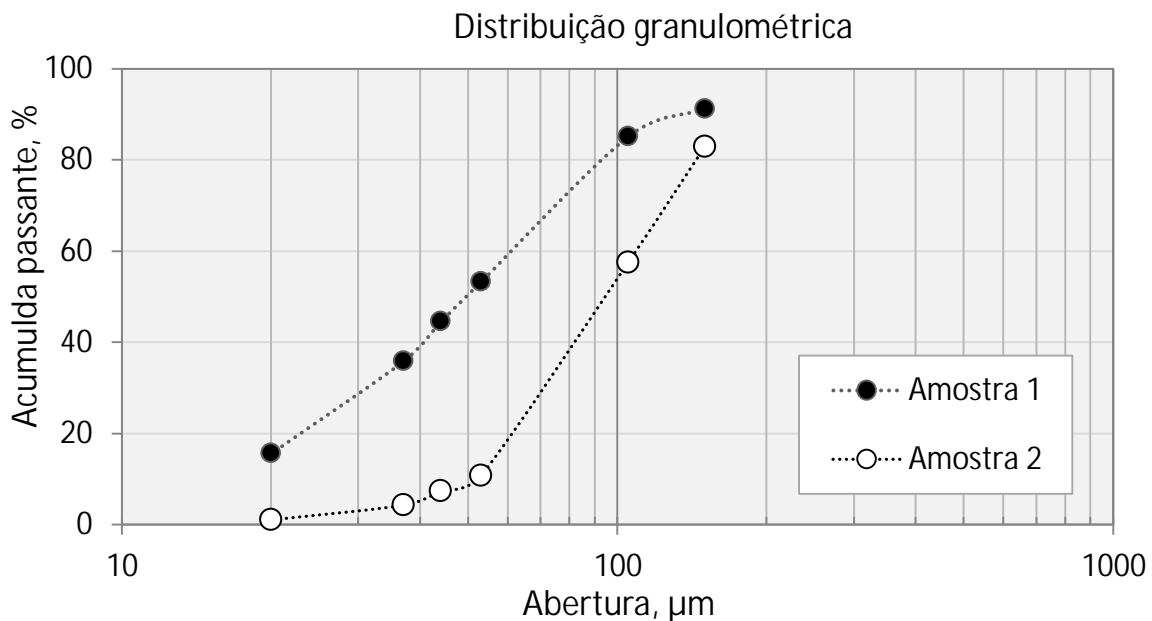


Figura 1. Distribuição granulométrica das amostras de minério de ferro.

2.2. Coletores avaliados

Os seguintes coletores catiônicos foram avaliados neste trabalho: eteramina convencional (etermonoamina) e duas novas propostas de coletores (P&D) de baixa toxicidade e não corrosivos, MDB 1903 e MDB 1904. As principais características físicas destes produtos estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Principais propriedades físicas dos coletores

Parâmetro	Eteramina convencional	MDB 1903	MDB 1904
Aspecto@25°C	líquido	líquido	líquido
pH (solução 1%)	9,47	5,24	5,01
Estabilidade@5°C	estável	estável	estável
Densidade@25°C, kg/m ³	880	1040	1030
Ponto de Fulgor	> 100°C	> 100°C	> 100°C

Em testes de laboratório, é recomendável a preparação de uma solução 1% dos coletores MDB 1903 e MDB 1904. Para tanto, é necessário pesar 1 g do produto, completar com 94 g de água destilada, adicionar 5 g de solução de hidróxido de sódio a 5% e colocar sob agitação magnética por 3 minutos. Valor final do pH deve estar entre 4,5 e 5,5.

2.3. Procedimento de Flotação

Os ensaios de flotação foram executados em célula mecânica conceito Denver, rotor fechado com rotação de 1200 RPM, realizando somente a etapa rougher (flotação até exaustão). A descrição dos procedimentos realizados está na Tabela 3.

Tabela 3. Procedimento de flotação reversa de minério de ferro

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2
% Sólidos no condicionamento	60	60
% Sólidos na flotação	40	40
pH (condicionamento e flotação)	9,8	10,3
Tempo de condicionamento do depressor	5 minutos	5 minutos
Tempo de condicionamento do coletor	1 minuto	1 minuto
Dosagem de depressor	700 g/t	600 g/t
Dosagem de coletor	50 a 70 g/t	77 a 108 g/t

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ecotoxicidade

A ensaios de ecotoxicidade dos coletores foi avaliada com os organismos aquáticos peixe-zebra, alga e daphnias. Os resultados foram normalizados e padronizados segundo as diretrizes da OCDE. A Tabela 4 sumariza os resultados alcançadores para cada produto. A ecotoxicidade está expressa em Concentração de Efeito, CE50, e Concentração Letal, CL50. Tais concentrações representam a concentração da produto químico responsável pelo efeito em 50% dos organismos testados.

Tabela 4. Ecotoxicidade dos coletores a diferentes organismos aquáticos.

Parâmetros	Mono éteramina	MDB 1903	MDB 1904
Toxicidade para peixes (peixe-zebra), exposição de 96 horas. Método: Diretriz do teste 203 da OECD.	CL ₅₀ : > 0,1 – 1 mg/l	CL ₅₀ : > 1 – 10 mg/l	CL ₅₀ : > 1 – 10 mg/l
Toxicidade para algas (pseudokirchneriella subcapitata – alga verde), exposição de 72 horas. Método: Diretriz do teste 201 da OECD.	CE ₅₀ : > 0,001 – 0,01 mg/l	CE ₅₀ : 0,1 – 1 mg/l	CE ₅₀ : 0,1 – 1 mg/l
Toxicidade em daphnias e outros invertebrados aquáticos (daphnia magna), exposição de 48 horas. Método: Diretriz do teste 202 da OECD.	CE ₅₀ : >0,1 – 1 mg/l	CE ₅₀ : 1 – 10 mg/l	CE ₅₀ : 1 – 10 mg/l
Biodegradabilidade. Método: Diretriz do teste 301D da OECD.	Rapidamente biodegradável	Rapidamente biodegradável	Rapidamente biodegradável

CL₅₀: Concentração letal média capaz de causar mortalidade de 50% dos organismos.

CE₅₀: Concentração efetiva média que causa perda de mobilidade em 50% dos organismos.

Como pode ser observado na Tabela 4, a eteramina apresenta valores de ecotoxicidade para os organismos peixe-zebra e daphnias 10 vezes superior aos novos coletores MDB 1903 e MDB 1904; para algas a eteramina é 100 vezes mais tóxica que a nova proposta de produto.

3.2 Resultados de Flotação

O desempenho dos coletores desenvolvidos foi avaliado na flotação reversa de minério de ferro utilizando a Amostra 1 e a Amostra 2, em duas dosagens distintas. Os resultados obtidos estão ilustrados nas Figuras 2 e 3.

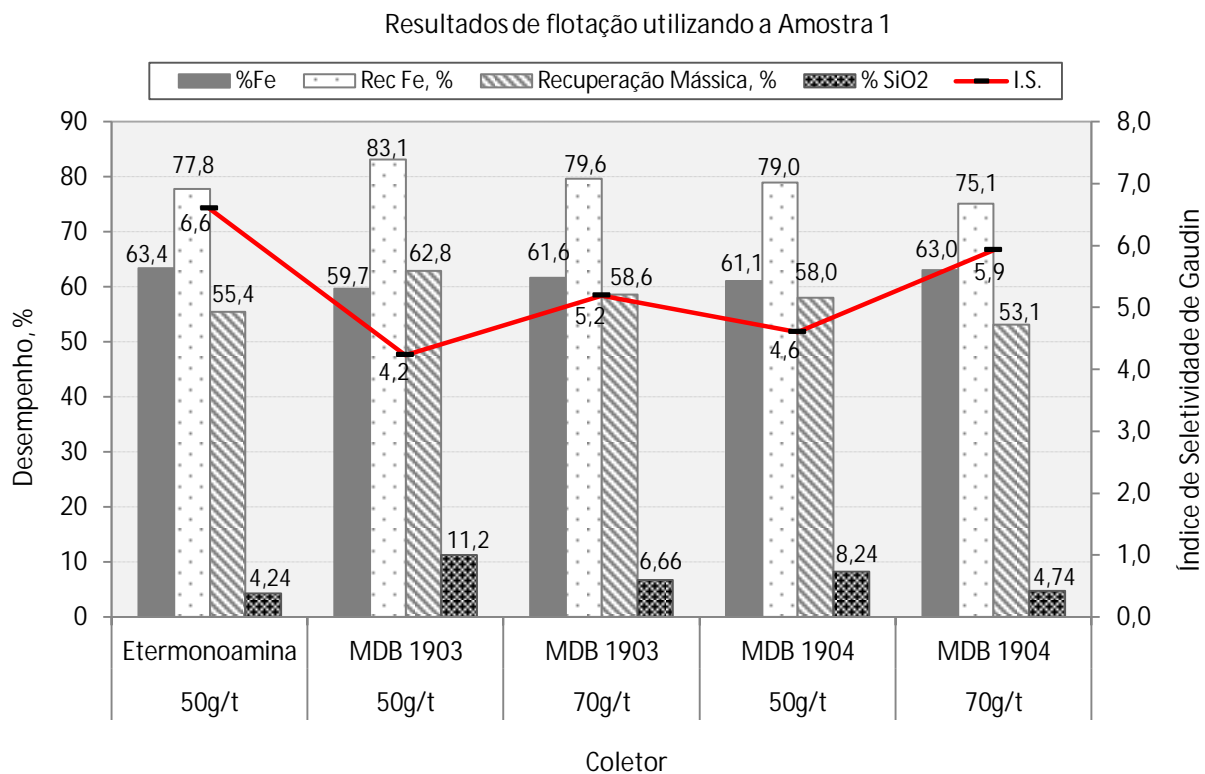


Figura 2. Desempenho dos coletores utilizando a Amostra 1.

Neste ponto é importante salientar que as amostras MDB 1903 e MDB 1904 ainda estão em fase de desenvolvimento e portanto não são amostras comerciais. Com relação aos resultados, nota-se na Figura 2 que o coletor MDB 1904 na dosagem de 70g/t apresentou resultados promissores, com um índice de seletividade de Gaudin semelhante ao apresentado pela eteramina (5,9 x 6,6). Os demais parâmetros de avaliação de desempenho metalúrgico, tais como teor e recuperação de Fe, e teor e recuperação de sílica no material concentrado mantiveram-se em patamares próximos aos alcançados com a eteramina. Por exemplo, o teor de Fe obtido com o uso da eteramina foi praticamente igual ao obtido com a nova proposta de coletor, MDB 1904 (63,4%Fe x 63% Fe), ao passo que as recuperações de Fe foram 77,8% (eteramina) e 75,1% com o MDB 1904. Para a Amostra 1, o aumento da dosagem do MDB 1903 promoveu uma melhora nos resultados, mas ainda aquém aos apresentados pela eteramina.

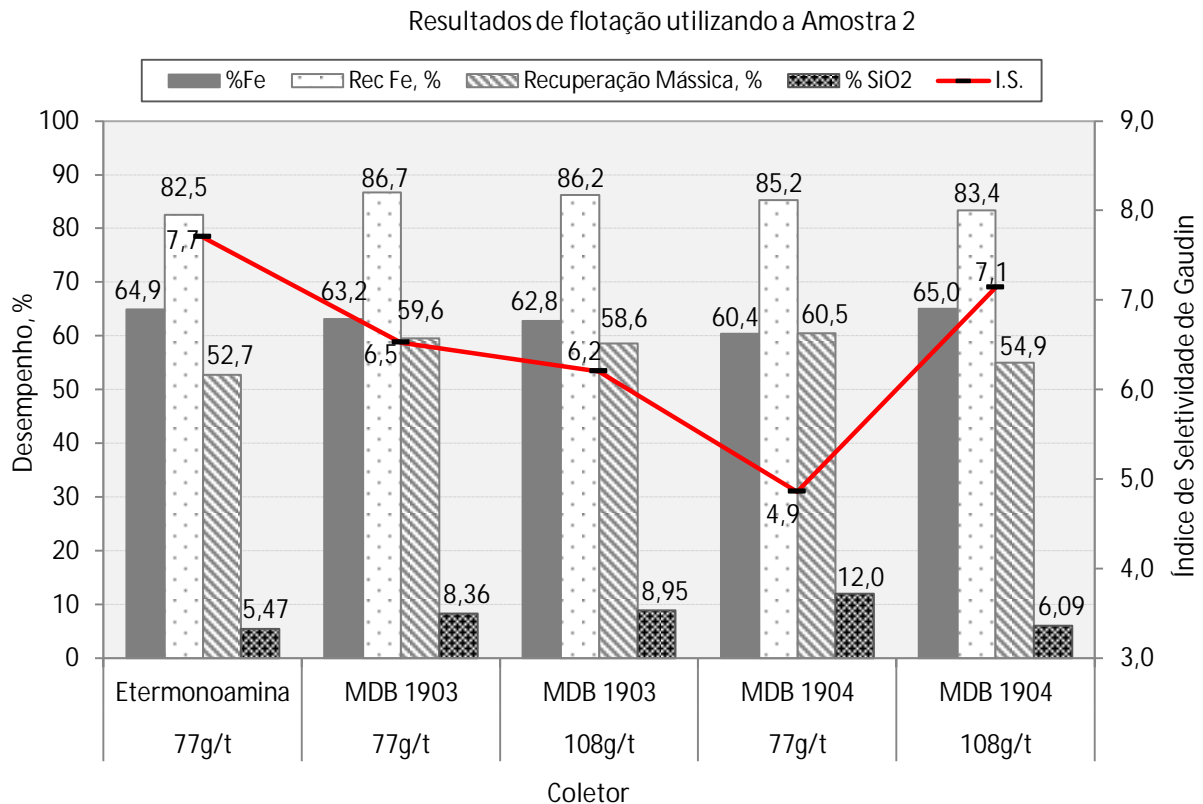


Figura 3. Desempenho dos coletores utilizando a Amostra 2.

Na Figura 3, pode ser observado que o aumento de dosagem tem um efeito positivo no desempenho do MDB 1904. Em comparação com a eteramina, um aumento de 40% na dosagem do MDB 1904 melhorou consideravelmente a resposta da flotação. Na dosagem de 108g/t foram obtidos resultados praticamente iguais aos obtidos com a eteramina na dosagem de 77g/t, sugerindo inclusive um leve aumento de recuperação mássica, teor de Fe e recuperação metalúrgica de Fe. O coletor MDB 1903 não apresentou resultados metalúrgicos satisfatórios neste estágio de desenvolvimento, mesmo em dosagens mais elevadas.

4. CONCLUSÕES

Devido à necessidade de utilização de produtos químicos ambientalmente corretos, o time de Mineração de Nouryon, antiga divisão química da AkzoNobel, vem trabalhando no desenvolvimento de novos coletores biodegradáveis e de baixa toxicidade para flotação reversa de minério de ferro. Seguindo essa linha, os coletores MDB 1903 e MDB 1904, apresentados neste trabalho e ainda em fase de P&D, foram testados com duas amostras de minério de ferro de baixo teor ($\%Fe \pm 43\%$), proveniente do triângulo mineiro.

Dentre as principais características dos novos coletores MDB 1904 e MDB 1903, pode-se destacar:

- i. Toxicidade pelo menos 10 vezes menor que eteraminas. Para alguns organismos aquáticos, como algas, a toxicidade apresentada pela nova tecnologia pode ser até 100 vezes mais baixa que a de eteraminas ;
- ii. Biodegradáveis;
- iii. Não-corrosivos, o que torna seu manuseio mais seguro;
- iv. É possível obter resultados metalúrgicos semelhante aos apresentados por eteraminas mediante aumento de dosagem;
- v. Os novos coletores MDB 1903 e MDB 1904 ainda estão em fase de desenvolvimento e deverão ser otimizados para melhorar aspectos físicos e também sua eficiência e resultados metalúrgicos;
- vi. Podem ser uma alternativa menos tóxica e viável ao uso de eteraminas na flotação reversa de minério de ferro.

5. REFERÊNCIAS

ARAUJO, DM, YOSHIDA, MI, TAKAHASHI, JA, CARVALHO, CF, STAPELFELDT, F. Biodegradation studies on fatty amines used for reverse flotation of iron ore. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2010; 64; 151-155.

IVANKOVIĆ, A, DRONJIĆ, A, MARTINOVIĆ, B, TALIĆ, S. Review of 12 principles of green chemistry in practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy* 2017; 6 (3); 39-48.

PERES, AEC, AGARWAL, N, BARTALINI, N, BEDA, D. Environmental impact of an etheramine utilized as flotation collector. In: 7th International Mine Water Association Congress; 2000; Ustron, Poland. p 464-471.

CHAVES, LC. Estudo de resíduos sólidos gerados na flotação de minério de ferro: Quantificação e decomposição de aminas no meio ambiente. [Tese de Mestrado]. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto; 2001.