

# APLICAÇÃO DE EXTENSOR DE CADEIA E EMULSIFICANTE NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

*José Pedro da Silva  
Alaine Moreira Imbelloni  
Carlos Alberto Pereira*

## **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da flotação reversa de minério de ferro, variando-se coletor (amina), extensor de cadeia (óleo diesel) e emulsificante (lauril sulfato de sódio), além das suas dosagens. Foram realizados seis ensaios de flotação com duplicata. Os ensaios utilizando amina, óleo diesel e lauril sulfato de sódio foram os que mostraram um melhor resultando, apresentando recuperação metálica de 91,82% e sílica no concentrado igual a 1,68%. Assim, comprovou-se que o uso do extensor de cadeia e emulsificante, em conjunto com a amina, mostrou um melhor resultado na flotação, em termos de recuperação metálica e seletividade, comparativamente ao uso de apenas amina, ou amina com óleo diesel.

**Palavras-chave:** Flotação; Amina; Emulsificante.

## **CHAIN EXTENDER AND EMULSIFIER APPLICATION IN IRON ORE FLOTATION**

### **Abstract**

The present study aimed to evaluate the performance of the reverse flotation of iron ore, varying collector (amine), chain extender (diesel oil) and emulsifier (sodium lauryl sulfate). Six tests were realized with duplicated. Tests using amine, diesel oil and sodium lauryl sulphate showed the better result, with metallurgical recovery of 91.82% and the concentrate silica equal 1.68%. Thus, it was found that the use of emulsifier and chain extender together with the amine, showed better results in the flotation, in terms of metal recovery and selectivity, when compared to using only amine or amine and diesel oil.

**Key words:** Flotation; Amine; Emulsifier.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Eng. Metalúrgico, Engenheiro de processo, Samarco, Ouro Preto, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro de Minas, Prof. Depto. de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A técnica de flotação reversa é a mais utilizada entre os processos de concentração de minério de ferro. A amina é utilizada como agente coletor do quartzo, e o amido como depressor dos minerais de ferro.

Baltar<sup>(1)</sup> define as aminas como coletores catiônicos derivados do amônio (NH<sub>3</sub>), pela substituição de um ou mais de seus átomos de hidrogênio por um número correspondente de cadeias hidrocarbônicas.

De acordo com Neder e Leal Filho,<sup>(2)</sup> as aminas e seus derivados adsorvem não especificamente (adsorção eletrostática) nas superfícies dos oximinerais. Formam-se íons associados na interface mineral/solução, chamados de hemi-micelas, ocorrendo interações entre as cadeias hidrocarbônicas dos coletores por forças laterais de Van der Waals. As hemi-micelas apresentam sua parte polar (hidrofílica) voltada para o mineral e sua parte apolar (hidrofóbica) direcionada para o interior da solução.

Os coletores com cadeias longas podem proporcionar maiores recuperações, apesar de apresentarem uma menor solubilidade. O óleo diesel é composto principalmente por hidrocarbonetos e pode ser utilizado como extensor de cadeia da amina. No entanto, a preparação da emulsão pode interferir no resultado da flotação, tanto na recuperação como na seletividade.

O efeito de óleos apolares na flotação depende da sua composição química e das condições de sua preparação antes da flotação. De acordo com Pereira,<sup>(3)</sup> o uso de óleos apolares como reagentes de flotação apresentam as seguintes vantagens:

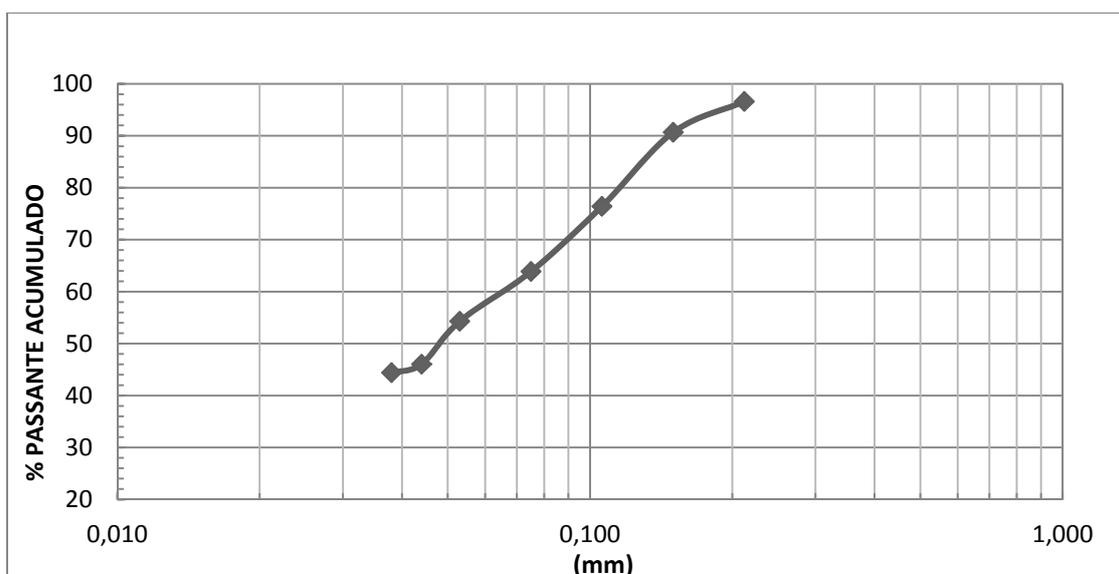
- redução da dosagem de coletor requerida;
- aumento da taxa de hidrofobicidade do mineral a ser flotado, devido à melhor adesão bolha-partícula;
- melhor seletividade do processo; e
- maior probabilidade de flotação de partículas grossas, sem contaminação do flotado.

Estudos de Capponi, Matiolo e Rubio<sup>(4)</sup> mostraram que o uso de óleos emulsificados, incluindo o óleo diesel, na flotação de sulfetos de cobre, após a adição dos coletores tradicionais, aumenta a recuperação metálica de Cu e Mo, e a constante cinética de flotação. Os resultados são devidos ao aumento da hidrofobicidade e agregação das partículas finas e ultra-finas por forças de efeito hidrofóbico.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho da flotação reversa de minério de ferro, utilizando emulsão de amina e óleo diesel, com o emulsificante lauril sulfato de sódio (C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>NaO<sub>4</sub>S), variando-se as dosagens e as combinações de cada reagente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A amostra utilizada nos ensaios foi coleta na alimentação da flotação industrial já moída e deslamada, com granulometria 90% abaixo de 0,149 mm (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição granulométrica da alimentação dos ensaios de flotação.

A mineralogia da amostra de minério de ferro foi analisada demonstrando elevada porcentagem de hematita especular e quartzo liberado. A Tabela 1 apresenta o resultado da mineralogia analisada a partir da porcentagem por área e a Tabela 2 apresenta o resultado da mineralogia analisada a partir da porcentagem em peso. A alimentação dos ensaios estava com teor médio de ferro de 46,8% e de sílica igual a 30,98%.

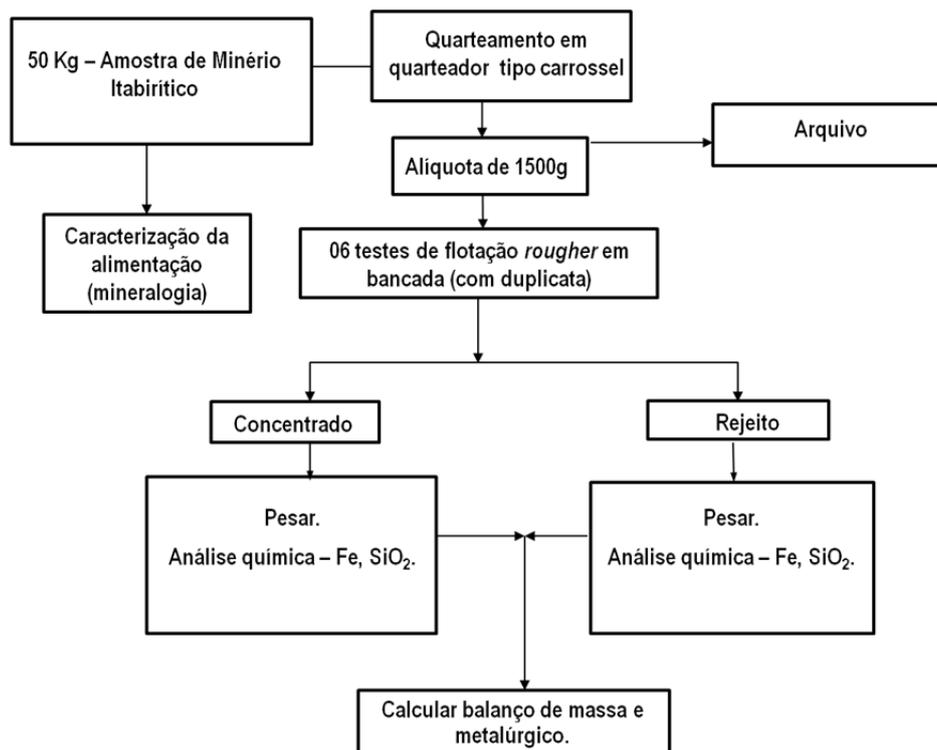
**Tabela 1.** Mineralogia analisada a partir da porcentagem da área analisada

Hematita Especular	35,7%	Magnetita	3,3%
Hematita Porosa	15,3%	Quartzo	36,6%
Goethita Botrioidal	5,3%	Quartzo Misto	0,9%
Goethita Maciça	2,9%		
Total de minerais contados = 502.			

**Tabela 2.** Mineralogia analisada a partir da porcentagem em pesos

Hematita Especular	44,7%	Magnetita	4,0%
Hematita Porosa	19,1%	Quartzo	23,1%
Goethita Botrioidal	5,5%	Quartzo Misto	0,5%
Goethita Maciça	3,1%		
Total de minerais contados = 502.			

Foi realizada a homogeneização e quarteamento da amostra global, separando as alíquotas para os ensaios de flotação e para a caracterização da alimentação. Em seguida, prepararam-se os reagentes, de acordo com o estabelecido pela campanha de ensaios preliminares. A Figura 2 mostra o fluxograma das etapas dos ensaios e das análises realizadas.



**Figura 2.** Fluxograma das etapas dos ensaios de flotação de minério de ferro, mostrando as análises realizadas em cada etapa.

Seis ensaios de flotação em bancada com duplicata foram realizados em duas sequências de três ensaios cada, variando-se coletor, extensor de cadeia e emulsificante. A dosagem do depressor (amido) e os demais parâmetros dos ensaios (pH, rotação do rotor da célula e vazão de ar) foram mantidos constantes.

## 2.1 Metodologia

Para avaliação do impacto do uso do óleo diesel como extensor de cadeia da amina e o emprego do lauril sulfato de sódio como emulsificante, foi organizada uma campanha de ensaios dividida em duas sequências.

A primeira sequência foi estabelecida, visando avaliar a substituição de 14% da amina por óleo diesel e, finalmente, avaliar a adição de emulsificante lauril sulfato de sódio na proporção 10:1 da mistura amina+óleo: lauril. Portanto, foram realizados três ensaios com as condições mostradas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dosagens dos reagentes de acordo com a primeira sequência de ensaios de flotação

Ensaio	Amina (g/t)	Óleo diesel (g/t)	Lauril sulfato de sódio (g/t)
1	40,0	0,0	0,0
2	34,4	5,6	0,0
3	34,4	5,6	4,0

A segunda sequência foi estabelecida visando avaliar a adição de 14% de óleo à amina e, finalmente, avaliar a adição de emulsificante lauril sulfato de sódio na proporção 11:1 da mistura amina + óleo : lauril. Assim, os três ensaios foram realizados com as dosagens de reagentes mostradas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Dosagens dos reagentes de acordo com a segunda sequência de ensaios de flotação

Ensaio	Amina (g/t)	Óleo diesel (g/t)	Lauril sulfato de sódio (g/t)
4	40,0	0,0	0,0
5	40,0	5,6	0,0
6	40,0	5,6	4,0

As dosagens de amina foram definidas levando em conta a prática industrial da flotação reversa do minério de ferro em estudo. As dosagens dos reagentes óleo diesel e lauril sulfato de sódio foram pré-definidas experimentalmente.

## 2.2 Preparação dos Reagentes

A quantidade de lauril sulfato de sódio utilizada nas emulsões foi experimentalmente definida. O critério adotado foi a quantidade suficiente para não permitir que as fases amina e óleo diesel não se separassem até 60 minutos passados a partir da preparação da emulsão. Todas as emulsões apresentavam a mesma concentração de amina (1%).

As seguintes emulsões foram preparadas:

- emulsão de amina: pesava-se a amina (10 g) em um béquer, que era colocado em agitação (agitador magnético), e acrescentava-se 500 ml de água;
- emulsão de amina e óleo: pesavam-se no mesmo béquer a amina (10 g) e o óleo diesel. O béquer era colocado em agitação (agitador magnético) e acrescentava-se 500 ml de água; e
- emulsão de amina, óleo e emulsificante: pesavam-se no mesmo béquer a amina (10 g) e o óleo. Colocava-se o béquer em agitação (agitador magnético) e acrescentava-se 500 ml de água. Pesava-se o emulsificante em um vidro de relógio, que posteriormente era adicionado aos poucos no béquer, com amina, óleo diesel e água em agitação.

Após 5 minutos de agitação, as emulsões eram transferidas para um balão de vidro de 1.000 ml, completando-se o volume com água deionizada.

## 2.3 Ensaios de Flotação em Bancada

Para os ensaios de flotação em bancada, foi utilizada a célula mecânica modelo CDC, com extrator de espuma e célula de acrílico. Em todos os ensaios a rotação da célula permaneceu em 1.100 RPM e a vazão de ar na flotação em 5 L/min.

Os ensaios de flotação seguiram o padrão rougher, de acordo com os seguintes procedimentos:

- amostra de 1.500 g e 40% de sólidos em cuba de acrílico e agitação da polpa;
- adição do depressor (amido de mandioca) com condicionamento por 5 minutos, na dosagem de 450 g/t;
- correção do pH com NaOH para o valor de 10,5;
- adição de coletor ou emulsão e condicionamento por 1 minuto;
- flotação por 5 minutos; e
- filtragem e secagem em estufa, e pesagem dos produtos: concentrado e rejeito.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os ensaios de flotação em bancada, os parâmetros considerados mais importantes foram: recuperação em massa, recuperação metálica, teor de sílica, índice de seletividade de Gaudin e eficiência de separação.

Os resultados da recuperação em massa obtidos nas duas sequências de ensaios (substituindo 14% da amina por óleo diesel e adicionando 14% de óleo à amina) estão mostrados na Figura 3.

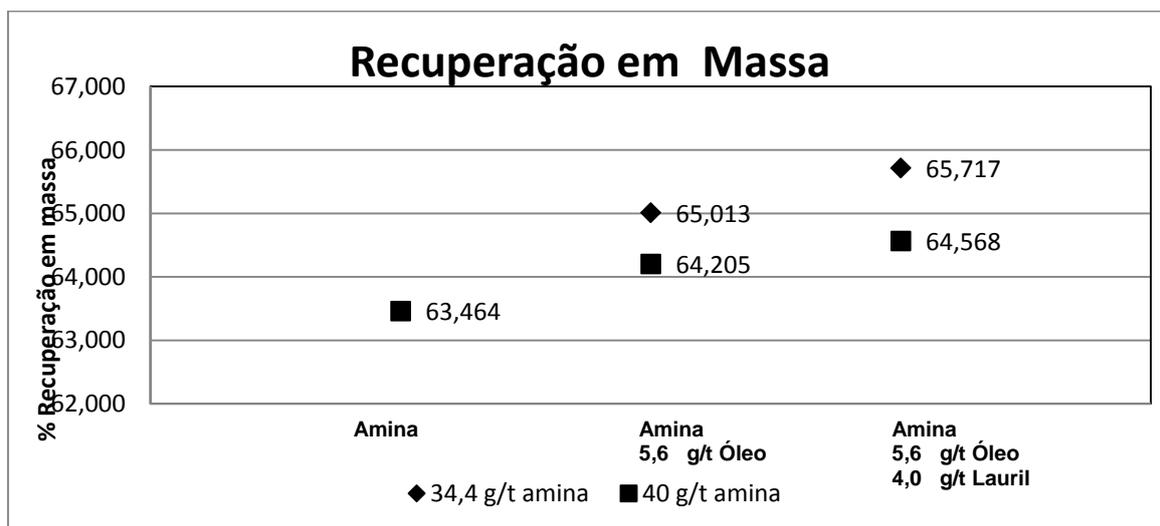


Figura 3. Gráfico mostrando recuperação em massa nas duas sequências de ensaios.

Em ambas as sequências houve aumento na recuperação em massa e os melhores resultados foram obtidos nos ensaios empregando o emulsificante. Destaca-se o ensaio realizado substituindo 14% da amina por óleo diesel e lauril sulfato de sódio no qual se obteve o melhor resultado de recuperação em massa.

Os resultados de recuperação metálica obtidos nas duas sequências de ensaios estão mostrados na Figura 4. Os melhores resultados de recuperação metálica também foram obtidos nos ensaios empregando a dosagem de óleo diesel e emulsificante, sendo o maior valor obtido no ensaio substituindo 14% da amina por óleo diesel.

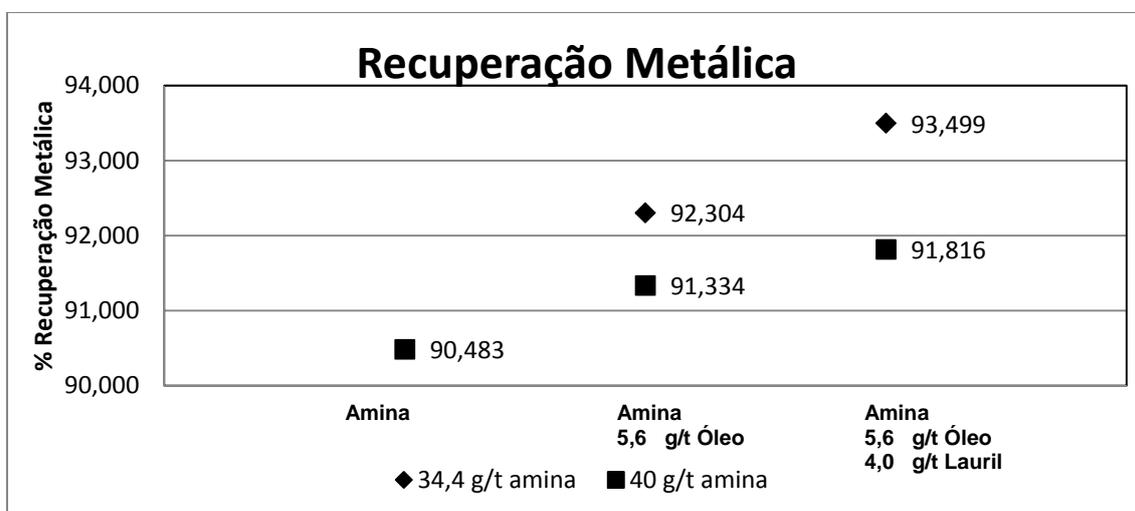


Figura 4. Gráfico mostrando a recuperação metálica no concentrado obtido em cada ensaio, nas diferentes dosagens de amina.

A Figura 5 mostra os resultados de sílica no concentrado. Observa-se uma tendência da elevação deste contaminante quando é feita a substituição da amina por óleo diesel. No entanto, obteve-se uma estabilidade do teor de sílica no concentrado acompanhada do aumento da recuperação, em peso e metálica, no ensaio realizado mantendo a dosagem da amina e adicionando o óleo diesel e o emulsificante lauril.

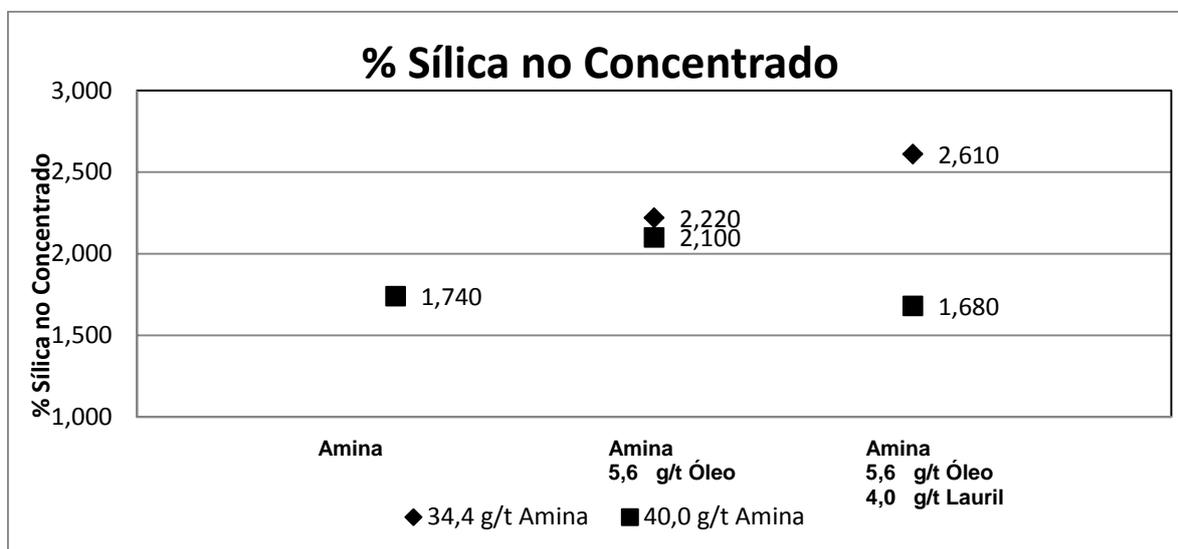


Figura 5. Gráfico do teor de sílica no concentrado.

O índice de seletividade de Gaudin foi calculado a partir dos resultados obtidos nos ensaios (Figura 6). Observa-se uma tendência de estabilidade entre os ensaios realizados somente com amina e nos ensaios em que 14% da amina foi substituída por óleo, mesmo com a adição do emulsificante lauril. O índice de seletividade do ensaio realizado mantendo a dosagem da amina e adicionando o óleo e lauril foi o maior.

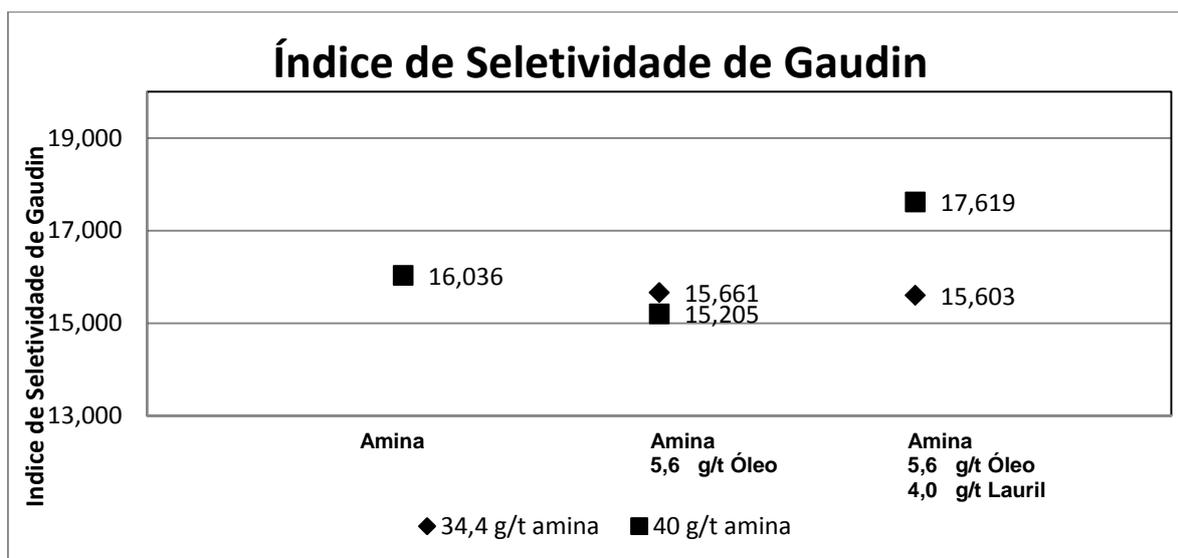


Figura 6. Gráfico mostrando o índice de seletividade de Gaudin.

Os resultados da eficiência de separação dos ensaios estão mostrados na Figura 7. Em ambas as sequências de ensaios, os melhores resultados foram obtidos empregando amina, óleo diesel e lauril sulfato de sódio.

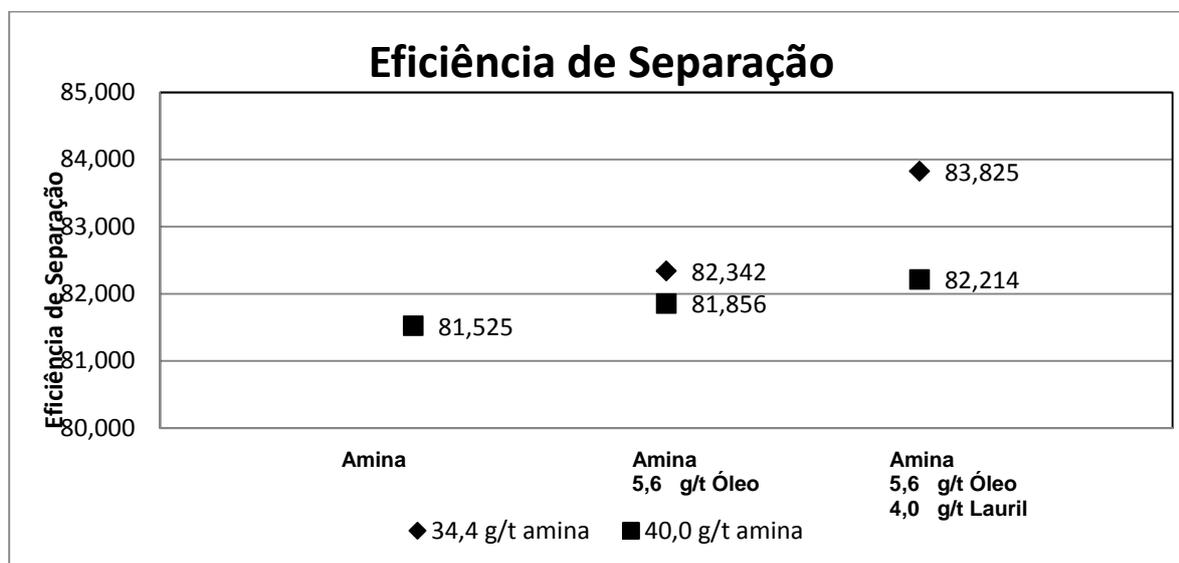


Figura 7. Gráfico mostrando a eficiência de separação.

Assim, em todos os parâmetros avaliados, os ensaios realizados empregando a amina, óleo diesel e emulsificante lauril sulfato de sódio apresentaram melhores resultados, com exceção do teor de sílica no concentrado que mostrou tendência de elevação à medida que a amina foi substituída por óleo diesel. No entanto, no ensaio com 14% da amina substituída por óleo diesel e emulsificante houve significativo aumento da recuperação em massa e metálica.

A combinação amina, óleo diesel e lauril foi eficiente para melhoria do desempenho metalúrgico da flotação do minério itabirítico em estudo. De acordo com os estudos de Pereira,<sup>(3)</sup> para possibilitar a utilização do óleo diesel na flotação reversa de minério de ferro é necessária emulsificação prévia do mesmo com água e amina, utilizando-se um reagente emulsificante. Isso pode justificar o melhor resultado da flotação.

Para Capponi, Matiolo e Rubio,<sup>(4)</sup> existem diferenças entre a flotação realizada com óleos não emulsificados e os coletores tradicionais adicionados no mesmo instante (convencional), e a realizada com a adição de óleo emulsificado após a adição dos coletores. A dispersão do óleo diesel em água é função do ponto e forma de adição e da agitação. A alimentação na forma de emulsão apresenta vantagens porque a difusão das "gotas" do óleo até a superfície das partículas é mais rápida e uniforme. Para uma aplicação industrial deve-se levar em consideração a especificação de sílica no concentrado. É necessário adotar a melhor proporção entre a amina e o óleo diesel que permita um aumento na recuperação metálica, mantendo o teor de sílica dentro dos limites aceitáveis para o minério.

#### 4 CONCLUSÃO

Os ensaios realizados demonstraram melhora no desempenho metalúrgico da flotação refletido no aumento da recuperação em massa, recuperação metálica, seletividade (representada pelo índice de seletividade de Gaudin) e eficiência de

separação da flotação reversa do minério itabirítico estudado quando se utilizou a emulsão de amina, óleo diesel e emulsificante lauril sulfato de sódio.

A proporção entre amina e óleo diesel deve ser a que favoreça o desempenho metalúrgico da flotação dentro do limite de especificação de sílica no concentrado. Uma aplicação industrial pode ser estabelecida fixando uma dosagem do óleo diesel e do emulsificante lauril sulfato de sódio e variando a dosagem de amina de acordo com o teor de sílica no concentrado.

Uma redução dos custos operacionais pode ser tanto maior quanto maior for a proporção de óleo diesel empregado em substituição à amina, uma vez que aquele custa em média 5 vezes menos o custo desta, o que poderia justificar o uso de mais um reagente no processo de concentração.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Samarco Mineração S/A; a UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto; ao laboratório PCM – Processamento e Caracterização Mineral.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Baltar, C. A. M. Flotação no tratamento de Minérios. Departamento de Engenharia de minas/ UFPE, 211 p. Recife. 2008.
- 2 Neder, E. E., Leal Filho, L. S. O uso de aminas graxas e seus derivados na flotação de minérios brasileiros. XXI ENTMME, Natal-RN, novembro, 2005. P. 53-75.
- 3 Pereira, R. S. N., O uso de óleos apolares na flotação catiônica reversa de um minério de ferro. Dissertação de Mestrado. UFMG: 2004. 256 p.
- 4 Capponi, F., Matiolo E., Rubio, J. Flotação Extensora de Finos de Minérios de Cobre e Molibdênio. XXI ENTMME, Porto Alegre, novembro 2005.