

MUDANÇA DO CIRCUITO DA FLOTAÇÃO CONVENCIONAL DO SEGUNDO CONCENTRADOR DA SAMARCO¹

*Paulo Sérgio de Oliveira*²
*Alexandre Camilo Leles Figueiredo*³
*Valdiney Chaves*⁴
*Guilherme Araújo de Souza Franco*⁵
*Jackson Teixeira de Oliveira*⁵
*Dieuvane Lima Moraes*⁶
*Simone de Moraes*⁷
*Jeancarlo Teixeira Martins*⁸

Resumo

Motivados pelo baixo desempenho do sistema de bombeamento de espuma e da flotação convencional, uma equipe multidisciplinar, composta por Engenheiros de Processo, Automação e Beneficiamento, decidiu estudar um novo circuito para a flotação convencional, tendo como premissa a redução ou eliminação do bombeamento de espuma, buscando um circuito robusto em termos de recuperação e qualidade, capaz de reduzir o consumo de amina e que não dependesse de grandes investimentos para ser concretizado. A proposta constitui, basicamente, em transformar uma etapa de flotação scavenger em recleaner, e alimentar as demais etapas *scavengers* por gravidade. As modificações foram realizadas e após reinício de operação as recuperações em massa e metalúrgica aumentaram de 52,9% para 60,6% e de 76,7% para 86,7%, respectivamente, e os teores de ferro no rejeito decresceram de 18,4% para 12,4%.

Palavras-chave: Recuperação mássica; Recuperação metalúrgica; Ferro no rejeito.

CHANGE OF THE CONVENTIONAL FLOTATION CIRCUIT IN THE SECOND CONCENTRATOR OF SAMARCO

Abstract

Motivated by the low performance of the froth pumping system and conventional flotation circuit and by the lack of solution to these problems, a multidisciplinary team composed by Process Engineers, Automation and Beneficiation professionals decided to study a new conventional flotation circuit. The premises were to reduce or eliminate the froth pumping, to seek a robust circuit in terms of recovery and quality, capable of reducing the consumption of amine and not dependent on large financial investments. The proposal is basically, to transform one scavenger stage in recleaner and feed the other scavengers by gravity. The changes were made and after the start up the mass and iron recovery increased from 52,9% to 60,6% and from 76,7% to 86,7%, respectively. The iron content in the tailings reduced from 18,4% to 12,4%.

Key words: Mass recovery; Iron recovery; Iron in the tailings.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Engenheiro de Minas, MSc., Engenheiro de Processo Sr.*

³ *Engenheiro de Minas, Engenheiro de Processo Jr*

⁴ *Administrador de Empresas, Analista de Processo*

⁵ *Engenheiro de Minas, Engenheiro Trainee*

⁶ *Técnico Metalurgista, Técnico de Laboratório Físico,*

⁷ *Engenheira Eletricista, Engenheira de Automação*

⁸ *Técnico em Eletrônica, Técnico de Automação*

1 INTRODUÇÃO

O Segundo Concentrador entrou em operação em junho de 2008, e desde então, as recuperações em massa e metalúrgica têm permanecido abaixo da meta prevista em projeto devido, principalmente, à ineficiência das etapas scavengers do circuito de flotação em células mecânicas e do sistema de bombeamento de espuma dos médios.

A moagem primária, deslamagem, moagem secundária e as colunas de flotação têm apresentado um desempenho muito satisfatório. As colunas têm demonstrado capacidade de reduzir o teor de SiO_2 no concentrado de 7,0% para próximo de 1,2%, sendo este um fator que demonstra a possibilidade de se obter baixos teores de ferro no rejeito nas células convencionais. No Concentrador I, para obter especificação de concentrado baixa sílica, o teor de SiO_2 nas células convencionais não pode ultrapassar 3,5%. No Concentrador II, tendo-se liberdade de trabalhar com teores de SiO_2 tão altos no concentrado convencional, espera-se menores teores de ferro no rejeito desta etapa e um menor consumo de amina.

Em resumo, no Concentrador II, o circuito de remoagem e flotação em colunas apresentam um desempenho muito acima do esperado e o circuito de flotação convencional muito abaixo do esperado.

O alto teor de ferro no rejeito impacta negativamente as recuperações em massa (Rm) e metalúrgica (RM) globais da flotação conforme mostra a Figura 1. Esse impacto é mais acentuado com a queda do teor de ferro na alimentação. Foi considerado teor de ferro no concentrado de 67,0%.

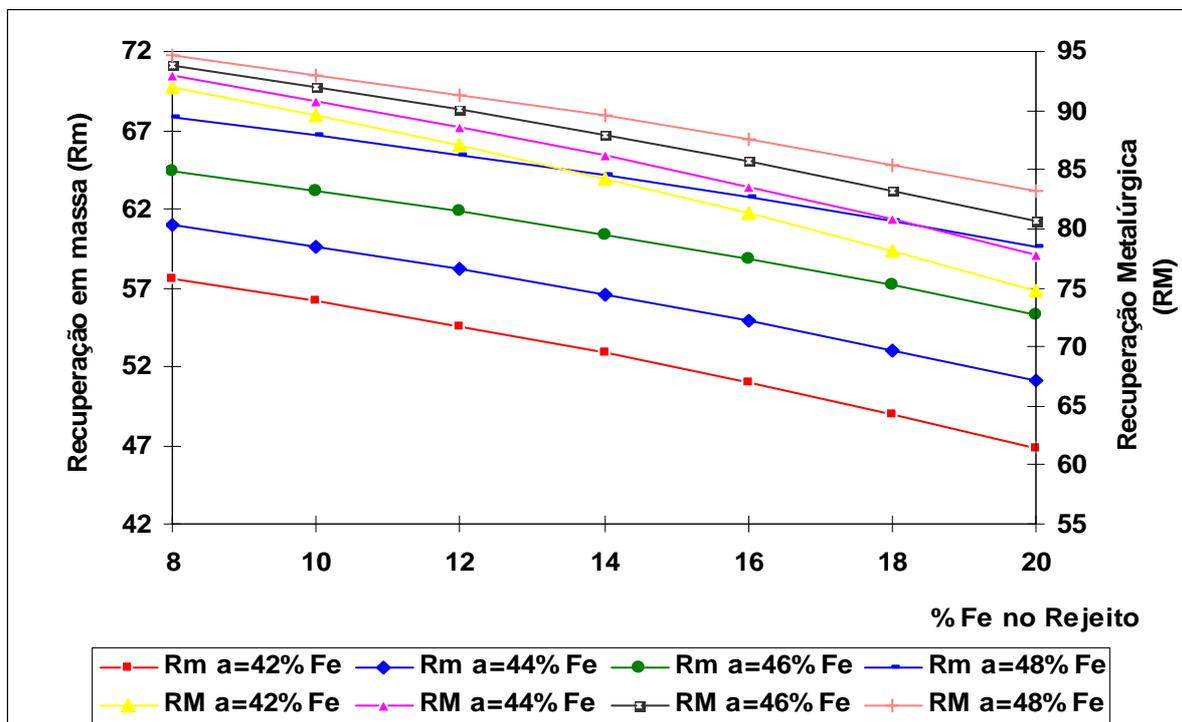


Figura 1. Influência do teor de ferro na alimentação e ferro no rejeito nas recuperações em massa e metalúrgica.

O não atendimento à meta destes indicadores elevava os custos específicos de operação do Concentrador II (insumos e energia elétrica, principalmente) e gerava dificuldades operacionais, pois a massa de rejeito produzida era superior a capacidade prevista em projeto, bem como sua disposição na barragem.

Visando elevar as recuperações em massa e metalúrgica, várias ações foram conduzidas pelas Gerências de Engenharia de Processo e Automação, Beneficiamento, Manutenção e Desenvolvimento Tecnológico desde o início das operações do novo Concentrador, podendo-se destacar:

- desenvolver junto ao fabricante das bombas de espuma um trabalho conjunto visando atingir as vazões nominais de projeto;
- Desenvolver junto ao fabricante das células de flotação soluções para atingir máximo desempenho;
- criar procedimentos operacionais dos processos da planta; e
- realizar treinamentos operacionais em Workshops.

A partir de dezembro de 2008, as recuperações em massa e metalúrgica sofreram redução ainda maior em função do início de operação do sistema de correias de Alegria Sul, o que ocasionou a queda brusca do teor de ferro da alimentação e a elevação significativa do teor de PPC no ROM alimentado.

Devido aos problemas descritos, foi conduzido um estudo de mudança no circuito de flotação convencional, visando elevar as recuperações em massa e metalúrgica do Concentrador II de maneira a atingir as metas estipuladas no Projeto Terceira Pelotização.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o estudo do circuito proposto para a flotação convencional, que visa elevar as recuperações em massa e metalúrgica do Concentrador II, de maneira a atingir as metas estipuladas no Projeto Terceira Pelotização.

Reduzir a massa de rejeito a ser bombeado para as barragens.

1.2 Revisão Bibliográfica

A flotação inversa ou reversa é o método de concentração largamente utilizado no beneficiamento de minérios de ferro de baixos teores. Pode ser realizada tanto em células mecânicas de sub-aeração quanto em colunas. O processo requer a adição de reagentes químicos que induzem a propriedade diferenciadora. Em sua condição natural tanto as partículas de hematita quanto as de quartzo são hidrofílicas. As partículas de hematita permanecem hidrofílicas pela concentração de amido sobre sua superfície e as de quartzo tornam-se hidrofóbicas pela adsorção de amina em sua superfície. A amina tem ainda a função de estabilizar a espuma gerada pela adição de ar ao sistema e facilitar a cinética da interação entre as partículas de quartzo e as bolhas de ar.

A flotação reversa de minério de ferro é realizada em pH entre 9,5 e 10,5, faixa na qual a superfície do quartzo é altamente negativa.⁽¹⁾

No mundo, as operações de deslamagem e concentração de minérios de ferro produzem dezenas de milhões de toneladas de rejeito por ano. No Brasil, esses rejeitos atingem cerca de 10 milhões de toneladas por ano.⁽²⁾

A influência que partículas muito finas têm no processo de flotação é cada vez mais objeto de estudo, tendo em vista a necessidade econômica de se recuperar as frações finas geradas nos processos de tratamento de minérios, bem como pela existência de um grande número de minérios finamente disseminados.

Seguramente, o maior problema que enfrenta hoje o processo de flotação é a recuperação de minerais-minérios na presença de lamas. As propriedades

superficiais das lamas influenciam a criação de recobrimentos sobre as partículas (*slimes coating*), alteram a rigidez da espuma, interferem no contato bolha–mineral e tornam pouco efetiva a atuação dos reagentes, por suas interações com as lamas que possuem áreas superficiais enormes quando comparadas com as das partículas do minério.⁽³⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a fase de desenvolvimento do novo circuito, já se sabia das limitações dos scavengers, portanto, no dia 18 de março de 2009 foi realizada uma amostragem do circuito e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Amostragem no circuito de flotação

Descrição	Teor de Fe (%)	SiO ₂ (%)	(%) Sólidos
Descarga condicionador	44,2	28,8	66,7
Rejeito rougher Tk 1	18,6	72,6	47,0
Rejeito rougher Tk 2	19,1	71,9	49,1
Rejeito rougher Tk 3	19,6	71,2	50,5
Rejeito cleaner Tk 4	20,3	70,3	51,3
Rejeito cleaner Tk 5	20,1	70,6	53,5
Rejeito cleaner Tk 6	26,8	60,7	58,1
Rejeito scavenger 1 TK 07	17,1	74,9	48,8
Rejeito scavenger 1 TK 08	17,0	75,2	41,2
Rejeito scavenger 2 TK 09	18,9	72,3	45,1
Rejeito scavenger 2 TK 10	11,9	82,6	46,9
Rejeito scavenger 3 TK 11	17,7	74,1	44,8
Rejeito scavenger 3 TK 12	15,7	76,9	51,2
Rejeito cleaner scavenger TK 13	14,6	78,5	49,8
Concentrado cleaner Tk 6	64,2	5,6	50,2
Alimentação do scavenger II	17,9	73,6	45,6
Alimentação cleaner do scavenger	20,7	69,6	52,6
Amostrado dentro do TK 01	41,1	39,5	41,7
Amostrado dentro do TK 06	55,9	17,5	27,9
Amostrado dentro do TK 13	28,8	57,7	41,9

Nota-se que os estágios *rougher* e *cleaner* apresentam desempenho satisfatório, mas que, em nenhum dos estágios scavengers, obtém-se redução do teor de ferro no rejeito. Isso é característico da não existência de flotação, ou seja, essas células estão apenas dividindo a massa nelas alimentadas, o que impacta fortemente a redução do teor de ferro da alimentação, já que o teor de ferro que alimenta o estágio *cleaner* do scavenger é de 20,7% e este estágio não consegue elevar o teor para próximo da alimentação nova que é de 44,2%.

Os resultados da amostragem, a configuração do circuito de projeto e dos tanques de flotação disponíveis, orientaram a definição dos testes em bancada. Os resultados foram promissores, mas optou-se por confirmá-los em escala piloto.

A Figura 2 nos mostra o fluxograma esquemático do concentrador II.

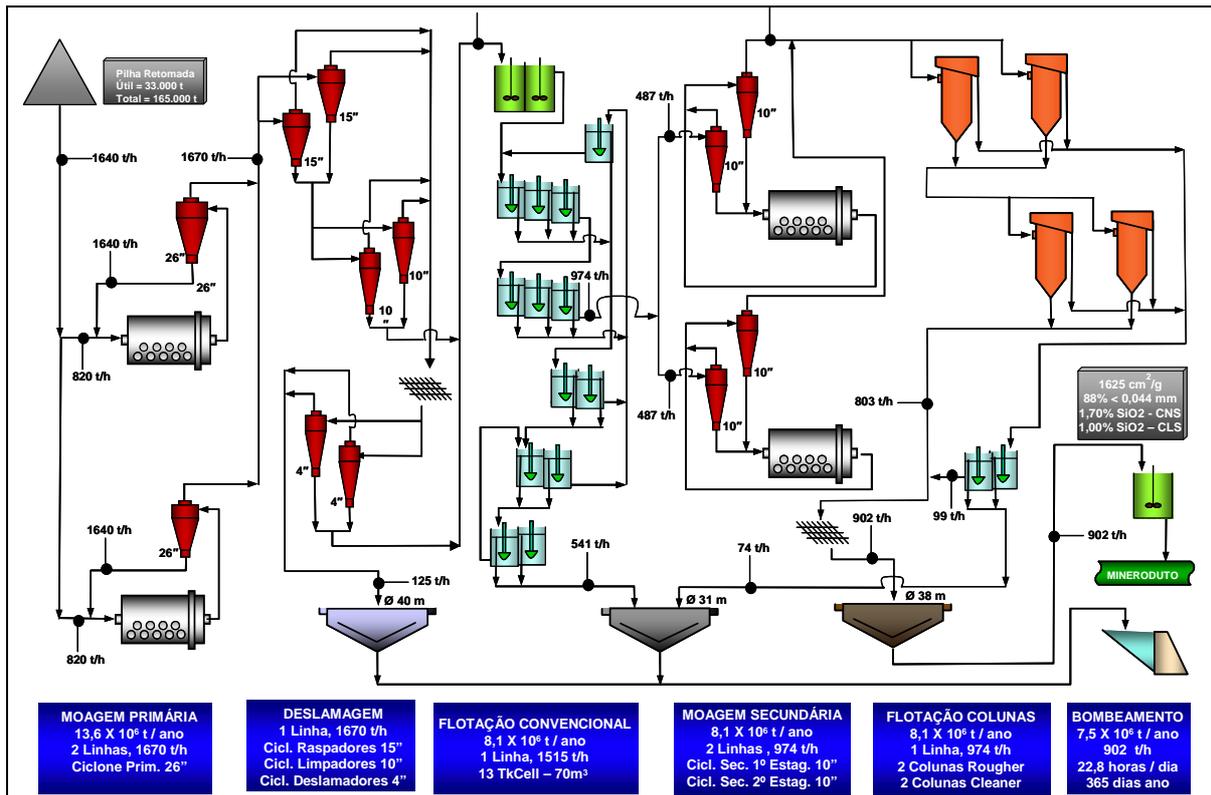


Figura 2. Fluxograma do Concentrador II.

Como pode ser visualizado, o concentrador é dividido em seções, sendo duas linhas de moagem primária, fechando o circuito com ciclones primários de 26". Os overflows dos ciclones primários alimentam ciclones raspadores, os underflows dos raspadores alimentam os limpadores, o *underflow* dos limpadores vai para condicionador e em seguida alimentam a flotação convencional. Os *overflows* dos ciclones raspadores e dos limpadores alimentam uma peneira de proteção e o undersize desta peneira alimenta os ciclones deslamadores, cujo *overflow* é encaminhado para o espessador de lamas e o *underflow* vai para o condicionador e flotação.

O concentrado da flotação convencional alimenta uma bateria de ciclones pré-secundários, estes fecham circuito com os moinhos secundários. O rejeito da flotação convencional é final e alimenta o espessador de rejeitos. O produto do moinho e os *overflows* dos ciclones pré-secundários alimentam duas baterias de ciclones secundários. Os *overflows* dos ciclones secundários alimentam a flotação em colunas. O concentrado das colunas é concentrado final e vai para o espessador de concentrado, onde é ajustado o percentual de sólidos e encaminhado para o mineroduto, e o rejeito é enviado para os *tanks cells*, onde o concentrado é carga circulante, ou pode se juntar ao concentrado final e o rejeito deste estágio é final e se junta ao rejeito da flotação convencional no espessador de rejeitos.

Na Figura 2, a elipse indica os estágios scavengers da flotação convencional. E, na Figura 3, detalhe do circuito de flotação onde os maiores problemas foram evidenciados.

No circuito de projeto tínhamos três células *roughers*, o concentrado rougher alimentava três células *cleaners*, o concentrado *cleaner* alimentava a moagem secundária, o rejeito *rougher* alimentava duas células *scavenger I*, o rejeito *scavenger I* era bombeado para o *scavenger II*, o concentrado *scavengers I* e *II* juntava-se ao rejeito *cleaner* e alimentava o *cleaner* do *scavenger* via bombeamento.

O rejeito *scavenger* II alimentava o *scavenger* III por gravidade, cujo concentrado retornava para o *scavenger* II e o rejeito era encaminhado para o espessador de rejeitos. O concentrado cleaner do *scavenger* alimentava o estágio *rougher* e rejeito alimentava o *scavenger* I por gravidade.

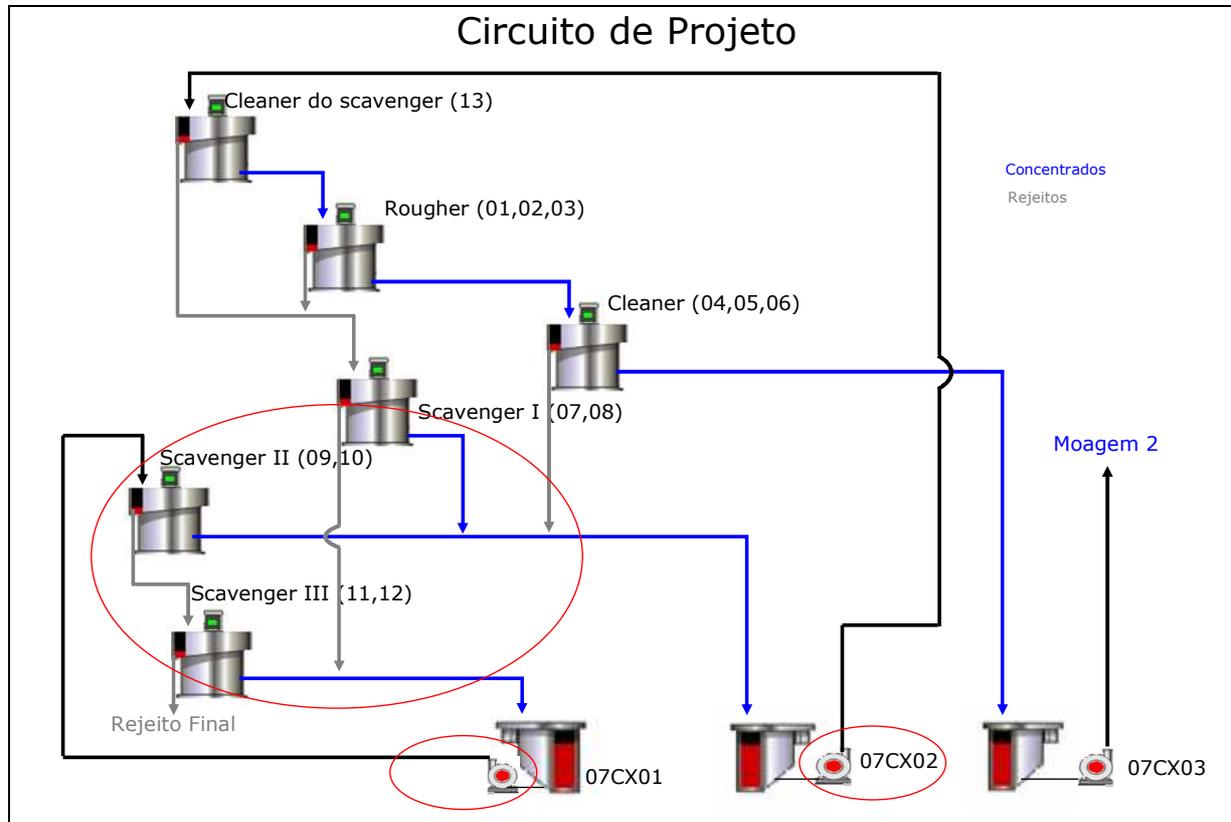


Figura 3. Circuito de flotação projetado.

Para minimizar os problemas de bombeamento de espuma, conforme destacado na Figura 3, optou-se por transformar um dos estágios scavengers (*scavenger* II) em releaner e alimentar os demais scavengers por gravidade, conforme Figura 4.

Nota-se na Figura 3 que a disposição do circuito nos obrigava a bombear overflow dos tanques cells cleaner e scavengers (07CX01 e 07CX02), e estes pelas características da flotação reversa, são constituídos em grande parte de espumas. Como tínhamos ineficiência do sistema de bombeamento de espumas, a solução foi aproveitar ao máximo a gravidade, de acordo com a disposição dos equipamentos no campo e possibilidade de trabalhar com o circuito mais liberado visando aumento de recuperação, pois tem-se um estágio limpador a mais.

Outra vantagem de se separar os estágios *scavenger* foi que aumentou-se o tempo de residência, o que propicia redução dos teores de ferro nos rejeitos.

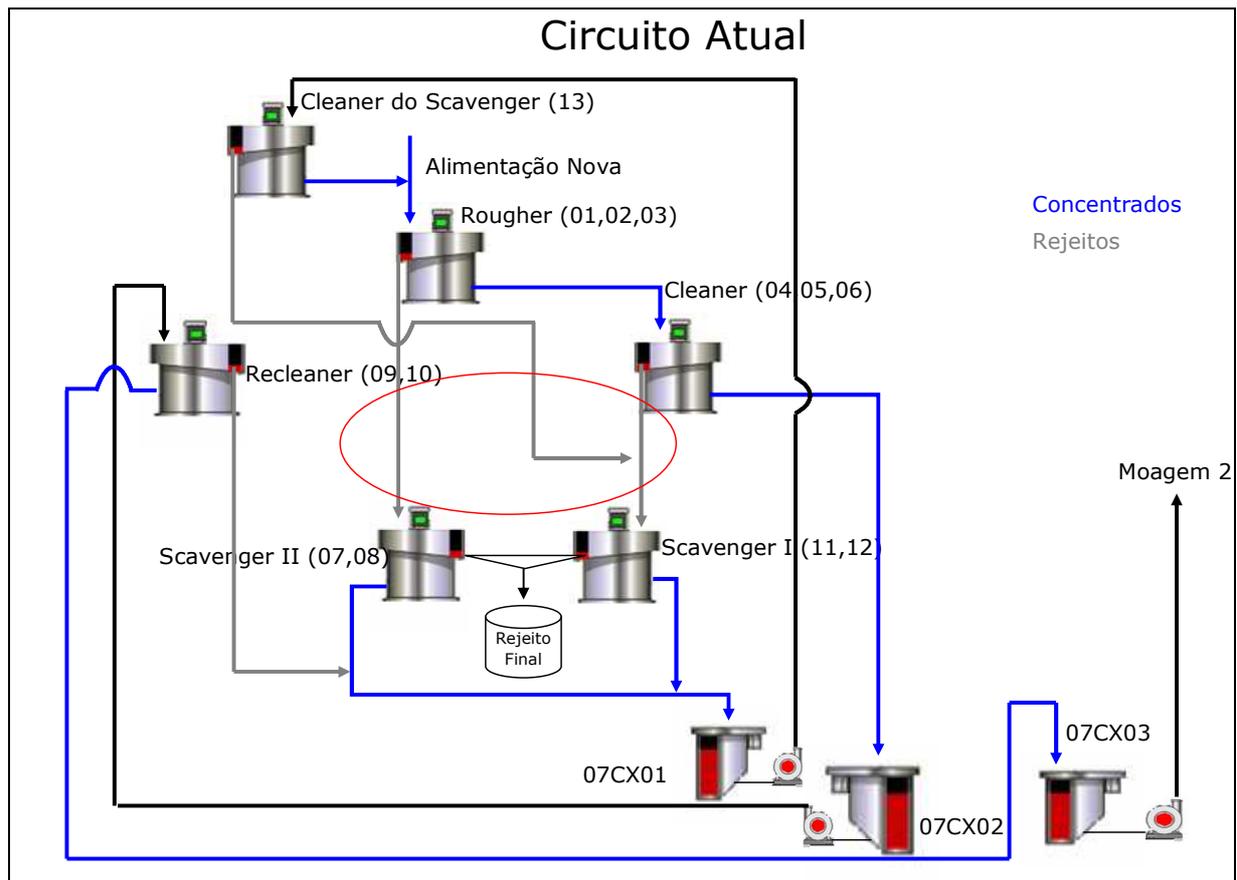


Figura 4. Circuito de flotação atual.

No circuito atual, os scavengers são alimentados por gravidade como pode ser observado na Figura 4 e minimizado o bombeamento de espumas (na 07CX02 foi totalmente eliminado o bombeamento de espumas). Os *overflows* dos *scavengers* alimentam o espessador de rejeitos por gravidade. Somente uma pequena massa de *overflow* do *recleaner* se junta aos *underflows* dos *scavengers* e são bombeados (07CX01), mas a massa é mínima, o que não impacta no processo.

3 RESULTADOS

3.1 Testes Bancada

A Figura 5 mostra o circuito estudado (atual) e os resultados dos testes de flotação em bancada.

Foram realizados dez testes com a amostra padrão utilizando 350 g/t de amido, 45 g/t de amina e pH 10,2. Homogeneizou-se os dez concentrados (*rougher*) e enviou para análise química, o mesmo foi feito para o rejeito (*rougher*).

Retirou-se alíquotas dos concentrados (*rougher*) flotou-se novamente e obteve-se os concentrados e rejeitos *cleaner* para gerar massa e proceder a flotação *recleaner*. Somente nos primeiros testes de flotação (*rougher*) foram adicionados reagentes, nos demais foi utilizada a água dos testes anteriores.

O mesmo procedimento foi feito para o rejeito do *rougher*, e do *cleaner*. Nestas etapas foram adicionados 100 g/t de amido. Em seguida, juntou-se os concentrados *rougher*, *cleaner* e o rejeito *recleaner*, homogeneizou-se proporcionalmente as massas e flotou-se novamente para simular o *cleaner* do *scavenger* utilizando a água dos testes anteriores.

O objetivo de gerar massa nos testes de flotação é alimentar os estágios scavenger do *rougher* e *cleaner* com aproximadamente 40% de sólidos.

Em seguida todos os fluxos foram enviados para análise química e fechado o balanço de massas.

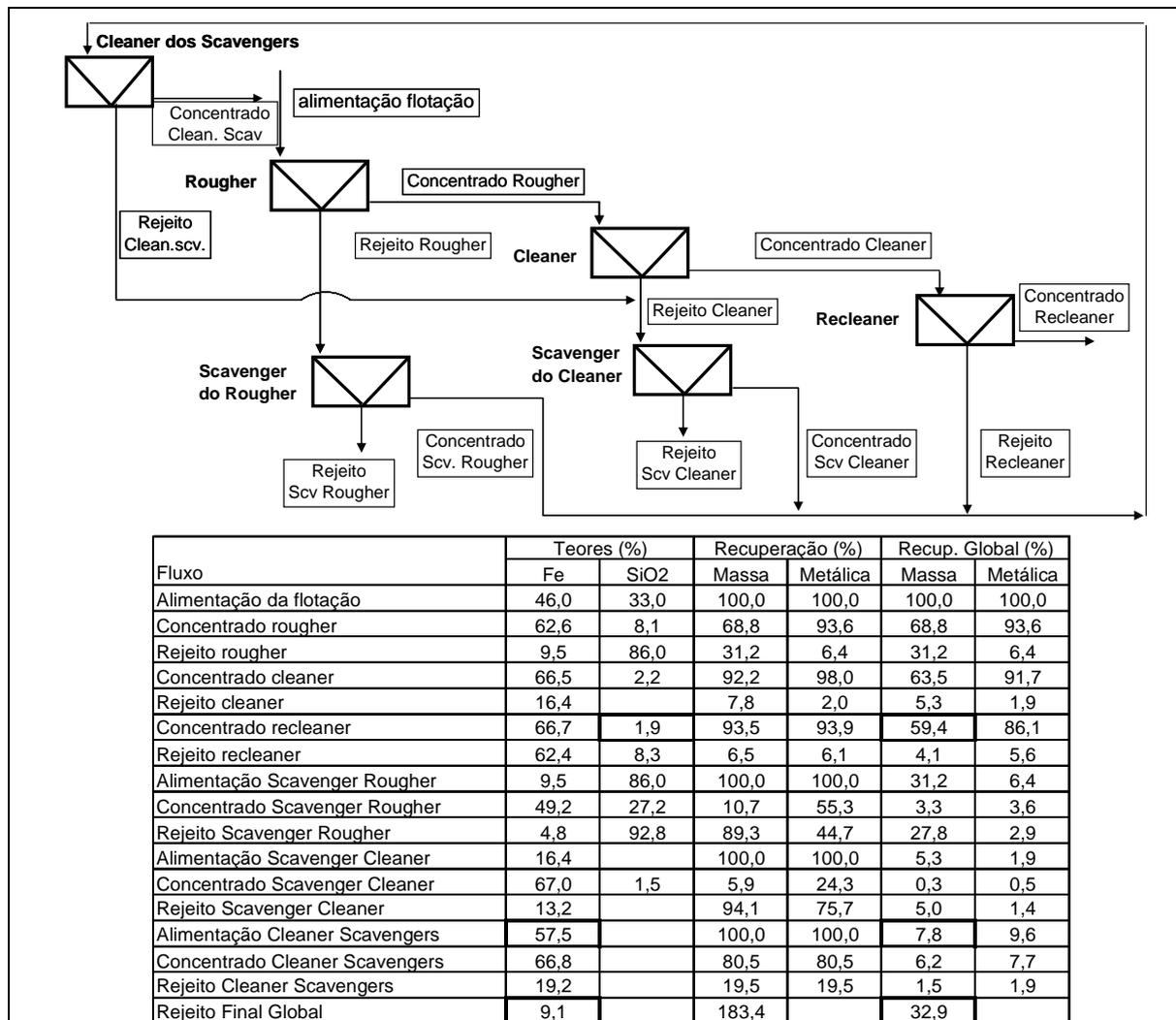


Figura 5. Resultados do teste flotação bancada.

Os resultados mostram uma recuperação em massa na etapa recleaner de 59,4%, com teor de SiO₂ no concentrado de 1,9% e teor de ferro no rejeito de 9,1%. O teor de ferro na alimentação da etapa cleaner do scavenger é mais rico que na alimentação nova, o que contribui para a elevação do teor de ferro na flotação, permitindo redução no consumo de amina e aumentando a recuperação em massa. Como temos liberdade para trabalhar industrialmente com teores próximo de 5,0%, ganhos de recuperação eram esperados.

3.2 Testes Piloto

De posse da informação dos testes em bancada, formou-se uma pilha, com teor de ferro próximo ao de projeto 46,2% e em seguida foram realizados testes em escala piloto na empresa PCM (Processamento e Caracterização Mineral), onde montou-se o circuito proposto, e mais uma vez, os resultados foram positivos. Com os resultados dos testes, foram fechados os balanços de massas. Os resultados

mostram aumento da recuperação em massa, teores de SiO₂ no concentrado menor que 2,0% e teor de ferro nos rejeitos de menores que 6,4%.

Pode-se visualizar na Figura 6 o balanço de massas do teste piloto.

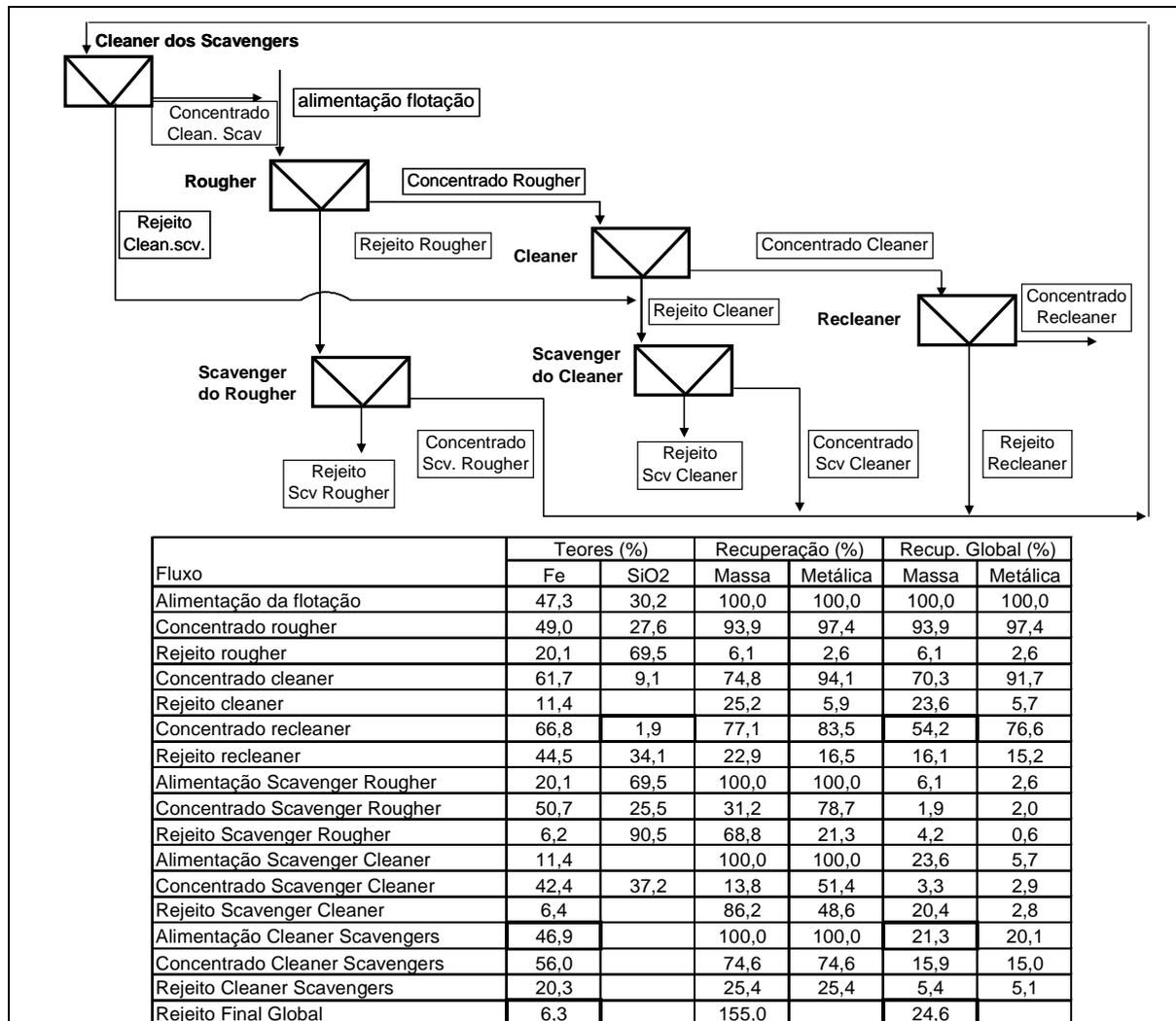


Figura 6. Resultados teste flotação piloto.

Na Figura 6 nota-se que a carga circulante é de 21,3%, a recuperação em massa é de 54,2% e a partição em massa para o rejeito é de 24,6%, com teor de ferro de 6,3%. A alimentação cleaner do scavenger com teor de ferro de 46,9% e o concentrado *cleaner* do *scavenger* com teor de ferro de 56,0%, contribuem para elevar o teor de ferro da alimentação nova. Isso pode ser obtido industrialmente trabalhando com as roughers e cleaners liberadas e, sendo conservador no *recleaner* e nas *scavengers*.

4 DISCUSSÃO

A partir de dezembro com a entrada de material de alegria sul, as recuperações em massa e metalúrgicas começaram a reduzir fortemente, o que pode ser visualizado na Figura 7, e os novos patamares de recuperação a partir da modificação do circuito. Na Figura 8 o dia a dia depois das modificações.

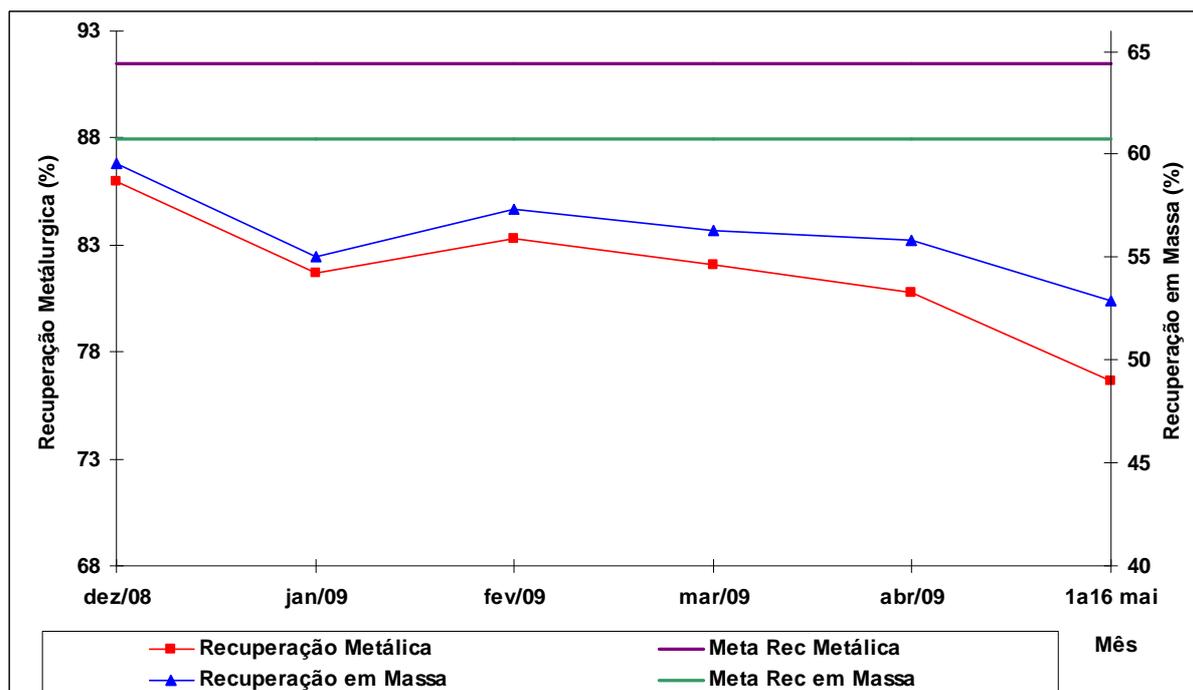


Figura 7. Evolução das recuperações em massa e metalúrgica do Concentrador II.

A Figura 8 mostra que as recuperações em massa e metalúrgica apresentam tendência a aumentar. Esse aumento é devido à redução dos teores de ferro no rejeito da flotação convencional, conforme pode ser visualizado na figura 9. A carga circulante foi reduzida em 33%, de 1.200.m³/h para 800.m³/h, os teores de SiO₂ no concentrado da flotação convencional estão mais estáveis e como não estamos bombeando espumas, os níveis de caixa que antes operavam com constantes transbordos, hoje estão estáveis. O consumo de amina reduziu de 101,2.g/t para 73,0 g/t conforme pode ser visto na Figura 10.

Outro fator que contribuiu para redução dos teores de ferro nos rejeitos é a entrada em operação dos sistemas de amostragem e análise de ferro on-line. A cada 12 minutos temos uma análise dos principais fluxos do concentrador II. Concentrado convencional (analisador de SiO₂ on-line), rejeitos global, scavenger do rougher, scavenger do cleaner, rejeito da flotação convencional, rejeito da flotação em colunas, overflow das ciclonagens primárias e lama global são analisados no analisador on-line de RX.

Em todos os testes pilotos os teores de ferro no rejeito foram menores que 6,4%, o que é um indicativo que industrialmente podemos alcançar teores menores que 10,0%, com a evolução que se espera da operação, processo, controle etc.

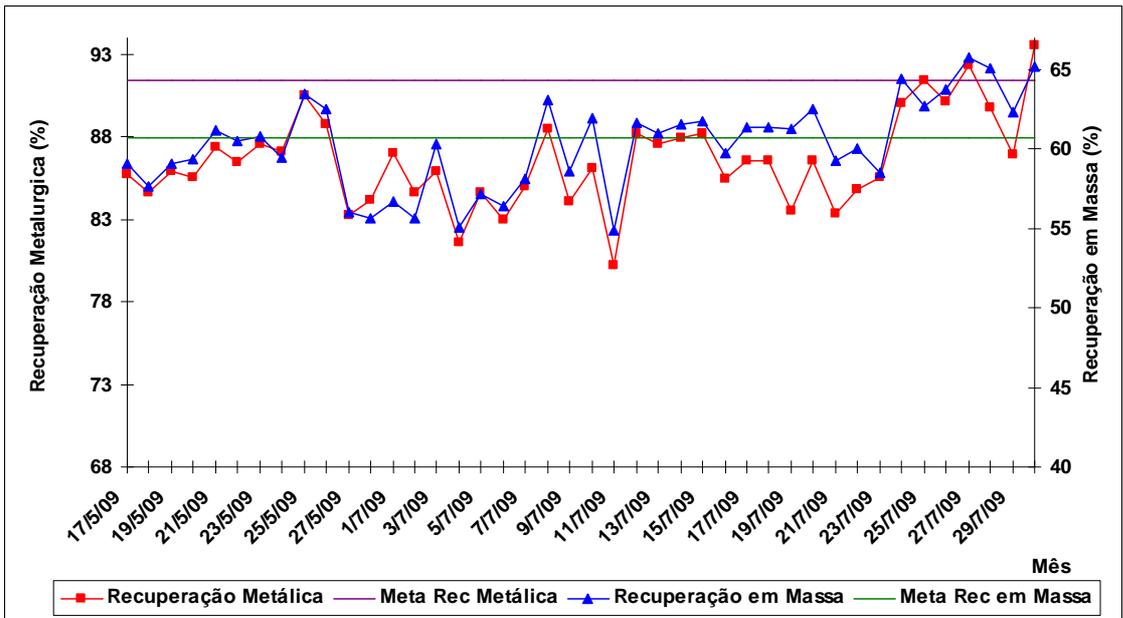


Figura 8. Evolução das recuperações em massa e metalúrgica do Concentrador II após modificação do circuito.

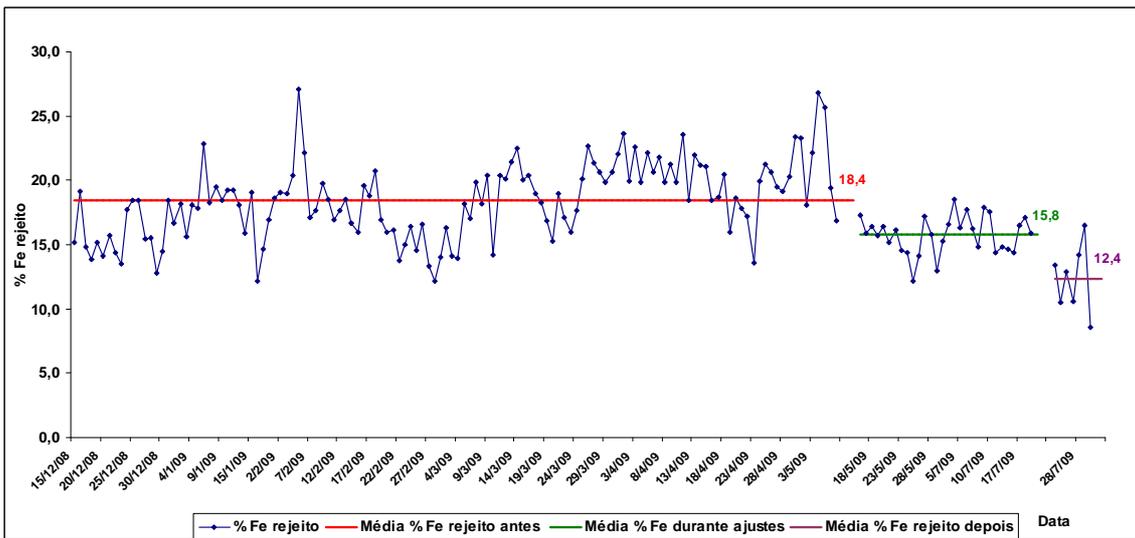


Figura 9. Evolução do teor de ferro no rejeito, antes e depois da modificação do circuito.

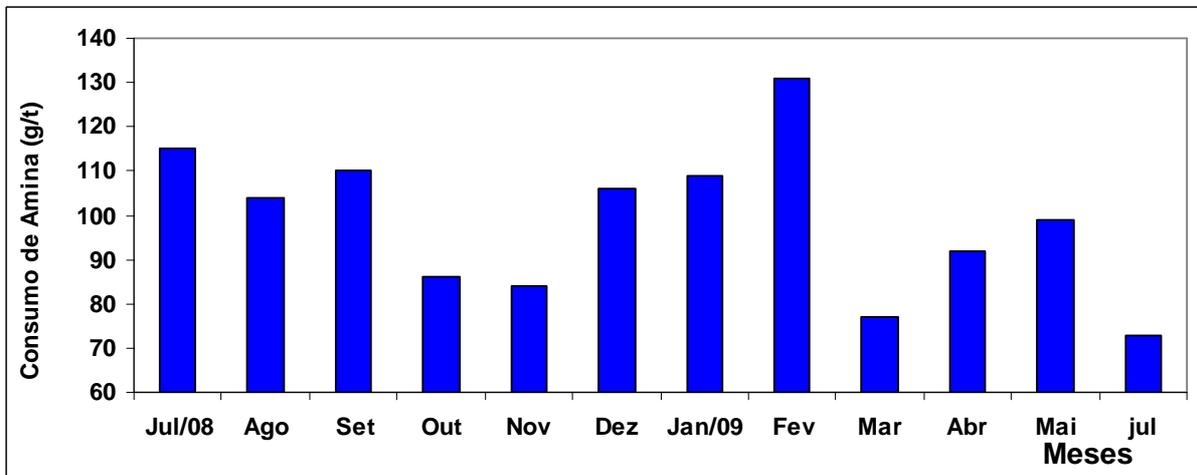


Figura 10. Evolução do Consumo de Amina em g/t.

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que as recuperações em massa e metalúrgica do circuito, aumentaram e reduziram-se as massas de rejeito.

A média dos teores de ferro no rejeito após as mudanças está em 12,4%, com tendência de redução devido à maturação, equilíbrio do circuito e treinamento dos técnicos e operadores e análise on-line disponíveis.

Considerando manutenção dos índices de disponibilidade, taxa e teores de ferro na alimentação, estima-se ganhos da ordem de 800.000t/ano de *pellet feed*.

O aumento de recuperação implica em redução proporcional de todos os insumos, tais como amina, amido, soda, energia elétrica, corpos moedores, etc.

Agradecimentos

A Samarco Mineração S/A.

As Equipes de processo, automação, beneficiamento e manutenção mecânica do Concentrador II, pelo empenho e por não medir esforços para realizar as mudanças propostas para o circuito de flotação convencional, visando melhorias no processo e operação.

Joaquim Donda pelo incentivo, tempo despendido discutindo os resultados dos testes e propostas.

As equipes dos laboratórios físico, de processo e químico que não mediram esforços em realizar os testes necessários para suportar estas mudanças.

REFERÊNCIAS

- 1 VIEIRA, A. M. *Flotação* – Alguns Tópicos. Curso Interno SAMARCO, 1995.
- 2 COELHO, E. M. Separação de Minerais de Rochas fosfáticas e de Minérios de Ferro por Flotação e por Agregação Seletiva: Tese de Concurso para Professor Titular do Departamento de Engenharia Química. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1984, 232p.
- 3 SILVA, R.V.G. Efeito da Alumina na Flotação de um Minério Misto Hematítico – Itabirítico da Mina do Pico. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1999, 174 p. (Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de Tecnologia Mineral).