

AVALIAÇÃO DA FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA PARA MINÉRIOS DE FERRO¹

Neymayer Pereira Lima²

Resumo

A flotação é o principal processo de concentração da atualidade. A tecnologia convencional de flotação, através de células mecânicas e colunas, tem sido empregada na indústria de minérios de ferro após a etapa de deslamagem para partículas com faixas de tamanhos entre 300 µm e 10 µm. Dificuldades para obtenção de rejeitos com teores de Fe inferiores a 12% e concentrados com teores de SiO₂ inferiores a 1% são algumas das dificuldades dos equipamentos da tecnologia convencional de flotação, além da necessidade de longos tempos de residência, resultando em equipamentos de grandes volumes e grandes áreas ocupadas. A tecnologia de flotação pneumática tem sido avaliada para flotação reversa de quartzo em diferentes minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Testes piloto têm sido realizados em célula de flotação pneumática com baixo tempo de residência, onde os processos de colisão e adesão partícula-bolha ocorrem em etapa anterior à célula pneumática. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de obtenção de concentrados com teores de SiO₂ próximos a 1% e rejeitos com teores de Fe inferiores a 12% com 3 etapas de limpeza (*rougher*, *cleaner* e *re-cleaner*), sem a necessidade de etapas *scavenger*. Além disso, o tempo de residência foi 3 vezes inferior à célula mecânica convencional. Testes industriais deverão ser realizados para confirmação dos resultados e maior compreensão operacional da nova tecnologia.

Palavras-chave: Flotação pneumática; Quartzo; Minério de ferro.

EVALUATION OF PNEUMATIC FLOTATION FOR IRON ORES

Abstract

Flotation is the main concentration process currently. Conventional technology flotation through mechanical and columns cells have been employed in the iron ore industry after desliming to particle size ranges from 300 µm to 10 µm. Difficulties for obtaining tailings lower than 12% of Fe and concentrates with less than 1% of SiO₂ are some of the problems of the conventional technology flotation equipments, besides the need for long residence times, resulting in equipment of large volumes and occupied large areas. The pneumatic flotation technology has been evaluated on the reverse flotation of quartz for different iron ores of the Iron Quadrangle. Pilot tests have been performed in air flotation cell with low residence time, where the collision processes and particle-bubble adhesion occur in the previous step to the pneumatic cell. The results obtained indicate the possibility of obtaining concentrates with SiO₂ close to 1% and tailings with Fe contents lower than 12% with three cleaning stages (*rougher*, *cleaner* and *re-cleaner*) without the need of the scavenger stage. Furthermore, the residence time was 3 times smaller than conventional mechanical cells. Industrial tests need to be carried out to confirm the results and for better operational understanding of the new technology.

Key words: Pneumatic flotation; Quartz; Iron ore.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Gerência de Desenvolvimento de Projetos de Tratamento de Minérios, Vale, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A flotação é o principal processo de concentração da atualidade, sendo empregada na indústria de minérios de ferro através de células mecânicas e colunas em vários estágios (*rougher*, *cleaner*, *re-cleaner* e *scavenger*), visando à obtenção de *pellet feed* com teores de SiO₂ entre 0,8% e 1,5%, conforme as exigências da indústria siderúrgica.

A coleta de partículas no processo de flotação é um produto das probabilidades de ocorrência dos seguintes eventos: 1. colisão entre partículas e bolhas de ar (P_c), 2. adesão entre partículas e bolhas (P_a), 3. destacamento da partícula aderida à bolha (P_d), 4. retenção da partícula na espuma durante o tempo necessário para transporte e remoção do sistema de flotação (P_r). A Equação 1 representa o produto destas probabilidades durante a coleta de partículas no processo de flotação:

$$P = P_c \times P_a \times P_r \times (1 - P_d) \quad (1)$$

As diferentes partículas existentes no processo de flotação apresentam diferentes probabilidades. Assim, Partículas grossas apresentam elevada probabilidade de colisão e baixas probabilidades de adesão e retenção (elevada probabilidade de descoleta), o que ajuda a entender a dificuldade de coleta destas partículas no processo de flotação. Estudos realizados por Hewitt et al.,⁽¹⁾ mostraram que a probabilidade de adesão aumenta com o decréscimo do tamanho de partículas e com o aumento do grau de hidrofobicidade, podendo este último ser obtido com aumento da dosagem de coletor. Por outro lado, partículas finas apresentam baixa probabilidade de colisão e elevadas probabilidades de adesão e retenção à bolha.

Os atuais sistemas de flotação aplicados na indústria de minérios de ferro (células mecânicas e colunas) apresentam dificuldades para coleta de partículas de quartzo com granulometrias acima de 150 µm e inferiores a 45 µm, apresentando também elevada perda de partículas finas de minerais de Fe no rejeito. Além disto, estes sistemas apresentam a necessidade de vários estágios e longos tempos de residência para a obtenção de concentrados com teores de SiO₂ dentro das especificações de mercado e rejeitos com mínimo teores de Fe.

A necessidade de aumento da recuperação metalúrgica e redução dos volumes dos equipamentos de flotação, visando à redução de *capex* dos projetos de aproveitamento de itabiritos pobres, têm levado ao estudo de novas alternativas de equipamentos de flotação. A tecnologia de flotação pneumática (atualmente empregada para minérios de ferro magnetíticos e fosfatos no Chile e carvão na China e alguns países da Europa) tem sido avaliada para minérios de ferro. As principais características da flotação pneumática são:

- os mecanismos de colisão e adesão entre partículas e bolhas ocorrem antes da célula, com elevada eficiência, levando a necessidade de baixos tempos de residência;
- baixa turbulência, reduzindo a probabilidade de descoleta de partículas grossas, levando a obtenção de concentrados com baixos teores de SiO₂;
- baixo arraste de partículas finas de minerais de Fe para a espuma, possibilitando a obtenção de rejeitos com baixos teores de Fe;
- geração de bolhas de pequenos diâmetros, com elevada eficiência de coleta.
- simplicidade operacional e de manutenção devido à ausência de partes móveis; e

- necessidade de bombeamento sob pressão da polpa para cada estágio de flotação visando promover a sucção do ar, formação de bolhas e colisão/adesão com as partículas minerais.

A Figura 1 ilustra a célula pneumática e seu princípio de funcionamento.

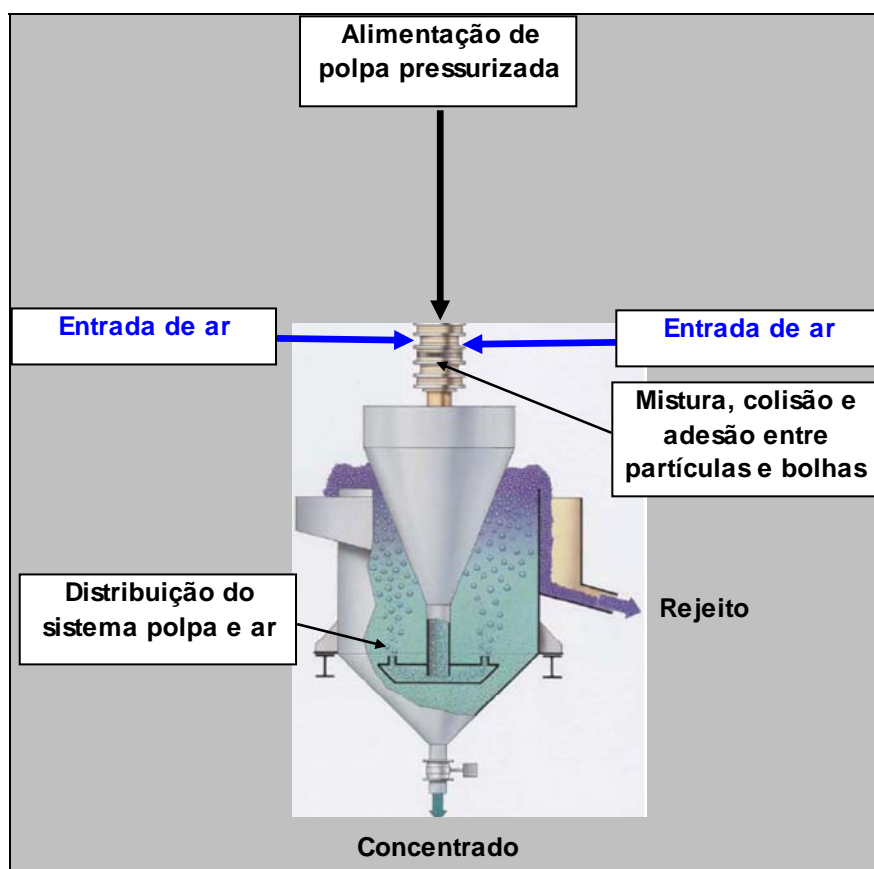


Figura 1. Ilustração da célula pneumática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Testes em regime contínuo foram realizados em célula pneumática de escala piloto nas etapas *rougher*, *cleaner* e *re-cleaner* com a polpa sendo alimentada sob pressão, havendo a colisão e adesão entre partículas e bolhas antes da entrada da célula.

Os testes com a célula pneumática foram realizados com 3 amostras de alimentações de flotação típicas de circuitos de flotação convencionais (células mecânicas e colunas) do Quadrilátero Ferrífero.

A Figura 2 ilustra o equipamento usado para os testes piloto.



Figura 2. Célula pneumática usada nos testes piloto.

Os testes com a célula pneumática foram realizados nas seguintes condições:

- porcentagem de sólidos na polpa: 50% em massa;
- taxa de alimentação de polpa: 376 litros/hora;
- tempo de residência em cada estágio: 3 minutos, totalizando 9 minutos (*rougher* + *cleaner* + *recleaner*); e
- dosagem de reagentes e pH conforme aplicados nos processos de flotação convencionais.

Durante os testes, foram feitas amostragens de todos os fluxos (alimentação, concentrados e rejeitos) para caracterizações granulométricas. Os resultados foram usados para fechamento de massas, análises de desempenho do sistema de flotação pneumática e comparações com os sistemas de flotação convencionais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os resultados da flotação pneumática obtidos para diferentes amostras de alimentação das flotações convencionais do Quadrilátero Ferrífero.

Tabela 1. Balanço de massas da célula de flotação pneumática – amostra 1

Fluxo	Rec. massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Rec. metálica (%)
Alimentação nova	100,00	58,21	14,96	
Concentrado rougher	87,70	65,49	3,68	
Rejeito rougher	12,30	6,31	90,27	
Concentrado cleaner	86,14	66,59	2,15	
Rejeito cleaner	1,55	4,54	92,61	98,43
Concentrado recleaner	85,06	67,36	1,04	
Rejeito recleaner	1,08	6,20	89,86	
Rejeito total	14,94	6,12	90,48	

Tabela 2. Balanço de massas da célula de flotação pneumática – amostra 2

Fluxo	Rec. massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Rec. metálica (%)
Alimentação nova	100,00	43,96	35,55	
Concentrado rougher	61,75	65,18	5,28	
Rejeito rougher	38,25	9,70	85,21	
Concentrado cleaner	60,03	66,80	3,44	
Rejeito cleaner	1,72	8,57	87,23	90,94
Concentrado recleaner	58,54	68,29	1,91	
Rejeito recleaner	1,49	8,30	86,99	
Rejeito total	41,46	9,60	85,36	

Tabela 3. Balanço de massas da célula de flotação pneumática – amostra 3

Fluxo	Rec. massa (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Rec. metálica (%)
Alimentação nova	100,00	47,00	29,80	
Concentrado rougher	69,92	65,05	3,39	
Rejeito rougher	30,08	5,05	92,09	
Concentrado cleaner	68,61	66,19	1,74	
Rejeito cleaner	1,31	5,21	91,83	96,54
Concentrado recleaner	68,05	66,67	0,95	
Rejeito recleaner	0,55	7,30	88,63	
Rejeito total	31,95	5,10	92,02	

Os resultados acima mostraram a possibilidade de obtenção de concentrados dentro das especificações exigidas, não havendo necessidade de ajuste das dosagens de reagentes e pH em relação aos valores praticados industrialmente. Além disto, foi possível a obtenção de rejeitos com teores de Fe inferiores a 12% em todos os estágios avaliados. A Figura 3 mostra a evolução dos teores de Fe para as três amostras.

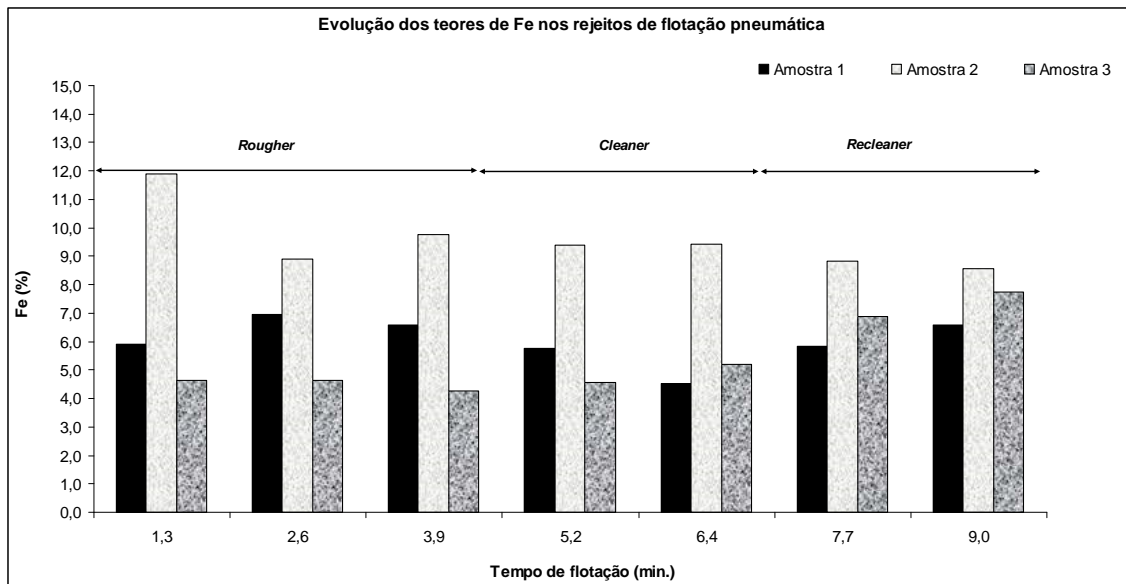


Figura 3. Evolução dos teores de Fe nos rejeitos da flotação pneumática.

Os resultados da Figura 3 mostram que não ocorre enriquecimento dos teores de Fe entre as etapas de limpeza da célula pneumática, ao contrário do que ocorre nos equipamentos convencionais de células mecânicas e colunas, onde ocorre elevado enriquecimento do rejeito entre os estágios de limpeza.

Os resultados obtidos nos testes com a célula pneumática foram comparados com o desempenho de células mecânicas convencionais e colunas de flotação, para o mesmo tipo de minério de ferro. A análise foi feita através das distribuições de SiO_2 e Fe nos rejeitos e índice de seletividade por fração granulométrica. Os resultados das análises estão mostrados nas Figuras 4, 5 e 6.

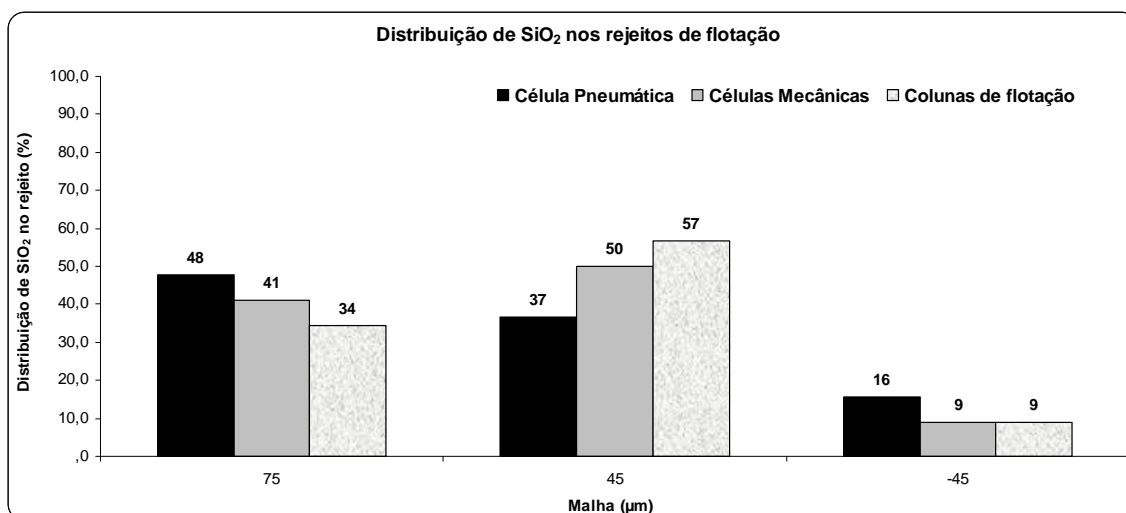


Figura 4. Distribuição de SiO_2 por malha nos rejeitos de flotação.

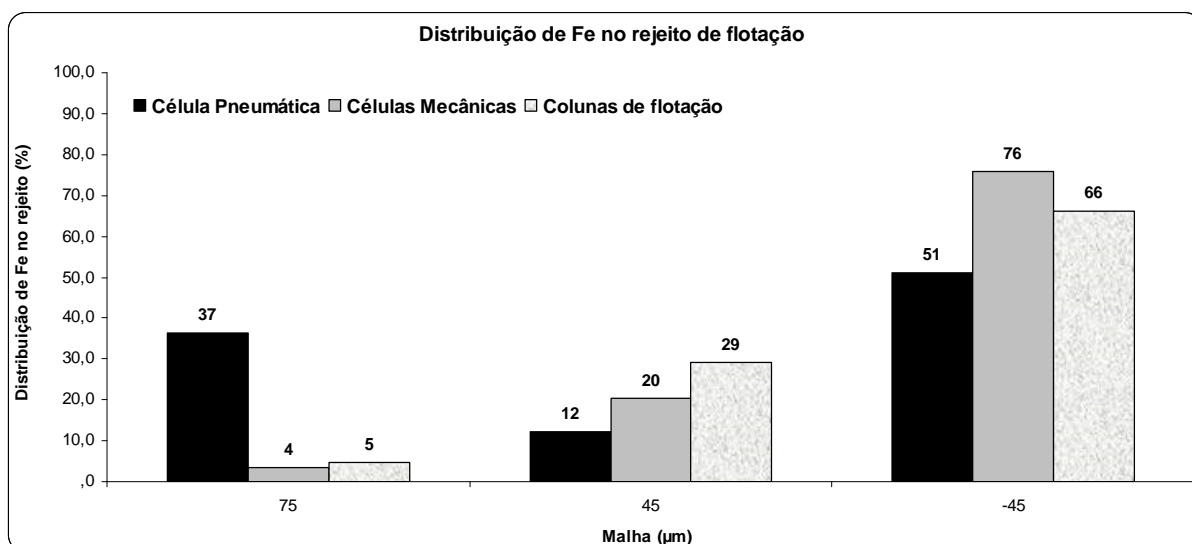


Figura 5. Distribuição de Fe por malha nos rejeitos de flotação.

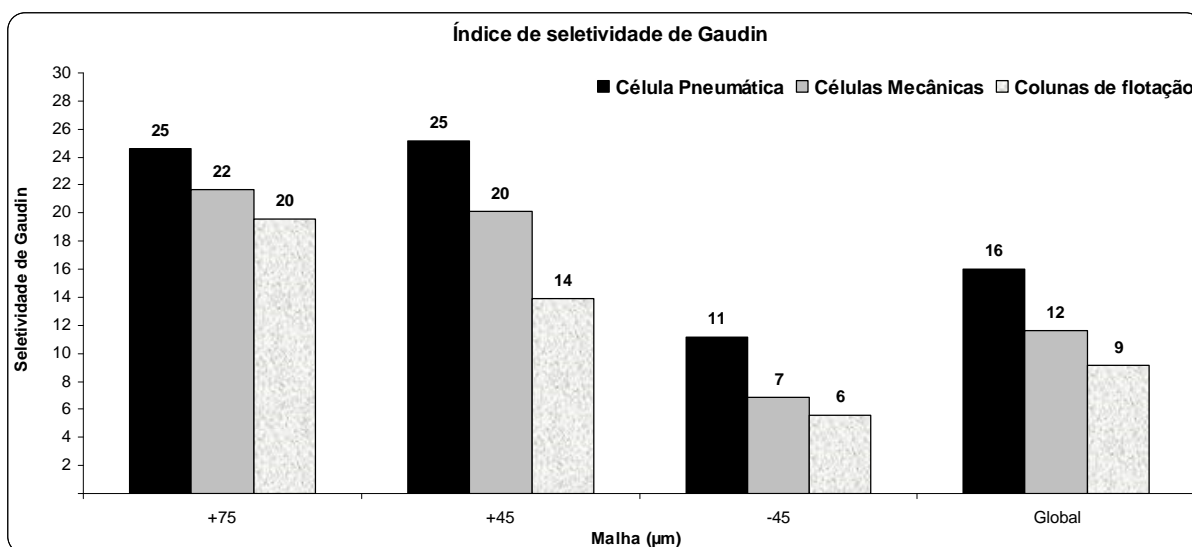


Figura 6. Índice de seletividade de Gaudin por malha.

A célula pneumática apresenta maiores distribuições de SiO_2 nas frações grossa (+75 μm) e fina (-45 μm) em relação aos equipamentos convencionais. O quartzo presente nestas frações granulométricas apresenta dificuldades naturais de ser flotado: menor probabilidade de adesão e maior probabilidade de descoleta para o quartzo grosso e menor probabilidade de colisão para o quartzo fino. Os resultados mostrados na Figura 4 sugerem que a célula pneumática favorece as probabilidades de coleta e flotação de partículas grossas e finas.

Outra dificuldade observada nos sistemas de flotação convencionais é o elevado arraste de partículas finas de minerais de Fe no rejeito. A Figura 5 mostra que a célula pneumática reduz o arraste destas partículas, com distribuição de Fe na fração fina (-45 μm) muito inferior aos equipamentos convencionais.

A Figura 6 mostra que a célula pneumática apresenta índices de seletividade superiores aos equipamentos convencionais em todas as faixas granulométricas.

A Figura 7 mostra o desempenho entre células pneumática e mecânica, obtidos a partir de testes piloto com a mesma amostra de itabirito pobre.

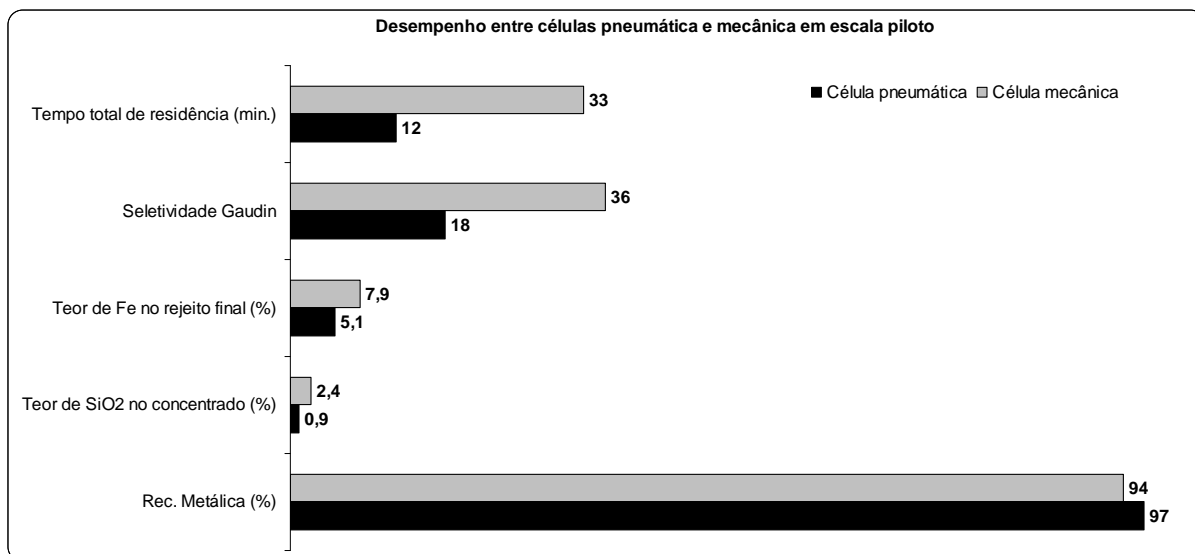


Figura 7. Desempenho entre células pneumática e mecânica em escala piloto.

Os resultados da Figura 7 mostram que a célula pneumática possibilitou a obtenção de concentrado final com melhor qualidade química em relação à célula mecânica convencional, ganho de 3 pontos percentuais na recuperação metálica e índice de seletividade de Gaudin 18 pontos superior a célula mecânica. Além disto, o tempo de residência foi muito inferior ao das células convencionais.

4 CONCLUSÃO

A tecnologia de flotação por células pneumáticas apresenta elevado potencial de aplicação na indústria de minérios de ferro, com maior facilidade para a obtenção de *pellet feed* dentro das especificações de mercado, com possibilidade de aumento da recuperação metálica, menor quantidade de estágios e elevada redução do tempo de residência e volume dos equipamentos de flotação em relação aos equipamentos convencionais de células mecânicas e colunas. Testes industriais devem ser realizados para confirmação dos resultados obtidos e melhor compreensão operacional da nova tecnologia.

REFERÊNCIAS

- 1 HEWITT, D.; FORNASIERO, D.; RALSTON, J. Bubble particle attachment efficiency. *Minerals Engineering*, v. 7, n.5/6, p. 657 – 665, 1994.