

CONCENTRABILIDADE GRANULOMINERALÓGICA DE MINERAIS DENSOS DE DEPÓSITOS LITOCLÁSTICOS

G.D.Barbosa¹, J. A. M. da Luz²

¹INB – Indústrias Nucleares Brasil – Unidade Buena
Praça Aníbal Abreu Viana, s/n, 28230-000-São Francisco Itabapoana, RJ.

e-mail: geverson@inb.gov.br.

²Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Demin
Campus Universitário, s/n, 35400-000 - Ouro Preto, MG. E-mail: jaurelio@demin.ufop

RESUMO

Instalações de beneficiamento de minérios contendo os chamados minerais pesados no Brasil são raras, em que pese forte demanda atual desse tipo minérios, em especial por sua estreita vinculação com elementos terras-raras. Muitos jazimentos revelam-se de economicidade marginal pela prática industrial adotada atualmente no Brasil. A partir desse contexto, realizou-se estudo de caracterização, com ênfase no desenvolvimento de rotas alternativas mais eficientes, que possam vir a viabilizar pequenos jazimentos de minerais densos, especialmente aqueles com baixo teor de minerais úteis. As amostras foram oriundas do jazimento litorâneo de Segredo, no Município de São João da Barra (RJ). Assim, após caracterização granulométrica, estudou-se a separabilidade de zirconita, rutilo, monazita, sillimanita em areia monazítica de baixo teor. O minério, previamente deslamado, foi submetido a processos de concentração densitária, a saber: jigagem, concentração em mesa oscilatória e em concentrador helicoidal (“espirais”). A alimentação e os produtos foram analisados para se obterem as partições das espécies mineralógicas constituintes em função da granulação das partículas. Calcularam-se indicadores de seletividade e quantificaram-se fluxos para permitir a avaliação do processo.

Palavras-chave: minerais pesados, concentração densitária, areia monazítica.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil existem, em operação, apenas duas jazidas de minerais pesados: Buena (INB – RJ), e Mataraca (da Millennium – Paraíba). O titânio, nono elemento mais abundante na crosta terrestre, possui as principais reservas localizadas na Austrália, África do Sul, Estados Unidos e Noruega (ilmenita), Austrália e África do Sul (rutilo) e Brasil (anatásio). No Brasil, as principais reservas estão localizadas na Paraíba (Mataraca) e ao longo da costa, principalmente nos estados da Bahia e Espírito Santo (Figueiredo, 1998; Vanuzzi e colaboradores, 1984, Souza e Figueiredo Filho, s.d.).

A ocorrência da Fazenda Segredo (RJ), objeto deste estudo, foi anteriormente pesquisada pela INB – Indústrias Nucleares do Brasil – Unidade Buena. O cálculo conclui que a reserva contém 18.449.802 de toneladas de *run of mine*, com teor de 3,3 % de minerais pesados. Tal jazimento revelou-se, à época, antieconômico, no estágio atual da tecnologia e do panorama estratégico daquela empresa (INB, 2006).

A partir desse contexto, buscou-se a caracterização tecnológica de uma amostra, com ênfase no desenvolvimento de rotas alternativas mais eficientes, que possam vir a viabilizar jazimentos similares no futuro.

2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA

Na medida em que os depósitos mais ricos e de beneficiamento mais simples estão se esgotando, os minérios mais finos e mais complexos passam a ser encarados com maior interesse. Assim, como consequência, as instalações de tratamento de minério estão tendo que ser projetadas para separar minérios mais finos, para permitir a exploração de minérios que eram considerados não econômicos. Por outro lado, diversas minerações já instaladas se vêem obrigadas a recuperar frações finas, seja pelos grandes volumes existentes, seja pelas exigências ambientais, que impedem o descarte deste material ou para aumentar a produção de minérios que antes não eram aproveitados (Figueiredo e Chaves, 1998; Oliveira e Adamian, 2005).

Este trabalho teve por objetivo caracterizar todos os minerais pesados que compõem a assembleia da ocorrência em tela, em busca de método de beneficiamento de minerais pesados que viabilize a operação. O método de beneficiamento atualmente em uso pelas empresas do setor, a cada dia, vem aumentando acentuadamente o custo devido à diminuição dos teores de minerais pesados úteis, isto é, está havendo a depleção de jazidas economicamente viáveis, obrigando as empresas a buscar soluções para aumentar as reservas com teores abaixo do atual teor de corte, bem como baixar custo via otimização de processos.

3. EXEMPLO DE ROTA DE PROCESSO: UNIDADE DE BUENA

A unidade de Buena, da INB, utiliza rota de processo que é paradigmática no Brasil. Como referência de processo de beneficiamento desse tipo de minério, aqui sob estudo, tal rota a seguir descrita. Lá há uma unidade de beneficiamento primário (UBP), onde o minério bruto (*run of mine*) é alimentado com teor de minerais pesados variando 2 % a 10 %. O minério bruto é beneficiado na UBP, gerando um concentrado com 98 % de pesados em média, utilizando métodos de separação densitária ou gravítica em espirais concentradoras (concentradores helicoidais), peneiramento, floculação, espessamento, cicloneamento. O fluxograma da UBP de Buena pode ser visto na figura 1.

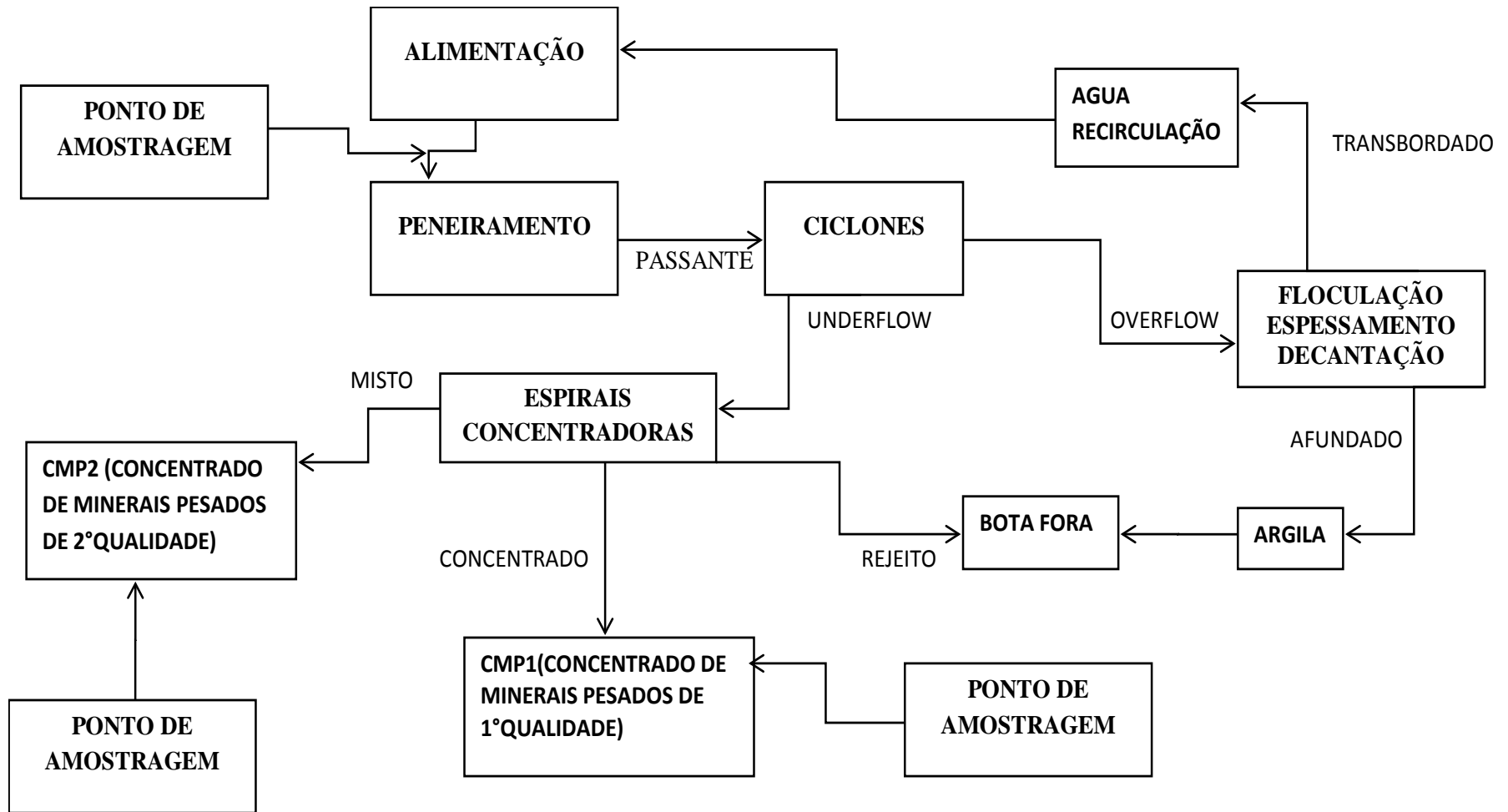


Figura 1 – Fluxograma conceitual UBP – Unidade Buena.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras deste trabalho foram coletadas pela equipe de pesquisa da INB- Unidade de Buena. São oriundas de ocorrência minerais pesados, no sítio denominado Fazenda Segredo distrito e município de São João da Barra, no Estado do Rio de Janeiro. Para composição da amostra cabeça foram utilizadas amostras de 1.103 furos (de um total de 1.444 furos distribuídos em 59 linhas). A fração argilosa desses testemunhos foi retirada por deslamagem. O somatório de massas destas amostras deslamadas foi de 497 kg, que foram transportadas para o laboratório do DEMIN da UFOP- Universidade Federal de Ouro Preto, onde as mesmas foram submetidas a homogeneização (veja-se figura 2).



Figura 2 – Pilha longitudinal de homogeneização da areia monazítica.

Para se colherem as alíquotas de 3 kg, distribuição aleatória foi feita para garantir que todas as amostras tivessem a mesma representatividade. De porte da massa específica aparente do material (previamente lavado), foi possível calcular o comprimento (11 metros) da pilha e o intervalo de divisões transversais da mesma, para resultarem as alíquotas requeridas. As alíquotas foram coletadas transversalmente à pilha de maneira aleatória, dando massa final das amostras com variação com amplitude dada pelos limites de 12,02 kg e 12,74 kg. Obtiveram-se ao cabo 40 amostras, a partir de 160 alíquotas incrementais de aproximadamente 3 kg, gerando aproximadamente 12 kg em cada amostra. Todas as amostras foram numeradas e acondicionadas.

Alíquota de 4,18 kg, da amostra 32 (massa total 12,36 kg), foi utilizada para verificação da análise granulométrica da areia (após a deslamagem). Deve-se ressaltar que o peneiramento foi feito de modo estagiado e repetido, sendo respeitada a massa máxima permitida por peneira (tal como preconizado nos livros textos de tratamento de minérios). O tempo de peneiramento foi de 15 minutos. As aberturas das peneiras da série Tyler utilizadas foram: 0,836 mm, 0,59 mm, 0,418 mm, 0,209 mm, 0,148 mm, 105 mm, 0,074 mm. Todo o material bitolado nessas peneiras e mais o passante da peneira de 0,074 mm (o fundo), foram enviadas para análise mineralógica.

As amostras para a análise mineralógica foram submetidas no laboratório à separação através método líquido denso (bromofórmio), com objetivo de quantificar os minerais densos existentes em cada fração granulométrica. Após isso, o pesado de cada fração granulométrica foi submetido à separação magnética em separador isodinâmico Frantz, e analisados por microscopia óptica para ser completada a análise mineralógica semiquantitativa, em cada fração.

Os ensaios tecnológicos constaram de concentração em equipamentos densitários clássicos, quais sejam: jigge (também chamados crivos hidráulicos), mesa oscilatória tipo Wilfley de bancada e concentrador helicoidal de Humphrey. A seleção das condições de processo foi feita atendendo às faixas usuais de operação, encontradas na literatura pertinente (Sampaio e Tavares, 2005; Chaves e Peres, 1996; Sampaio e colaboradores, 2001).

Para aferição do desempenho da separação foi usado o clássico índice de seletividade de Gaudin, expresso por (Sampaio e Tavares, 2005; Luz, 2010):

Onde:

$$I.S. = \sqrt{\frac{C_{util}}{C_{ganga}} \times \frac{r_{ganga}}{r_{util}}}$$

- C_{util} – teor de útil no concentrado [-];
- C_{ganga} – teor de ganga no concentrado [-];
- r_{util} – teor de útil no rejeito [-];
- r_{ganga} – teor de ganga no rejeito [-];

4. RESULTADOS

Na tabela 1, adiante, estão mostrados os resultados da análise mineralógica semiquantitativa da amostra da cabeça estudada.

Tabela: 1 – Súmula da análise mineralógica da amostra cabeça (deslamada)

Componente	Distribuição Percentual nas Malhas									Total
	0, 835 mm (20 #)	0,58 mm (28 #)	0, 417 mm (35 #)	0,29 mm (48 #)	0, 209 mm (65 #)	0, 149 mm (100 #)	0, 105 mm (150#)	0, 073 mm (200 #)	0, 000 mm (Fundo)	
Magnetita Alterada	0, 0000	0, 0001	0, 0004	0, 0005	0, 0010	0, 0042	0, 0161	0, 0139	0, 0014	0,04
Granada	0, 0003	0, 0006	0, 0070	0, 0238	0, 0340	0, 0743	0, 0400	0, 0414	0, 0014	0,22
Sillimanita	0, 0001	0, 0001	0, 0014	0, 0134	0, 0366	0, 2142	0, 1380	0, 1037	0, 0093	0,52
Turmalina	0, 0002	0, 0004	0, 0049	0, 0118	0, 0236	0, 0828	0, 0243	0, 0170	0, 0015	0,17
Muscovita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0004	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,00
Biotita	0, 0000	0, 0001	0, 0004	0, 0015	0, 0000	0, 0009	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,00
Anfibólio verde	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0784	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,08
Anfibólio marrom	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0004	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,00
Hornblenda verde	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 2470	0, 8587	0, 3459	0, 0531	0, 0179	1,52
Hornblenda marrom	0, 0007	0, 0014	0, 0130	0, 0000	0, 0017	0, 0186	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,04
Ilmenita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0002	0, 0037	0, 0254	0, 1880	0, 5050	0, 0482	0,77
Limonita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0043	0, 0068	0, 0156	0, 0001	0, 0004	0, 0000	0,03
Enstatita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0028	0, 0094	0, 0828	0, 0132	0, 0150	0, 0031	0,13
Hiperstênio	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0,00
Estaurolita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0032	0, 0066	0, 0055	0, 0001	0, 0000	0, 0000	0,02
Epidoto	0, 0000	0, 0001	0, 0014	0, 0005	0, 0037	0, 0623	0, 0324	0, 0336	0, 0022	0,14
Monazita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0124	0, 0038	0,02
Leucoxênio	0, 0000	0, 0001	0, 0014	0, 0010	0, 0045	0, 0125	0, 0021	0, 0011	0, 0000	0,02
Espinélio incolor	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0004	0, 0000	0, 0097	0, 0002	0, 0001	0, 0000	0,01
Rutilo	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0008	0, 0057	0, 0172	0, 0091	0, 0104	0, 0013	0,04
Zircão	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0020	0, 0007	0,0000	0, 0014	0, 0554	0, 0227	0,08
Titanita	0, 0000	0, 0000	0, 0000	0, 0005	0, 0008	0, 0080	0, 0013	0, 0041	0, 0000	0,01
Quartzo	0, 5340	1, 6629	5, 4434	13, 6554	26, 9789	40, 8629	4, 8988	1, 5129	0, 6008	96,15
Total Minerais Pesados	0, 0013	0, 0027	0, 0296	0, 1459	0, 3858	1, 4928	0, 8121	0, 8665	0, 1131	3,85

Várias amostras de cabeça (assim consideradas, aqui, a areia dos testemunhos, após a deslamagem, da ocorrência de minerais pesados da Fazenda Segredo) foram submetidas a ensaios tecnológicos de concentração densitária em escala de bancada (à exceção daqueles de concentração em espiral, a qual tinha o

tamanho normal da escala industrial), com objetivo de buscar subsídios para nova rota de processo para minerais pesados. Os resultados estão consubstanciados na tabela 2.

2 – Teores dos fluxos atinentes aos ensaios de concentração em bancada e recuperação metalúrgica

EQUIPAMENTOS	ALIMENTAÇÃO	CONCENTRADO	REJEITO	RECUPERAÇÃO
Mesa Wilfley	3,85 %	8,82 %	1,00 %	83,52 %
Jigue	3,85 %	4,75 %	3,33 %	45,35 %
Espirais de Humphrey	3,85 %	4,81 %	0,56 %	96,75 %

Os resultados do índice de seletividade de Gaudin para os ensaios aqui referidos podem ser apreciados na tabela 3, a seguir mostrada. Os mesmos resultados podem ser avaliados visualmente vendo-se a figura 3.

3 – Índices de seletividade de Gaudin para os ensaios de concentração

Material	Mesa Wilfley (bancada)	Jigue (bancada)	Espiral de Humphrey (piloto)
Global para os minerais pesados	2, 218	0, 654	0, 770
Zirconita	3, 475	2, 634	2, 306
Rutilo	1, 949	1, 820	1, 338
Ilmenita	4, 154	1, 334	1, 451

Em vista dos baixos valores do índice de seletividade da cabeça e analisando as distribuições granulométricas dos componentes, vê-se que um corte granulométrico prévio terá forte impacto nos teores, naturalmente concentrando os minerais densos na fração fina (figura 4).

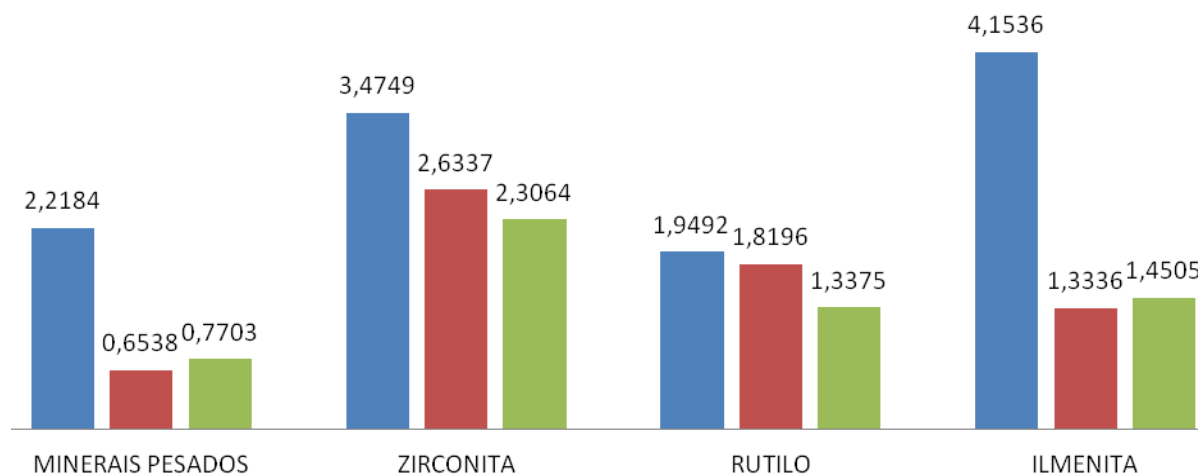


Figura 3 – Índice seletividade dos testes de equipamentos de concentração densitária (a primeira coluna de cada terno refere-se a mesa Wilfley, a segunda a jigüe Denver e a terceira, a espiral de Humphrey)

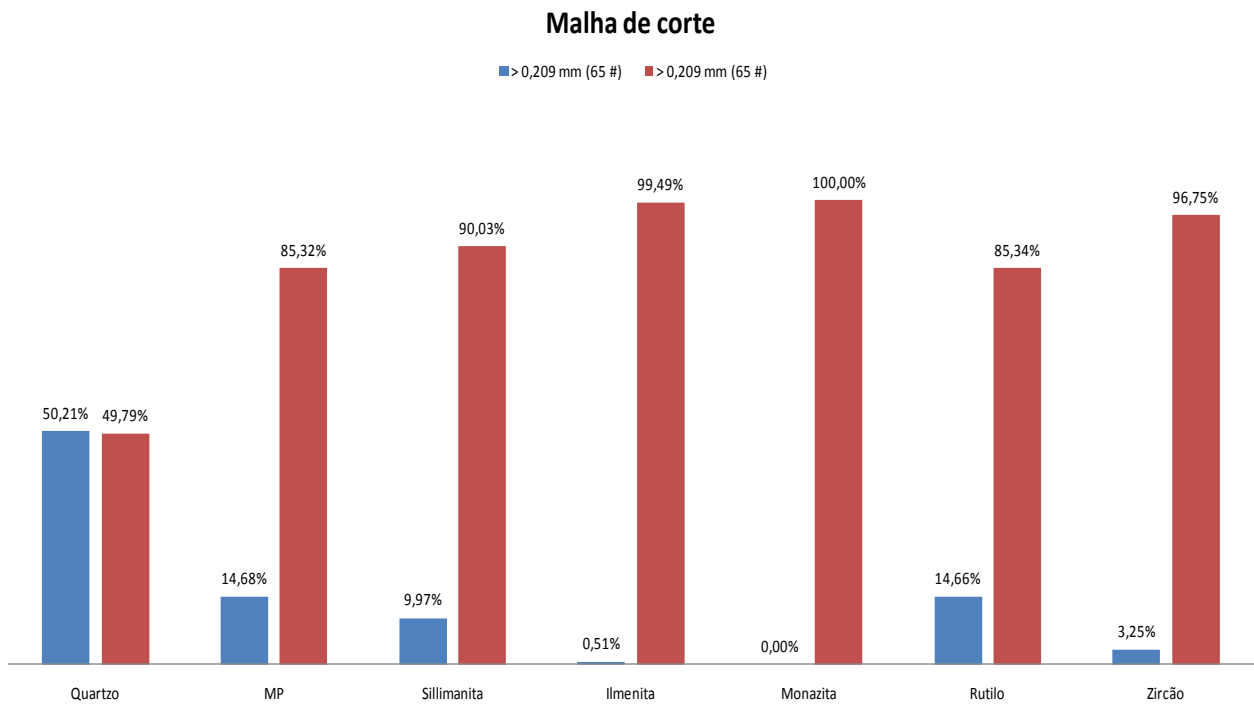


Figura 4 – Efeito de concentração por corte granulométrico na malha de 0,209 mm (MP se refere aos minerais pesados considerados no todo).

5. CONCLUSÃO

Nos ensaios de concentração em bancada, somente o jigge não teve uma boa recuperação, embora sua recuperação de minerais úteis tenha sido satisfatória, mesmo que sem grande desempenho, se se considerar o processamento da amostra da cabeça tal-qual. Já o peneiramento da amostra cabeça (escalpe) acarretou forte concentração da sílica na fração retida enquanto que os minerais densos concentraram-se na fração passante na malha de 0,209 mm (65 #), a qual acusou a distribuição de somente 49,79 % da sílica e 85,32 % dos minerais pesados (sendo que 90,03 % da sillimanita; 99,49 % da ilmenita, 100,00 % da monazita; 85,34 % do rutilo; e 96,75 % da zirconita contida possuem granulação menor que 0,209 mm). Vê-se claramente que é possível retirar 48,84 % da massa, somente por corte na malha de 0,209 mm.

Como o corte classificatório provoca o maior bitolamento da alimentação, o desempenho da concentração densitária será melhor se se alimentar material abaixo de 0,209 mm, destacando-se a mesa Wilfley com o maior índice de seletividade, tanto para os minerais pesados como um todo, quanto para os minerais de maior interesse econômico (zirconita, rutilo e ilmenita).

Como nota final ressalte-se que os resultados suscitaram a continuidade dos trabalhos e, no momento, ensaios com material cortado em 0,209 mm estão sendo levados a cabo, bem como ensaios de flotação seletiva. Tais trabalhos serão objeto de publicação futura.

6. REFERÊNCIAS

CHAVES, A. P. & PERES, A. E. C. *Teoria e Prática do Tratamento de Minério Britagem, Peneiramento e Moagem*, volume 3. São Paulo: Signus/ Brasil Mineral. 1996.

FIGUEIREDO, P. C.; CHAVES, A. P. Recuperação de Partículas Mineraias Finas e Ultrafinas no Âmbito da Concentração Gravítica. In: *Anais do XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada à Tecnologia Mineral*, 1998. ABM – volume 1. 657p. Águas de São Pedro: ABM. 1998; p. 483 - 492 .

INB, INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL –UNIDADE BUENA - Tratamento de Areias Monazíticas. Disponível em: <HTTP: \\www.inb.gov.br/ buena.asp>. Acessado em: outubro/ 2006.

LUZ, J. A. M. *Parametrização de Separação Magnética de Alto Gradiente (Chamada: Produtividade em Pesquisa 2010)*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas - UFOP. 2010. 16 p.

OLIVEIRA, J.F; ADAMIAN, R. A Cinética do Processo de Flotação e sua Importância na Recuperação de Partículas Finas. *Anais do XXI ENTMME, Natal-RN de novembro, 2005*. Natal: EUFRN. 2005.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; LINS, F. F. Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil; Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2001.

SAMPAIO, C. H. & TAVARES, L. M. *Beneficiamento Gravimétrico*. Porto Alegre: EUFRGS, 2005.

SOUZA, H.C.; FIGUEIREDO FILHO, O. A. *Aspectos Tecnológicos e Ambientais da Exploração de Minerais Pesados na Mina do Guaju/ Mataraca – PB: Um Estudo de Caso da Millennium Inorganic Chemicals*. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

VANUZZI, A. L.; VASCONCELOS, D. P.; ABRAHÃO, J. R.; Jazidas de Minerais Pesados no Litoral Norte do Estado do Rio Janeiro e Sul do Estado Espírito do Santo e Bahia; In: *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, 1984.