

Estudo da Recuperação e Aproveitamento de Finos de Minério em um Reservatório de Rejeitos

Deni Otávio Oliveira de Souza

Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, deni.otavio.souza@vale.com

Fernando Feitosa Monteiro

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, heber@det.ufc.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

RESUMO: Dentro das ações que visam avaliar a mitigação dos impactos nas operações correntes, pode-se citar o aproveitamento das barragens de rejeito. Neste contexto de necessidade de redução de áreas impactadas pela atividade minerária associado ao aumento da demanda por minério de ferro, o aproveitamento econômico das barragens de rejeito se mostra uma iniciativa promissora. O objetivo deste trabalho é avaliar através de estudos de caracterização a viabilidade econômica do rejeito depositado em uma barragem como uma alternativa para a recuperação do reservatório. A análise química mostrou que o teor de Fe nas amostras foi bastante elevado, em torno de 64%, e com os testes de sedimentação e filtragem foi possível a verificação de resultados aceitáveis para a realização do processo de lavra do reservatório com uma boa taxa de recuperação e retorno do rejeito com um percentual de sólidos entre 16% a 30%, dependendo do modelo de ciclone adotado. Diante dos resultados obtidos nas análises, concluiu-se que o processo de lavra do reservatório poderia ser viabilizado contribuindo para a manutenção do reservatório nos próximos anos e garantindo as condições operacionais da barragem eliminando a possibilidade de um futuro alteamento.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Ruptura, Rejeitos, Investigação, Minério.

ABSTRACT: Within the actions that aim to evaluate the mitigation of impacts on current operations, tailings dams exploitation can be mentioned. In this context of the need to reduce impacted areas by mining activity associated with the increase in the demand for iron ore, the economic exploitation of the tailings dams is a promising initiative. The aim of this research is to evaluate through characterization studies the economic viability of the waste deposited in a dam as an alternative for the recovery of the reservoir. The chemical analysis showed that the Fe content in the samples is quite high, around 64%, and with the sedimentation and filtration tests it was possible to verify the acceptable results for the well recovery and return of the waste with a solids percentage of between 16% and 30%, depending on the cyclone model adopted. In view of the obtained results in the analysis, it was concluded that the reservoir tillage process could be made feasible contributing to the maintenance of the reservoir in the coming years and guaranteeing the operational conditions of the dam, eliminating the possibility of a future rising for upturn

KEY WORDS: Tailing Dam, Failure, Tailings, Ore, Investigation.

1 INTRODUÇÃO

A ruptura de uma barragem pode gerar consequências catastróficas ao meio ambiente e sociedade. Segundo dados divulgados pelo Departamento Nacional de produção Mineral (DNPM) em 2016, o Brasil possui um número expressivo de barragens, em função dos recursos hídricos disponíveis e da crescente exploração mineral. Além das barragens para geração de energia elétrica, têm-se de forma crescente as barragens de acumulação de água e resíduos de mineração. Para melhorar as condições de segurança destas obras é de fundamental importância a avaliação das condições de segurança já existentes, reduzindo a possibilidade de acidente e suas consequências. Dentro das ações que visam avaliar a mitigação dos impactos nas operações correntes, pode-se citar o aproveitamento das barragens de rejeito. Neste contexto de necessidade de redução de áreas impactadas pela atividade minerária associado ao aumento da demanda por minério de ferro, o aproveitamento econômico das barragens de rejeito se mostra uma iniciativa promissora. O minério de ferro é uma das matérias-primas mais antigas, tendo seu consumo aumentado desde o Período Neolítico. É utilizado principalmente na indústria siderúrgica para produção de ferro-gusa e ferro-esponja, os quais são transformados em aço (Takehara, 2004). Durante o tratamento do minério, além do produto final, é gerado um subproduto, denominado rejeito, que apresenta, ainda, baixa viabilidade de aproveitamento, seja em termos tecnológicos ou econômicos, sendo este rejeito depositado em barragens, conforme apresentado no fluxograma esquemático da Figura 1.

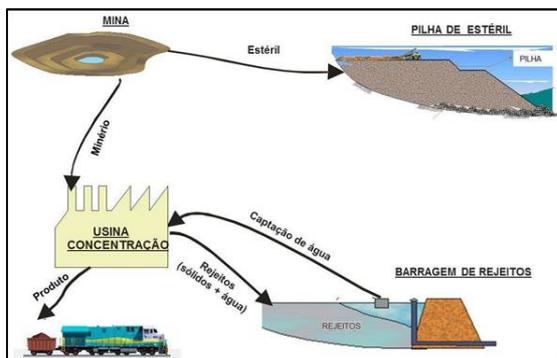


Figura 1. Processo de Exploração de Mina a Céu Aberto

Segundo Wolff (2009), os rejeitos podem apresentar teores consideráveis dos minerais de interesse em função de processos de beneficiamento ineficientes, característicos de usinas com baixa recuperação de minério. A presença de elevados teores de minérios em rejeitos é um fator que corrobora o desenvolvimento de projetos de recuperação de minérios a partir de depósitos de rejeitos. Com o desenvolvimento de tecnologias economicamente viáveis que permitam a extração e processamento de rejeitos, as estruturas de disposição de rejeito, tais como barragens e pilhas de rejeito, se tornarão uma importante fonte de ferro. Atualmente, o reprocessamento dos rejeitos das barragens é uma realidade na mineração brasileira. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar através de estudos de caracterização a viabilidade econômica do rejeito depositado em uma barragem como uma alternativa para a recuperação do reservatório. Muitos pesquisadores investigaram a recuperação e o aproveitamento de rejeitos, e várias conclusões significativas foram obtidas. (Albuquerque Filho, 2004; Yellishetty *et al.*, 2008; Assis *et al.*, 2018).

2 ESTUDO DE CASO

A mina de ferro está situada na região amazônica (Figura 2) ao sul do estado do Pará e contempla os seguintes ativos: Cavas, depósitos de estéril, barragens de terra para disposição de rejeitos e captação de água, instalações de tratamento de minério e Infraestrutura de apoio operacional. A usina de beneficiamento utiliza-se de beneficiamento úmido com sistema de alimentação de água, proveniente das barragens, visando à lavagem do minério e posterior classificação. O rejeito oriundo do processo de beneficiamento do minério é disposto na barragem escolhida como objeto deste estudo, que opera desde 1985 passando por 2 alteamentos em 1992 e 2002. Anteriormente, essa função também era desempenhada pela outra barragem de menor proporção, que hoje opera apenas para contenção de sedimentos proveniente da lavagem dos pátios de estocagem do complexo. A barragem de terra objeto do estudo tem a finalidade de contenção de rejeitos

100 metros x 200 metros, conforme Figura 4. Os resultados dos ensaios de laboratório das amostras coletadas nas campanhas de furos de sondagem geológica à percussão nos anos de 2001 e 2010 foram organizados em planilhas, onde a espessura de cada furo foi subdividida em bancadas de 5m. Os teores de Fe, contidos nas amostras, foram representados pela da sua média aritmética em cada bancada.



Figura 4. Malha de furos das campanhas de sondagem

Para realização do levantamento batimétrico foram coletados simultaneamente e automaticamente os dados dos equipamentos de posicionamento (DGPS) e de obtenção das profundidades (ecobatímetro) pelo programa *HYPACK*, desenvolvido pela *Coastal Oceanographics*. Os perfis digitais são comparados com os registrados analogicamente pelo ecobatímetro (ecograma), sendo todos os dados espúrios eliminados, inclusive os que caracterizavam vegetação densa, como árvores para não distorcerem os cálculos de volume de água. Desde 2004 é feito o acompanhamento e evolução do rejeito dentro do reservatório, os volumes estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Levantamento Batimétrico do reservatório

Mês	Ano	NA (cota)	Area (ha)	Volume de água (m ³)	Profundidade Máxima (m)	Correção de volume com NA na cota 214,03 (m ³)
mai	2004	214,03	570,73	45.740.872,00	-	45.740.872,00
set	2005	214,03	535,96	43.446.713,00	-	43.446.713,00
fev	2006	214,03	528,39	43.278.425,00	-	43.278.425,00
jun	2007	214,03	556,33	36.330.991,00	19,34	36.330.991,00
nov	2008	214,15	526,67	31.369.596,00	18,89	31.348.751,00
nov	2010	214,1	508,96	30.916.660,00	18,93	30.908.667,00
mai	2011	214,23	539,11	31.559.715,00	19,47	30.867.167,00
nov	2011	214,04	505,24	30.907.206,00	19,00	30.864.466,00
jul	2012	214,06	500,99	30.164.624,00	19,27	30.161.422,00
out	2013	214,03	484,98	27.958.376,00	18,55	27.958.376,00
set	2014	214,04	486,19	27.997.427,00	19,36	27.958.215,00
out	2015	214,00	481,01	27.703.242,00	19,06	27.703.242,00
jul	2016	214,04	481,81	27.863.638,00	19,28	27.673.498,00

O acompanhamento batimétrico do reservatório é uma ferramenta muito importante no monitoramento do reservatório e plano de

remanejo do rejeito, pois permite observar o comportamento de avanço do rejeito, mapeamento de profundidades, monitoramento da distância entre o emerso em relação a ombreira esquerda e o barramento, além do cálculo de volume remanescente.

Uma alternativa para recuperação do minério contido na barragem poderá ser através de dragas de sucção com tubulação constituída de trechos flutuantes e terrestres. Para garantir uma produção anual em torno de 9,3 milhões de toneladas, portanto seria necessário a operação de quatro dragas de forma a realizar a sucção dos braços 1, 2 e 3, sendo a polpa transferida para uma nova usina. A concentração de sólidos médio provenientes do sistema de dragagem é de 30%, em peso, porém, pela própria natureza da operação das dragas, esse valor pode variar de 0 a 40%. Para o processo de recuperação, as dragas de sucção e recalque necessitam-se de uma capacidade nominal de 550 metros cúbicos / hora e profundidade de 16m de alcance, trabalhando em um regime de 24 horas de trabalho e 365 dias de operação no ano. Devido a capacidade de alcance de 16 metros de profundidade das dragas o presente estudo de recuperação ficaria limitado até a quarta bancada de 5 metros de espessura, sendo que na última bancada, somente seria possível lavar 1 metro. Além disso, o processo de lavra através de dragas obedece a cota de nível de água operacional do reservatório não sendo possível a recuperação em cotas superiores, conforme apresentado na Figura 5. Portanto, estimava-se que 90% do volume de rejeito do reservatório seriam recuperáveis, devido a limitações de altura da lança do equipamento e nível do reservatório (Figura 6).

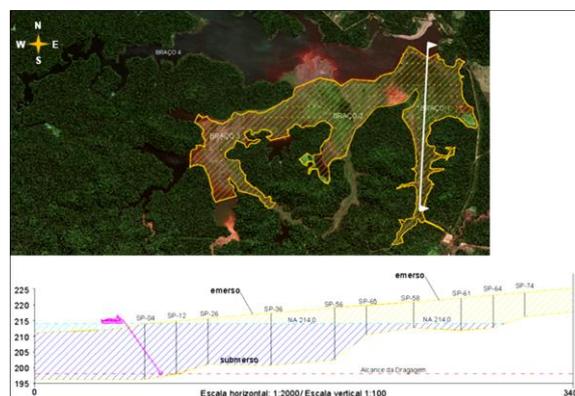


Figura 5. Operação de dragagem

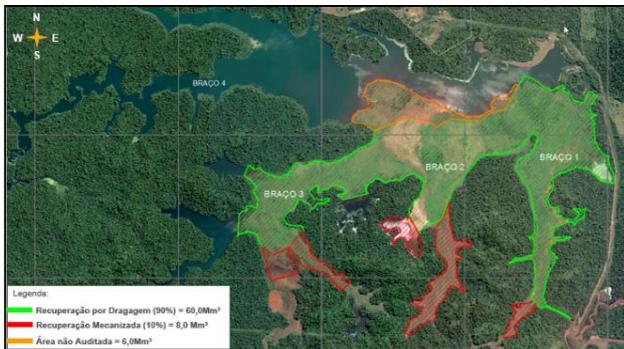


Figura 6. Área de recuperação do rejeito

Devido ao avanço natural do rejeito ao longo dos anos, obteve-se uma área complementar, que não existia na época da sondagem, que corresponde a aproximadamente 6 milhões de metros cúbicos.

A locação de trabalho de cada draga seria definida, por ocasião da elaboração do plano de lavra de forma a garantir a recuperação do reservatório e retorno do rejeito do processo sem ocorrer a contaminação do minério ou travamento do processo de disposição. Para tanto, seria necessário a priorização da recuperação de apenas 1 braço por vez, estimando-se 14,2 milhões de toneladas recuperados por ano de operação, pois desta forma traria a possibilidade de reutilização dos braços 1 e 2 para disposição do material reprocessado no futuro, sem o risco de disposição do rejeito do processo de recuperação sobre o rejeito recuperável e otimização da ocupação do reservatório, conforme apresentado no sequenciamento de recuperação nas Figuras 7, 8 e 9.

No *startup* do projeto de recuperação, a atividade de Dragagem deveria ser realizada priorizando-se o Braço 2 com o objetivo de liberar a área e viabilizar as demais disposições provenientes da atividade de recuperação.

A disposição do rejeito proveniente do projeto de recuperação deveria ser depositada no braço 4 do reservatório, de forma submersa, pois este braço possui atualmente um volume de 12,0Mm³ disponíveis para disposição cubados através da batimetria do reservatório. A disposição submersa é uma condição que deveria ser respeitada de forma a evitar a obstrução do fluxo

de água no braço 4. Estas atividades de remanejamento e recuperação do rejeito se realizadas de forma organizada, priorizando se primeiramente o braço 2 e em seguida os braços 1 e 3 respectivamente, garantiriam a otimização da ocupação de áreas disponíveis dentro do reservatório e as condições de segurança hidráulica da barragem, conforme apresentados nas Figuras 8 e 9.

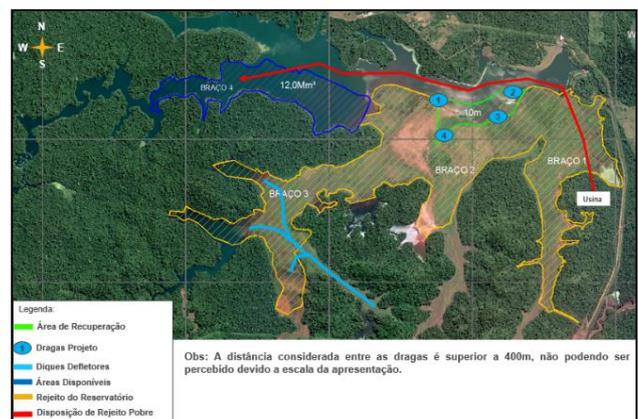


Figura 7. *Startup* de Recuperação do Reservatório no Braço 2

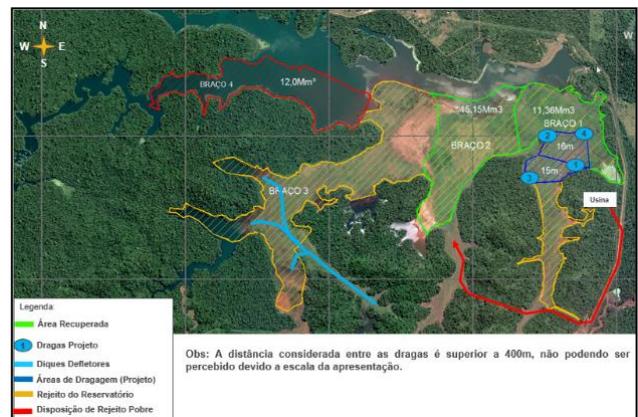


Figura 8. Continuidade da Recuperação do Reservatório no Braço 1

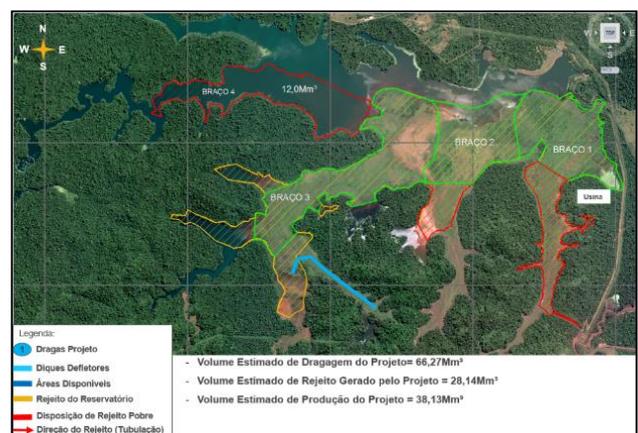


Figura 9. Término da Recuperação do Reservatório no Braço 3

3 RESULTADOS

3.1 Cubagem do reservatório

O cálculo de volume de rejeito contido nesse trecho investigado da barragem, encontrou-se através do somatório dos diversos níveis de teores de Fe das seis bancadas de 5 metros de espessura, onde encontrou-se o volume aproximado de 76.079.140m³.

Para aferição dos dados de volume estimado de rejeito no reservatório foram também considerados dados de batimetria da barragem realizados no período entre 2004 e 2010 e compilados através da modelagem de 2 diferentes softwares (*Surfer*® Golden Software e *MapInfo*® Pitney Bowes), onde o volume aproximado foi em torno de 80 milhões de metros cúbicos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Cálculo do volume de minério por software

Softwares	Surfer (m ³)	Mapinfo (m ³)
Batimetrias	8.001.466,00	8.927.193,00
Furos SPT		
2001	65.778.441,00	6.739.267,00
Furos SPT		
2010	65.778.441,00	68.883.933,00
Total	79.634.420,00	84.550.393,00

3.2 Ensaios de laboratório

As amostras geradas para caracterização tecnológica foram compostas por furos de sondagem dos braços 1, 2 e 3 realizados em 2010. As amostras dos furos foram agrupadas a cada 5m de profundidade (total de 251 amostras) e enviadas ao laboratório para determinação da química global e análise granulometria nas frações 250, 150, 106, 75 e 45 µm. A qualidade química obtida no banco de dados dos furos de sondagem é mostrada na Tabela 3. Observa-se que a média do teor de ferro é de 63,4% e os principais contaminantes são sílica e alumina. Pode ser observado também na Tabela 4 que, aproximadamente, 82% do material está contido na fração abaixo de 45 µm (0,045 mm). Não existem dados na fração de lamas (- 10 µm). Os resultados da média ponderada de todas as

amostras são mostrados na Tabela 5. Observa-se que a qualidade química e granulométrica é bastante próxima da média global da barragem, o que mostra a representatividade do conjunto de amostras coletadas.

Tabela 3. Análise química global das amostras

Sondagem	Braço	Vol (m ³)	t/m ³	Massa (t)	Fe*	SiO ₂ *	P*	Al ₂ O ₃ *	Mn*	PPC*
2001	1	-	-	-	64,72	1,20	0,062	2,042	0,907	-
	2	-	-	-	65,12	1,09	0,069	1,865	0,82	-
Subtotal 2001		6.739.267	2,5	16.848.168	64,92	1,15	0,066	1,953	0,864	-
2010	1	31.400.000	2,5	78.500.000	63,09	2,99	0,046	2,666	0,713	2,85
	2	23.424.000	2,5	58.560.000	63,26	2,50	0,050	2,486	0,902	3,05
	3	15.350.000	2,5	38.375.000	63,45	2,25	0,052	2,469	0,901	2,98
Subtotal 2010		70.174.000	2,5	175.435.000	63,22	2,66	0,049	2,563	0,817	8,95
Total geral		76.913.267	2,5	192.283.168	63,37	2,53	0,050	2,510	0,821	2,946

* Valores médios

Tabela 4. Análise granulométrica das amostras

Sondagem	Braço	Vol (m ³)	t/m ³	Massa (t)	+0,25mm	+0,15mm	+0,10mm	+0,075mm	+0,045mm	-0,045mm	-0,020mm
2001	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal 2001		6.739.267	2,5	16.848.168	-	-	-	-	-	-	-
2010	1	31.400.000	2,5	78.500.000	1,36	1,44	2,49	6,37	10,18	78,16	-
	2	23.424.000	2,5	58.560.000	1,42	1,72	2,40	3,330	5,38	85,76	-
	3	15.350.000	2,5	38.375.000	0,34	0,51	1,23	3,14	6,65	88,14	-
Subtotal 2010		70.174.000	2,5	175.435.000	1,16	1,33	2,18	4,65	7,81	82,88	-
Total geral		76.913.267	2,5	192.283.168	1,16	1,33	2,18	4,650	7,81	82,03	-

Tabela 5. Média ponderada dos resultados das amostras

Média	Peso (kg)	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	PPC	% 0,25mm	% 0,15mm	% 0,10mm	% 0,075mm	% 0,045mm	% - 0,045mm
Ponderada das amostras	199,99	63,27	2,69	0,047	2,52	0,80	2,94	1,11	1,35	2,34	5,46	9,78	79,96
Global da barragem	-	63,37	2,53	0,050	2,51	0,82	2,95	1,16	1,16	2,18	4,65	7,81	82,03

As amostras dos furos de sondagem foram blendadas e quarteadas para caracterização. Uma alíquota foi preparada e enviada para realização de análise granulométrica em três diferentes laboratórios, por duas diferentes técnicas de análise de tamanho de partículas na fração de subpeneiramento: separação por *cyclosizer* e difração do laser (*Cilas*). Os resultados mostram uma diferença significativa na metodologia de análise granulométrica por *Cilas* e *Cyclosizer* na fração de subpeneiramento (Figura 10).

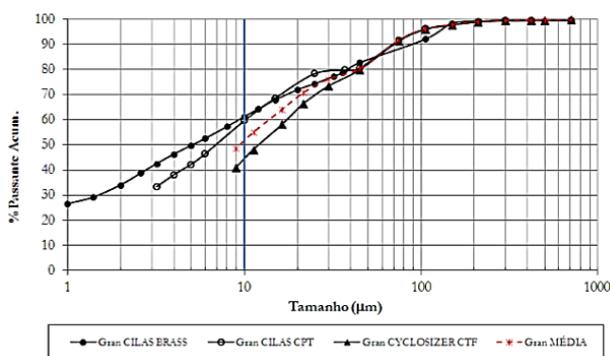


Figura 10. Curvas granulométricas

Observa-se que cerca de 60% do material está abaixo de 10 µm pelo método a laser e aproximadamente 45% pela técnica do *cyclosizer*. Definiu-se por, então, adotar uma

curva granulométrica média, conforme destacada na cor vermelha.

Os resultados da análise química das frações por faixa granulométrica são apresentados na Tabela 6. As amostras foram obtidas no peneiramento convencional até 45 µm e no subpeneiramento por cyclosizer (- 45 µm). Como era de se esperar, a fração abaixo de 9 µm apresenta menor teor de ferro.

Tabela 6. Análise química

Microns	Retido simples (%)	Análise química (%)									
		Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	PPC	TiO ₂	CaO	MgO	
420,0	0,41										
300,0	0,8										
210,0	0,41										
150,0	1,24	57,42	7,44	0,05	4,32	1,05	4,38	0,21	0,05	0,11	
106,0	1,74										
75,0	4,72										
45,0	11,51	63,36	3,78	0,03	1,55	0,36	2,42	0,09	0,13	0,10	
30,0	6,48	66,77	0,88	0,03	0,52	0,36	1,45	0,06	0,14	0,09	
21,7	7,00	65,24	1,53	0,03	1,24	0,47	2,05	0,10	0,12	0,10	
16,4	8,33	64,28	2,10	0,04	1,92	0,51	2,36	0,12	0,12	0,11	
11,3	9,99	64,23	2,05	0,04	1,91	0,51	2,27	0,13	0,12	0,11	
9,0	7,28	64,10	2,14	0,04	1,84	0,55	2,43	0,14	0,15	0,12	
-9,0	40,79	59,62	4,21	0,08	4,05	1,10	4,26	0,25	0,29	0,22	
Total	100	61,89	3,91	0,05	3,13	0,85	3,46	0,19	0,18	0,15	
	Global	62,62	2,82	0,05	2,71	0,77	2,95	0,17	0,02	0,07	

Nos ensaios de sedimentação com a amostra tal qual o floculante *Praestol 56640* (floculante não iônico de médio peso molecular) apresenta os melhores resultados referentes à área unitária, com valores entre 0,021 a 0,051 m²/t/dia, dependendo da concentração de sólidos da polpa e a dosagem de floculante, conforme a Tabela 7. Os testes foram realizados com o percentual de sólidos da polpa de 7 e 10%, em peso, e pH 7,0. Esta faixa de concentração de sólidos apresenta melhores resultados de sedimentação em testes de proveta. As dosagens aplicadas de floculante foram de 20 e 30 g/t.

Tabela 7. Ensaios de sedimentação

Teste	Floculante (g/t)	Sólidos (%)			Velocidade de sedimentação (m/h)	Área unitária (m ² /t/dia)	Turbidez (FTU)
		Inicial	Final Calculado	Final medido			
1	20	7,00	49,91	51,80	27,68	0,038	76,95
2	30	7,00	48,29	51,72	60,00	0,014	49,85
3	20	10,00	50,73	52,79	25,50	0,051	73,6
4	30	9,96	50,61	52,31	57,80	0,021	56,67

Também se mensurou a turbidez do sobrenadante para os percentuais de sólidos 20% e 30% da alimentação da polpa. Verificando-se que os valores são baixos, caracterizando clarificação elevada do sobrenadante, que pode ser observada Figura 11.

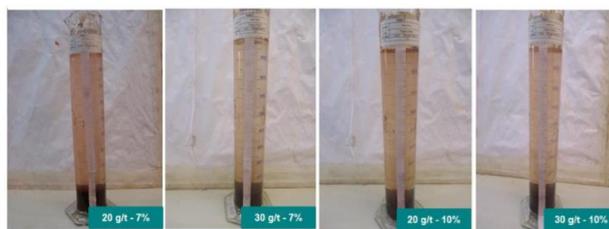


Figura 11. Ensaio de sedimentação

Os ensaios de laboratório para dimensionamento de filtros a vácuo, conhecido como teste de folha (*filter leaf test*), foram realizados com uma amostra gerada em laboratório com 26,8% de lamas (-10 µm), medido por difração do laser. Os testes foram realizados com uma polpa com 65% de sólidos, em peso, submetidas à pressão de vácuo de formação e secagem de 22 pol. Hg. O tecido de filtragem previamente testado e escolhido para esse ensaio foi o Metso S12BR6-1. Observa-se que, para um tempo de ciclo operacional (60 a 80 s), a umidade do produto é de aproximadamente 15,0% e a taxa unitária de filtragem (tuf) próxima a 1,30 t/h/m².

A Figura 12 apresenta a variação da taxa unitária de filtragem (tuf) com a umidade da torta para espessuras de torta de 15, 20 e 25 milímetros. Observa-se que a menor umidade de torta alcançada nos ensaios de laboratório é de 14,5%, correspondendo a uma tuf de 0,8 kg/h/m².

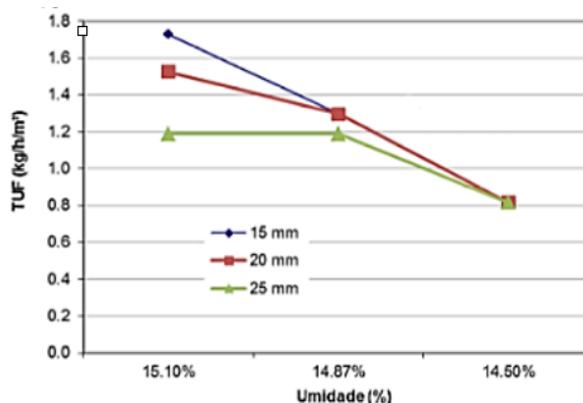


Figura 12. Taxa de filtragem x umidade da torta

Para estes estudos, também foram considerados os parâmetros de propriedades dos rejeitos que interessam aos cálculos e planejamentos do lançamento dos materiais na área de deposição da barragem como também nos cálculos de volume estimado. Para tal foram

ensaiadas amostras de polpas recolhidas na calha de rejeito. Os índices físicos que se referem aos materiais da polpa e dos rejeitos depositados acima (emersos) da linha d'água são apresentados na Tabela 8 e os resultados de ensaios referentes a 6 (seis) amostras de rejeitos “emersos” retiradas nos depósitos dos braços 1, 2 e 3 são exibidos na Tabela 9.

Tabela 8. Ensaios de polpa

Índice	Faixa de valores	Valor médio
Densidade da polpa (kN/m ³)	17 a 18	18
Densidade de grãos (kN/m ³)	40 a 46	44
Percentual: peso de sólidos (%)	54,2 a 56,1	56,0
Densidade aparente seca (kN/m ³)	22 a 27	25
Umidade (%)	17,0 a 23,0	18,9
Índice de vazios	0,8 a 0,9	0,8

Tabela 9. Caracterização dos rejeitos

BRAÇOS	AMOSTRAS	w ₄	w	(e _s)	w ₁	w ₂	IP	G
1, 2 E 3	(2 por braço)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kN/m ³)
MÉDIAS		25	18,7	0,96	16	12	4	49,7

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da cubagem do reservatório e dos ensaios realizados nas amostras de sondagem, verifica-se que a barragem possui uma reserva medida de aproximadamente 76 milhões de metros cúbicos. Considerando a densidade média do depósito *in situ* de 2.5 t/m³, calcula-se que barragem possui uma reserva de aproximadamente 200 milhões de toneladas de finos de minério contido, estimando-se que desse total, 140 milhões de toneladas, ou seja 70%, seja viável de recuperação por dragagem com 60 a 64% de teor de ferro, provenientes dos rejeitos de usina depositados no reservatório ao longo dos anos, onde a maior parte deste material pode ser processado para a produção de *pellet feed*, somente com etapas de deslamagem e filtração, com uma recuperação média em massa em torno de 57%. Diante destes resultados, pode-se destacar os seguintes itens relevantes para viabilização do processo de lavra do reservatório:

1) Atratividade econômica, devido à grande quantidade de minério de alto teor, estimativa de recuperação de 68 milhões de metros cúbicos, dentro do reservatório;

2) Grande apelo ambiental, pois o processo de lavra do reservatório pode ser viabilizado contribuindo para a manutenção do reservatório nos próximos anos e garantindo as condições operacionais da barragem, eliminando desta forma a necessidade de um futuro alteamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro na concessão de bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque Filho, L. H. (2004). *Análise do Comportamento de Barragens de Rejeitos de Minério de Ferro Através de Ensaios de Piezocone*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, 194 p.
- Assis, D. M., Queiroga, F. O. C. S., Mendes, J. C. (2018) *Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na fabricação de tijolos maciços*. *Ágora*, v.1, p. 191-200
- DNPM *Barragens*, [https:// www.dnpm.gov.br](https://www.dnpm.gov.br), acessado em 24/05/2016.
- Takehara L. (2004) *Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro de Minas da Vale Caracterização Geometalúrgica dos Principais Minérios de Ferro Brasileiros – Fração Sinter Feed*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 421p.
- Wolff A. P. (2009) *Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro de Minas da Vale*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 109p.
- Yellishetty, M., Karpe. V., Reddy, E.H., Subhash, K. N. , Ranjith, P. G. (2008) *Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: A case study*. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, p. 1283-1289.