

Fernanda Parreiras de Paula Dias

**“ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ADENSAMENTO DE REJEITO DE ARGILA PARA
DISPOSIÇÃO FINAL”**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Minas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues

Ouro Preto, Agosto de 2018

D541e Dias, Fernanda Parreiras de Paula.
Estudo de alternativas de adensamento de rejeito de argila para disposição final [manuscrito] / Fernanda Parreiras de Paula Dias. - 2018.

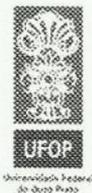
11f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Otávia Martins Silva Rodrigues.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Beneficiamento de minério. 2. Resíduos industriais. 3. Argila. I. Rodrigues, Otávia Martins Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.7



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 24 dias do mês de agosto de 2018, às 14h030min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado “**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ADENSAMENTO DE REJEITO DE ARGILA PARA DISPOSIÇÃO FINAL**”, pela aluna **Fernanda Parreiras de Paula Dias**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof^a. Dr^a. Otávia Martins Silva Rodrigues (orientadora)**, **Prof. M.Sc. José Fernando Miranda** e **Eng^a. de Minas Mariana Batista Lobato**.

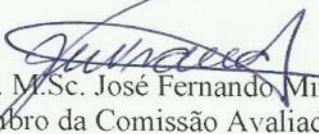
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovacao* da candidata, com a nota *9,0* concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

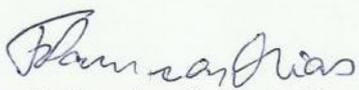
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

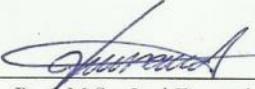
Ouro Preto, 24 de agosto de 2018.


Prof^a. Dr^a. Otávia Martins Silva Rodrigues
Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Membro da Comissão Avaliadora

Mariana Batista Lobato
Eng^a de Minas Mariana Batista Lobato
Membro da Comissão Avaliadora


Fernanda Parreiras de Paula Dias


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ADENSAMENTO DE REJEITO DE ARGILA PARA DISPOSIÇÃO FINAL

Fernanda Parreiras de Paula Dias¹, Otávia Martins Silva Rodrigues², Matheus Naves Moraes³

1. Estudante de Graduação - Departamento de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. fppdias@gmail.com
2. Dr. - Departamento de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. otaviamartins@yahoo.com.br
3. Pesquisador - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da RHI-Magnesita, Contagem, Minas Gerais, Brasil. matheus.naves@rhimagnesita.com

RESUMO

Atualmente, a legislação brasileira sobre disposição de rejeitos minerais enquadra os diques em equivalência às barragens, o que implica em um maior controle dessa atividade. Tendo isso em vista, este artigo propõe avaliar a possibilidade de gerar rejeitos no beneficiamento de argila da unidade da RHI-Magnesita em Uberaba, Minas Gerais, com maior percentual de sólidos, a fim de melhorar sua disposição final. Para tal, primeiramente, investigou-se o uso de reagentes alternativos ao coagulante atual, o ácido sulfúrico, por ser altamente corrosivo. Em seguida, avaliou-se a possibilidade de gerar pasta mineral com um espessador a partir da polpa de rejeito, a fim de depositar um material de forma mais segura nos diques. Ambas possibilidades foram descartadas, pois não atingiram o objetivo de adensar o material e gerar significativa recuperação de água para ser utilizada no processo. A terceira vertente, a qual gerou melhor resultado, avaliou a utilização de um classificador espiral para desaguar o rejeito. Gerou-se um rejeito final (*underflow*) com alto percentual de sólidos, cerca de 80%, que acelera o processo de secagem e ocupa menor área de disposição. Além disso, essa opção também possibilita a recuperação de alumina ao gerar um *overflow* com menos de 5% de quartzo livre e cerca de 67% de Al_2O_3 , o qual pode ser reprocessado na usina e gerar aumento de produtividade.

Palavras chave: Beneficiamento mineral, Argila, Classificador Espiral, Disposição de Rejeitos

1. INTRODUÇÃO

A atual demanda global de se utilizar recursos naturais de forma mais sustentável tem causado impactos na atividade mineira e, conseqüentemente, modificações na fiscalização. Alterações na lei da política nacional de segurança de barragens (2010) foram implementadas. Por exemplo, os diques de menor volume passaram a ser considerados barragens, o que demanda um controle ambiental mais rigoroso na sua confecção e monitoramento.

No beneficiamento de argilominerais da RHI-Magnesita utilizam-se diques para estocar os rejeitos gerados e recuperar água para o processo a partir da decantação da argila. Entretanto, o fato de se utilizarem diques demanda um maior controle no manejo desses rejeitos. Portanto, torna-se necessário a geração de rejeitos mais adensados para disposição mais segura.

Uma das alternativas possíveis é o espessamento do rejeito na forma de pasta mineral, tornando-o mais estável para empilhamento, reduzindo a área de ocupação do mesmo, este processo é conhecido como *staking* (DOUCET & PARADIS, 2010). Outra opção é o uso de reagentes, tal como modificadores de reologia, que aumentam a viscosidade, aceleram a decantação e a secagem do material, facilitando sua disposição final (POSSA & NASCIMENTO, 2010). Pode-se citar também a utilização de métodos de desaguamento, por exemplo, o classificador espiral, de forma que seja gerado um rejeito com maior percentual de sólidos. Tal equipamento produz um rejeito adensado, o *underflow*, e também um concentrado, o *overflow*, devido à partição do material mais fino facilitando sua recuperação quando necessário (CHAVES & WHITAKER, 2012). Portanto, essas opções são alternativas para acelerar o processo de sedimentação de polpas, além de reduzir a área de disposição de rejeito (FALCUCCI, 2008).

A atual planta de beneficiamento de argila da RHI-Magnesita em Uberaba dispõe seus rejeitos em diques. Nos diques é adicionado ácido sulfúrico que atua como coagulante, acelerando a liberação de água que, por sua vez, é reaproveitada no processo. Dessa forma, estudou-se a possibilidade de alterar a polpa de rejeito final para um material de maior percentual de sólidos ou em pasta, a fim de se obter uma forma mais segura de disposição e ocupar uma menor área de diques. Além disso, objetivou-se aumentar a recuperação de água e substituir o uso do ácido sulfúrico, por se tratar de uma substância corrosiva que, potencialmente, pode gerar um passivo ambiental. Portanto, as seguintes opções foram exploradas: investigação de um novo reagente modificador de reologia; utilização de um espessador de pasta; utilização de um classificador espiral. Este trabalho mostra o estudo dessas alternativas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade de beneficiamento de argila da RHI-Magnesita em Uberaba possui rota de processamento conforme ilustrado na Figura 1.

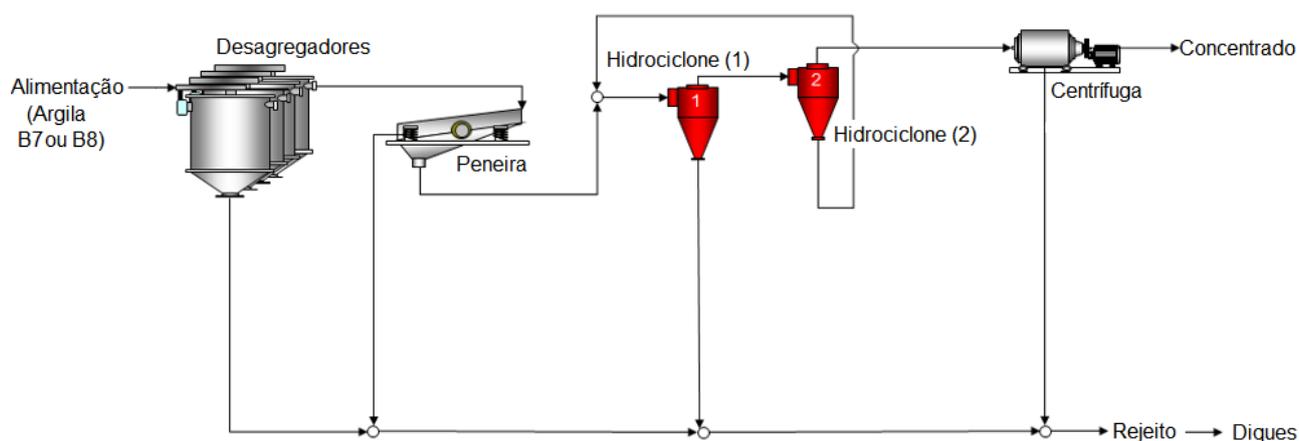


Figura 1 - Fluxograma do processamento mineral em Uberaba

A alimentação do processo de beneficiamento é composta, individualmente, pelas argilas denominadas internamente como B7 e B8. Elas se diferem basicamente pelo teor de óxidos de alumínio, sendo a última de maior teor. Os rejeitos do hidrociclone 1 e da centrífuga foram os materiais utilizados neste trabalho, já que eles são a maior parte em volume do rejeito final. Entretanto, o rejeito da centrífuga proveniente do processamento da argila B8 não foi utilizado por falta de disponibilidade de material para ser fornecido para testes.

Todas as análises e experimentos foram realizados no Centro de Pesquisas em Contagem ou no Laboratório Químico em Uberaba, ambos da RHI-Magnesita.

2.1. Caracterização dos rejeitos

Realizou-se a caracterização dos rejeitos do hidrociclone e da centrífuga das argilas B7 e B8 em termos de porcentagem de sólidos, análise química, umidade e análise racional (AR) para determinar a quantidade de quartzo livre.

2.2. Investigação de reagente modificador de reologia

Realizaram-se quatro testes de sedimentação em proveta com dois floclulantes, Reagentes 1 e 2, uma poliamina alifática e uma poliácridamida alifática, respectivamente, e também um modificador de reologia, Reagente 3, um polímero aniônico. Além disso, um teste com ácido sulfúrico com ação coagulante também foi realizado. Utilizou-se o rejeito do hidrociclone da argila B8, cujo comportamento já serviria de indicativo sobre o que aconteceria com os outros rejeitos a serem trabalhados.

As polpas foram colocadas em quatro provetas de 1 litro e em cada uma delas foi adicionado um reagente. Após a adição dos reagentes, as polpas foram homogeneizadas com auxílio de uma flange e foram deixadas em repouso por 48 horas.

A Tabela 1 mostra os reagentes utilizados nos testes e suas dosagens.

Tabela 1 - Reagentes utilizados no teste de substituição do ácido sulfúrico

Reagentes	Ação	Dosagem (g/t)	Diluição (v/v)
H ₂ SO ₄ (98%)	Coagulante	600	10%
Reagente 1	Floculante	200	10%
Reagente 2	Floculante	200	1%
Reagente 3	Modificador de Reologia	200	1%

2.3. Utilização do espessador de pasta mineral

Utilizou-se um espessador de pasta mineral, escala piloto, fornecido pela BRASTORNO. A Figura 2 mostra o equipamento utilizado, o qual é composto, basicamente, por um cilindro de acrílico com diversas aberturas ao longo de seu comprimento para alimentação ou retirada de amostras de clarificado e/ou de pasta em diferentes alturas. No interior do cilindro há um *rake* que gira lentamente e mantém a pasta em movimento, e na parte inferior há um cone para a retirada do *underflow*.



Figura 2 - Espessador da planta piloto

O Reagente 1 foi selecionado como floculante para auxiliar no espessamento e a dosagem inicial de 305 g/t foi embasada nos testes de sedimentação em proveta. Tal dosagem não gerou resultados positivos, assim, alterou-se para 1100 g/t. O ácido sulfúrico 98% também foi utilizado, com dosagem de 200 g/t que foi estipulada após observação dos testes de sedimentação em proveta. Além disso, realizou-se um teste em branco para avaliar o possível espessamento natural e para controle.

O rejeito do hidrociclone da argila B8, com porcentagem de sólidos de aproximadamente 60%, foi utilizado para os testes de espessamento, servindo de indicativo para o que aconteceria com os outros rejeitos. O rejeito foi homogeneizado e cada reagente adicionado à polpa. O material foi então bombeado para a parte superior do espessador. O *rake* foi mantido em constante movimento. Amostras foram feitas a cada hora pela saída inferior do *underflow*.

A partir de algumas amostras retiradas de *underflow* foram realizados testes de cone e de calha com caráter qualitativo, para se obter um comparativo das consistências e comportamento dos mesmos. A Figura 3 demonstra a realização dos testes.

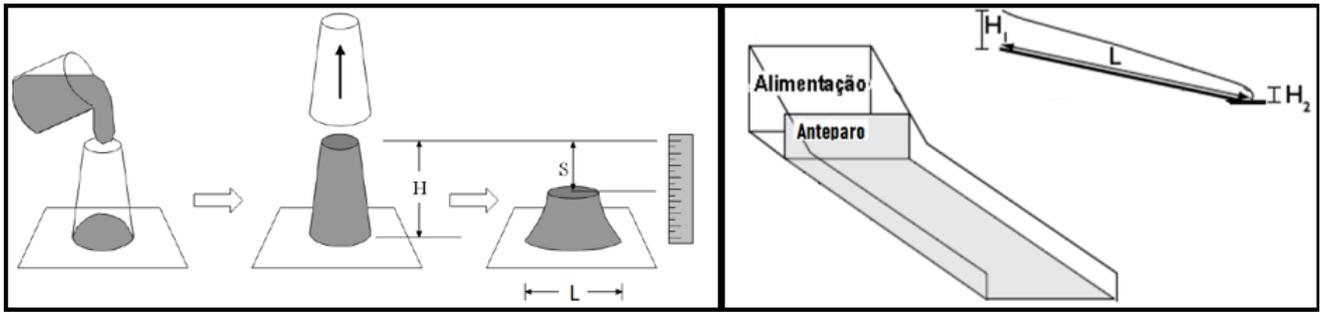


Figura 3 - Demonstrativo dos testes de cone e calha (BARREDA, 2012)

Além disso, os materiais coletados foram caracterizados em termos de análise química e percentual de sólidos.

2.4. Utilização do Classificador Espiral

Um classificador espiral da CIMAQ foi utilizado, conforme ilustrado na Figura 4. O equipamento trabalha retirando material sedimentado no fundo de seu tanque por uma espiral, produzindo um rejeito adensado. Além disso, o concentrado que sai por transbordo no tanque gera uma partição do material mais fino facilitando sua recuperação quando necessário (CHAVES & WHITAKER, 2012).



Figura 4 - Classificador Espiral

A vazão da alimentação do classificador foi estabelecida respeitando a proporcionalidade da vazão da saída de rejeito do hidrociclone em Uberaba que é em torno de 3,4 t/h de massa seca e volume de 3 m³/h. Realizaram-se testes com o rejeito do hidrociclone da argila B7 e B8, e também com o rejeito da centrífuga da argila B7. Os parâmetros operacionais foram alterados e adequados para os diferentes testes de cada material como consta na Tabela 2, com exceção da inclinação que foi mantida a mesma para todos os testes. Nos testes com os rejeitos do hidrociclone, foi adicionado um dispersante (bissilicato de sódio) na polpa de alimentação, na dosagem de 2 g/kg, para facilitar a dispersão e sedimentação do quartzo. Após a estabilização do sistema, foram coletadas três amostras de cada teste realizado com os rejeitos de hidrociclone, e duas amostras do teste realizado com o rejeito da centrífuga, sempre em um intervalo de 10 minutos. Os materiais coletados (alimentação, *overflow* e *underflow*) foram caracterizados em termos de análise química, análise racional e percentual de sólidos.

Tabela 2 - Condições operacionais dos testes realizados

Rejeito Argila	Hidrociclone					Centrífuga
	B7		B8			B7
Teste	1	2	1	2	3	1
% de sólidos inicial	65,72	66,60	60,89	59,69	62,22	4,13
Diluição da polpa	59%	59%	59%	56%	56%	Não
Espiral (RPM)	4	4,25	4	4	4,25	4
Água de lavagem (ml/min)	60	84	66	64	78	Não

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos rejeitos

A Tabela 3 mostra a caracterização das amostras dos rejeitos do hidrociclone e da centrífuga das argilas B7 e B8, que se diferenciam primordialmente pelo teor de óxidos de alumínio.

Tabela 3 – Caracterização das argilas utilizadas nos testes

Rejeito Argila	Hidrociclone		Centrífuga
	B7	B8	B7
PF	12,66	18,56	17,64
SiO ₂ (%)	69,49	50,10	52,57
Al ₂ O ₃ (%)	27,21	44,54	41,18
Outros (%)	3,31	5,37	6,25
Umidade	0,73	1,07	1,08
Análise Racional (%)	51,55	29,71	33,75
% de sólidos inicial	66,16	60,93	4,13

3.2. Investigação de reagente modificador de reologia

Em nenhum dos testes houve formação de uma interface entre líquido clarificado e zona de sedimentação. As polpas permaneceram homogêneas apenas com uma alteração de reologia, adquirindo um aspecto muito espesso como se fosse pasta.

Apesar de o material assumir um aspecto visual de pasta, esses resultados foram considerados insatisfatórios, pois não houve a liberação de água como ocorre atualmente nos diques.

Por outro lado, esses testes foram de grande valia para verificar que não seriam necessárias dosagens muito altas de ácido para se espessar o material. Essa informação adquirida foi útil para determinar a dosagem dos testes utilizando espessador.

3.3. Utilização do espessador de pasta mineral

Os resultados de caracterização das amostragens da alimentação e do *underflow* dos testes realizados com o rejeito do hidrociclone da argila B8 no espessador de pasta se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização das amostras de alimentação e *underflow* dos testes de espessamento

Reagente (Dosagem)	H ₂ SO ₄ (200g/t)			Reagente 1 (305g/t)		Reagente 1 (1100g/t)		Branco	
Amostras	<i>Underflow</i>								
Tempo de Amostragem	1h	2h	3h	1h	2h	1h	2h	1h	2h
SiO ₂ (%)	51,37	51,77	51,85	52,07	50,50	51,55	51,60	50,82	51,81
Al ₂ O ₃ (%)	42,84	42,59	42,48	42,41	43,59	42,92	42,88	43,46	42,55
% de sólidos	62,31	62,99	63,20	61,68	62,65	61,39	61,88	62,49	62,72

Observando-se as análises dos testes de espessamento na Tabela 4 e comparando com a alimentação fornecida pela Tabela 3 do rejeito do hidrociclone da argila B8, percebe-se que não houve significativa mudança de percentual de sólidos e de recuperação de alumina nas diferentes condições aplicadas.

As amostras de *underflow* retiradas no teste em branco permaneceram com aspecto de polpa e com mínimas alterações químicas, reológicas e de percentual de sólidos, o que impossibilitou realizar os testes de cone e calha. O mesmo aconteceu para as amostras retiradas no teste com Reagente 1 na dosagem de 305 g/t.

Dessa forma, realizou-se um teste adicional com o Reagente 1 utilizando dosagem de 1100g/t para tentar gerar um material mais adensado. Esta condição, por sua vez, gerou um *underflow* com significativa mudança reológica, um material bem consistente. Apesar de assumir o aspecto visual de pasta, o *underflow* não pode ser classificado como tal devido ao percentual de sólidos abaixo de 70%. O aspecto reológico assumido pelo *underflow* pode ser atribuído ao aprisionamento de água no material devido ao uso do floculante. O mesmo ocorreu com os teste com ácido sulfúrico com dosagem 200g/t. Esses dois últimos testes, foram então levados para a avaliação de cone e calha para se estabelecer um comparativo dos resultados. A Tabela 5 mostra os resultados dos testes de cone e calha que foram realizados.

Tabela 5 - Resultados das medições dos testes de cone e calha das amostras de *underflow*

Reagente (Dosagem)		H ₂ SO ₄ (200g/t)		Reagente 1 (1100g/t)	
Tempo de amostragem		1h	2h	1h	2h
Teste de Calha	Δ H1 (cm)	0.7	0.4	0.2	0
	H2 (cm)	0.9	1.4	1.7	2.7
	Δ L (cm)	2.9	2.1	1.9	0.1
Teste de Cone	Média L (cm)	16.87	15.82	15.70	11.55
	S (cm)	3.90	3.75	3.70	2.10

No teste de calha do *underflow* com Reagente 1 (dosagem de 1100 g/t) apresentou variação nula de altura e deslocamento lateral de 0,1 cm, indicando a estabilidade do material que ficou praticamente

imóvel. Similarmente, o teste com ácido sulfúrico gerou um *underflow* consistente com variação de altura de 0,4 cm e 2,1 cm de deslocamento lateral. O mesmo comportamento é observado no teste de cone para ambos os reagentes, com altura de abatimento de 2,1 cm para o teste com Reagente 1 amostrado em duas horas de teste e 3,75 cm para o teste com ácido sulfúrico também amostrado na segunda hora. Então, a utilização de ambos reagentes geraram materiais estáveis. Nota-se também que tanto o teste utilizando Reagente 1, quanto o com o ácido apresentam uma melhoria dos resultados de estabilidade com o decorrer do tempo das amostragens

Entretanto, vale ressaltar, que tal método não possibilitou a recuperação de água, pois em nenhuma das condições ocorreu sua liberação, assim como não recuperou alumina para o processo.

3.4. Utilização do Classificador Espiral

A Tabela 6 mostra a caracterização das amostras coletadas nos testes realizados com o rejeito do hidrociclone da argila B7.

Tabela 6 – Caracterização da alimentação, *overflow* e *underflow* dos testes usando classificador espiral com rejeito do hidrociclone da argila B7

Teste	1			2		
	Alimentação	<i>Overflow</i>	<i>Underflow</i>	Alimentação	<i>Overflow</i>	<i>Underflow</i>
Amostra						
SiO₂ (%)	69,30	24,73	90,42	69,68	24,83	90,00
Al₂O₃ (%)	27,31	67,92	8,25	27,11	67,90	8,66
Análise Racional (%)	50,96	2,02	83,93	52,14	1,93	84,01
% de sólidos	58,51	41,50	83,58	58,92	41,15	83,52

Ambos testes com argila B7 obtiveram no *overflow* uma boa recuperação de alumina, cerca de 40% de aumento, passando de 27% para 67%. Além disso, também apresentaram quartzo livre abaixo de 5%. Este valor percentual se enquadra em uma condição adequada para reprocessamento desse *overflow* na usina, o que resultará em um aumento de produtividade. Já o *underflow* apresentou o percentual de sólidos de aproximadamente 83%, o que indica um maior desaguamento, facilitando a disposição do rejeito e também a ocupação de menor área.

A Tabela 7 mostra a caracterização das amostras dos testes realizados com o rejeito do hidrociclone da argila B8.

Tabela 7 - Caracterização da alimentação, *overflow* e *underflow* dos testes usando classificador espiral com rejeito do hidrociclone da argila B8

Teste	1			2			3		
	Alim.	Over.	Under.	Alim.	Over.	Under.	Alim.	Over.	Under.
Amostra									
SiO₂ (%)	49,42	29,96	79,85	48,47	27,21	75,94	52,40	26,96	79,74
Al₂O₃ (%)	45,20	62,45	17,80	45,94	64,91	21,16	42,48	65,22	18,01
Análise Racional (%)	28,95	6,77	67,90	26,55	4,90	64,74	33,63	4,63	69,10
% de sólidos	57,16	50,42	80,92	56,98	47,01	82,63	54,53	44,27	81,11

Em todos os testes realizados com os rejeitos do hidrociclone da argila B8, o *underflow* apresentou percentual de sólidos de aproximadamente 80%, indicando também um maior desaguamento para facilitar sua disposição e reduzir sua ocupação final. No entanto, o teste 1 em relação aos testes 2 e 3, apresentou a quantidade de quartzo livre no *overflow* acima de 5%, desviando-se das condições de reprocessamento; tal fato pode ser atribuído a menor diluição aplicada na alimentação dos testes 2 e 3 e também ao aumento da rotação da espiral. Já o teste 3 apresentou melhorias em relação ao teste 2 por apresentar redução do teor de alumina no rejeito, sendo este fato devido ao aumento da água de lavagem.

A Tabela 8 mostra a caracterização das amostras dos testes realizados com o rejeito da centrífuga da argila B7.

Tabela 8 - Caracterização da alimentação, *overflow* e *underflow* dos testes usando classificador espiral com rejeito da centrífuga da argila B7

Teste	1		
	Alimentação	<i>Overflow</i>	<i>Underflow</i>
Amostra			
SiO₂ (%)	52,57	23,71	89,80
Al₂O₃ (%)	41,18	68,32	8,28
Análise Racional (%)	33,75	2,50	84,57
% de sólidos	3,43	3,17	6,94

O rejeito da centrífuga apresentou resultados positivos com um *overflow* com 68% de alumina para retornar ao processo e 2,5% de quartzo livre, atendendo a condição de reprocessamento. Apesar do percentual de sólidos obtido no *underflow* ter sido baixo, 6%, devido à alta diluição do rejeito da centrífuga, a recuperação de alumina já compensaria sua utilização.

4. CONCLUSÃO

Das três vertentes estudadas, o classificador espiral foi a alternativa mais vantajosa de se modificar a polpa de rejeito final para um material de maior percentual de sólidos, a fim de se obter uma forma mais segura de disposição e ocupar uma menor área nos diques. O desaguamento dos rejeitos do hidrociclone gerou um material de percentual de sólidos de aproximadamente 80%, fazendo com que a decantação do rejeito nos diques seja acelerada, assim como a liberação de água. Além disso, com o uso do classificador espiral foi possível recuperar alumina para o processo, permitindo recircular o *overflow* com valor inferior a 5% de quartzo livre.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à RHI-Magnesita, em especial à equipe de Uberaba e também à equipe do CPqD da área de Processamento Mineral, incluindo Paschoal Bonadia, os pesquisadores e a equipe técnica. Agradecimentos especiais à Otávia Martins pelo suporte e orientação.

Referências

BARREDA, R. H. O. Desenvolvimento de equipamento produtor de pasta mineral para aproveitamento dos rejeitos das lamas calcárias e diminuição do impacto ambiental. 2012. Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, UFMG, Belo Horizonte.

BRASIL. Decreto Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens, Brasília, DF, 20 set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm>. Acesso em: 25 jun. 2018.

CHAVES, A. P.; WHITAKER, W. Operações de beneficiamento de areia. In: Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.11. p.197-219.

DOUCET, J.; PARADIS, R. Thickening/mud stacking technology - an environmental approach to residue management. In: Paste 2010: Proceedings of the 13th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. 2010. Toronto, ON. p. 3-6.

FALCUCCI, A. A influência de flocculantes poliméricos na formação de pastas minerais. 2008. Dissertação de mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. UFMG, Belo Horizonte.

POSSA, M. V.; NASCIMENTO, C. R. Reologia no tratamento de minérios. In: Tratamento de minérios, 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.14. p. 597-632.