

USO DE PÓ DE ROCHA PARA TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES – AUXIPÓ

Rodrigo Augusto Franco de Oliveira Zawadzki¹

Alessandra Rosa Vieira¹

Francisco Soveral Zanella¹

Patricia Barbosa dos Santos¹

Resumo

A geração de pó de rocha nos filtros manga de indústrias mineradoras forma um resíduo sólido abundante, porém, de baixo valor agregado e geralmente destinado para composição asfáltica ou aterros industriais. No entanto, este resíduo apresenta teores elevados de alumínio e sílica em sua composição química, sugerindo um uso mais nobre como auxiliar de coagulação em estações de tratamento físico-químico de efluentes. Após ensaios laboratoriais realizados no SENAI CIC (Curitiba, PR), verificou-se que este pó foi capaz de aumentar em média 50% a remoção de cor e turbidez de três efluentes distintos. Desta forma, foi desenvolvida a tecnologia intitulada AUXIPÓ, que compreende uma alternativa mais sustentável à destinação do pó de rocha combinado com o aumento na eficiência do tratamento físico-químico de efluentes industriais.

Palavras-chave: Pó de rocha, AUXIPÓ, mineradoras, tratamento físico-químico.

Introdução

A atividade mineradora gera quantidades significativas de poeiras, causando poluição atmosférica e condições de trabalho insalubres (IBRAM 2012). O uso de filtros de manga é a solução para o problema, porém, gera um resíduo sólido aderido às mangas que deve receber uma destinação final adequada. Este destino, geralmente compreende alternativas como composição em asfalto ou descarte em aterros (CETESTB, 1990).

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Paraná (Unidade CIC), Brasil
Rua Senador Accioly Filho, 298 – CIC – Curitiba, PR rodrigo.zawadzki@pr.senai.br, alessandrav@hotmail.com, fszanella@uol.com.br, patricia17_bsantos@hotmail.com



No entanto, a caracterização físico-química deste resíduo mostra possíveis alternativas mais nobres de uso, já que a sílica e a alumina, substâncias comuns em algumas rochas, são responsáveis por processos de coagulação em efluentes. A bentonita e a sílica ativada são exemplos de substâncias provenientes de rochas que podem ser utilizadas como auxiliares de coagulação no tratamento de efluentes (DI BERNARDO *et al.* 2005).

A possível utilização de resíduos de mineração no tratamento de efluentes fornece mais uma possibilidade de agregação de valor ao resíduo de pó de rocha, bem como possibilita uma destinação final mais sustentável para um resíduo de geração abundante nas mineradoras (VIEIRA *et al.* 2012).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver o uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes industriais, a partir de um pó de rocha gerado em uma mineradora em Candeias do Jamari (RO).

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório Físico-Químico de Meio Ambiente do SENAI CIC, em Curitiba (PR). O pó de rocha, originado nos processos de desagregação mecânica (britagem e peneiramento) de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO), foi coletado dos filtros manga e acondicionado em embalagens plásticas. O método utilizado neste trabalho envolveu as etapas descritas a seguir.

Caracterização do pó de rocha

O pó de rocha foi caracterizado no Laboratório de Análises Minerais e Rochas da UFPR (Universidade Federal do Paraná), através de difratometria de raios-X (com Difratorômetro Philips PW 1830) e espectrometria de fluorescência de raios-X (com Espectrômetro Philips PW 2400).

Ensaio de tratabilidade físico-química

A possibilidade de utilização do pó de rocha no tratamento físico-químico de efluentes industriais foi verificada através de ensaios de tratabilidade físico-química (*Jar Test*). Para tanto, foi monitorada a remoção



de cor e turbidez (com auxílio de espectrofotômetro UV-Vis) nos efluentes tratados com e sem a dosagem de pó de rocha como auxiliar de coagulação. Mediu-se também a velocidade de decantação do manto de lodo em cada ensaio, com o auxílio de um Cone de Imhoff e um cronômetro. Foram testados três efluentes distintos, provenientes de indústrias de bebidas, têxtil e de papéis decorativos para madeira.

Proposta de disseminação do uso do pó de rocha no tratamento de efluentes

A proposta de disseminação do uso do pó de rocha no tratamento de efluentes foi realizada através do desenvolvimento de uma logomarca para comercialização, com o auxílio do Setor de Marketing do SENAI Paraná. Além disso, avaliou-se a logística necessária para ofertar o pó de rocha como auxiliar de coagulação às indústrias, através de análise financeira tendo como base a produção de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO). Esta análise envolveu o levantamento do custo do auxiliar de produção (A) para ensacamento do pó, a massa que o mesmo é capaz de embalar por hora (M), o preço de transporte da carga de pó de rocha (CT) até Curitiba, PR, e o preço de venda do pó de rocha (PV), bem como as equações descritas na Tabela 1. Também foi realizado um levantamento de preços de venda da bentonita e sílica ativada em 5 fornecedores de produtos para tratamento de efluentes em Curitiba, PR.

Por fim, avaliou-se a capacidade de agregação de valor ao resíduo de pó de rocha, através de consulta de preços de venda de resíduo de pó de rocha em três mineradoras localizadas no estado de Rondônia.

Tabela 1. Equações utilizadas para análise financeira para viabilizar a comercialização do pó de rocha.

Parâmetro	Equação utilizada
Custo para ensacamento do pó de rocha em R\$/kg (CP)	$CP = A/M$
Custo total para ensacamento e transporte do pó de rocha em R\$/kg (CPT)	$CPT = CP + CT$
Lucro bruto em R\$/kg (LB_{RS})	$LB_{RS} = PV - CPT$
Lucro bruto em % ($LB_{\%}$)	$LB_{\%} = (LB_{RS}/PV) \times 100$



Resultados e discussões

Os seguintes resultados e inferências acerca do uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes industriais podem ser admitidos.

Caracterização do pó de rocha

O pó de rocha, obtido dos filtros manga da mineradora apresentou uma composição mineral de feldspato alcalino, plagiocásio e mica, com uma granulometria passante em 200 *mesh* (menor que 0,074 mm). A Tabela 2 traz a composição química deste pó.

Na Tabela 2 fica evidente que existe uma elevada concentração de sílica e alumina, bem como ausência de metais tóxicos como cromo, níquel e cádmio entre outros.

Tabela 2. Composição físico-química do pó de rocha coletado nos filtros manga de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO).

Composto	Composição Físico-Química*							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO
Concentração em %	63,3	13,6	5,9	3,9	3,3	2,9	0,9	0,6
Composto	P ₂ O ₅	BaO	MnO	SO ₃	ZrO ₂	Rb ₂ O	SrO	P.F**
Concentração em %	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,60

* Resultados normalizados para 100%.

** P.F (Perda ao Fogo).

Segundo Di Bernardo (2005) e Metcalf & Eddy (2003), o uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação depende diretamente dos teores de sílica e alumina presentes na rocha, característica encontrada no pó de rocha conforme Tabela 2. A ausência de cromo, níquel, cádmio, e demais metais tóxicos também são importantes para o referido uso, pois garante inocuidade a este pó de rocha, não causando toxidez ao efluente, tampouco periculosidade ao lodo formado após a coagulação/floculação/decantação.

O baixo teor de cálcio e magnésio, verificado na Tabela 2, também traz uma característica interessante ao uso do pó de rocha como auxiliar de coagulação, já que não causaria dureza excessiva ao efluente. Desta forma,



não há prejuízo no uso de pó de rocha caso existam estratégias de reuso do efluente tratado na indústria, principalmente para alimentação industrial, uso em torres de resfriamento ou caldeiras.

No entanto, vale ressaltar que outros tipos de rocha podem não ser adequados ao uso como auxiliar de coagulação, pois podem espessar excessivamente os flocos, causando fenômenos de intumescimento (*bulking*), fornecer cor ou turbidez excessiva ao clarificado (devido a alta solubilidade), ou, por fim, elevar os teores de metais tóxicos tanto no efluente clarificado como no lodo.

Uso de pó de rocha no tratamento de efluentes industriais

O uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação, no tratamento físico-químico de efluentes industriais, mostrou-se eficiente em termos de incremento na remoção de cor e turbidez de três efluentes distintos, conforme Tabela 3.

O comparativo entre os ensaios de *Jar test* apresentado na Tabela 3 indica um significativo incremento de 35 a 58% na remoção de cor e 40 a 50% na remoção da turbidez. Desta forma, admite-se que o pó de rocha utilizado apresentou características adequadas a atuar como um auxiliar de coagulação, sendo capaz de aumentar a massa no centro de carga dos colóides estáveis facilitando sua varredura durante a coagulação/floculação.

Notou-se também uma velocidade de sedimentação 1,7 vezes maior no ensaio com o efluente têxtil com a dosagem de pó de rocha frente ao ensaio sem a dosagem do mesmo. Isto confirma o aumento de massa/tamanho dos coágulos/flocos causados pelo uso do pó de rocha, aumentando assim a velocidade de sedimentação e proporcionando maior compactação ao lodo de fundo.

Em nenhum ensaio com a dosagem de pó de rocha foi observado aumento significativo no volume de lodo formado frente aos ensaios sem a dosagem do mesmo.

Tendo como base estes resultados, realizou-se um pedido de patente, registrado sob nº de documento 1302743559, de forma a proteger por segredo industrial informações importantes ao desenvolvimento e disseminação desta tecnologia junto às indústrias.

Tabela 3. Remoção de cor e turbidez nos testes com pó de rocha como auxiliar de coagulação em três efluentes distintos.

Origem do Efluente	Remoção em relação ao efluente bruto		Incremento na remoção em relação ao efluente clarificado sem a dosagem de pó de rocha	
	Remoção cor (%)	Remoção turbidez (%)	Remoção cor (%)	Remoção turbidez (%)
Indústria de Bebidas	87,0	74,0	35,0	40,0
Indústria de Papéis decorativos para madeira	99,8	99,4	57,8	50,2
Lavadeira Industrial Têxtil	95,7	96,4	57,2	42,2

Tecnologia AUXIPÓ

O logotipo mostrado na Figura 1 foi desenvolvido para divulgar no mercado a tecnologia de uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes. Esta tecnologia foi intitulada AUXIPÓ, e atualmente encontra-se sob proteção industrial, inclusive este logotipo, pelo pedido de patente n° de documento 1302743559.



Figura 1. Logotipo desenvolvido para divulgar a tecnologia AUXIPÓ.

Análise financeira para o investimento na Tecnologia AUXIPÓ

Uma avaliação prévia foi realizada para estabelecer o ônus necessário à operacionalização da Tecnologia AUXIPÓ, bem como estabelecer o preço final de venda do produto gerado por esta proposta. Para isto, dada



a simplicidade do processo de obtenção e finalidade de uso do pó de rocha, levou-se em consideração que o seu processo produtivo restringe-se ao ensacamento e transporte do mesmo. Sendo assim, a Tabela 3 traz a composição de preços para produção e venda do pó de rocha, objeto da Tecnologia AUXIPÓ.

Não foram considerados gastos com equipamentos ou energia elétrica na etapa de ensacamento do pó de rocha na mineradora, conforme discutido no item 5.3.3.

Sendo assim, foi previsto um preço final de venda do pó de rocha de 0,50 R\$/kg, considerando sua venda em Curitiba, PR. Este valor ficou abaixo dos 1,11 R\$/kg, custo médio dos valores comercializados para a maioria dos auxiliares de coagulação disponíveis no mercado (bentonita e sílica ativada).

Tabela 4. Custos operacionais para produção, preço de venda e lucro bruto obtido na comercialização do pó de rocha para a Tecnologia AUXIPÓ.

Parâmetro	Valor
Custo do auxiliar de produção da mineradora para ensacamento do pó de rocha em R\$/h (A)	3,80
Quantidade de massa em kg de pó de rocha ensacados em 1 h (M)	600,00
Custo para ensacamento do pó de rocha em R\$/kg (CP)	0,00633
Custo para transportar o pó de rocha de Candeias do Jamari, RO até Curitiba, PR, incluindo frete, licenças de transporte e demais taxas em R\$/kg (CT)	0,20
Custo total para ensacamento e transporte do pó de rocha em R\$/kg, acrescido de R\$ 0,10 por embalagem plástica (CPT)	0,306
Preço venda do pó de rocha em R\$/kg (PV)	0,50
Lucro bruto em R\$/kg (LB_{RS})	0,194
Lucro bruto em % ($LB_{\%}$)	38,73

Agregação de valor ao resíduo de pó de rocha

Atualmente, o preço de venda do resíduo de pó de rocha nas mineradoras é em média 0,05 R\$/kg, geralmente para a indústria de asfalto. Para garantir a viabilidade financeira do transporte de cargas das mineradoras, uma carreta transporta no mínimo 15 ton de material. Sendo



assim, as mineradoras são capazes de gerar em média R\$ 750,00 com cada venda fechada de resíduo de pó de rocha. Porém, este preço baixo de venda é compensado com o grande volume de saída do resíduo, já que a demanda deste setor ainda é alta e as mineradoras necessitam de uma destinação final para o mesmo.

No entanto, algumas formações rochosas, como a descrita no item 5.1, apresentam um uso mais nobre frente à composição para asfalto, trazendo um diferencial competitivo para a venda deste resíduo por um valor maior. Sendo assim, sugere-se um valor de venda do pó de rocha, que possua características adequadas ao uso como auxiliar de coagulação, por 0,50 R\$/kg – 10 vezes maior que o valor de venda para composição em asfalto. Entretanto, dois fatores principais devem ser levados em consideração:

Inicialmente, o volume de saída para a finalidade de uso como auxiliar de coagulação é menor que o volume de saída para composição de asfalto. Isto deve-se a dosagem baixa do pó de rocha nos sistemas físico-químicos de tratamento.

Por fim, a disseminação da tecnologia AUXIPÓ junto às indústrias pode permitir que a mineradora que possuir uma rocha adequada ao uso como auxiliar de coagulação tenha a possibilidade de destinar o pó de rocha exclusivamente para esta finalidade, gerando uma alternativa de maior valorização frente à destinação para composição em asfalto. Afirma-se isto, pois, são poucas as formações rochosas no continente brasileiro que apresentam esta característica. Neste caso, esta mineradora seria uma das poucas possíveis fornecedoras do produto necessário à tecnologia AUXIPÓ, tornando a procura pela mesma grande.

Transporte e estocagem do pó de rocha

O transporte do pó de rocha pode ser realizado via rodovias estaduais ou federais. Não há necessidade de licenças especiais de controle da Polícia Federal, Exército ou órgãos ambientais, uma vez que o pó de rocha é um produto inócuo, inerte e não perigoso.

A estocagem do pó de rocha nas indústrias que utilizarem a tecnologia AUXIPÓ necessita apenas de cobertura com telhado de qualidade, sem goteiras, piso de concreto e *pallets* para empilhamento. No entanto, o pó de rocha deve ser ensacado em embalagens plásticas ou “*big bags*” para serem



fornecidos às indústrias. Sendo assim, há a necessidade de investimento da mineradora em embalagens. Porém, não se faz necessário grandes investimentos com equipamentos do tipo “ensacadoras”, já que o pó de rocha é removido diretamente do fundo do filtro manga onde ficou retido. Ou seja, basta posicionar a embalagem na saída de fundo do filtro manga e abrir a válvula de liberação do pó retido nas mangas.

Ambas as características descritas acima facilitam a venda do resíduo bem como a aquisição do pó de rocha pelas indústrias que forem utilizar o mesmo no tratamento de efluentes.

Conclusões

O uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação é um processo inovador que se mostra potencialmente competitivo frente às demais alternativas para tratamento físico-químico de efluentes comercializadas atualmente, já que apresentou alta eficiência na remoção de cor e turbidez de três efluentes industriais distintos sem ocasionar aumento na geração de lodo.

O binômio agregação de valor ao resíduo de pó de rocha e reaproveitamento de um resíduo sólido de uso restrito traz uma grande componente de sustentabilidade econômico-ambiental ao AUXIPÓ.

Por fim, a possibilidade de oferta de um produto de menor preço frente aos demais auxiliares de coagulação já existentes no mercado, coloca a tecnologia AUXIPÓ em um patamar de alto potencial de investimento, possibilitando grandes lucros com tempo de retorno de investimento reduzido.

Referências bibliográficas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Tecnologia de controle de poluição por material particulado. São Paulo/SP, 1990.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. DI BERNARDO. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª ed. 2v. Rima, São Carlos, SP, 2005.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. 2012. Disponível em: <www.ibram.org.br>. Acesso em junho de 2012.

METCALF & EDDY. Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Metcalf & Eddy Inc. 4ª ed. 2003.

VIEIRA, A.R; ZANELLA, F.S; SANTOS, P.B.; ZAWADZKI, R.A.F.O. Aplicação de Pó de Rocha como Auxiliar de Coagulação em Efluentes Industriais. Trabalho de Conclusão do Curso Técnico em Meio Ambiente, SENAI CIC, Curitiba, PR. 2012.