

VALORIZAÇÃO DE ESTÉRIL FILÍTICO: AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL COMO MATERIAL SUPORTE PARA MEIOS FILTRANTES EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

P. I. L. Silva^{1*}, J. F. A. Silva², L. P. S. Rosa^{1,2}

¹Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil *(pedroitalo446@gmail.com)

²Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - PEQ, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil

Este trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade do filito como suporte para meios filtrantes. Para tal, realizou-se um teste de solubilidade, conforme a NBR 10004. O extrato deste ensaio foi submetido a análises em ICP para determinação de concentração dos agentes químicos listados no Anexo G da referida norma. Resultados evidenciaram que o filito não pode ser aplicado como meio filtrante porque a concentração de alumínio, fluoreto, sódio e ferro estão acima dos limites legais.

Palavras-chave: filito, meio filtrante, teste de solubilidade.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, têm-se agravado continuamente os problemas relacionados à poluição dos mananciais, principalmente em decorrência do desenvolvimento agrícola e industrial, exigindo medidas tecnológicas apropriadas ao tratamento da água destinada ao consumo humano (Veras e Bernardo, 2008). A Estação de Tratamento de Água (ETA) é uma instalação essencial para garantir que a água pura captada em mananciais seja transformada em água potável de qualidade, própria para consumo humano e outros usos.

As principais operações unitárias presentes em uma ETA convencional são: a coagulação, a floculação, a decantação, a filtração, a desinfecção e a fluoretação. Segundo Foust et al. (1982), o objetivo da filtração é a separação de um sólido de um fluido que o carrega. A separação se realiza pela passagem forçada do fluido através de uma membrana porosa. As partículas sólidas ficam retidas nos poros da membrana e acumulam-se fazendo uma camada sobre a superfície dessa membrana. O fluido, que pode ser gás ou líquido, passa pelo leito de sólidos e através da membrana retentora. Perry e Chilton (1980) explicam que a escolha do meio ou septo filtrante é muitas vezes a consideração mais importante para assegurar a operação satisfatória de um filtro. Este deve ser selecionado, antes de tudo, por sua capacidade em reter os sólidos que devem ser separados do fluido, durante um período de vida razoável e no ambiente que se vai operar. A diversidade dos processos em que se faz necessária a operação de filtração introduziu uma grande variedade de tipos de meios filtrante de

uso industrial, tais como: tecidos, telas metálicas, feltros, papéis, leitos porosos rígidos, membranas, etc. (Reynol, 2005).

Os filtros mais comuns utilizados nas ETAs convencionais são os filtros rápidos, e devem passar por retrolavagens periódicas. A água decantada passa por camadas de materiais filtrantes, como areia, brita, cascalho e, em alguns casos, antracito (Figura 1). A brita funciona como a camada suporte e sistema de drenagem em leitos filtrantes de Estações de Tratamento de Água (ETA) e esgoto (ETE). Ela apoia o meio filtrante (areia ou carvão), impede que ele entupa o fundo do filtro e facilita a passagem da água durante a drenagem.

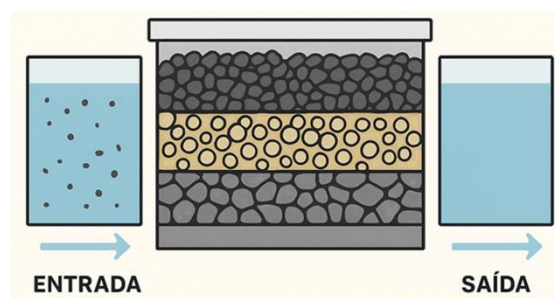


Figura 1 – Meio Filtrante (Vallari, 2026)

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a potencialidade do filito como suporte para meio filtrante. Para tal, será realizado um ensaio de solubilidade conforme a NBR10004. O filito é um resíduo abundante na extração de calcário. O termo filito é usado para designar rocha metamórfica de baixo grau, finamente granulada, onde predominam

argilominerais, da subclasse dos filossilicatos, pertencentes à classe dos silicatos (Ribeiro et al., 2000). Por ser uma rocha abundante no Brasil e de simples rota de exploração e beneficiamento, o que resulta em um baixo valor agregado do minério, o filito vem sendo empregado na indústria cerâmica como substituto parcial das argilas brancas e caulim, na indústria de construção civil na integração de argamassas em assentamentos, emboço e reboco, como carga de ração animal, adubos, sal mineral, borrachas e refratários (Melo e Thaumaturgo, 2012).

O processo de produção da cal pode ser generalizado em cinco principais etapas: extração de calcário, britagem e peneiramento do calcário, calcinação do calcário, hidratação da cal virgem e classificação da cal hidratada e embalagem. Para que o calcário, produto principal da mina, seja lavrado, é necessário que a lente de filito encontrada acima do minério seja retirada. O material retirado é disposto em estruturas denominadas pilhas de estéril. Essas são estruturas que surgem devido à necessidade de realocação do estéril para que a rocha industrial (calcário) seja lavrada (Costa, 2014). A fim de minimizar os custos, eram adotadas estruturas simples, comumente denominadas de “bota-fora”, que resultam em impactos ambientais consideráveis (Nunes, 2014).

Dessa forma, em razão dos impactos operacionais, econômicos e ambientais associados ao acúmulo e à disposição do estéril em pilhas, esse material constitui um importante gargalo no processo de extração de calcário. A ocupação de extensas áreas para armazenamento, os custos relacionados ao manejo e monitoramento das pilhas, bem como os potenciais impactos ambientais decorrentes da alteração da paisagem e da geração de material particulado, evidenciam a necessidade de estratégias sustentáveis para sua gestão.

Nesse contexto, o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, como a utilização do filito como suporte para meios filtrantes, que permitam a valorização desse resíduo e sua reinserção em cadeias produtivas representa uma oportunidade de transformar um passivo ambiental em um recurso de elevado valor agregado. A utilização do estéril de calcário como matéria-prima para novos produtos e processos contribui para a redução da geração de resíduos, promove o uso mais eficiente dos recursos minerais e favorece a transição para modelos produtivos fundamentados nos princípios da economia circular e da sustentabilidade industrial.

Além de seus benefícios técnicos e econômicos, iniciativas voltadas à valorização do estéril de calcário estão alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao ODS 9 – Indústria, Inovação

e Infraestrutura, ao incentivar o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras; ao ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, por meio da redução, reutilização e reaproveitamento de resíduos industriais.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material

A coleta do material bruto (Figura 1) foi realizada na unidade da Cal Trevo na cidade de Simão Dias-SE. O material foi processado para a realização da classificação granulométrica com tamanhos menores ou iguais a 2 mm.



Figura 2. Amostra de filito in natura

Ensaio de Solubilidade

A avaliação do potencial de solubilização do resíduo foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos pela norma brasileira (NBR 10004) de classificação de resíduos, utilizando-se o ensaio de obtenção do extrato solubilizado. Inicialmente, a amostra foi peneirada em malha com abertura de 9,5 mm, conforme exigido pela metodologia. Quando necessário, realizou-se a trituração do material para adequação granulométrica. Durante a etapa de peneiramento, foram registradas as massas retidas em cada peneira, permitindo a determinação da distribuição granulométrica e do diâmetro médio das partículas.

Em seguida, a amostra foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 42 °C por um período de 24 horas, visando à determinação do teor de umidade. Após a secagem, foram pesados 250 g de material seco e acondicionados em frascos de polietileno com capacidade de 1.500 mL. Nos casos em que a amostra não se encontrava completamente seca, realizou-se a correção de massa para garantir a equivalência a 250 g de material seco.

Para a obtenção do extrato solubilizado, adicionaram-se 1.000 mL de água destilada, desionizada e isenta de compostos orgânicos ao frasco contendo a amostra (Figura 3). A mistura foi submetida à agitação em baixa rotação durante 5 minutos, utilizando um equipamento do tipo Jar Test. Posteriormente, os

frascos permaneceram em repouso por sete dias à temperatura ambiente, mantidos fechados e vedados com filme plástico para evitar perdas por evaporação e possíveis contaminações externas.



Figura 3. Amostra de filito submersa em água para o ensaio de solubilização

Após o período de repouso, a suspensão foi filtrada a vácuo utilizando membrana de 0,45 µm de porosidade, sendo o filtrado obtido denominado extrato solubilizado (Figura 4). Nesse extrato, determinou-se o pH e foram retiradas alíquotas para a análise dos parâmetros químicos estabelecidos no Anexo G NBR 10004 de classificação de resíduos.



Figura 4. Extrato de filito

Por fim, os resultados analíticos obtidos foram comparados aos valores de referência estabelecidos no Anexo G da norma, permitindo a avaliação do potencial de solubilização do resíduo e sua classificação quanto aos aspectos ambientais, considerando ainda o pH do extrato e o teor de umidade da amostra.

Avaliação dos parâmetros

A determinação dos agentes químicos (Alumínio, Ferro, Sódio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Manganês, Prata, Zinco, Nitrato, Sulfato, Cloretos e Selênio) presentes nas amostras foi realizada por meio da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

(ICP-OES), devido à sua elevada sensibilidade, precisão e capacidade de análise multielementar. Foram selecionados comprimentos de onda específicos para cada elemento de interesse, minimizando possíveis interferências espectrais

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de concentração dos elementos químicos acima citados estão apresentados na Tabela 1. Além disso, os limites máximos de concentração de cada espécie, pela legislação brasileira (no Anexo G NBR 10004), são apresentados para fins de comparação.

Tabela 1-Concentração dos agentes químicos no extrato obtido do teste de solubilidade.

Parâmetro (mg/L)	Resultado Obtido	Limite Máximo (Anexo G)
Arsênio (As)	< 0,0053	0,01
Bário (Ba)	0,004	0,7
Cádmio (Cd)	< 0,00088	0,005
Chumbo (Pb)	< 0,0068	0,01
Cobre (Cu)	0,155	2
Cromo (Cr)	< 0,0032	0,05
Manganês (Mn)	< 0,037	0,1
Prata (Ag)	< 0,002	0,05
Zinco (Zn)	0,028	5
Nitrato	0	10
Sulfato	2	250
Cloretos	4,5	250
Selênio (Se)	< 0,043	0,01
Sódio	893	200
Alumínio (Al)	1,29	0,2
Ferro (Fe)	0,499	0,3
Fluoreto	>2,00	1,5

Os resultados do teste de solubilidade, apresentados na Tabela 1, evidenciam que a maioria dos elementos potencialmente tóxicos analisados apresentou concentrações inferiores aos limites máximos estabelecidos no Anexo G da norma brasileira ABNT NBR 10004. Os teores de arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, prata, zinco, nitrato, sulfato e cloretos permaneceram abaixo dos valores de referência, indicando baixa mobilidade desses contaminantes e reduzido potencial de lixiviação para o meio aquático.

Por outro lado, alguns parâmetros apresentaram concentrações superiores aos limites estabelecidos pela legislação. O selênio apresentou concentração inferior ao limite de detecção do método analítico (<0,043 mg/L), entretanto esse valor de detecção é superior ao limite normativo de 0,01 mg/L,

impossibilitando afirmar com segurança sua conformidade. Além disso, observou-se concentração elevada de sódio (893 mg/L), significativamente superior ao limite de 200 mg/L, indicando elevada solubilidade desse elemento e possível presença de sais solúveis na matriz analisada.

Os teores de alumínio (1,29 mg/L) e ferro (0,499 mg/L) também excederam os limites máximos permitidos de 0,2 mg/L e 0,3 mg/L, respectivamente. A elevada solubilidade desses elementos pode estar associada à composição mineralógica do resíduo, especialmente à presença de óxidos, hidróxidos e silicatos contendo alumínio e ferro, que podem sofrer dissolução parcial durante o ensaio. Em ambientes naturais, concentrações elevadas desses elementos podem provocar alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, afetando o equilíbrio químico e potencialmente impactando organismos aquáticos.

O parâmetro que apresentou maior preocupação ambiental foi o fluoreto, cuja concentração foi superior a 2,00 mg/L, ultrapassando o limite máximo de 1,5 mg/L estabelecido pela norma. A elevada concentração de fluoreto sugere a presença de minerais fluorados na composição do material e evidencia seu potencial de liberação para o meio quando em contato com a água. Concentrações excessivas de fluoreto em águas destinadas ao consumo humano estão associadas a efeitos adversos à saúde, como fluorose dentária e esquelética.

De maneira geral, embora o resíduo apresente baixas concentrações de diversos metais potencialmente tóxicos, os resultados do teste de solubilidade demonstram que alguns constituintes, particularmente sódio, alumínio, ferro e fluoreto, apresentam elevada mobilidade em meio aquoso. Segundo os critérios da ABNT NBR 10004, a superação dos limites estabelecidos no Anexo G caracteriza o material como um resíduo não inerte (Classe II-A), uma vez que possui componentes capazes de serem solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade, demandando cuidados quanto à sua disposição e incentivando a busca por alternativas de reaproveitamento e valorização que minimizem os riscos de contaminação ambiental. Assim, esse estudo mostrou que a aplicação do filito como suporte para meios filtrantes não é uma aplicação tecnicamente segura.

CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a potencialidade do filito, resíduo da extração do calcário, como suporte para meios filtrantes. Realizou-se um teste de

solubilidade de acordo com metodologia proposta na NBR 10004. A partir desse ensaio, obteve-se um extrato onde as concentrações dos agentes químicos listados no Anexo G da referida norma foram mensuradas. Resultados evidenciaram que o filito não pode ser aplicado como meio filtrante porque a concentração de alumínio, fluoreto, sódio e ferro estão acima dos limites legais. Dessa forma, recomenda-se um estudo adicional que vise a aplicação do filito para outros fins.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCMAT) e à Universidade Federal de Sergipe (UFS) pela assistência técnica e pelo suporte fornecidos ao longo desta pesquisa. Os autores também agradecem a Cal Trevo Mineração pelo fornecimento do filito e pela parceria científica.

REFERÊNCIAS

- CANCELLARA, W. R. Introdução à filtração de cervejas. Revista Meio Filtrante, n. 10, p. 18-23, 2004.
- COSTA, L. B. Caracterização de estéril filítico como substituição de cal em argamassa. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Unidade Araxá, Araxá, MG, 2019.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W. et al. Princípios das operações unitárias. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982.
- MELO, L. G. A.; THAUMATURGO, C. Filito: um material estratégico para fabricação de novos cimentos. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. 2, p. 10-24, 2012.
- NUNES, D. R. Comportamento geotécnico de pilha de estéril formada pelo método de disposição por correia. Ouro Preto, 2014.
- PERRY, R. H.; GREEN, D. W. (ed.). Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York: McGraw-Hill, 1999.
- RIBEIRO, A. P.; SOARES, L.; COELHO, A. C. V.; TOFFOLI, S. M.; VALENZUELA DIAZ, F. R. Caracterização físico-química de filitos brancos da região de Itapeva, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44., 2000, São Pedro, SP. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2000.
- REYNOL Jr., A. S. A importância do meio filtrante. Revista Meio Filtrante, ano IV, ed. 17, nov./dez. 2005.
- VALLAIR. Entendendo estação de tratamento de água (ETAs). Disponível em: <https://vallair.com.br/artigos-tecnicos/entendendo-estacao-de-tratamento-de-agua-et-as>. Acesso em: 3 jul. 2026.