



USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA

USE OF MICROFILTRATION IN THE TREATMENT FOR REUSE OF MARBLE EFFLUENT

USO DE MICROFILTRACIÓN EN TRATAMIENTO PARA REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES DE MARMORARIA

Gabriela Dalmora¹, Eloise Caroline Viero¹, Tiago Diehl¹, Marcelo Hemkemeier¹

e412516

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i1.2516>

PUBLICADO: 01/2023

RESUMO

No processamento de rochas em marmorarias, é utilizada grande quantidade de água, assim, vê-se a necessidade de encontrar técnicas de reuso para este efluente gerado nas indústrias. Este trabalho analisa a viabilidade do uso de microfiltração como pós-tratamento da decantação para o reuso do efluente de uma indústria de mármore do interior do Rio Grande do Sul. O sistema formado de membrana fibra oca utilizada com diferentes pressões e tempo de detenção hidráulica e do fluxo de permeado utilizando ou não a retro lavagem. Foram monitorados turbidez, cor, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, DQO e pH. O aumento da pressão aumentou o fluxo de permeado, mas compactou mais resíduo na membrana, a diferença de tempo de TDH foi determinante para o aumento de fluxo de permeado, tornando o processo viável. O processo de microfiltração associado a uma decantação eficiente produz permeado de qualidade, que pode ser utilizado industrialmente.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente. Marmoraria. Microfiltração. Reuso.

ABSTRACT

In the processing of rocks in marble shops, a large amount of water is used, thus, there is a need to find reuse techniques for this effluent generated in the industries. This work analyzes the feasibility of using microfiltration as a post-decant treatment for the reuse of effluent from a marble industry in the interior of Rio Grande do Sul. The hollow fiber membrane system used with different pressures and hydraulic and permeate flow using or not backwashing. Turbidity, color, total suspended solids, sedimentable solids, COD and pH were monitored. The increase in pressure increased the permeate flow, but compacted more residue in the membrane, the difference in time of TDH was decisive for the increase in permeate flow, making the process viable. The microfiltration process associated with an efficient decantation produces quality permeate, which can be used industrially.

KEYWORDS: Effluent. Marble. Microfiltration. Reuse.

RESUMEN

En el procesamiento de rocas en marmorarias, se utiliza una gran cantidad de agua, por lo que vemos la necesidad de encontrar técnicas de reutilización para este efluente generado en las industrias. Este trabajo analiza la viabilidad del uso de la microfiltración como post-tratamiento de la decantación para la reutilización de efluentes de una industria del mármol en el interior de Rio Grande do Sul. El sistema formado por membrana de fibra hueca utilizada con diferentes presiones y tiempo de retención hidráulico y flujo de permeado mediante retrolavado o no. Se monitorizaron turbidez, color, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DMA y pH. El aumento de la presión aumentó el flujo de permeado, pero compactó más residuos en la membrana, la diferencia de tiempo de TDH fue determinante para el aumento del flujo de permeado, haciendo viable el proceso. El proceso de microfiltración asociado a la decantación eficiente produce permeado de calidad, que puede ser utilizado industrialmente.

PALABRAS CLAVE: Efluente. Armería. Microfiltración. Reutilización.

¹ Universidade de Passo Fundo



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a vida e o meio ambiente, gerando preocupações sobre a sua disponibilidade. O novo cenário global vê a necessidade de uma gestão sustentável deste recurso hídrico relacionado à preservação da vida no planeta (RATIER, 2017). Diminuir a geração de resíduos, minimizar os impactos ambientais e maximizar o uso dos recursos não renováveis é fundamental para a sociedade moderna que busca o desenvolvimento sustentável (CAMPOS, 2014; SILVEIRA, 2017).

Tendo em vista a necessidade de racionalização do uso da água, em função de sua disponibilidade, entende-se que os processos das indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais, bem como demais empreendimentos, devem ser trabalhados continuamente para a manutenção deste recurso, pois isto representa economia de custos ambientais e para o próprio processo produtivo da empresa (MOTTA, 2022).

As indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais operam individualmente com três processos básicos dependentes do uso da água: desdobramento dos blocos, polimento e acabamento das chapas. Esses processos exigem um grande volume do recurso hídrico, mas medidas de controle operacional e recirculação de água nos processos podem minimizar este consumo.

Infelizmente não é o que se observa em algumas marmorarias de Passo Fundo e região. Algumas empresas preocupam-se apenas em tratar o efluente para o seu despejo, ainda não visualizando os benefícios ambientais e financeiros em reutilizar o efluente para o seu processo produtivo, aquelas que já o fazem, possuem sistemas precários de tratamento, mal dimensionados e com problemas na captação do efluente bruto e na distribuição do efluente tratado, gerando custos adicionais à empresa como compra de produtos para decantação e paradas de máquinas devido à falta de água por entupimento das tubulações.

Para Marques (2020), durante o processo produtivo das marmorarias, há a geração de resíduos com potencial de degradação ambiental, por isso é importante a existência de pesquisas que ajudem a melhorar a gestão desses resíduos.

Pesquisas no setor industrial de rochas ornamentais mostram que a maior parte dos resíduos gerados no processo é abandonado ou usado como aterro de solos, contrariando a atual tendência que é de reciclar ou reaproveitar os materiais, seja por regulamentação ambiental ou para transformar rejeitos em matérias-primas (SANTOS, 2016)

Para reutilizar o efluente da indústria de mármore, ele deve passar por um sistema de tratamento onde ocorra a remoção dos sólidos suspensos e uma diminuição da cor, turbidez e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Para este efluente ser apto para o reuso, as condições são a ausência de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos (TASAICO, 2007).

Um dos maiores desafios encontrados na área ambiental é o desenvolvimento de processos de separação, purificação e concentração de impurezas encontradas no efluente industrial. As principais vantagens da aplicação de processos com membranas é que esse processo geralmente



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

é atérmico, não envolvem mudança de fase, não necessitam de aditivos químicos, são simples em conceito e operação, são modulares e apresentam facilidade para realização de ampliação de escala, necessitam de baixo consumo de energia, apresentam um uso racional de matérias primas e recuperação de subprodutos.

Um ponto importante a ser observado nos sistemas de tratamento é que não se deve gerar resíduos desnecessários pelo uso do tratamento. A estação de tratamento não deve gerar incômodos seja por ruídos ou odores, nem causar impacto visual negativo. Deve-se sempre tratar o efluente gerado pela própria indústria, evitando-se assim a sobrecarga no sistema público (GANDHI, 2002 *apud* ZORZO, 2012).

Assim, o objetivo deste trabalho é de aplicar a microfiltração transversal por membranas para tratamento e reuso de efluente de marmoraria, visando atender ademanda industrial e as exigências legais.

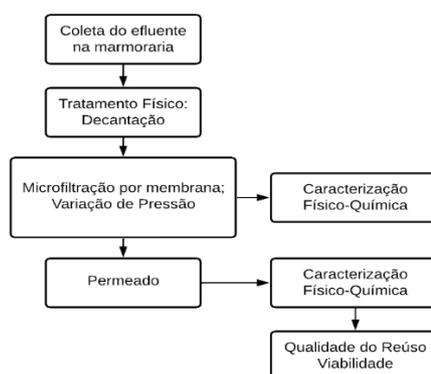
MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas:

1. Caracterização do efluente de marmoraria;
2. Processo físico de decantação;
3. Separação por membrana de microfiltração transversal.

A Figura 1 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

Figura 1. Fluxograma do trabalho.



Fonte: autores

O processo de decantação tem o principal objetivo de controlar as condições de decantação do efluente da marmoraria, identificar a melhor taxa de detenção hidráulica e buscar melhorar a qualidade do efluente fornecido ao processo de microfiltração.

Para Modolo *et al.*, (2017) e Fiores (2019), durante a decantação ocorre a sedimentação de resíduos, o que permite a redução do volume residual e sua purificação pois os sólidos grosseiros são removidos.

A separação por membrana tem por objetivo avaliar as condições de operação do processo buscando atingir a qualidade de água para o reuso, a vazão fornecida pelo sistema e a realização de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

um escalonamento para a aplicação na prática, além de obter a viabilidade econômica do procedimento (NEVES, 2021).

O processo de filtração utilizando membranas está se tornando cada vez mais utilizado para tratamento do efluente nos mais variados ramos industriais, pois possui grande capacidade de reter poluentes, gerando um efluente final com ótima qualidade, possibilitando seu reuso, além de necessitar pouco espaço, ser fácil de operar e possibilita a alteração de escala (SAKURAI, 2016).

COLETA E ANÁLISE DO EFLUENTE

O efluente foi coletado na entrada do decantador (Figura 2) da estação de tratamento de efluentes de uma marmoraria do município de Passo Fundo – Rio Grande do Sul. As amostras foram coletadas durante a tarde, das 16:00 às 17:30, em um volume de 20L por coleta, em intervalos de 15 minutos, totalizando 100L de efluente.

Tal efluente foi submetido à análise de turbidez, cor, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio (DQO) e pH, além da análise de presença de coliformes. Antes de cada análise, o efluente foi homogeneizado.

Figura 2. Entrada do decantador primário da ETE.



Fonte: autores

PROCESSO DE DECANTAÇÃO

O processo de decantação ocorreu em um decantador piloto convencional (Figura 3), com capacidade de 30L de efluente que realiza ensaios de decantação a vazão controlada de 10L/h e 20L/h. Antes deste processo, o efluente foi homogeneizado utilizando agitador. Ao atingir 50% da capacidade, o decantador era alimentado, tornando assim, o processo de decantação constante. Após decantado, o efluente foi acondicionado em embalagens de 5L para pós microfiltração.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

Figura 3. Homogeneizador e decantador em laboratório.



Fonte: autores

SEPARAÇÃO POR MEMBRANA DE MICROFILTRAÇÃO TRANSVERSAL

O efluente foi alimentado no sistema de microfiltração submersa composto de um tanque de polipropileno de 4,2L onde foi instalada uma membrana submersa, com o uso de uma bomba de vácuo foi aplicada pressão negativa no sistema. O permeado passou pelo interior da membrana de fibra oca e foi direcionado para tanques de vácuo por meio de válvulas de 3 vias. A vazão do permeado foi verificada por um rotâmetro.

Foram realizados 3 ensaios:

1. Membrana de $0,12\text{m}^2$ e $0,22\text{m}^2$ de área de filtração com 0,1 bar de pressão por 1,5h sem retrolavagem;
2. Membrana de $0,12\text{m}^2$ de área de filtração e 0,4 bar de pressão.
3. Membrana de $0,12\text{m}^2$, com 0,4 bar de pressão e duração de 4h com a primeira retrolavagem à 50% da vazão inicial e demais retrolavagens a cada 60 min.

O ensaio 1 teve o objetivo de verificar o comportamento da vazão por área de membrana e o 2 analisou a variação do fluxo de permeado em função da pressão de operação e a compactação de sólidos nas paredes da membrana.

A retrolavagem foi feita abrindo uma válvula e acionada bomba centrífuga, invertendo o sentido do fluxo e fazendo a remoção do material suspenso ou coloidal depositado na superfície da membrana. Este processo se estendia por 2 min.

Após os experimentos concluídos, o efluente e o permeado eram purgados dos tanques e uma lavagem completa com solução alcalina de hidróxido de sódio (pH 10) era realizada.

Parte do permeado foi coletado para posterior análise, as variáveis de resposta foram o fluxo de permeado e a caracterização de cor, turbidez, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, pH, demanda química de oxigênio e coliformes. Outra parte foi utilizada nas retrolavagens. Foram coletados dados de fluxo de permeado durante o experimento a cada 5 minutos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

As análises de cor e turbidez foram realizadas pelo método espectrofotométrico, Demanda química de oxigênio pelo método de titulação, sólidos suspensos totais por filtração, sólidos sedimentáveis por gravimetria, o pH foi analisado por método eletrométrico e coliformes com o uso de tubos, todos segundo APHA (2005) e foram feitas das 4 coletas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização do efluente na marmoraria.

Tabela 1: Caracterização do efluente na marmoraria.

Parâmetro	Efluente	Resultado
Cor (HAZEN)	Bruto	492,1±392,5
	Tratado	41,2±15,6
Turbidez (NTU)	Bruto	488,8±251,5
	Tratado	61±39,2
Demanda Química de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Bruto	169,7±124,6
	Tratado	55,8±8,7
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	Bruto	1314,3±781,2
	Tratado	80,3±66,7
Sólidos Suspensos Sedimentáveis (mg.L ⁻¹)	Bruto	2,61±1,9
	Tratado	<0,1
pH	Bruto	8,1±0,4
	Tratado	7,7±0,8

O efluente bruto é constituído de sólidos suspenso totais, sólidos sedimentáveis e apresenta elevada turbidez. A turbidez é um parâmetro indicador da possível presença de matéria sólida em suspensão e substâncias orgânicas ou inorgânicas no efluente dado compatível com o parâmetro de sólidos suspensos totais.

Para SST, Zorzo (2012) indicou valor médio de 885±161,3 mg.L⁻¹, já Lagemann (2011) encontrou 8892mg.L⁻¹ para o efluente bruto. Para Sólidos sedimentáveis, Zorzo (2012) obteve 1±0,06 mL.L⁻¹ enquanto Lagemann (2011) 14mL.L⁻¹. Quanto à DQO, Zorzo (2012) encontrou 416mL.L, variação esta que pode ser atribuída aos tipos de produtos usados no processo, como colas, ceras e silicones.

A variação de parâmetros deste trabalho com os acima citados pode-se atribuir ao volume de produção de cada empresa, ao tipo de pedra processado e a eficiência da captação do efluente pelo sistema interno de canaletas desenvolvidos pelas empresas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises do efluente microfiltrado à pressão de 0,1bar e TDH de decantação de 1,5h e 0,4bar com TDH de decantação de 3h.

Tabela 2: Comparação de dados.

Parâmetro	Efluente	0,1bar TDH (1,5hrs)	0,4bar TDH (3hrs)	NBR 13969	FIESP
Cor (HAZEN)	Tratado*	1620	367	X	X
	Permeado	7	4		
Turbidez (NTU)	Tratado*	4000	1450	<5NTU	X
	Permeado	4	2		
Demanda Química de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Tratado*	65	55	X	X
	Permeado	38	43		
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	Tratado*	1179	416	X	30g/L
	Permeado	0	0		
Sólidos Suspensos Sedimentáveis (mg.L ⁻¹)	Tratado*	<0,1	<0,1	X	X
	Permeado	<0,1	<0,1		
Sólidos Dissolvidos Totais	Tratado*	X	X	<200mg/L	X
	Permeado		X		
Coliformes Fecais	Tratado*	Ausente	Ausente	<200NPM / 100mL	≤1000/ mL
	Permeado	Ausente	Ausente		
pH	Tratado*	X	X	Entre 6,0 e 8,0	Entre 6,0 e 9,0
	Permeado	X	X		
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Tratado*	X	X	X	<30mg/L
	Permeado	X	X		

*Efluente tratado por decantação.

Ao compararmos os dados da Tabela 2, observa-se que a variação de pressão no sistema de microfiltração não afeta os parâmetros do permeado.

A remoção de 100% dos sólidos suspensos totais já era esperado devido ao tamanho dos grãos presentes no efluente e o tamanho médio do poro da membrana. Devido a isso, a clarificação do permeado também era esperada, pois este parâmetro está relacionado diretamente com a turbidez.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

Ao avaliar os processos, percebe-se que usar somente a decantação primária não possibilita atingir os parâmetros para reuso segundo a NBR 13969 e a FIESP 2005, mas se aliadas a decantação à microfiltração, os parâmetros são facilmente atingidos.

A Figura 4 representa uma fotografia do efluente tratado em laboratório e do permeado proveniente da microfiltração transversal.

Figura 4. Fotografia do efluente tratado e do permeado.



Fonte: autores

CONSIDERAÇÕES

O processo de decantação em escala piloto mostrou-se eficiente quanto à remoção de sólidos, contudo, também não atingiu padrões de reuso conforme normas pesquisadas. O aumento de TDH melhorou a remoção de todos os parâmetros estudados.

A combinação do processo de decantação aliado ao processo de microfiltração apresentou resultados que permitem a utilização do efluente tratado para reuso industrial segundo FIESP 2005 e NBR 13969/97.

Embora eficiente no tratamento do efluente de marmoraria, mais estudos se fazem necessários para a disseminação desta tecnologia entre as indústrias do ramo.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, A. R. *et al.* Resíduos: tratamento e aplicações industriais. *In*: VIDAL, W. F. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais**: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), 2014. p. 431-492

FIESP; CIESP. **Manual de orientação para o Setor Industrial**. São Paulo: FIESP; CIESP, 2005. Volume 1. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

FIORES, Caio Henrique Ungarato et al. Gerenciamento de efluentes e da água consumida na indústria de beneficiamento de mármore e granito: estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, 2019.

LAGEMANN, F. E. H. **Reuso de efluente de marmoraria: Estudo e proposta de modificação do sistema de tratamento de efluentes**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2011.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

USO DE MICROFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO PARA REUSO DO EFLUENTE DE MARMORARIA
Gabriela Dalmora, Eloise Caroline Viero, Tiago Diehl, Marcelo Hemkemeier

MARQUES, Caio Rodrigues et al. Avaliação da gestão de resíduos gerados em marmoraria: estudo de caso aplicado em Maringá. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, ed. 24, ago. 2020.

MODOLO, R. C. E.; BRAGANÇA, H. B. N.; FIALHO, M. L.; MACIEL, E. F. Critérios a serem adotados na adequação de áreas para depósitos de lama do beneficiamento de rochas ornamentais do município de Cachoeiro de Itapemirim (ES/Brasil). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 181-200, out./dez. 2017.

MOTTA, Marcelle Barbosa. **Estudo de caso do reúso de água como uma alternativa à escassez hídrica em uma indústria petroquímica**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022.

NEVES, Thiane Lopes das. **Avaliação sobre o lixo: Reutilização da água de tratamento de efluente na indústria cervejeira por filtração com membrana: uma revisão**. 2021. 43 f. Monografia (Tecnólogo em Processos Químicos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Manaus, 2021.

RATIER, Cristiane. **Mecanismos para promoção do reúso de água nas indústrias das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira (Pr)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Sociedade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SAKURAI, Karen Sayuri Ito et al. Pós-tratamento de efluente de indústria de papel e celulose empregando membranas de microfiltração e ultrafiltração combinadas com o processo foto-fenton. **Revista Scientia Forestalis**, v. 44, n 112, p. 937-945, 2016.

SANTOS, Jeferson dos. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais: aplicação de conceitos mecanoquímicos**. 2016. Dissertação (mestrado em físico-química) - Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2016.

SILVEIRA, Ramiris Petrilho et al. Tratamento de efluentes da indústria de rochas ornamentais: uma abordagem bibliométrica. **Scientia Tec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS**, v. 4, n. 1, p. 42-59, jan./jun. 2017.

TASAICO, D. E. O. **Desenvolvimento de Processos Compactos para o Tratamento das Águas Residuárias da Indústria do Mármore e Granito**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

ZORZO, M. E. **Hidrociclone na remoção de sólidos suspensos de efluente de marmoraria**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2012.