

II-164 – VIABILIDADE DO PROCESSO DE MICROFILTRAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO BLUE ORIUNDO DA ÁGUA DE LAVAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Igor Bernardes Mendes de Oliveira⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Míriam Cristina Santos Amaral

Engenheira Química pela UFMG. Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Luzia Sergina de França Neta

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre e Doutora em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE/UFRJ. Professora do Departamento de Química do CEFET-MG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1724 - e-mail: igor.bernardes91@gmail.com

RESUMO

A crescente escassez das fontes de água potável no mundo e a visualização de cenários alarmantes para esse recurso já é uma realidade constatada em diferentes relatórios internacionais como o “World Water Development Report”. Colaborando para esse fato, estima-se que a indústria têxtil gasta cerca de 150 L/kg de tecido produzido, sendo 88% desse volume descartado como efluente principalmente nas operações de lavagem, tingimento e acabamento do material produzido. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade do uso do processo de microfiltração para a recuperação do corante índigo blue originado da água de lavagem na indústria têxtil. O efluente utilizado nos experimentos provém da água de lavagem da “Tear Têxtil Ind. e Com. Ltda”. As análises no efluente mostraram, entre outras características, que apesar do alto valor de DQO encontrado (1756 mg/L), o valor de DBO₅ é pequeno (246 mg/L) indicando sua baixa biodegradabilidade. Além disso, o alto valor de fósforo (42 mg/L) reflete o emprego de detergentes à base de fosfatos na cadeia produtiva. Por fim, o alto valor de cor (6072 uH) é consequência de um dos seus principais poluentes: o corante índigo blue cuja concentração determinada foi de 0,369 g/L. O teste de batelada na condição de alimentação de 4,8 L/m e 0,1 bar (Re = 853) no módulo pressurizado permitiu, após três horas e meia, uma taxa de recuperação de 61,6% do efluente. Por fim, a caracterização do permeado indicou, entre outros aspectos, uma remoção de Cor de 97%, do corante índigo blue de 99% e de DQO de 25%. Apesar da remoção de DQO não ter sido alta, o método se mostrou bastante eficiente para separar o corante de seu efluente, gerando um permeado amarelado. Assim, associando essa informação à sua taxa de recuperação, o método torna-se promissor para a recuperação do corante índigo blue.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Efluente, Recuperação de Corante, Índigo Blue, Microfiltração, Indústria Têxtil.

INTRODUÇÃO

O programa coordenado pela UNESCO, “World Water Assessment Programme” (WWAP), lança em 2003 seu primeiro relatório que retrata as condições e a disponibilidade das fontes de água potável no mundo: O “World Water Development Report”.¹

Constatada escassez crescente desse recurso e após a visualização de cenários alarmantes, a comunidade internacional estabeleceu uma série de metas ambiciosas para 2015 com o objetivo de reverter este quadro. “The Millenium Development Goals” (MDG’s) têm como base principal o incentivo e o desenvolvimento em âmbito local, regional, e nacional de políticas que promovam a exploração sustentável da água¹.

Nesse sentido, colaborando para manter a atual situação deflagrada no relatório, o setor têxtil é o que demanda uma das maiores quantidades de água para manter suas atividades quando comparado com outros tipos de indústria. O consumo varia muito em função dos processos adotados, mas estima-se que há um gasto de 150

L/kg de tecido produzido, sendo 88% desse volume descartado como efluente. As operações de lavagem, tingimento e acabamento dos tecidos são as principais responsáveis por sua alta necessidade de água².

A natureza desses grandes volumes de efluentes líquidos também depende de questões relacionadas às características do tecido produzido, da tecnologia empregada e dos produtos químicos utilizados. Entretanto, eles se caracterizam de maneira geral por altos teores de DQO, alcalinidade, sólidos totais, pH básico e pequenos valores de DBO, o que indica sua baixa biodegradabilidade por meio de processos biológicos convencionais^{2,3}. Além disso, um dos maiores problemas relacionados a esse tipo de efluente está na sua cor originada a partir dos corantes empregados durante o processo de tingimento. Embora estejam presentes em baixas concentrações, podendo variar em torno de 0,01 – 0,1 g/L^{4,5}, já é o suficiente para causar preocupações ambientais uma vez que geralmente concentração de corante superior à 0,005 mg/L no corpo de água já pode ser detectada a olho nu⁶ além de causar sérios problemas ambientais como redução da penetração de luz, modificação na qualidade do corpo receptor além de causar toxicidade aos organismos da cadeia alimentar e à vida aquática em geral.

Para minimizar a carga orgânica e inorgânica presente nos efluentes, um dos métodos mais empregados pela indústria têxtil no tratamento deles é o uso de lodos ativados. Apesar do baixo custo operacional, esse método, por si só, não é adequado devido ao impacto causado pela intensa cor, pelas substâncias tóxicas e não biodegradáveis às colônias de bactérias, além da dificuldade de manutenção das mesmas para aplicação em escala industrial. Sendo assim, a elaboração de novas técnicas de tratamento e o estudo da aplicação conjunta das já existentes tem sido cada vez mais explorada para o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis^{7,8}.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade do uso do processo de microfiltração utilizando membranas poliméricas para a recuperação do corante índigo blue presente na água de lavagem pós tingimento na indústria têxtil. Na primeira etapa desse estudo foram realizados testes de caracterização do efluente bem como a avaliação do processo operacional no uso de membranas de microfiltração. Na segunda etapa foram realizados testes para caracterização do permeado, recuperação do corante e avaliação da eficácia do método empregado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado para realização dos experimentos provém da água de lavagem do tingimento do jeans da “Tear Têxtil Ind. e Com. Ltda”, empresa do setor têxtil localizada na cidade de Paraopeba, Minas Gerais. A Tear Têxtil possui uma produção aproximada de 2.000.000 metros/mês distribuídos em 45% de índigos e 55% tricolines, viscose e sarjas, tecidos maquinados, lisos e estampados.⁹

Caracterização físico-química

O efluente foi caracterizado segundo os parâmetros de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO₅), Cor, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Fósforo Total, Cloretos, pH, Alcalinidade, Condutividade e Viscosidade. O permeado e concentrado segundo os parâmetros de DQO, Cor, pH, Condutividade e Viscosidade. As análises foram realizadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Concentração de índigo blue

O efluente, permeado e concentrado foram caracterizados segundo as suas respectivas concentrações do corante índigo blue. Para determinar tal parâmetro, primeiro reduziu-se a granulometria de uma solução do corante artificial e insolúvel com o bombardeamento da mesma por ondas mecânicas de um ultrassom, tornando a solução homogênea. Dessa forma, foi possível realizar uma varredura na região UV-VIS com o espectrofotômetro. O pico de 700 nm foi identificado como o de maior absorção na região do visível para esse corante. Da mesma forma, uma curva de calibração foi construída com soluções do corante artificial em diferentes concentrações e as suas respectivas absorções no comprimento de onda de 700 nm.

Por fim, o efluente, permeado e concentrado, após pré-tratamento com o ultrassom, foram submetidos à mesma emissão no espectrômetro e sua absorção comparada com a curva de calibração.

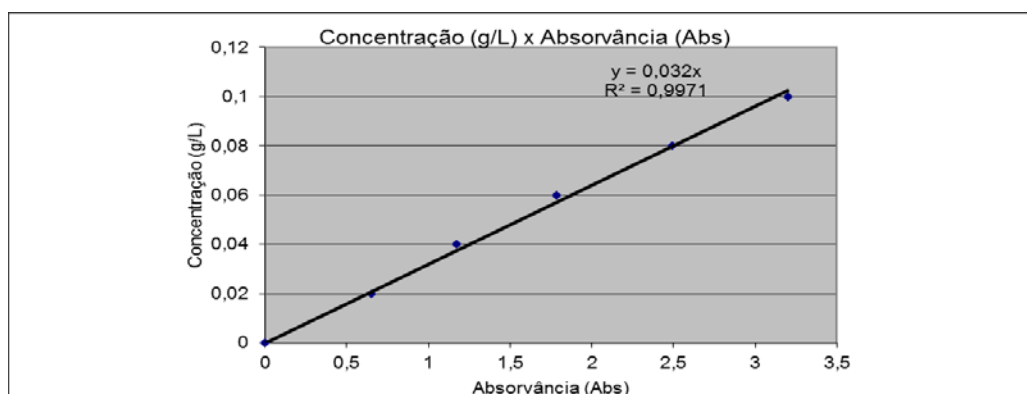


Figura 1: Curva de calibração com as soluções padrão do corante índigo blue

Caracterização do módulo de membrana de microfiltração

Nos experimentos realizados, utilizou-se um módulo de membrana pressurizado e composto por membranas poliméricas microporosas no formato de fibra oca. As membranas foram fornecidas pela empresa “PAM Membranas Seletivas”. As principais características do módulo de membranas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Características Principais do Módulo Pressurizado.¹⁰

Material da carcaça	PVC
Diâmetro da carcaça	2,10 cm
Material das fibras	Polieter(imida)
Número de fibras	60
Diâmetro das fibras	1,0 mm
Comprimento das fibras	25 cm
Tamanho médio dos poros	0,4 μm
Densidade de empacotamento	544 m^2/m^3
Área superficial de filtração	0,0471 m^2

Para determinação da permeabilidade do módulo de membrana, realizou-se inicialmente a compactação do mesmo a uma pressão de 0,7 bar por 20 minutos com água microfiltrada. A compactação é descrita como a deformação mecânica irreversível da subcamada porosa da membrana quando a mesma é submetida a um gradiente de pressão. As pressões avaliadas para determinação deste coeficiente foram de 0,7; 0,6; 0,5; 0,4 bar. Os pontos obtidos foram linearizados e o coeficiente angular da reta descreve a permeabilidade hidráulica da membrana, expresso em $\text{L}/\text{h}.\text{m}^2.\text{bar}$.

Avaliação das condições operacionais do sistema de permeação

Com o objetivo de determinar as condições operacionais de permeação, foram analisados o fluxo crítico e o fluxo limite da membrana em relação ao efluente.

O fluxo crítico para microfiltração é o fluxo abaixo do qual não é observado declínio do fluxo de permeado com o tempo e acima do qual ocorre incrustação, e seu valor depende da hidrodinâmica do processo¹¹. Para obtenção do fluxo crítico, a pressão foi fixada e o fluxo de permeado foi monitorado por intervalos de 20 minutos. Para cada incremento de 0,05 bar no valor de pressão ocorreu o monitoramento do fluxo permeado. As vazões de alimentação testadas foram de 2,5; 3,0; 4,0 e 4,8 L/min correspondendo aos respectivos números de Reynolds (Re) 444, 533, 710, 853.

O fluxo limite corresponde ao maior fluxo possível em uma determinada vazão de alimentação. Em um processo de microfiltração o aumento inicial do gradiente de pressão resulta no aumento do fluxo de permeado. Entretanto, a elevação da pressão também gera o aumento da concentração de substâncias retidas próximas à superfície da membrana, de modo que fenômenos difusivos começam a atuar dificultando o processo de filtração. Esse fenômeno é conhecido como “polarização de concentração”¹². Na prática, o aumento da pressão passa a não resultar mais em aumento do fluxo de permeado dando origem ao fluxo limite. Para a determinação do fluxo limite, a pressão foi fixada e o fluxo de permeado foi monitorado por intervalos de 20 minutos. Para cada incremento de 0,05 bar no valor de pressão ocorreu o monitoramento do fluxo permeado. As vazões de alimentação testadas foram de 4,0; 4,8; 5,6 e 6,4 L/min correspondendo aos respectivos números de Reynolds (Re) 710, 853, 995 e 1137. O fluxo limite era estabelecido quando um aumento na pressão não resultava em um aumento de fluxo de permeado.

Os ensaios de fluxo crítico e fluxo limite foram realizados com permeado e concentrado retornando para o tanque de alimentação, objetivando manter a concentração constante no tanque de alimentação.

Ensaio de concentração

Para avaliar a situação real de operação foram realizados ensaios com retorno apenas do concentrado para o tanque de alimentação permitindo determinar o perfil do fluxo permeado com o aumento da concentração no tanque de alimentação. Em cada ensaio foi avaliada também a taxa de recuperação do corante visando à possibilidade de seu retorno para o processo de tingimento. Durante a permeação a pressão aplicada foi mantida em 0,1 bar e realizou-se os testes com a vazão de alimentação de 2,5 L/min (Re = 444) e 4,8 L/min (Re = 853). No teste correspondente ao Re = 444, o volume inicial no tanque de alimentação foi de 1,7 L. No outro, o volume inicial no tanque de alimentação foi de 2,5 L.

A taxa de recuperação do efluente foi calculada pela fórmula:

$$T_{\text{rec}} = \frac{\text{Volume final de permeado}}{\text{Volume total de alimentação}}$$

Cálculo do Número de Reynolds

O número de Reynolds é um número adimensional que nos permite prever as características do perfil de escoamento para um determinado sistema. Por esse número podemos fazer também constatações sobre o predomínio das forças viscosas ou inerciais no escoamento. Em um tubo circular como o módulo de permeação, o número de Reynolds é dado pela seguinte fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu} = \frac{V \cdot D_h}{\nu} = \frac{Q \cdot D_h}{\nu \cdot A}$$

Em que:

- **Re** é o número de Reynolds
- **ρ** é a densidade do fluido
- **V** é a velocidade do fluido no escoamento
- **D_h** é o diâmetro hidráulico ou diâmetro equivalente do tubo
- **μ** é a viscosidade dinâmica do fluido
- **ν** é a viscosidade cinemática do fluido
- **Q** é vazão volumétrica do fluido
- **A** é área da seção transversal do tubo por onde o fluido escoar

Nesse caso, utilizamos o último formato da equação.

Uma vez que existem 60 fibras cilíndricas no interior do tubo, a área da seção transversal (**A**) e o diâmetro hidráulico (**D_h**) foram calculados da seguinte forma:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - 60 \cdot D_i^2)$$

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} = \frac{(D_0^2 - 60 \cdot D_i^2)}{(D_0 + 60 \cdot D_i)}$$

Em que:

- D_0 é o diâmetro do tubo
- D_i é o diâmetro da fibra
- P é o perímetro molhado pelo fluido (fibras + tubo)

A densidade do efluente foi encontrada medindo-se a massa de 50 mL do mesmo em uma balança analítica. Dessa forma:

$$\rho = \frac{1037,21 \text{ kg}}{m^3}$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização físico-química do efluente

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização físico-química do efluente fornecido pela empresa “Tear Têxtil Ind. e Com. Ltda”.

Tabela 2 – Caracterização físico-química do efluente da indústria têxtil

Parâmetros	Unidade	Efluente da indústria têxtil
DQO	mg O ₂ /L	1756
DBO ₅	mg O ₂ /L	246
DBO ₅ /DQO	-	14%
Cor	uH	6072
Sólidos totais	mg/L	2840
Sólidos totais fixos	mg/L	2064
Sólidos totais voláteis	mg/L	776
Sólidos suspensos totais	mg/L	315
Sólidos suspensos fixos	mg/L	0
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	315
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃)	mg N-NH ₃ /L	5,3
Fósforo Total	mg P/L	42
Cloreto	mg Cl/L	144
pH	-	8,05
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	837
Condutividade	mS/cm	2,730
Viscosidade	mPa.s	1,53
Índigo Blue	g/L	0,369

O efluente da indústria têxtil, especificamente água de lavagem, apresenta elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO e DBO₅. Entretanto, a pequena relação DBO₅/DQO mostra a sua baixa biodegradabilidade, o que favorece o uso de métodos não biológicos de tratamento como o de microfiltração. A alta quantidade de fósforo é justificada pelo intenso uso de detergentes (surfactantes), que tem como base fosfatos, na cadeia produtiva. Além disso, já era esperado um valor alto para o parâmetro Cor devido ao seu principal poluente: o corante índigo blue. Isso foi confirmado ao se medir a concentração direta do corante que, em termos de concentração de corantes, é bastante elevada. Por fim, a quantidade de sólidos suspensos corresponde a presença de sólidos de natureza orgânica já que a concentração de sólidos suspensos fixos é nula.

Caracterização do módulo de microfiltração

A permeabilidade inicial da membrana foi de 1008,4 L/h.m².bar. Esse alto valor de permeabilidade está provavelmente associado a uma distribuição de poros maiores na superfície da membrana uma vez que se houvesse problemas na construção do módulo, seria possível observar a passagem do corante para o permeado.

Avaliação das condições operacionais do sistema de microfiltração.

a) Fluxo crítico

Entre todas as condições avaliadas, apenas houve estabilização do fluxo de permeado para a vazão de alimentação de 4,8 L/m a uma pressão de 0,1 bar (número de Reynolds de 853). Apesar de todas as vazões apresentarem número de Reynolds característico de um regime laminar ($Re < 2300$), essa é a que apresenta o maior valor. Dessa forma, o aumento das forças de inércia no escoamento aumenta também as tensões cisalhantes que dificultarão a formação de torta.

b) Fluxo limite

A Figura 2 apresenta os resultados de fluxo limite para o efluente da indústria têxtil.

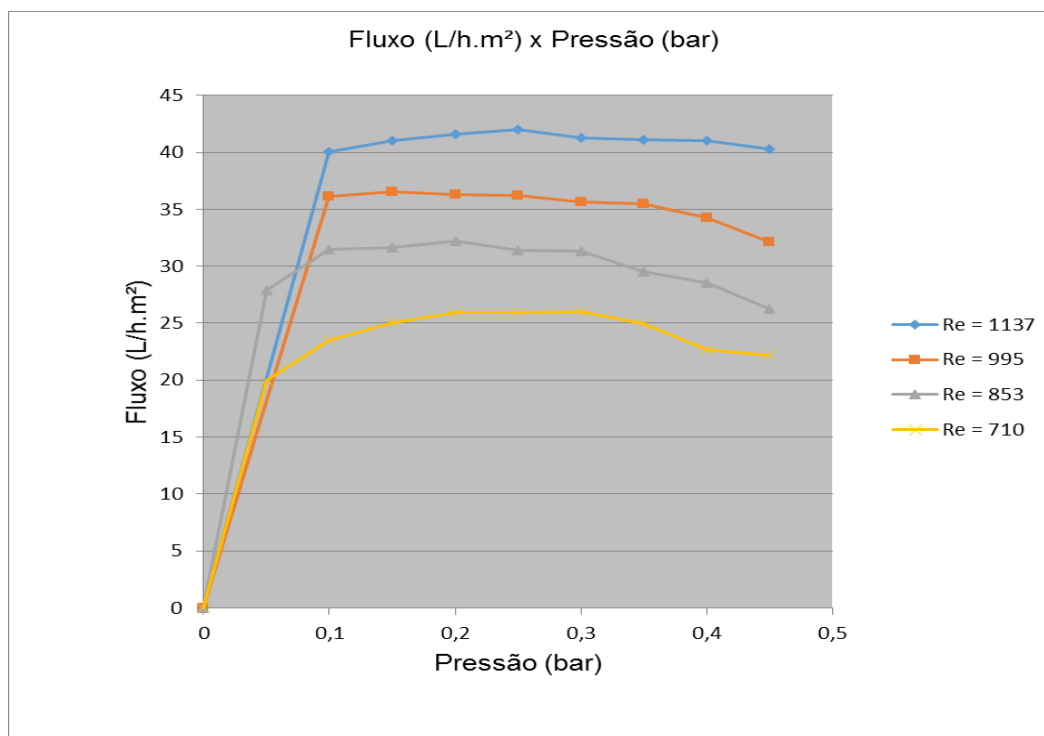


Figura 2: Fluxo (L/h.m²) x Pressão (bar)

Os resultados mostram uma estabilização do fluxo até, aproximadamente, 0,3 bar. Além disso, os valores de fluxo limite foram de 25,99; 32,25; 36,50; 42,02 L/h.m² respectivamente nos números de Reynolds de 710, 853, 995 e 1137.

Entretanto, o acréscimo de pressão, a partir de 0,3 bar, implicou uma redução do fluxo de permeado observada em todas as curvas. Isso é justificado devido ao fato de existir partículas de índigo blue no efluente que não apresentam um raio médio muito maior que o dos poros nas fibras. Dessa forma, essas partículas podem sofrer deformações em sua extensão, entupi-los e causar a queda do fluxo de permeado.

Por fim, observa-se que quanto mais drásticas são as condições de escoamento tangencial, refletidas nos crescentes números de Reynolds, menos intenso é o fenômeno de polarização de concentração e menor a resistência de transferência de massa do solvente pela membrana. Isso ocasionou fluxos de permeado crescentes entre as vazões de alimentação testadas.

Ensaio de Concentração

Em um processo operacional utilizando membranas, o valor da pressão operacional adotado ideal deve ser inferior ao fluxo crítico, embora seja aceitável a adoção de pressão menor que a pressão que leva à condição de fluxo limite¹² evitando desta forma o gasto energético. A Figura 3 apresenta a evolução do fluxo de permeado em função do tempo para cada batelada alimentada.

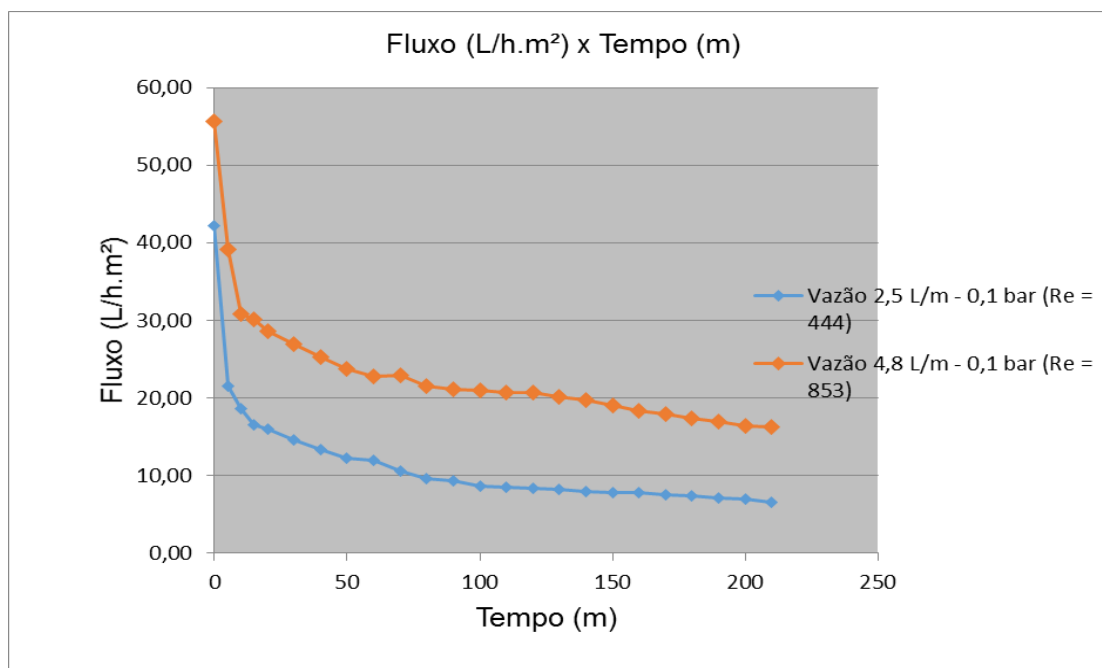
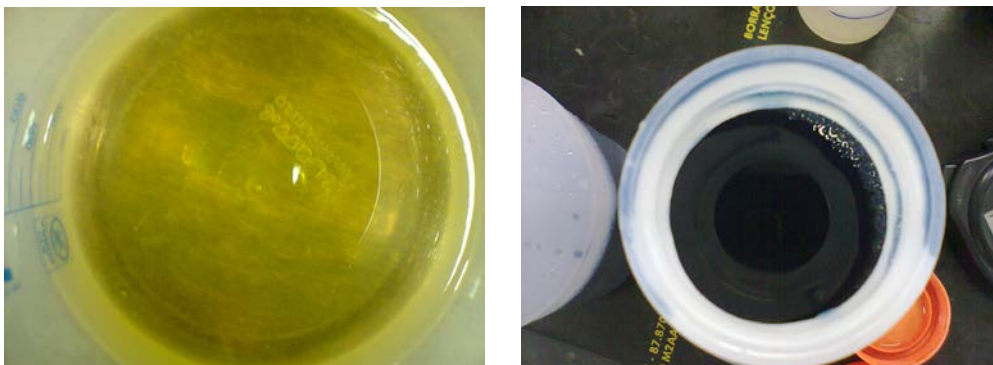


Figura 3: Fluxo (L/h.m²) x Tempo (m)

Após 3 horas e meia de operação, os volumes de permeado gerados foram de 1910 mL e 4030 mL e as taxas de recuperação do efluente foram de 52,9% e 61,6% respectivamente para os valores de Reynolds de 444 e 853. Quando o sistema é operado em uma condição de fluxo laminar em que as forças viscosas são mais intensas (Re = 444) como no primeiro caso, a formação de torta se mostra mais expressiva resultando em um fluxo permeado abaixo do operado em condições em que as forças inerciais já são mais intensas, como observado para a condição operacional de Re = 853 e pressão de 0,1 bar. Além disso, o volume inicial de 2,5 L neste último teste também colaborou para a obtenção de um superior volume de permeado. Quando a carga do concentrado se distribui em um volume maior, a concentração do efluente no tanque cresce de forma mais suave com o tempo.

Caracterização físico-química do permeado e concentrado

As Figuras 4 e 5 a seguir são imagens do permeado e concentrado, respectivamente, coletados após o ensaio de concentração com o módulo de microfiltração nas condições de $Re = 444$ e pressão de 0,1 bar.



Figuras 4 e 5 – Permeado e concentrado do efluente índigo blue coletado após o ensaio de concentração com o módulo de microfiltração nas condições de $Re = 444$ e pressão de 0,1 bar.

A Tabela 3, apresenta os resultados da caracterização físico-química do permeado e concentrado após o teste de batelada com vazão de alimentação de 2,5 L/m e 0,1 bar.

Tabela 3: Caracterização físico-química do permeado e concentrado do efluente

Parâmetros	Unidade	Permeado	Concentrado
DQO	mg O ₂ /L	1316	2046
Cor	uH	172	12186
pH	-	7,51	7,49
Condutividade	mS/cm	2,212	2,158
Viscosidade	mPa.s	1,25	1,4
Índigo Blue	g/L	0,0044	0,81

Os percentuais de remoção em relação aos parâmetros de DQO, Cor, Condutividade e Índigo Blue foram respectivamente de 25%, 97%, 19% e 99%. O sistema se mostrou bastante eficiente para separar o corante de seu efluente, gerando um permeado amarelado. Isso permite usar o concentrado para posteriores técnicas de reciclagem do corante e seu reuso na cadeia produtiva. Em relação à condutividade, essa também não sofreu uma variação significativa mostrando que as partículas principais de condução de eletricidade são menores que os poros da membrana de microfiltração. A ligeira queda de condutividade tanto no permeado e no concentrado pode ser justificada pelo fenômeno de polarização da concentração que aprisiona uma quantidade de íons na torta da membrana. Como a torta não é recolhida no concentrado, há uma perda de carga das partículas responsáveis pela condutividade no efluente. Em relação à viscosidade, não foi observada alterações significativas. Entretanto, o permeado se apresentou ligeiramente menos viscoso que o concentrado indicando que a diferença de viscosidade é causada pela interação das partículas do corante. Em relação ao pH, também não foi observada alteração significativa.

CONCLUSÕES

A caracterização do efluente da indústria têxtil resultou, entre outras informações, uma baixa relação de DBO₅/DQO. Isso mostra que processos biológicos não devem ser utilizados isoladamente para o seu tratamento. Em relação aos testes operacionais com o módulo, o teste de fluxo crítico e o de fluxo limite indicaram uma condição de operação sob condições de $Re = 853$. Além disso, pressões mais altas que 0,3 bar não devem ser utilizadas com o objetivo de evitar o bloqueio dos poros devido à deformação das partículas do índigo blue. Nessas condições, a batelada permitiu obter uma taxa de recuperação do efluente de 61,6% em três horas e meia de operação. Ademais, a caracterização prévia do permeado mostrou que o método é extremamente adequado para separar o corante oxidado presente no efluente com remoção de 99% do corante

e de 97% de sua cor. Em virtude dos resultados obtidos, o emprego do processo de microfiltração se apresenta como uma tecnologia promissora para a recuperação do corante presente na água de lavagem do tecido, além de permitir o desenvolvimento de técnicas de reciclagem desse corante recuperado e o uso de seu permeado para atividades menos nobres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Water Assessment Programme (WWAP). Página disponível em <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>
2. LEÃO, M. M. D.; CARNEIRO, E. V.; SCHWABE, W. K.; RIBEIRO, E. D. L.; TORQUETTI, Z. S. C.; SOARES, A. F. S.; NETO, M. L. F. Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas - Projeto Minas Ambiente, *SEGRAC EDITORA E GRÁFICA LIMITADA*, Belo Horizonte, 2002.
3. BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. Natal: [s.n], 2000.161p.
4. MONEGO, M. L. C. D. Degradação eletroquímica de corantes e efluentes da indústria têxtil, 2007, Curitiba, 89p.
5. WAMBUGUH, D.; CHIANELLI, R. R. *Indigo dye waste recovery from blue denim textile effluent: a by-product synergy approach*. DOI.10.1039/b806213g.
6. CAMPOS R., KANDELBAUER A., ROBRA K.H., CAVACO-PAULO A., GUBITZ G.M.: Indigo degradation with purified laccases from *Trametes hirsuta* and *Sclerotium rolfsii*. *J.Biotechnol.* 89, 131–139 (2001).
7. ALBUQUERQUE, L. F.; Aplicação da água residuária das salinas no tratamento de efluente têxtil. Natal, RN, 2009 129 f.
8. KUNKZ, A; PERALTA-ZAMORA, P; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, V.25, nº 1, 2002.
9. Tear Têxtil. Página corporativa disponível em <http://www.teartextil.com.br/site/>
10. PAM-Membranas Selectivas. Página corporativa disponível em <http://www.pam-membranas.com.br/>
11. R.W. Field, D. Wu, J.A. Howell, B.B. Gupta, Critical flux concept for microfiltration fouling, *J. Membr. Sci.* 100 (1995). 259–272.
12. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Escola Piloto em Engenharia Química: *Processos de Separação com Membranas*. Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.