



II-525 - Efluente de lavanderia de *jeans*: aplicação da ultrafiltração (UF) e nanofiltração (NF) para fins de reuso

Raquel Ianine Lima de Souza ⁽¹⁾

Engenheira Química pelo Centro Universitário Newton Paiva. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos – PPGTPP/CEFET-MG

Luzia Sergina de França Neta ^{*(1)}

Engenheira Química pela UFRN. Mestre e Doutora em Engenharia Química pelo PEQ/COPPE/UFRJ. Professora do Departamento de Química do CEFET-MG e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos – PPGTPP/CEFET-MG

Patrícia Sueli de Rezende ⁽¹⁾

Química UFSJ. Mestre e Doutora em Química pela UFMG. Professora do Departamento de Química do CEFET-MG e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos – PPGTPP/CEFET-MG

Endereço⁽¹⁾: Av Amazonas, 5253 – Nova Suíça - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.421-169 - Brasil - Tel: (31) 3319-7151 - *e-mail: lsfranca@cefetmg.br

RESUMO

Garantir a disponibilidade e manejo sustentável da água para todos é um dos grandes desafios da atualidade e fazem parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). A ampliação no uso de tratamento de efluentes avançados, reciclagem e tecnologias de reúso são demandas atuais necessárias. No Brasil, tais aspectos se mostram ainda mais urgentes. Dados indicam que os efluentes finais lançados pela grande maioria das estações de tratamentos convencionais nem mesmo estão alcançando as condições e os padrões de qualidade de descarte das águas estabelecidos pela lei. No caso das lavanderias de *jeans* os principais tratamentos aplicados são os físico-químicos e biológicos. Estes não são considerados eficientes para tratar estas águas complexas quimicamente e não biodegradáveis inviabilizando-as para reúso. Como alternativa, o uso dos Processos de Separação por Membrana (PSM) tem sido considerado como método adequado para garantir o reúso em aplicações industriais. O presente estudo explora o uso de membranas de ultrafiltração (UF) conjugado a um processo de Nanofiltração (NF) aplicado a efluentes de lavanderia de *jeans* visando o reúso. O processo conjugado permitiu uma melhora significativa quanto a remoção da turbidez e DQO em até 100%. Ao longo do estudo identificou-se que os principais parâmetros a serem analisados para a reutilização de água industrial na lavanderia de *jeans* são pH, cor, turbidez e sólidos, se apresentaram adequados ao reúso a depender do uso dentro do processo industrial. Diante do exposto, tanto a UF isolada quando o processo conjugado de UF+NF proporcionaram padrões de qualidade de reúso. A recuperação de 75% da alimentação utilizada sob a forma de permeado tratado, proporcionada pelo processo conjugado demonstra a eficiência do processo e a possibilidade de alto volume a ser explorado para o reúso.

PALAVRAS-CHAVE: Lavanderia, *jeans*, membranas, reúso.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das mais longevas e tradicionais da indústria de transformação. Sua produção é diversificada, heterogênea e seus produtos usados por praticamente todos os segmentos da sociedade. No Brasil, o setor gera impactos econômicos e sociais expressivos, ocupando o segundo lugar em termos de empregabilidade.

Os métodos de lavagens do *jeans* compreendem a etapa final do processo produtivo e dão às peças aspectos únicos, além de atuar na melhoria do tecido cru, a fim de torná-lo confortável, diferenciado e competitivo.



Devido a sua complexidade, as lavanderias de *jeans* se tornaram parte integrante da cadeia produtiva e merecem atenção pelo seu impacto produtivo, ambiental e econômico (PAUL, 2015).

Processos produtivos baseados em economia linear se tornaram um padrão inviável e insustentável. Os princípios de uma economia circular passaram a ser mais eficientes para a gestão adequada dos recursos dentro do escopo econômico de desenvolvimento sustentável (TIOSSI; SIMON, 2021). No caso das lavanderias têxteis isso significa desenvolver tecnologias mais limpas que sejam econômicas e ecológicas em termos de demanda de água, tratamento de efluentes e reciclo do efluente tratado no próprio processo produtivo.

O reúso da água é uma alternativa confiável que pode permitir a economia e redução da poluição dos recursos hídricos garantindo a sua preservação. O reaproveitamento de efluentes têxteis são um grande desafio devido a complexidade química do efluente gerado. Nesse cenário, o desenvolvimento e a busca por novas tecnologias que permitem o reúso eficiente se tornam altamente relevantes para esse setor industrial (BUSCIO et al., 2015).

A aplicação dos Processos de Separação por Membranas (PSM) em efluentes industriais surgem como uma alternativa viável e sustentável frente às técnicas convencionais de tratamento de efluente. Essa tecnologia utiliza processo físico de separação sem que haja necessidade de adição de produtos químicos, resultando na geração de uma água de boa qualidade que poderá viabilizar o seu reúso.

Frente a este cenário promissor dos PSM e a necessidade de mitigar os impactos gerados pelo uso intensivo e poluição dos recursos hídricos no setor têxtil, este estudo investigou o desempenho do emprego de uma sequência operacional utilizando uma membrana de ultrafiltração seguida de uma membrana de nanofiltração com foco na obtenção de uma água com qualidade para fins de reúso na própria lavanderia de *jeans*. O presente estudo abre novas perspectivas para prática do reúso nestas indústrias.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo empregar o processo de ultrafiltração (UF) conjugada ao processo de nanofiltração (NF) em efluentes reais de lavanderia de *jeans* visando a obtenção de um permeado de qualidade que possa ser utilizado como água de reúso dentro da própria lavanderia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente de lavanderia de *jeans* foi coletado de uma Confeccção de *Jeans*, de grande porte, localizada na região metropolitana de Belo Horizonte – Minas Gerais. A confecção parceira possui um sistema de ozonização nas máquinas de lavar, e em seguida o efluente gerado é encaminhado para um sistema contendo peneira rotativa para remoção dos sólidos particulados grosseiros. O efluente para estudo foi coletado após a peneira rotativa, conforme apresentado na Figura 1.

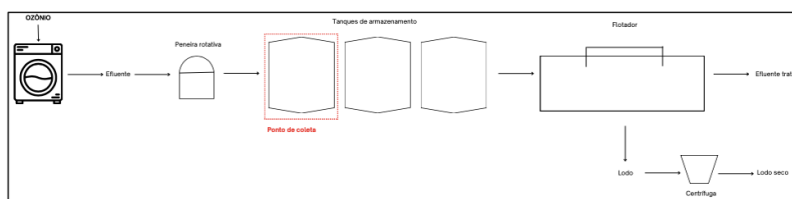


Figura 1: Ponto de coleta do efluente após peneira rotativa.

Para aplicação do processo de filtração usando membranas foram confeccionados módulos contendo membranas de ultrafiltração na conformação de fibras ocas constituídas por fluoreto de polivinilideno (PVDF) (Figura 2A) produzidas pela Vitaltec sob a configuração de um trocador de calor do tipo casco e tubo. A membrana de nanofiltração na conformação plana era constituída por um filme fino de poliamida (PA - Dupont FilmeTec Corporation, modelo NF90-2540) (Figura 2B). A membrana de NF foi inserida em uma célula de filtração.

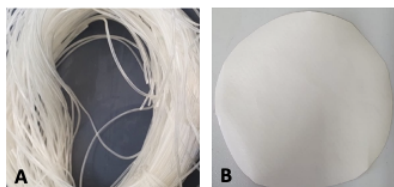


Figura 2: A) Membrana de ultrafiltração na conformação de fibra oca e B) Membrana nanofiltração na conformação plana.

O efluente de lavanderia de *jeans* era inicialmente encaminhado para o sistema de UF (Figura 3A) sendo o permeado coletado após uma taxa de recuperação de 75% da alimentação. O permeado coletado era encaminhado para o sistema de nanofiltração (Figura 3B) com uma taxa de recuperação da alimentação de 75%.

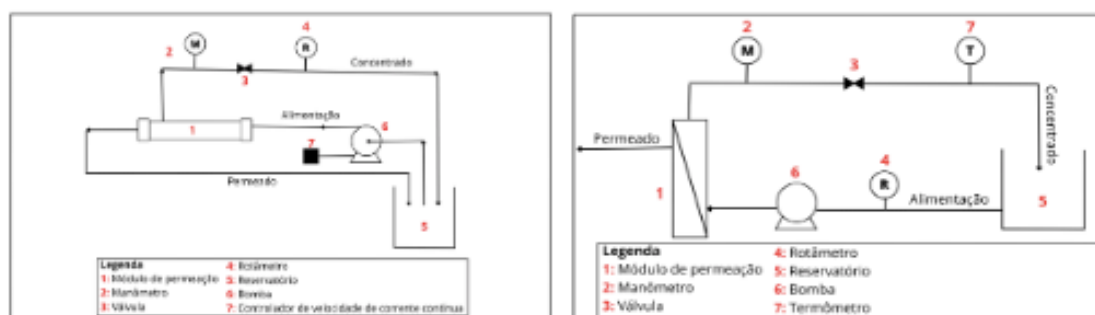


Figura 3: A) Sistema de Ultrafiltração e B) Sistema de nanofiltração.

O efluente bruto e o permeado obtido após a passagem pela UF seguido da NF foram caracterizados quanto aos principais parâmetros de lançamento de efluente previstos na Resolução CONAMA n°430/2011 e na Resolução COPAM-CERH/ MG n°08/2022. As análises foram conduzidas em triplicata e com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). Os parâmetros analisados foram pH, turbidez, DQO, série de sólidos (totais e dissolvidos), dureza, cloreto, sulfato, cor e odor.

A eficiência dos sistemas de permeação utilizando a UF conjugada a NF, foi avaliada comparando os resultados dos parâmetros físico-químicos dos efluentes brutos com o dos permeados obtidos após a UF seguido da NF. Para a análise do reúso, os resultados dos parâmetros físico-químicos dos permeados obtidos foram comparados com dados de padrões da qualidade de água exigida para água na indústria têxtil e para lavanderia de *jeans* citados na literatura, bem como parâmetros de qualidade de água seguidos pela concessionária que abastece a lavanderia de *jeans* parceira.

RESULTADOS e DISCUSSÃO

O sistema de Ultrafiltração (UF) conjugado ao sistema de Nano filtração (NF) resultou em na melhor eficiência de remoção para os parâmetros físico-químicos avaliados para os dois cenários, proporcionando um polimento do efluente bruto (Figura 4).

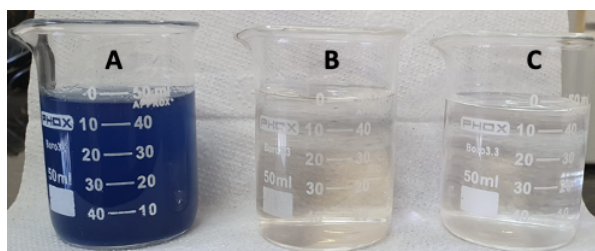


Figura 4: A) Efluente bruto; B) Efluente após Ultrafiltração e C) Efluente após a Nanofiltração.



O sistema integrado de UF e de NF permitiu uma melhor eficiência na remoção dos parâmetros físico-químicos avaliados para os dois cenários, proporcionando um polimento ao efluente conforme observado na Figura 4.

Visualmente pode-se observar uma remoção de coloração presente no efluente bruto devido a remoção do corante índigo blue presente na água de lavagem. A coloração levemente amarelado presente no permeado da ultrafiltração, deve-se a presença de compostos dissolvidos oriundos da lavagem do *jeans*. A ausência de coloração no permeado na nanofiltração, deve-se ao pequeno diâmetro de corte dessas membranas, que são capazes de remover íons bivalentes.

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização do efluente bruto e do permeado após a ultrafiltração e a nanofiltração com uma taxa de recuperação da alimentação de 75%.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos após a Nanofiltração.

PARÂMETRO	EFLUENTE	PERMEADO NF	REMOÇÃO (%)
Odor	Ausente	Ausente	-
Turbidez NTU	70±1	0	100%
pH	7,58	7,62	VNC*
Cor (mg Pt Co L ⁻¹)	7,53	0	VNC*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	1150±16	<LD**	VNC*
Cloreto (mg L ⁻¹)	38±1	36±1	<1%
Sulfato (mg L ⁻¹)	5801±910	315±1	94%
Dureza (mg L ⁻¹)	90±4	9±1	90%
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	1057±842	10±1	99%
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	177±19	VNC*	VNC*
Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	880±320	VNC*	VNC*

*VNC: valor não calculado. **LD: limite de detecção (4,92 mg O₂ L⁻¹ APHA, 2017)

A conjugação da UF e da NF resultou em uma melhora significativa quanto à remoção da DQO obtendo valores de até 81% de eficiência. Salienta-se que, a medida da DQO do permeado foi abaixo do limite de detecção o que sugere uma remoção total deste parâmetro para esta matriz (Tabela 1).

As análises dos permeados após a conjugação da UF com a NF e com uma taxa de recuperação da alimentação de 75% não afetou as características físico-químicas da amostra do permeado, mantendo a qualidade do mesmo. Os principais mecanismos de separação da membrana de nanofiltração envolvem a exclusão por tamanho e uma interação eletrostática entre a membrana e a solução, DRIOLI (2016) cita que a retenção, como a de traços orgânicos, seja influenciada pela química da solução, como pH e força iônica. Com base nos resultados obtidos, identifica-se que a separação na membrana de nanofiltração não foi afetada negativamente pelos aspectos citados o que possibilitou essa boa eficiência na remoção dos parâmetros físico-químicos investigados.

Os bons resultados dos parâmetros físico-químicos encontrados no presente estudo indicam uma boa eficiência dos processos empregado e da possibilidade de reutilização desta água industrial nos processos da lavanderia. É notável a sustentabilidade conquistada, com um simples processo físico de separação e sem que haja a necessidade no uso de produtos químicos, para obtenção de bons parâmetros de turbidez, remoção de cor, sólidos e DQO. Tais parâmetros estão dentre os principais abordados quando se deseja avaliar a qualidade da água. Além da qualidade desses parâmetros, vale ressaltar a redução na produção de lodo químico, na pequena área necessária para implantação das membranas e do tempo de processamento.

Dessa forma, cabe ressaltar que os processos de separações por membranas aqui investigados são capazes de suprir as deficiências encontradas pelos tratamentos convencionais e ainda produzem uma água de qualidade possível de reutilização para as lavanderias de *jeans*.

Os ciclos realizados com a técnica de ultrafiltração possibilitaram melhorias significativas nos parâmetros avaliados para o efluente, conforme observado em estudos anteriores visando o reuso (JIANG et al. (2018), BARREDO-DAMAS et al. (2012) e SRIVASTAVA et al. (2011)).



Na indústria têxtil, a qualidade da água deve ser suficiente para evitar problemas no processo de tingimento e na qualidade do produto final. Embora atualmente seja utilizada água pura, que vem da concessionária, salienta-se a possibilidade de ser usada água de qualidade inferior, porém que atendem aos requisitos do processo. Segundo a CNI (2017), essa ação reduz a demanda de água proveniente do sistema de abastecimento e reduz a geração de efluentes de forma proporcional.

CONCLUSÕES

O efluente coletado após peneira rotativa resultou na remoção de sólidos grosseiros contribuindo para um melhor desempenho da membrana de ultrafiltração, minimizando a formação de torta sobre a superfície da membrana. Tratamentos preliminares adequados podem favorecer, portanto, maior vida útil da membrana, diminuindo processos reversíveis de incrustações e confirma-se como essencial a ser implantado anterior aos processos de separação por membrana.

O processo conjugado da ultrafiltração com nanofiltração proporcionou melhorias significativas nos parâmetros físico-químicos analisados para o permeado obtido a partir da conjugação dos processos de Ultrafiltração e Nanofiltração atingindo até 100% para remoção de DQO e 96% dos sólidos totais. Destaca-se para a recuperação da alimentação de 75% obtida no processo de conjugado, permitiu a obtenção de uma água de qualidade adequada para reuso, impactando diretamente na redução do volume de água coletada junto a concessionária e na geração do volume de efluentes.

Os processos de separação propostos neste estudo e a conquista de bons parâmetros de qualidade dos permeados indicam que o uso direto de membranas de ultrafiltração conjugada com nanofiltração constituem alternativa para o tratamento de efluentes de lavanderia de *jeans* e permitem a reutilização da água industrial.

Caso os PSM fossem implantados, na indústria de lavanderia de *jeans*, limitações encontradas nos tratamentos convencionais poderiam ser extintas, visto que permitiria a redução no uso de químicos, redução nas etapas de tratamento, área construída, redução na geração de lodo, bem como tempo de tratamento proporcionando um processo muito mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed.; American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation: Washington, DC, USA, 2017.
2. BARREDO-DAMAS, S. et al. *Application of tubular ceramic ultrafiltration membranes for the treatment of integrated textile wastewaters*. *Chemical Engineering Journal*, v. 192, p. 211-218, 2012.
3. BUSCIO, V.; CRESPI, M.; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, C. *Sustainable dyeing of denim using indigo dye recovered with polyvinylidene difluoride ultrafiltration membranes*. *Journal of Cleaner Production*, v. 91, p. 201-207, 2015.
4. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *O uso racional da água no setor industrial*. 2 ed. Brasília: CNI, 2017.
5. DRIOLI, E.; GIONO, L. *Encyclopedia of Membranes*. Berlin: Springer, 2016.
6. JIANG, M. et al. *Conventional ultrafiltration as effective strategy for dye/salt fractionation in textile wastewater treatment*. *Environmental Science*, v. 52, p.10698-10708, 2018.
7. PAUL, R. *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*. Sawston: Woodhead Publishing, 2015.
8. SRIVASTAVA, H. P. et al. *G. Performance of modified poly (vinylidene fluoride) membrane for textile wastewater ultrafiltration*. *Desalination*, v. 282, p. 87-94, 2011.
9. TIOSSI, M.; SIMON, A. I. *Economia circular: suas contribuições para o desenvolvimento da sustentabilidade*. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021.