

REMOÇÃO DE NUTRIENTES, MICRORGANISMOS E MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS POR PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

REMOVAL OF NUTRIENTS, MICRORGANISMS AND RAW ORGANIC WASTEWATER INDUSTRY DAIRY IN MEMBRANE SEPARATION PROCESSES

Douglas Felipe Galvão¹, Eliane Rodrigues dos Santos Gomes²

¹Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira
E-mail: fgdoug@gmail.com

²Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira. E-mail: elianegomes@utfpr.edu.br

RESUMO

As indústrias de laticínios são responsáveis por elevado consumo de água e elevada geração de efluentes. Com a escassez de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água, a minimização do consumo deste recurso nas indústrias é de suma importância para manter sua competitividade no mercado. O reúso industrial de efluentes torna-se importante, pois permite a utilização de águas de menor qualidade em processos que não exijam qualidade muito alta, reduzindo, consequentemente, o consumo nas indústrias. Nesse sentido, os processos de separação por membranas têm ganhado relevância no tratamento de efluentes e geração de águas de reúso. O presente estudo teve como objetivo estudar a eficiência dos processos de separação por membranas no tratamento de efluente de laticínio. Os resultados demonstraram que, os processos de MF e UF têm considerável capacidade de tratamento do efluente da indústria de laticínio, com eficiências que chegaram a 36,57% para nitrogênio total, 98,39% para óleos e graxas, 92,39% para DQO e 90,53% para DBO₅. A membrana de MF demonstrou eficiência máxima na remoção de DQO, DBO₅, nitrogênio amoniacal, fósforo, turbidez, óleos e graxas, sólidos totais voláteis e coliformes termotolerantes de 88,96, 90,53, 73,96, 38,46, 100, 95,89, 71,44 e 100%, respectivamente. A membrana de UF teve eficiência na remoção DQO, DBO₅, nitrogênio amoniacal, fósforo, turbidez, óleos e graxas, sólidos totais voláteis e coliformes termotolerantes de 92,39, 90,29, 70,81, 20,51, 100, 97,26, 72,14 e 100%, respectivamente.

Palavras-chave: Água, Microfiltração, Ultrafiltração, Qualidade, Purificação.

ABSTRACT

The dairies are responsible for high water consumption and high effluent generation. With the shortage of water resources and charging for water use, minimizing the consumption in industries is of paramount importance to maintain its market competitiveness. The industrial reuse of wastewater becomes important because it allows the use of lower quality water in processes that do not require very high quality, thereby reducing the resource consumption by industries. In this sense, membrane separation processes have gained relevance. This study aimed to study the efficiency of membrane technology in the treatment of dairy effluent. The results show that the MF and UF processes have considerable effectiveness in the treatment of the effluent from the dairy industry, with efficiencies reached 36.57% for total nitrogen, 98.39% for oils and greases, 92.39% for COD and 90.53% for BOD₅. The membrane MF demonstrated maximum efficiency in the removal of COD, BOD, ammonia nitrogen, phosphorus, turbidity, oils and greases, total volatile solids and coliforms of 88.96, 90.53, 73.96, 38.46, 100, 95.89, 71.44 and 100%, respectively. The UF membrane was efficient COD removal, BOD, ammonia nitrogen, phosphorus, turbidity, oil and grease, total volatile solids and coliforms of 92.39, 90.29, 70.81, 20.51, 100, 97.26, 72.14 and 100%, respectively.

Keywords: Water, Microfiltration, Ultrafiltration, Quality, Purification.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2016, o Brasil produziu 33,62 bilhões de litros de leite, retração de 2,9% em relação a 2015. Deste total, aproximadamente 69,0% foi industrializado. Tal levantamento investiga somente estabelecimentos industriais que atuam sob algum tipo de inspeção sanitária federal, estadual ou

municipal, e registrou a aquisição de 23,17 bilhões de litros de leite pela indústria láctea em 2016 (IBGE, 2016).

Com relação ao faturamento, em 2016 a indústria de laticínios foi uma das que mais lucrou. Do total faturado pela indústria alimentícia (175,9 bilhões de reais), 13,6% correspondeu ao setor de laticínios. O único setor que lucrou acima dos laticínios foi o dos derivados de carne com 26,8% (DEPEC, 2017).

Os dados citados refletem a relevância do setor leiteiro e, consequentemente, da indústria de laticínios, para a economia brasileira. A indústria de processamento dos derivados do leite é uma das principais atividades industriais que se apresentam na agricultura brasileira e é caracterizada pela sua ampla gama de produtos e, consequentemente, de linhas de produção (JERÔNIMO et al., 2012).

Entre as indústrias alimentícias, a de laticínios apresenta elevada capacidade de poluição, especialmente pelo considerável consumo de água e geração de efluentes em seus processos. O elevado consumo de água está relacionado a manutenção das condições de higiene e limpeza durante os processos industriais (MAGANHA, 2008)

Nesse sentido, estudos que buscam minimizar e racionalizar o consumo de água nos processos industriais têm ganhado relevância. Para se reduzir o consumo nas indústrias, deve-se optar pela “substituição de fontes”, ou seja, satisfazer àquelas demandas que exigem água de qualidade não muito alta por fontes menos nobres e utilizar-se de fontes de qualidade superior somente para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico (HESPANHOL, 2002).

No Brasil, o reúso de água nas indústrias alimentícias é mais difícil, pois a qualidade da água que entra em contato com os alimentos precisa ser potável. Águas de reúso somente são permitidas na indústria alimentícia contanto não tragam riscos à saúde (MATSUMURA; MIERZWA, 2008).

Entretanto, o reúso de água pode ser importante em setores que não exijam água de alta qualidade. Por exemplo, há a possibilidade de reúso em caldeiras e torres de resfriamento, setores que, segundo Carvalho e Machado (2010) são os que mais consomem água e não exigem qualidade muito alta.

Referente a redução do consumo de água e a geração de águas de reúso de qualidade, os processos de separação por membranas têm ganhado relevância. Tais processos utilizam membranas sintetizadas, comumente fabricadas com polímeros ou materiais inorgânicos, para separar do meio a ser tratado substâncias e sólidos poluentes (HABERT et al., 2006).

A utilização de tratamentos para purificação da água e possibilidade de reúso, auxiliam na diminuição do total de água consumida e na produção de efluentes pela indústria de laticínios (BALANNEC et al., 2005).

Um aspecto que deve ser considerado, mesmo para o reúso de água para limpeza e atividades não potáveis é a remoção de microrganismos do efluente, pois em muitas áreas industriais operadores entram em contato com a água. Nesse sentido, algumas membranas utilizadas nos processos de separação por membranas têm poros com tamanhos menores que os de microrganismos, o que possibilita a sua retenção. Isso torna a utilização das membranas ainda mais interessante para a geração de águas de reúso.

Processos de microfiltração e ultrafiltração têm sido os mais estudados para o tratamento de efluentes de laticínios, apresentando eficiências consideráveis (BRIÃO; TAVARES, 2007; 2012; GIACOBBO et al., 2010; VOURCH et al., 2008; ANDRADE et al., 2012).

Para que os processos de separação por membranas sejam viáveis e possibilitem a geração de águas de reúso de qualidade elevada, um fator crucial a ser considerado é o fluxo no decorrer da filtração. Um dos piores problemas citados pelos autores durante a operação dos sistemas de membranas é o decaimento do fluxo com o tempo. Esse fenômeno é denominado de *fouling* ou colmatção da membrana (LAUTENSCHLAGER; FILHO; PEREIRA; 2009; HASAN, et al., 2013; GIACOBBO et al., 2010; SONG, 1998; VIDAL; CAMPOS; 2009).

Habert et al. (2006) indicam como principais causadores do decaimento do fluxo de permeado ao longo da filtração, a deformação mecânica (quando ocorre o inchamento da matriz mecânica), a interação do solvente com o material da membrana, ou então pela presença de impurezas no solvente que causa o entupimento dos poros. Segundo Hasan et al. (2013), partículas menores são maiores causadoras do *fouling* nas membranas.

Schneider e Tsutuya (2001) citam que o fluxo do líquido através da membrana é dependente de alguns fatores, como diâmetro dos poros, porosidade da membrana (fração da área de membrana ocupada por poros), espessura da membrana, camada de concentração e polarização, tortas de filtro (material retido), *fouling* químico (sais precipitados ou géis) e biofilmes.

Frente ao exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar duas membranas, uma de Microfiltração (MF) e outra de Ultrafiltração (UF) no tratamento de efluente de uma indústria de laticínios da região oeste do Estado do Paraná. Da mesma forma, buscou-se verificar o comportamento das membranas com relação ao decaimento do fluxo no decorrer da filtração e a eficiência do processo na remoção de poluentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta de Amostras

O efluente utilizado na presente pesquisa foi obtido em uma Unidade de Laticínios situada na região oeste do Estado do Paraná. O efluente foi coletado em dois pontos da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da indústria: após o tratamento secundário (Amostra Após o Tratamento Secundário – AATS) e no pós-tratamento, após o Flotador Físico-químico (Amostra Após o Flotador – AAF).

Na tabela 1, tem-se os parâmetros físico-químicos que foram analisados e o método utilizado (APHA, 2012).

Tabela 1 - Parâmetros para caracterização dos efluentes agroindustriais

Parâmetro	Unidade	Método (APHA, 2012)
Turbidez	UNT	Nefelométrico 2130 B
Sólidos Totais (ST)	mg L ⁻¹	2540 B – gravimétrico
Sólidos Totais Fixos (STF)	mg L ⁻¹	2540 E – gravimétrico
Sólidos Totais Voláteis (STV)	mg L ⁻¹	2540 E – gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis (SS)	mg L ⁻¹ h ⁻¹	2540 F
Ph	-	Potenciométrico 4500 - H+ B
Nitrogênio Total (NT)	mg de N L ⁻¹	4500 (NTK)
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	5520 D
Fósforo Total (FT)	mg L ⁻¹	4500 - P E
Condutividade	µS cm ⁻¹	-
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	ppm TDS	-

As análises foram realizadas nas amostras coletadas na ETE da indústria e após a realização do tratamento por processos de separação por membranas.

2.2 Processos de separação por membranas

Os processos de separação por membranas foram realizados através de um módulo de bancada existente no Laboratório de Águas e Efluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR - Câmpus Medianeira).

Os módulos de membranas utilizados no estudo foram de Microfiltração e Ultrafiltração (MF 158 e UF 257, respectivamente), adquiridos da Pam-Membranas Seletivas. A geometria das duas membranas era de fibra-oca. A membrana de MF apresentava porosidade de 0,4 µm e material de produção polieterimida; a membrana de UF apresentava retenção molar de 50 quilodaltons (kDa) e material de produção polietersulfona (PAM-MEMBRANAS, 2012).

Para cada ensaio foram utilizados 5 litros de efluente oriundos do sistema de tratamento da indústria (este volume foi estabelecido pois representa a capacidade do tanque de armazenamento do módulo de membranas). Em todos os ensaios ocorreu o retorno do concentrado para o tanque de armazenamento, caracterizando um processo em batelada. O retorno do concentrado para o tanque ocorreu, para verificar o comportamento das membranas no tratamento de efluente com concentração maior de poluentes, bem como para possibilitar a coleta das amostras para análise, por meio dos fatores de concentração. A Tabela 2 apresenta as condições experimentais estabelecidas.

Tabela 2 – Condições experimentais estabelecidas para os processos de separação por membranas.

Tratamento	Membrana	Pressão (Bar)	Ponto de coleta
E1	MF 158	0,75	AATS
E2	UF 257	1,50	AATS
E3	MF 158	0,75	AATS
E4	UF 257	1,50	AATS
E5	MF 158	0,75	AFF

(MF 158 = Membrana Microfiltração série 158; UF 257 = Ultrafiltração série 257; AATS = Amostra Após Tratamento Secundário; AFF = Amostra Após Flotador Físico-químico).

Para os experimentos E1 a E5, utilizaram-se as pressões de 0,75 bar para a membrana de MF e 1,50 bar para a membrana de UF. Tais pressões foram definidas por meio de estudos realizados previamente e correspondem às condições ótimas encontradas para o fluxo permeado e eficiência de tratamento para as membranas.

Nos dois primeiros ensaios (E1 e E2) foi avaliada a capacidade das membranas na retenção de poluentes e de microrganismos (coliformes termotolerantes). Nos experimentos E3 e E4 foi avaliada a capacidade das membranas na retenção de poluentes, de nutrientes (fósforo e nitrogênio) e óleos e graxas. Por fim, no experimento E5 buscou-se verificar a capacidade de retenção de nutrientes e óleos e graxas do efluente após o flotador físico-químico (amostra AAF), pela membrana de MF.

As amostras, após os tratamentos por membranas (permeado), foram coletadas para análise conforme fator de concentração (Fc) 1,25, para os 5 experimentos.

As membranas foram avaliadas quanto aos parâmetros de processo:

- Efeito da pressão – Pressão Transmembrana (ΔP);
- Fluxo em função do tempo. O fluxo permeado (J) foi determinado pela equação:

$$J = V_p / A \times t \quad (1)$$

Na equação 1, V_p é o volume permeado, A é a área de filtração da membrana e t é o tempo.

- Coefficiente de retenção ou rejeição que representa a eficiência do processo, o qual será calculado pela equação:

$$\%R = ((X_f - X_i) / X_i) \times 100 \quad (2)$$

Na equação 2, X_i é o valor inicial e X_f o valor final do parâmetro no permeado (por exemplo sólidos totais, sólidos sedimentáveis, etc);

- Fator de Concentração (Fc) pela equação:

$$F_c = V_i / (V_i - V_p) \quad (3)$$

Na equação 3, F_c é o Fator de concentração, V_i é o volume inicial de efluente utilizado e V_p corresponde ao volume permeado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características das amostras de efluente utilizadas

Durante a realização da pesquisa, a indústria estava modificando seu sistema de tratamento de efluentes e realizando adaptações na indústria para aumentar a estrutura produtiva, o que implicou em coleta de lotes de amostras de efluentes com diferenças em suas características físico-químicas.

Na Tabela 3 estão dispostas as características das 3 amostras coletadas no sistema de tratamento de efluentes da indústria de laticínio (AATS e AAF).

Tabela 3 – Características qualitativas das amostras de efluente utilizadas nos ensaios.

Parâmetro	Efluente (Lote 1)	Efluente (Lote 2)	Efluente (Lote 3)*
Data da Coleta	1/12/15	14/12/15	14/12/15
Temperatura de Coleta (°C)	30,60	27	26
Sólidos Totais (mg L⁻¹)	2.438,50	2.661	1.927,5
Sólidos Totais Fixos (mg L⁻¹)	1.479,50	1.441	804,5
Sólidos Totais Voláteis (mg L⁻¹)	959	1.220	1.123
Ph	8,63	8,54	7,74
Turbidez (NTU)	533	540	128
Sólidos Sedimentáveis (mL L⁻¹ h⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
DBO (mg L⁻¹)	-	119,53	48,94
DQO (mg L⁻¹)	917	1.169	322
Coliforme Termotolerante (UFC 100 mL⁻¹)	6.000	-	-
Nitrogênio Total (mg de N L⁻¹)	-	111,69	52,65
Óleos e Graxas Total (mg L⁻¹)	-	7,30	6,20
Fósforo Total (mg L⁻¹)	-	39	5
Condutividade (µS cm⁻¹)	-	2.458	2527
Sól. Dissol. Totais (ppm TDS)	-	1.213	1263

(*) Amostra de efluente após flotador (AAF).

Cada amostra foi utilizada para determinado ensaio, não havendo mistura das amostras. De acordo com os dados dispostos na Tabela 3, as características físico-químicas dos lotes de efluente apresentaram variação. Especificamente as diferenças nas concentrações de sólidos no efluente podem ter influenciado os fenômenos de *fouling* das membranas de MF e UF, pois, concentrações mais elevadas de sólidos podem aumentar o entupimento dos poros e diminuir a permeabilidade das membranas, diminuindo o fluxo permeado.

Pode se verificar também diferença considerável na qualidade dos efluentes das amostras 1 e 2, se comparadas à amostra 3. Isso deve-se ao fato da amostra 3 ter passado por mais uma etapa no sistema de tratamento de efluente da indústria, o flotador, aumentando a qualidade do efluente tratado.

3.2 Retenção de coliformes termotolerantes pelas membranas de microfiltração e ultrafiltração

Os ensaios para visualização da retenção de coliformes termotolerantes foram realizados para as membranas de MF (Ensaio E1, Tabela 2) e UF (Ensaio E2, Tabela 2), nas melhores condições de pressão encontradas em estudos preliminares.

Os fluxos encontrados durante os ensaios E1 e E2 estão dispostos na Figura 1. Salienta-se que a coleta das amostras para as análises durante os ensaios foi realizada apenas no fator de concentração 1,25. Estabeleceu-se o tempo limite de 90 minutos, medindo-se o fluxo permeado a cada 5 minutos.

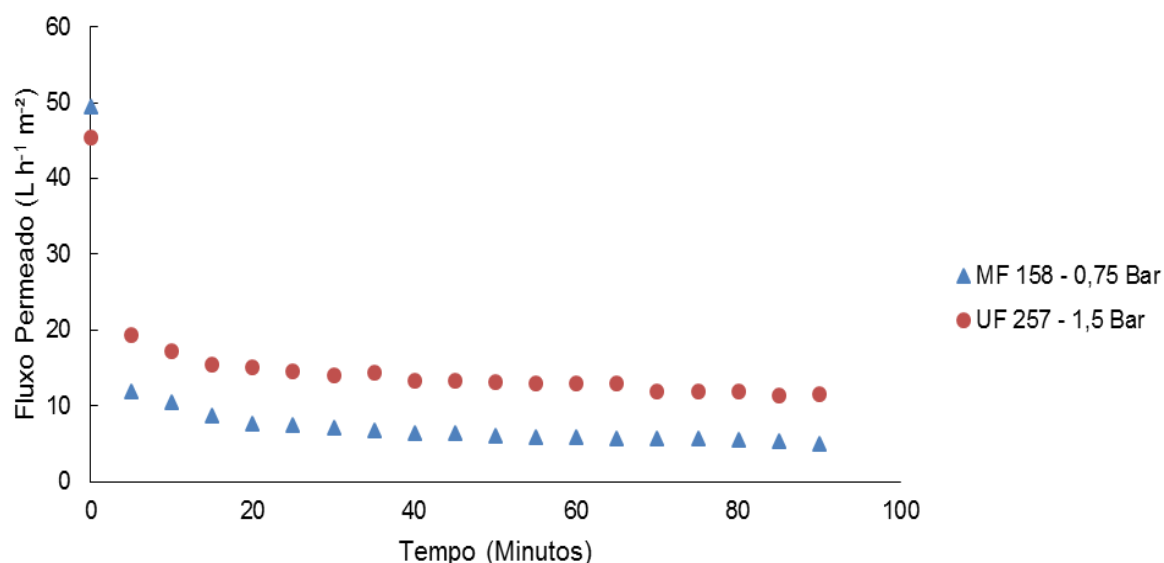


Figura 1 – Fluxo permeado para a membrana de MF, pressão 0,75 bar, e UF, 1,5 bar, durante os ensaios E1 e E2.

Para as duas membranas observou-se comportamento do fluxo de permeado semelhante, com queda bastante acentuada durante os primeiros minutos. Observa-se também que a membrana de UF apresentou maior fluxo no decorrer e ao final do ensaio, se comparada com a membrana de MF.

Para os ensaios de filtração utilizou-se amostra do Lote 1 (Tabela 3). Nas Tabelas 4 e 5 verificam-se as eficiências de remoção dos parâmetros físico-químicos e de coliformes para ambas membranas.

Tabela 4 – Eficiência no tratamento de efluente Laticínio para a membrana de MF 158.

MF 158 0,75 BAR			
Parâmetro	Amostra Lote 1	Resultado	E (%)
Turbidez (NTU)	533	2	99,62
Ph	8,63	8,98	-
SS (mL L ⁻¹ h ⁻¹)	<0,1	0	100
Coliformes termotolerantes (UFC 100 mL ⁻¹)	6.000	Ausente	100
DQO (mg L ⁻¹)	917	<25	≈ 97,27
ST (mg L ⁻¹)	2.438,50	1.244,5	48,96
STF (mg L ⁻¹)	1.479,50	1.074,5	27,37
STV (mg L ⁻¹)	959	170	82,27

Tabela 5 – Eficiência no tratamento de efluente Laticínio para a membrana de UF 257.

UF 257 1,5 BAR			
Parâmetro	Amostra Lote 1	Resultado	Eficiência (%)
Turbidez (NTU)	533	1	99,81
Ph	8,63	8,9	-
SS (mL L ⁻¹ h ⁻¹)	<0,1	0	100
Coliformes termotolerantes (UFC 100 mL ⁻¹)	6.000	Ausente	100
DQO (mg L ⁻¹)	917	<25	≈ 97,27
ST (mg L ⁻¹)	2.438,50	1552	36,35
STF (mg L ⁻¹)	1.479,50	1378,5	6,83
STV (mg L ⁻¹)	959	173,5	81,91

Ambas as membranas apresentaram eficiência de 100% de remoção dos coliformes termotolerantes, o que pode ser esperado de membranas de micro e ultrafiltração, pois os tamanhos dos poros nestas membranas são menores que o tamanho das bactérias (HABERT et al., 2006).

Susuki et al. (2012) produziram membranas de Fluoreto de Polivinilideno (PVDF) e de Polimetacrilato de Metila (PMMA). Utilizaram essas membranas no tratamento de águas remanescentes do pós-tratamento de água potável, sendo que, encontraram remoção total microbiológica (*E. coli*) de água tratada utilizada nos estudos.

Passarini et al. (2012) realizaram tratamento através da decantação e posterior microfiltração por meio de membrana com 0,4 µm de diâmetro de poro, de águas residuárias residenciais. O efluente bruto utilizado foi oriundo da estação de tratamento de esgoto de Campinas – SP – e foi coletado após o sistema de gradeamento inicial. Os autores encontram 100% de eliminação das bactérias presentes no efluente.

A eficiência na remoção de Turbidez ficou próxima dos 100%, bem como houve retenção de 100% dos sólidos sedimentáveis do efluente, tanto para a membrana de MF e UF, o que é bastante interessante por tornar o efluente tratado visualmente aceitável. Houve maior eficiência na remoção dos sólidos totais voláteis e menor eficiência na remoção de sólidos totais fixos, pela membrana de MF e de UF.

A eficiência na retenção da DQO para os ensaios foi considerável, aproximadamente 97,27%, para a MF e para a UF. Esse resultado pode ser considerado relevante, pois efluentes de laticínios possuem elevadas concentrações de DQO e sua remoção é extremamente importante antes do lançamento em corpos hídricos.

Diferentemente do encontrado no presente trabalho, Giacobbo et al. (2010) encontraram remoção de 40% de DQO, tratando efluente bruto oriundo de um curtume. Para o experimento, utilizaram um módulo de MF de diâmetro de poro de 0,4 µm, produzido pela PAM – membranas seletivas.

Schmitt et al. (2013) utilizaram uma membrana de UF cerâmica, com poro de 0,1 µm e retenção molar de 4 kDa, no tratamento de efluente bruto de laticínio. Encontraram remoções de DQO e de turbidez acima de 96%, em tratamentos utilizando UF e UF associada a coagulação por Moringa Oleífera.

3.3 Ensaios de retenção de nutrientes para as membranas de MF e UF

Os três últimos ensaios E3, E4 e E5 (Tabela 2) foram realizados para verificar a capacidade de retenção de nutrientes específicos (nitrogênio e fósforo) pelas membranas.

3.3.1 Membrana de MF 158 - efluente AATS

O comportamento do fluxo permeado da membrana de MF, durante os ensaios de retenção de nutrientes foi semelhante aos demais ensaios realizados (E1 e E2). O fluxo inicial ficou acima de $50 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$, com queda acentuada nos primeiros 5 minutos (fluxo permeado próximo de $10 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$), finalizando com o fluxo próximo a $5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ no tempo de 90 minutos. O comportamento do fluxo está exposto na Figura 2.

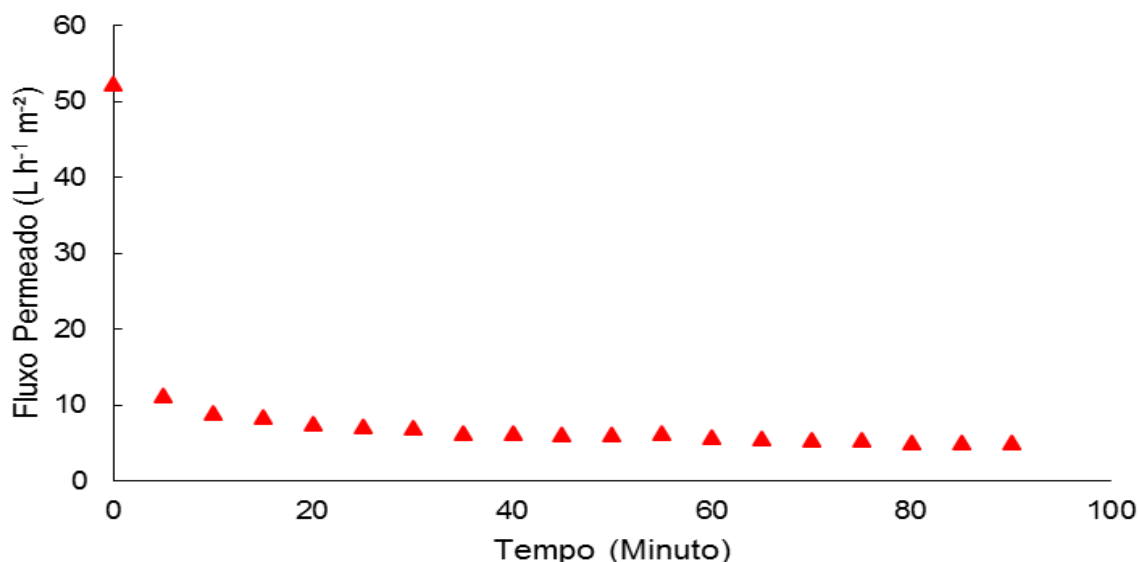


Figura 2 – Fluxo permeado para a membrana de MF, durante os ensaios de retenção de nutrientes, pressão 0,75 bar, MF (E3).

Os resultados das análises da concentração dos diferentes parâmetros presentes no permeado da membrana de MF, para o fator de concentração 1,25, estão dispostos na Tabela 6. A eficiência na retenção foi calculada referente a amostra de efluente utilizada (Lote 2 – Tabela 3).

Tabela 6 - Eficiência na remoção de parâmetros físico-químicos pela MF (158) no tratamento de efluente de laticínio – AATS. (continua)

MF 158 0,75 BAR – AATS			
Parâmetro	Amostra Lote 2	Resultado	E (%)
Turbidez (NTU)	540	0	100,00
Ph	8,54	8,98	-
SS ($\text{mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	<0,1	0	100,00
DQO (mg L^{-1})	1.169	129	88,96
DBO (mg L^{-1})	119,53	18,75	84,31
ST (mg L^{-1})	2.661	1.449	45,55
STF (mg L^{-1})	1.441	1.037,5	14,96
STV (mg L^{-1})	1.220	411,5	71,44
Nitrogênio Total (mg de N L^{-1})	111,69	29,08	73,96
Óleos e graxas (mg L^{-1})	7,30	0,3	95,89

Tabela 6 - Eficiência na remoção de parâmetros físico-químicos pela MF (158) no tratamento de efluente de laticínio – AATS. (conclusão)

MF 158 0,75 BAR – AATS			
Parâmetro	Amostra Lote 2	Resultado	E (%)
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	39	24	38,46
Condutividade (µS cm ⁻¹)	2.458	2.260	8,06
SDT (ppm TDS)	1.213	1.130	6,84

A eficiência na remoção de Turbidez, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Totais Fixos e Voláteis foi semelhante aos demais ensaios realizados (E1 e E2). A remoção de DBO₅ foi menos eficiente que a realizada no ensaio E1. As eficiências de remoção de DQO e DBO₅ neste ensaio foram de 88,96 e 84,31%.

A diminuição na remoção do parâmetro DQO pode estar associada a qualidade do efluente. No Lote 2, esta concentração foi de 1.169 mg L⁻¹, mais elevada que nos demais lotes de efluente utilizados. Entretanto, o parâmetro DBO₅ teve concentração inferior, no efluente, ao do utilizado no ensaio (E3). Mesmo assim, a membrana apresentou menor eficiência na remoção deste parâmetro.

A retenção de Nitrogênio Total pela membrana de MF foi elevada, 73,96%, enquanto para o Fósforo Total, a retenção foi inferior, de 38,46%. Comparando-se os dados encontrados para a retenção de nitrogênio e fósforo com o resultado obtido por Silva et al. (2011), tais autores verificaram que as membranas foram mais eficientes na remoção de nitrogênio e fósforo, porém, a capacidade de remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo orgânico foi constatada. As eficiências encontradas pelos autores na remoção de N-NH₄⁺ (nitrogênio amoniacal) e P-PO₄³⁻ (fósforo inorgânico) foram de 9% e 49%, respectivamente. A membrana utilizada no estudo foi de microfiltração com 0,4 µm de tamanho de poro e o efluente foi oriundo da lagoa de estabilização da estação de tratamento do abatedouro.

Os autores Giacobbo et al. (2010) ao utilizarem um módulo de membrana de microfiltração de poliamida fibras ocas, e poros de 0,4 µm produzido pela PAM – Membranas seletivas, no tratamento de efluente de curtume oriundo do início de uma planta de tratamento (sem tratamento), obtiveram para o parâmetro Nitrogênio Total, uma eficiência de retenção de 10%, inferior aos valores obtidos neste estudo, para efluente de laticínio.

3.3.2 Membrana de UF 257 - efluente AATS

O comportamento do fluxo permeado da membrana de UF, durante os ensaios de retenção de nutrientes foi semelhante aos demais ensaios realizados (E1 a E3), especialmente no que se refere ao rápido decaimento inicial e posterior estabilização no fluxo permeado. O fluxo inicial ficou acima de 27 L h⁻¹ m⁻², com queda acentuada nos primeiros 5 minutos (próximo de 12 L h⁻¹ m⁻²), finalizando com o fluxo próximo a 5,6 L h⁻¹ m⁻² no tempo de 90 minutos. O comportamento do fluxo está exposto na Figura 4.

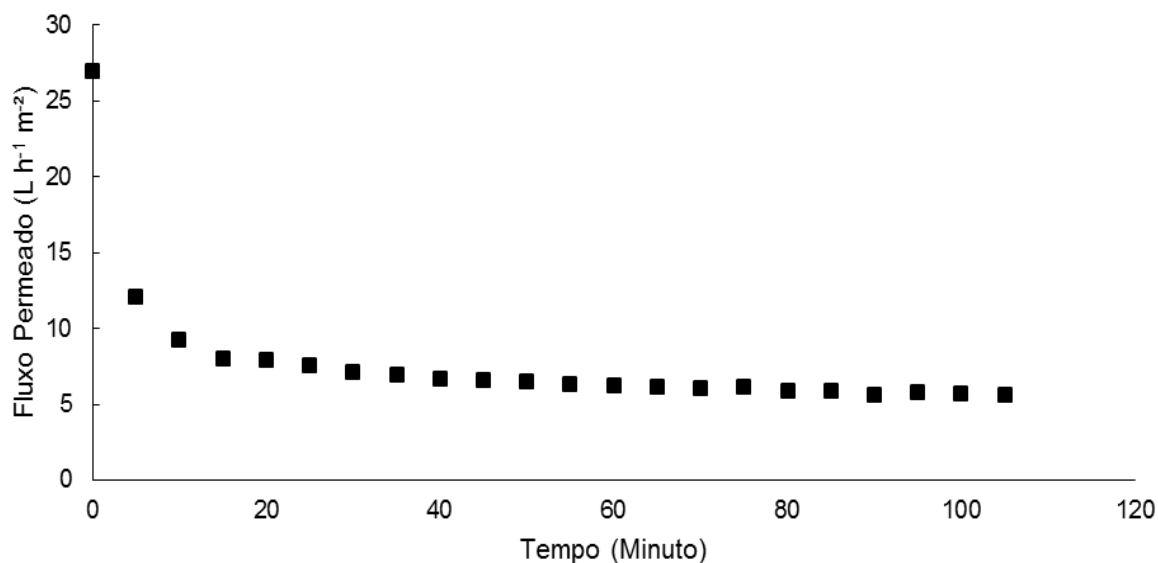


Figura 3 – Fluxo permeado para a membrana de UF, durante os ensaios de retenção de nutrientes, pressão 1,5 bar (E4).

Para a membrana de UF, os resultados encontrados para a análise do permeado no Fator de Concentração (Fc) 1,25 estão expostos na Tabela 7. Para este ensaio também foi utilizada a amostra do Lote 2.

Tabela 7 - Eficiência na remoção de nutrientes pela membrana de UF (257) no tratamento de efluente de laticínio – AATS – ponto de coleta 1.

UF 257 1,5 BAR – AATS			
Parâmetro	Amostra Lote 5	Resultado	Eficiência
Turbidez (NTU)	540	0	100,00
Ph	8,54	8,66	-
SS (mL L ⁻¹ h ⁻¹)	<0,1	0	100,00
DQO (mg L ⁻¹)	1.169	89	92,39
DBO (mg L ⁻¹)	119,53	11,61	90,29
ST (mg L ⁻¹)	2.661	1.293	51,41
STF (mg L ⁻¹)	1.441	891,5	26,93
STV (mg L ⁻¹)	1.220	401,5	72,14
Nitrogênio Total (mg de N L ⁻¹)	111,69	32,6	70,81
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	7,30	0,2	97,26
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	39	31	20,51
Condutividade (μS cm ⁻¹)	2.458	2.103	14,44
SDT (ppm TDS)	1.213	1.051	13,36

A eficiência na remoção de Turbidez, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Totais Fixos e Voláteis foi bastante semelhante aos demais ensaios realizados (E1 a E3). A remoção de DBO₅ e DQO também foi menos elevada para o ensaio E4 que nos demais ensaios. As eficiências de remoção de DQO

e DBO₅ no ensaio E4 ficaram acima de 90%, apresentando eficiência mais elevada se comparada ao E3 de MF, que foi de 88,96 e 84,31%, respectivamente, para DQO e DBO.

A retenção de Nitrogênio Total pela membrana de UF também foi elevada, 70,81%, enquanto para o Fósforo Total, a retenção foi inferior, sendo de 20,51%. Ambos os valores de remoção foram inferiores aos encontrados para a membrana de MF.

A eficiência de retenção de óleos e graxas, no entanto, foi elevada para as duas membranas, sendo de 97,26% para a membrana de UF e de 95,89% para a membrana de MF.

3.3.3 Membrana de MF 158 - efluente AAF

Com relação ao fluxo permeado da membrana com a amostra AAF, verificou-se decaimento do fluxo no decorrer do experimento, porém não tão elevado quanto para os tratamentos utilizando amostras AATS. O comportamento do fluxo no decorrer do estudo está demonstrado na Figura 5. Com o melhor fluxo, o ensaio foi mais rápido – aproximadamente 45 minutos.

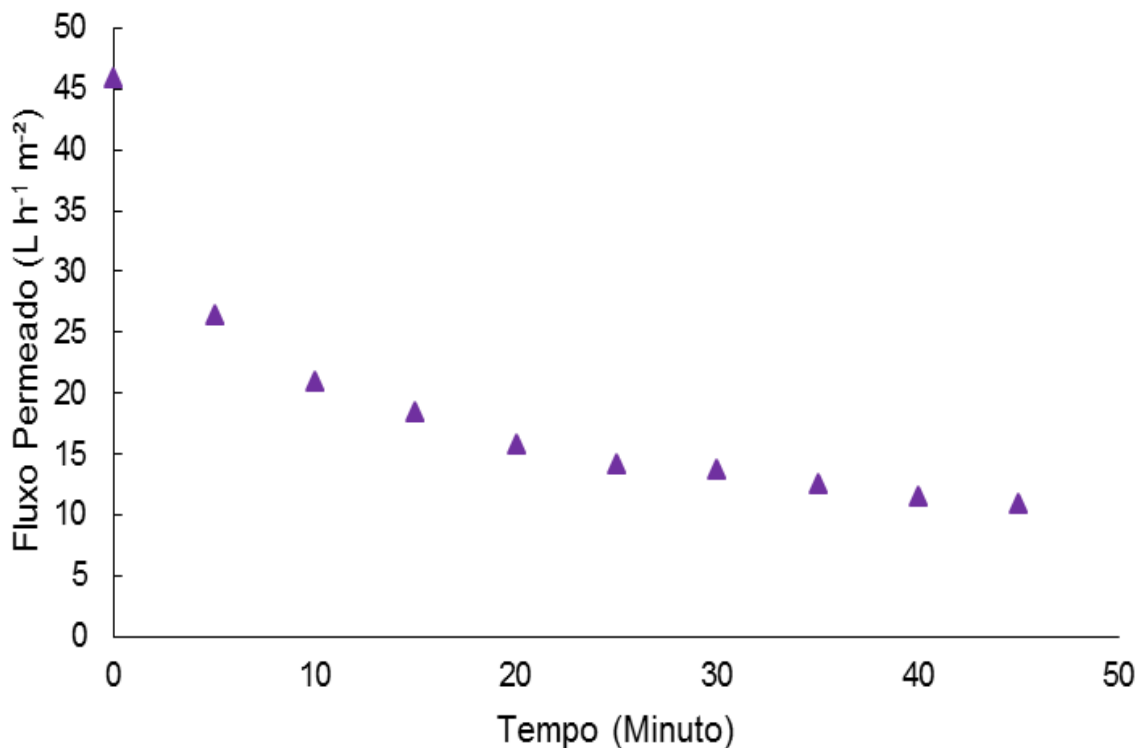


Figura 5 – Fluxo permeado para a membrana de MF com efluente de laticínio (AAF), durante os ensaios de retenção de nutrientes, pressão 0,75 bar (E5).

A Figura 6 contém os fluxos permeados, no decorrer do tempo, dos ensaios E1 e E4, para a membrana de MF na pressão de 0,75 bar.

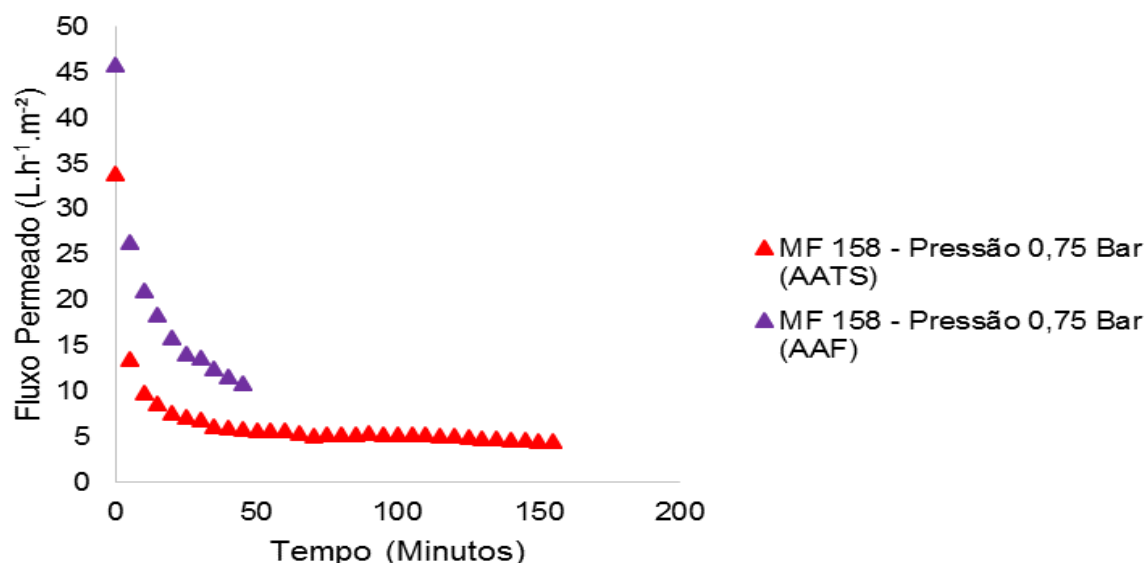


Figura 6 – Fluxo permeado para a membrana de MF com efluente de laticínio AATS e AAF, durante os ensaios de retenção de nutrientes, pressão 0,75 bar (E12).

Comparando-se com o ensaio E1, no qual utilizou-se efluente após o tratamento secundário (AATS) para a membrana de MF, observa-se que houve menor diminuição do fluxo permeado para os 5 primeiros minutos (42,50% para a amostra AAF e 60,14% para a amostra AATS). O fluxo médio calculado, após o tempo de 20 minutos foi de $13,01 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$, enquanto para o ensaio E2 após os 20 minutos, o fluxo médio encontrado foi de $5,82 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

Entretanto, mesmo com o efluente AAF, houve queda significativa do fluxo permeado após os 45 minutos, chegando-se a 76,20% de queda do fluxo permeado. Esse fato pode ser associado a presença de quantidade significativa de sólidos totais no efluente da amostra 3 (AAF) que foi de $1.927,50 \text{ mg L}^{-1}$, o que pode ter contribuído para a formação de incrustação na superfície da membrana e de sua colmatção.

O ensaio E5 (Tabela 2) foi realizado com amostra de efluente oriunda do sistema de tratamento de efluentes da indústria de laticínio, após o Flotador Físico-químico (AAF – Lote 3, Tabela 3). O objetivo foi verificar a eficiência da membrana de microfiltração com um efluente com condições melhores que as amostras coletadas após o tratamento secundário (AATS).

Para comparação da eficiência do tratamento por microfiltração como tratamento complementar ao Flotador Físico-químico, a eficiência deste com relação a qualidade da amostra coletada após o tratamento secundário (Lotes 1 e 2) foi comparada aos resultados obtidos após o tratamento por microfiltração da amostra AAF. As eficiências estão dispostas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características da amostra coletada após o Flotador físico-químico (AAF) e eficiência na remoção de nutrientes pela membrana de MF (158) no tratamento de efluente de laticínio com amostra coletada após o Flotador Físico-químico, no ponto de coleta 2 - AAF. (continua)

Parâmetro	Flotador		MF 158 0,75 BAR – AAF	
	Resultado	E (%)	Resultado	E (%)
Turbidez (NTU)	128	76,29	0	100,00
Ph	7,74	-	8,4	-
Sólidos sedimentáveis (mL/L/h)	<0,1	-	0	100,00
DQO (mg/L)	322	72,46	106	67,08

Tabela 8 – Características da amostra coletada após o Flotador físico-químico (AAF) e eficiência na remoção de nutrientes pela membrana de MF (158) no tratamento de efluente de laticínio com amostra coletada após o Flotador Físico-químico, no ponto de coleta 2 - AAF. (conclusão)

DBO (mg/L)	48,94	59,06	12,12	90,53
Sólidos totais (mg/L)	1927,5	27,56	1466,5	23,92
Sólidos totais fixos (mg/L)	1123	7,95	1079,5	3,87
Sólidos totais voláteis (mg/L)	804,5	44,17	387	51,90
Nitrogênio Total (mg de N/L)	52,65	52,86	36,57	30,54
Óleos e graxas (mg/L)	6,2	15,07	0,1	98,39
Fósforo Total (mg/L)	5	87,18	<2	≈ 60,00
Condutividade (μS/cm)	2527	NC*	2230	11,75
Sólidos dissolvidos totais (ppm TDS)	1263	NC*	1115	11,72

*NC: não calculado.

A eficiência do Flotador físico-químico é bastante elevada, chegando a, respectivamente, 72,46% e 59,06 de eficiência de remoção de DBO e DQO. Além destes, há grande eficiência na remoção de nutrientes como fósforo total e nitrogênio total, de 87,18 e 52,86%, respectivamente.

Com a amostra AAF, houve eficiência menor para a retenção de DQO do efluente, a qual foi de 67,08% e para o parâmetro nitrogênio total, que foi de 30,54%, se comparada com a eficiência do tratamento por membranas das amostras AATS. No entanto, para a remoção do fósforo total, no permeado, encontrou-se concentração menor que 2 mg/L, com eficiência do tratamento aproximada de 60%. Deve-se considerar, contudo, que a concentração de fósforo na amostra AFF também era inferior ao efluente AATS.

A microfiltração como tratamento complementar ao efluente do Flotador (amostra AAF) demonstrou eficiências bastante satisfatórias para os diferentes parâmetros. As remoções de Óleos e graxas, DBO₅, DQO, fósforo e nitrogênio foram de 98,39, 90,53, 67,08, 60 e 30,54%, respectivamente, havendo melhora considerável das características do efluente final.

Neste experimento, observa-se que com o fluxo permeado mais alto e a melhora na qualidade do efluente após o sistema de separação por membranas de MF, a utilização da MF como um tratamento complementar pode ser interessante para a indústria de laticínios, especialmente visando o reúso de água industrial.

Dacanal e Beal (2010) associando uma membrana de microfiltração a um filtro anaeróbio, no tratamento de lixiviado de aterro sanitário encontraram resultados que permitiram a conclusão de que a associação de uma unidade de microfiltração aumenta consideravelmente a eficiência do processo anaeróbio no tratamento de lixiviado. A remoção de DQO com a associação da membrana foi de 90,4%.

Bezerra e Matsumoto (2011) estudaram a remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada em águas residuárias através de biorreator de membranas. O reator apresentou médias de remoção de DQO, NTK e NT de 97, 98 e 92%, respectivamente. O sistema de ultrafiltração foi testado em vários fluxos entre 25 e 37 L h⁻¹ m⁻² e determinou-se o fluxo crítico de 28 L h⁻¹ m⁻², quando operado com 11,4 g L⁻¹ de Sólidos Suspensos Totais (SST) e 35 dias de tempo de retenção celular.

3.4 Análise dos parâmetros com relação ao atendimento dos padrões de reúso de efluentes

Há limitação para o reúso de água nas indústrias alimentícias, pela impossibilidade de reintrodução de água nos processos nos quais há contato com os alimentos, sendo permitidas somente no caso em que não tragam riscos à saúde (MATSUMURA; MIERZWA, 2008).

A ausência de parâmetros padronizados e de legislação específica é outro fator limitante para a aplicação de reúso de efluentes na indústria, pois não norteiam a qualidade do efluente tratado que deve ser alcançada para sua reutilização em processos industriais.

A resolução nº 54/2005 do CONAMA estabelece critérios para o reúso de água na indústria, porém, não padroniza parâmetros físico-químicos ou microbiológicos para o reúso industrial. A NBR 13.969/1997, por outro lado, expõe alguns parâmetros a serem atendidos para o reúso, porém, de forma limitada.

Nesse sentido, optou-se por seguir os parâmetros de reúso expostos na literatura, e compará-los com os melhores resultados encontrados para a microfiltração e a ultrafiltração.

Para embasar as proposições de reúso não potável de água para a indústria de laticínios, utilizou-se os melhores resultados encontrados para a MF e a UF nas condições de operação dos ensaios E1, E2, E3, E4 e E5 (Tabela 2).

Seguindo-se os valores de reúso citados na literatura, todos os padrões, exceto para os sólidos dissolvidos totais, foram atendidos para o reúso industrial nos seguintes locais: lavagem de pisos, irrigação de áreas verdes, lavagem de veículos, proteção contra incêndio e descarga sanitária.

A Tabela 9 contém os dados referentes aos padrões para o reúso de água para as torres de resfriamento e para as caldeiras nas indústrias e os melhores resultados encontrados para a MF e UF.

Tabela 9 - Requisitos físico-químicos e microbiológicos mínimos necessários para o reúso de efluentes e médias encontradas para a MF (AATS), UF (AATS) e MF (AAF).

Parâmetro	Unid.	Torres de resfriamento*	Caldeiras de baixa pressão <10 bar*	MF (AATS)	UF (AATS)	MF (AAF)
pH	-	6 – 9,5	7 – 10	8,98	8,66	8,4
Turbidez	NTU	2 – 10	SE	0	0	0
DQO	mg L ⁻¹	≤75	5	<25	<25	106
DBO ₅	mg L ⁻¹	25	1-50	15	11,61	12,12
ST	mg L ⁻¹	≤530	SE	1244,5	1293	1466,5
SDT	mg L ⁻¹	≤500	700	1130	1051	1115
Nitrogênio Amoniacal***	mg N L ⁻¹	1,0	SE	29,08	32,6	36,57
Condutividade	µS cm ⁻¹	800 – 1200	1100 – 5400	2260	2103	2230
Fosfato***	mg L ⁻¹	4,0	SE	24	31	0,1
Óleos e Graxas	mg L ⁻¹	1,0	SE	0,3	0,2	<2
Coliformes Termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	≤ 2,2	SE	AUSENTE	AUSENTE	NR**

*Fonte: US EPA, 2004; US EPA, 2004, valores para o Estado do Texas; Metcalfy e Eddy, 2003; Pinjing et al., 2001; Metcalfy e Eddy, 1991; Mancuso e Santos, 2003; Mierzwa, 2002; Macedo, 2001; Crook e Surampalli, 1996; PIO, 2005; Oenning Junior e Pawlowsky, (2007); Riera, Suárez e Muro, 2013; Mancuso, 2001; Chmiel, Mavrov e Belières, 2000; SE – Sem Especificação encontrada.

**NR: Análise não realizada.

***Utilizaram-se os parâmetros nitrogênio amoniacal e fosfato pela ausência de padrões de reúso para nitrogênio total e fósforo total.

Os parâmetros para o reúso de água industrial em torres de resfriamento e caldeiras foram atendidos por pelo menos um dos tratamentos realizados para os parâmetros: pH, turbidez, DQO, DBO, condutividade, fósforo, óleos e graxas e coliformes termotolerantes.

A utilização do efluente após os processos de separação por membranas nas torres de resfriamento foi limitada pelo não atendimento a alguns parâmetros, como: sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, nitrogênio e a condutividade. O reúso nas caldeiras foi limitado para os parâmetros DQO e os sólidos dissolvidos totais.

Para a condutividade, não foram alcançadas as condições necessárias para o reúso da água em torres de resfriamento, que necessitam de maior qualidade. Essa condição podia ser esperada, pois as membranas de MF e UF não removem grande quantidade desse parâmetro. Para maiores remoções, uma possibilidade seria o uso de outro tipo de membrana, a de nanofiltração (NF) e Osmose Reversa (RO) (MURO et al., 2009).

As condições de esterilização encontradas para os processos de MF e UF são extremamente importantes quando do reúso de água na indústria, especialmente em locais onde há contato com trabalhadores ou formação de névoa (EPA, 2004).

Deve-se considerar que a utilização de sistemas de tratamentos para purificação da água e possibilidade de reúso, auxiliam na diminuição do total de água consumida e a produção de efluentes pela indústria de laticínios (BALANNEC et al., 2005).

Nesse sentido, as membranas de MF e UF utilizadas na presente pesquisa demonstraram eficiência de retenção de poluentes bastante considerável, gerando águas de reúso de qualidade para a indústria de laticínios, especificamente para o reúso industrial não potável.

Comparando-se os padrões de lançamento para efluentes de indústrias de laticínios, Resolução CEMA nº 70/2009 – Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais, mais especificamente o anexo 7 dessa resolução, com os melhores resultados para MF e UF, pode-se verificar que os parâmetros de DQO, DBO e óleos e graxas foram atendidos. Na Resolução, os padrões de lançamento são os seguintes: 200 mg L⁻¹ para DQO, 50 mg L⁻¹ para DBO₅ e 50 mg L⁻¹ para óleos e graxas.

Mesmo atendendo os padrões de reúso de água dispostos na literatura, estes não devem ser considerados como os únicos. A falta de legislação específica acaba não norteando as possibilidades de reúso na indústria.

Para o reúso de água nas Caldeiras é necessário realizar análises mais específicas, com relação a dureza da água e a presença de íons como o cálcio (Ca²⁺), especificamente pela necessidade de atendimento a padrões seguros de utilização, análises que não foram realizadas no presente estudo.

É de fundamental importância maiores estudos com relação ao reúso de água na indústria. Os resultados encontrados no presente estudo enquadraram-se nos padrões estabelecidos na literatura, entretanto, torna-se crucial estudos relacionados a segurança do reúso da água industrial.

4. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

ANDRADE, L. H. *et al.* Nanofiltration as a post treatment to membrane bioreactor effluent for dairy wastewater reuse. **Procedia Engineering**. 2012, n. 4. p. 1956-1960.

BALANNEC, B. VOURCH, M. RABILLER-BAUDRY, M. CHAUFER, B. Comparative Study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration. **Separation, Purification and Technology**. N. 42, p. 195-200. 2005.

BEZERRA, L. F. MATSUMOTO, T. Avaliação da remoção da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada de águas residuárias em biorreator de membranas. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. V.15, n. 13, p. 253-260, Jul/set 2011.

BRASIL. Conselho Nacional dos Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 – Estabelece Critérios gerais para o reúso de água potável.**

BRIÃO, V. B. TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração de efluente da indústria de laticínios para recuperação de nutrientes: efeito da pressão e da velocidade tangencial. Nota Científica. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 15, n. 4, p. 352-362, out./dez. 2012.

BRIÃO, V. B. TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para reúso de efluentes de laticínios. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol. 12, n. 2. Abr/jun, 2007, p. 134-138.

CARVALHO, D. D. de. MACHADO, B. J. F. Reúso de efluentes em torres de resfriamento - estudo conceitual: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. **Acta Scientiarum**. V. 32, n. 3, p. 295-302. 2010.

CHMIEL, H. MAVROV, V. BELIÈRES, E. Reuse of vapour condensate from milk processing using nanofiltration. **Filtration+Separation**. P. 24-27, 2000.

CROOK, J; SURAMPALLI, R. Y. **Water reclamation and reuse criteria in the U.S. Water Science and Technology**, Vol. 33, No10-11, 1996.

DACANAL, M. BEAL, L. L. Filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração tratando lixiviado de aterro sanitário. **Revista Sanitária e Ambiental**. V. 15, n. 1. Jan-Mar 2010, p. 11-18.

DEPEC – DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS. **Economia em dia**, Indústria de Alimentos. Junho de 2017. Disponível em:
<https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_industria_de_alimentos.pdf>.
Acesso em: 27 de nov 2017.

EPA – Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. EPA/625/R-04/108, Washington, DC, September, 2004.

GIACOBBO, A. RODRIGUES, M. A. S. BERNARDES, A. M. FERREIRA, J. Z. MENEGUZZI, A. Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtume. In: **VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

HASAN, A. PELUSO, C. R. HULL, T. S. FIESCHKO, J. CHATTERJEE, S. G. A surface-renewal model of cross-flow microfiltration. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. V. 30, n. 1, p. 167-186. Jan/mar, 2013.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 7, n. 4, p. 75-95. Out/dez, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. V. 43, Brasil, 2015.

JERÔNIMO, C. E. M. COELHO, M. S. MOURA, F. N. ARAÚJO, A. B. A. Qualidade ambiental e sanitária das indústrias de laticínios do município de Mossoró-RN. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. V. 7, nº 7, p. 1349-1356, MAR-AGO, 2012.

LAUTENSCHLAGER, R. S.; FILHO, S. S. F.; PEREIRA, O. Modelação matemática e otimização operacional de processos de membrana de ultrafiltração. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14, n. 2, p. 215-222. Abr/jun 2009.

MACÊDO, J. A. B. **Água e águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

MAGANHA, M. F. B. (Elab.). **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos – Série P+L**. São Paulo: CETESB, 2008.

MANCUSO, P. C. S. **Reúso de água para torres de resfriamento**. São Paulo, 2001.

MANCUSO, P. C. S. SANTOS, H. F. dos (edit.). **Reúso de Água**. São Paulo, Manole, 2003.

MATSUMURA, E. M. MIERZWA, J. C. Water conservation and reuse in poultry processing plant – A case study. **Reuse Conservation and Recycling**. V. 52, p. 835-842, 2008.

MENDES, P. R. A. **Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados no tratamento de efluentes da indústria de laticínios**. 2014. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment and reuse**. Mc Graw-Hill: Higler Education. Fourth Edition, 2003. 1819p.

METCALF; EDDY. Wastewater reclamation and reuse. In: **Wastewater engineering treatment, disposal and reuse**. New York, McGraw Hill. Third Edition, 1991.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak Brasileira**. 2002. 367 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MURO, C. ESCOBAR, J. ZAVALA, R. E. ESPARZA, M. CASTELLANOS, J. GOMÉZ, R. M. GARCÍA, M. Evaluación del proceso de microfiltración en un efluente residual de una industria alimenticia para su reuso. **Revista Internacional de contaminación ambiental**. V. 25, n.4, p. 229-238, 2009.

PAM MEMBRANAS. **Manual de instalação, operação e manutenção**. Unidade de MF/UF/NF de bancada, 2012.

PASSARINI, K. C. GAMARRA, F. M. C. VANALLE, R. M. SANTANA, J. C. C. Reutilización de las aguas residuales en la irrigación de plantas y en la recuperación de los suelos. **Revista Información Tecnológica**. Vol. 23. N. 1, P. 57-64. 2012.

- PINJING, H; PHAN, L; GUOEWI, G; HERVOUET, G. Reclaimed municipal wastewater – a potencial water resource in China. **Water Science Technology**. V. 43 (10), 2001. pp. 51-58.
- RIERA, F. A. SUÁREZ, A. MURO, C. Nanofiltration of UHT flash cooler condensates from a dairy factory: Characterisation and water reuse potential. **Dessalination**. V. 309, p. 52-63, 2013.
- SCHMITT, D. M. F. VEIT, M. T. BERGAMASCO, R. VIEIRA, A. M. S. FAGUNDES-KLEN, M. R. Ultrafiltration Combined with Coagulation/Flocculation/Sedimentation Using *Moringa oleifera* as Coagulant to Treat Dairy Industry Wastewater. **Water Air Soil Pollut**. V. 224, n. 1682, p. 1-10, 2013.
- SCHNEIDER, R. P.; TSUTYIA, M. T. **Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso**. São Paulo: ABES, 2001.
- SILVA, T. O. da. ROCHA, A. W. S. TERAN, F. J. C. Microfiltração como processo de tratamento avançado para efluente industrial de abatedouro de bovinos. **Revista Engenharia Ambiental**. V. 8, n. 4, p. 23-30, out/dez, 2011.
- SONG, L. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling. **Journal of Membrane Science**. V. 139, p. 183-200. 1998.
- SUSUKI, F. F. BERGAMASCO, R. TAVARES, C. R. G. BALDASSO, T. Production and application of porous membrane for removal of contaminants in treated water. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 34, n. 4, p. 421-425, Oct.-Dec., 2012.
- VIDAL, C. M. de S. CAMPOS, J. R. Coagulação associada à microfiltração para o tratamento avançado de esgoto sanitário. **Revista Ambientia**. Guarapuava, PR v.5 n.1 p.101 - 114 Jan./Abr. 2009.
- VOURCH, M. BALLANEC, B. CHAUFER, B. DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for reuse water. **Dessalination**. V. 219, p. 190-202, 2008.