

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Jessica Andressa Teodoro

**Uso de membranas em processos sustentáveis nas indústrias de alimentos: uma revisão
integrativa**

Florianópolis

2021

Jessica Andressa Teodoro

Uso de membranas em processos sustentáveis nas indústrias de alimentos: uma revisão integrativa

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Katia Rezzadori.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra

Teodoro, Jessica Andressa

Uso de membranas em processos sustentáveis nas indústrias de alimentos : uma revisão integrativa / Jessica Andressa Teodoro ; orientadora, Katia Rezzadori, 2021.

127 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Processos de Separação por Membranas. 3. Sustentabilidade. 4. Economia Circular. I. Rezzadori, Katia. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Jessica Andressa Teodoro

Uso de membranas em processos sustentáveis nas indústrias de alimentos: uma revisão integrativa

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Florianópolis, 16 de setembro de 2021.

Profa. Dra. Ana Carolina de Oliveira Costa
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Katia Rezzadori
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Giustino Tribuzi
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Silvani Verruck
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico a todos cujas vidas foram transformadas pela educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por terem possibilitado meu ingresso e permanência na universidade, contornando tantas dificuldades quanto necessário para me prover recursos para cursar esta graduação; agradeço também a todos familiares que, de alguma forma, contribuíram para que a realização deste curso fosse possível.

Agradeço ao meu companheiro por todo encorajamento nos momentos de fraqueza, compreensão nos momentos de ausência e incontáveis auxílios com as minhas demandas.

Agradeço a todos meus amigos, internos ou externos à minha vida acadêmica, próximos ou distantes geograficamente, que me proporcionaram preciosos momentos de alegria e também de conforto em momentos de dificuldade, tornando esta jornada muito menos densa.

Agradeço à professora Katia Rezzadori por prontamente ter aceitado ao convite para orientação deste trabalho, cujo desenvolvimento só foi possível graças à sua imprescindível assistência, à sua constante disposição e aos seus direcionamentos; por ter me acompanhado nesta caminhada sempre com leveza e motivação.

Agradeço à doutoranda Mariane Proner e à pós-doutoranda Giordana Arend por sua participação tão essencial na seleção dos estudos para este trabalho, assim como à bibliotecária Sirlene Pinto pelo excelente atendimento que viabilizou a elaboração do protocolo de busca para esta seleção.

Agradeço à professora Fernanda Hansen e à mestranda Gabriela Morete por toda a experiência de orientação na iniciação científica, à qual devo grande parte do preparo para o desenvolvimento deste trabalho; agradeço por terem sido tão companheiras, compreensivas e dedicadas à promoção do meu aprendizado no projeto.

Agradeço às professoras Carmen Maria Olivera Müller e Ana Carolina de Oliveira Costa, assim como ao chefe de expediente Jonas Fedrigo, por todos seus esforços incansáveis em assistir aos docentes do curso neste desafiador período de adaptação ao ensino remoto.

Por fim, agradeço a todos os professores da rede pública de ensino - da qual sou orgulhosamente oriunda - que passaram pela minha vida; da pré-escola ao ensino médio; do ensino técnico ao superior; professores que me inspiraram, me tornaram apaixonada por aprender, me conduziram a um mundo de possibilidades por meio da educação e, acima de tudo, me mostraram que a educação pública, gratuita e de qualidade é um direito de todos. Graças a vocês, a educação pública resiste; a educação pública dignifica; a educação pública transforma.

As long as you're learning, you're not failing.

(Robert Norman "Bob" Ross, 1993)

RESUMO

Um importante desafio tem surgido à humanidade ao longo das últimas décadas: manter a prosperidade do desenvolvimento econômico e da inovação tecnológica através de sistemas de produção sustentáveis. Essa demanda emergente está associada à rápida degradação ambiental do planeta Terra verificada a partir da ação humana, que tem comprometido o equilíbrio de ecossistemas. Neste contexto, as indústrias de alimentos destacam-se como intervenientes de biosistemas principalmente a partir da contaminação do solo e de corpos de água em função de seus efluentes e resíduos, bem como pelo elevado consumo de água e alto consumo energético. Os Processos de Separação por Membranas (PSM) surgem como uma importante tecnologia viabilizadora da adoção de processos sustentáveis pelas indústrias de alimentos, uma vez que são executados sob temperaturas brandas e não envolvem o uso de agentes químicos. Revisões sobre membranas em contextos sustentáveis têm sido elaboradas com diferentes enfoques, sendo que as abordagens direcionadas às indústrias de alimentos concentram-se em segmentos industriais específicos ou fenômenos dos processos, sem que seja construída uma perspectiva centrada em seu caráter sustentável. Visando preencher esta lacuna, o presente trabalho tem como objetivo geral a construção de uma revisão integrativa com abordagem holística voltada para o uso de membranas em processos sustentáveis aplicados aos diferentes segmentos das indústrias de alimentos. As estratégias de busca adotadas foram aplicadas às bases de dados Banco de Teses da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Google Acadêmico, *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* (NDLTD), *Open Access Theses and Dissertations* (OATD), PubMed, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Embase, Scopus, *Web of Science* e *ProQuest Dissertations & Theses Global* (PQDT Global). As buscas retornaram um total de 710 estudos, sendo que após a exclusão de duplicados restaram 447 para avaliação. Os estudos foram submetidos à seleção prévia com posterior leitura de suas listas de referências, o que, em conjunto com a inclusão de outros estudos relevantes não contemplados pelas estratégias de busca adotadas, totalizou em uma seleção de 178 trabalhos publicados no período de 2000 a junho de 2021. Os segmentos contemplados pelos estudos foram: laticínios (63), sucos e bebidas (49), óleos (23) e outros (43). Os países com maior volume de publicações em periódicos internacionais foram Itália (25), Brasil (17), Espanha (15) e Estados Unidos (11). Os processos sustentáveis identificados foram tratamento de resíduos e efluentes, obtenção de compostos de valor e água para reúso e alternativa sustentável aos processos com emprego de altas temperaturas. Foi constatada como tendência para este contexto o potencial de conversão de resíduos e efluentes em agregação de valor às cadeias produtivas através da obtenção de compostos de valor, em função da ampla gama de nutrientes até então não aproveitados a partir destes resíduos e efluentes. Como perspectiva para pesquisas futuras, incentiva-se a avaliação e o desenvolvimento da viabilidade de aplicação dos PSM para as diferentes dimensões de plantas industriais contempladas dentre os segmentos abordados nesta revisão.

Palavras-chave: Indústrias de Alimentos. Processos de Separação por Membranas. Sustentabilidade. Economia Circular.

ABSTRACT

A major challenge has arisen to humanity over the last decades: to maintain the prosperity of economic development and technological innovation through sustainable production systems. This emerging demand is associated with the rapid environmental degradation of Earth due to human action, which has endangered the balance of ecosystems. In this context, the food industries stand out as intervening in biosystems mainly because of soil and water bodies contamination due to their effluents and residues, as well as high water consumption and high energy consumption. Membrane Technology (MT) emerges as an important technology enabling the adoption of sustainable processes by food industries, since they are moderated under mild conditions and do not involve the use of chemical agents. Reviews on the use of membranes in sustainable contexts have been elaborated with different approaches, and approaches aiming at the food industries focus on specific industrial segments or process phenomena, which lack the building of a perspective centered on their sustainable aspects. Aiming to fill this gap, the present work has as general objective the construction of an integrative review with a holistic approach focused on the use of membranes in sustainable processes according to the different segments of the food industries. The search strategies adopted were applied to the databases Banco de Teses da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), *Google Scholar*, *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* (NDLTD), *Open Access Theses and Dissertations* (OATD), PubMed, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Embase, Scopus, *Web of Science*, and *ProQuest Dissertations & Theses Global* (PQDT Global). The searches returned a total of 710 studies, and after the exclusion of duplicates 447 remained for evaluation. The studies were subjected to prior selection with further reading of their reference lists which, along with the inclusion of other relevant studies not covered by the search strategies adopted, resulted in a selection of 178 studies published in the period from 2000 to June of 2021. The segments covered by the studies were: dairy products (63), juices and beverages (49), oils (23), and others (43). The countries with the highest volume of publications in international journals were Italy (25), Brazil (17), Spain (15), and the United States (11). The sustainable processes identified were waste and effluent treatment; obtaining valuable compounds and water for reuse; and sustainable alternative to processes using high temperatures. A tendency for this context was found to be the potential for converting waste and effluents into adding value to the production chains by obtaining valuable compounds, due to the wide range of nutrients from these wastes and effluents hitherto not exploited. As a perspective for future research, it is encouraged to develop research on the assessment and development of the feasibility of applying MT to the different dimensions of industrial plants included in the segments covered by this review.

Keywords: Food Industries. Membrane Technology. Sustainability. Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Separação em membranas por modelos de tamanho nominal de poro (a) e solução-difusão (b).	26
Figura 2 - Operações nos modos convencional (a) e tangencial (b).	29
Figura 3 - Faixas de separação para os PSM em fluxo tangencial.	30
Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção de literatura.	56
Figura 5 - Distribuição geográfica de artigos publicados por país a nível mundial...58	
Figura 6 - Distribuição geográfica de artigos publicados por país no continente europeu.	59
Figura 7 - Distribuição de estudos por segmento industrial.	61
Figura 8 - Distribuição de estudos ao longo do tempo.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégia de busca 1.....	50
Tabela 2 - Estratégia de busca 2.....	51
Tabela 3 - Estratégia de busca 3.....	52
Tabela 4 - Estratégia de busca 4.....	53
Tabela 5 - Estratégia de busca 5.....	54
Tabela 6 - Distribuição de estudos por segmento industrial ao longo do tempo.....	63
Tabela 7 - Estudos com aplicação na indústria de laticínios.....	64
Tabela 8 - Estudos com aplicação na indústria de sucos e bebidas.....	67
Tabela 9 - Estudos com aplicação na indústria de óleos.....	72
Tabela 10 - Estudos com aplicação na indústria sucroalcooleira.....	75
Tabela 11 - Estudos com aplicação na indústria de grãos e cereais.....	76
Tabela 12 - Estudos com aplicação na indústria de frutas e hortaliças.....	78
Tabela 13 - Estudos com aplicação na indústria de pescado e derivados.....	79
Tabela 14 - Estudos com aplicação na indústria biotecnológica.....	80
Tabela 15 - Estudos com aplicação na indústria de carnes e derivados.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BRM - Biorreator de Membrana
BRMAS - Biorreator de Membrana Anaeróbico Submerso
BU-UFSC - Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DF - Diafiltração
DM – Destilação de Membranas
DQO - Demanda Química de Oxigênio
ED - Eletrodialise
EUA – Estados Unidos da América
FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
GEE – Gases do Efeito Estufa
IP - Intensificação de Processos
MF - Microfiltração
NDLTD - *Networked Digital Library of Theses and Dissertations*
NF - Nanofiltração
OATD - *Open Access Theses and Dissertations*
OD – Osmose Direta
OI - Osmose Inversa
ONU - Organização das Nações Unidas
PQDT - *ProQuest Dissertations & Theses Global*
PSM - Processos de Separação por Membranas
PVDF - Polivinildifluorido
SARS-Cov2 - *Severe Acute Respiratory Syndrome - Coronavirus 2*
SciELO - *Scientific Electronic Library Online*
SDG - *Sustainable Development Goals*
SST - Sólidos Solúveis Totais
UF - Ultrafiltração

LISTA DE SÍMBOLOS

Unidades de Medida

Bar - Bar

Da - Dalton

°C - Graus Celsius

µm - Micrômetro

nm - Nanômetro

Pa - Pascal

pH - Potencial hidrogeniônico

ppm - Partes por milhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo Geral.....	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS	20
2.2	PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	24
2.2.1	Microfiltração	31
2.2.2	Ultrafiltração.....	32
2.2.3	Nanofiltração.....	34
2.2.4	Osmose inversa.....	35
2.2.5	Outros processos de separação por membranas e etapas associadas	36
2.2.6	Limitações dos PSM	38
2.2.7	Uso de membranas no processamento de alimentos.....	41
3	ESTADO DA ARTE EM REVISÕES SOBRE MEMBRANAS EM CONTEXTOS SUSTENTÁVEIS.....	44
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	FORMULAÇÃO DA QUESTÃO NORTEADORA DA PESQUISA	46
4.2	BUSCA SISTEMÁTICA	46
4.3	SELEÇÃO DE LITERATURA	47
4.4	ANÁLISE DE CONTEÚDO	48
5	RESULTADOS	48
5.1	ESTUDOS SELECIONADOS	55
5.1.1	Publicações em periódicos internacionais	57
5.1.2	Outras publicações	60
5.1.3	Distribuição de estudos por segmento industrial.....	60
5.1.3.1	<i>Distribuição ao longo do tempo</i>	<i>61</i>

5.1.3.2	<i>Indústria de laticínios</i>	64
5.1.3.3	<i>Indústria de sucos e bebidas</i>	67
5.1.3.4	<i>Indústria de óleos</i>	72
5.1.3.5	<i>Outros segmentos industriais</i>	75
6	DISCUSSÃO	83
6.1	INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS	85
6.2	INDÚSTRIA DE SUCOS E BEBIDAS	87
6.3	INDÚSTRIA DE ÓLEOS	90
6.4	OUTROS SEGMENTOS INDUSTRIAIS	92
6.5	O USO DE MEMBRANAS E A ECONOMIA CIRCULAR	97
6.6	PERSPECTIVAS E TENDÊNCIAS	99
6.7	LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA.....	101
7	CONCLUSÃO	102
	REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra se encontra em um delicado cenário ambiental no que tange à sustentabilidade.¹ Dados recentes^{2,3} têm apontado para consequências devastadoras verificadas no ecossistema mundial em razão das interferências ambientais provenientes das atividades humanas. O desequilíbrio do fluxo natural de água, com impacto na intensificação de ciclos de chuvas e maior frequência de secas em diferentes regiões, assim como o comprometimento dos ecossistemas marítimos através do aquecimento, acidificação e redução de oxigênios nos oceanos, são mencionados como algumas destas consequências. Além disso, cita-se o aumento da temperatura média do planeta, previsto para atingir entre 1,5°C a 2°C até o fim do século XXI caso se mantenha o atual ritmo de emissão de gases do efeito estufa (GEE).³ Até o presente momento, a Terra é o único planeta acessível à humanidade a partir do qual é possível perpetuar a sobrevivência da espécie,⁴ o que implica na urgência em se reverter os danos ambientais constatados a fim de manter o planeta como um lugar habitável.

As indústrias alimentícias são apontadas como integrantes do grupo de atividades com impactos ambientais, uma vez que consomem uma grande quantidade de energia, sendo que este consumo contribui para a emissão de GEE em razão do uso de energia fóssil.² A demanda por processos adotados visando uma longa vida de prateleira, como processos de secagem, esterilização, refrigeração e congelamento, bem como para o tratamento de resíduos, acarreta na necessidade deste elevado consumo energético.^{5,6} Além disso, este setor industrial configura-se como um grande consumidor de água potável principalmente em razão de exigências sanitárias,⁶ bem como está associado a uma elevada geração de efluentes e resíduos frequentemente descartados sem tratamento adequado.⁵⁻⁷ As indústrias de alimentos estão associadas a diversos segmentos de atuação,⁸ cujos efluentes e resíduos gerados carregam consideráveis valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).^{8,9}

A fim de estabelecer diretrizes norteadoras frente às ações que devem ser tomadas para reverter os impactos ambientais que estão acelerando a degradação dos ecossistemas, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, a partir dos quais as indústrias de alimentos têm importante atuação no sentido de se comprometerem com a adoção de processos sustentáveis¹⁰ e de um sistema de economia

circular.¹¹ Como forma de atingir estes objetivos, menciona-se o uso da tecnologia de membranas.¹²

De forma simplificada, a filtração consiste na passagem de um fluido carregado de partículas suspensas através de um meio poroso que as retém.¹³ Os processos de separação por membranas (PSM), por sua vez, consistem de operações unitárias empregadas para a remoção seletiva de água e de solutos em específico a partir de membranas semipermeáveis, em que a força motriz frequentemente consiste em pressão aplicada sobre o fluido.¹⁴ Estes processos são vantajosos em comparação a processos convencionais empregados uma vez que envolvem menores custos operacionais, maior eficiência energética e manutenção do teor nutricional e qualidade sensorial de alimentos e bebidas em função das temperaturas brandas de processamento, dentre outros.^{14,15}

As membranas consistem de finas interfaces através das quais permeiam moléculas, variando em função de suas características físicas e químicas. A taxa de permeação das moléculas é controlada a partir dos modelos de solução-difusão ou tamanho nominal de poro. A estrutura da sua camada de superfície determina tanto a taxa de permeação quanto as suas propriedades de separação, estabelecendo o tipo de molécula que permeará a membrana,¹⁵ como se verifica, por exemplo, a partir da permeação preferencial por moléculas iônicas em membranas de troca iônica.¹⁶ O escoamento do fluido pode se dar pelos modos convencional e tangencial.^{17,18}

Os PSM mais empregados consistem nos processos de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI), sendo classificados com base nas suas faixas de separação¹²⁻¹⁵ e comportando diferentes configurações e materiais.^{12-15,18-20} Outros PSM, como eletrodialise (ED), pervaporação, osmose direta (OD), dentre outros, também são citados, bem como se verifica o seu uso com etapas associadas como diafiltração (DF) e uso de biorreatores de membrana (BRM).^{12,13,15,20-22} Como principal limitação destes processos menciona-se a ocorrência do fenômeno de *fouling*, em que se verifica um acúmulo irreversível de partículas suspensas próximo à superfície da membrana.¹⁵ Encontram ampla aplicação nas indústrias de alimentos,¹² com destaque para aplicação nos segmentos de laticínios e sucos.¹⁷

Revisões sobre membranas em contextos sustentáveis têm sido abordadas com diferentes enfoques²³⁻⁴⁷ e, mesmo nas que abordaram o uso destes processos no contexto das indústrias alimentícias, não há uma abordagem holística visando levantar as características sustentáveis dos PSM empregados em diferentes segmentos deste setor industrial. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo geral a construção de uma revisão integrativa

abordando o uso de membranas em processos sustentáveis aplicados aos diferentes segmentos das indústrias de alimentos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Revisar, de forma integrativa, os trabalhos disponíveis na literatura científica abordando estudos sobre os usos da tecnologia de membranas aplicados a processos sustentáveis nas indústrias de alimentos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Conceitualizar a problemática ambiental associada às indústrias de alimentos;
- b) Conceitualizar os principais processos e os fenômenos envolvidos nos processos de separação por membranas;
- c) Compreender quais têm sido os usos sustentáveis desta tecnologia nos principais segmentos da indústria de alimentos em que se aplica;
- d) Correlacionar os usos dos processos de separação por membranas com a economia circular;
- e) Analisar as perspectivas e tendências futuras para este contexto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

O mundo tem enfrentado diversos desafios no que tange à sustentabilidade^a, dentre os quais destacam-se as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e a escassez de água potável.² Um recente relatório publicado em agosto de 2021 pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, órgão vinculado à ONU) sob o título *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, aponta para um estado de mudanças climáticas irreversíveis como nunca antes ocorrido em milhares de anos, dentre as quais menciona-se o aumento do nível do mar, alteração do fluxo natural da água – com maior intensificação dos ciclos de chuva, o que leva à ocorrência de enchentes em alguns locais e seca em outros - e o aumento da temperatura do planeta, sendo estas mudanças diretamente influenciadas pela ação humana.³

O fenômeno do aquecimento global tem provocado desastres naturais como ciclones tropicais, fortes chuvas e intensas ondas de calor, sendo que, no atual ritmo de emissão de GEE, segue-se com a previsão de aquecimento do planeta entre 1,5°C a 2°C até o final do século XXI. Ondas de calor marinhas, bem como acidificação e redução do oxigênio nos oceanos podem comprometer o ecossistema dos oceanos e as populações que dependem destes recursos. A proposta de redução da emissão de GEE almejando sua total nulidade consiste na principal ação a ser tomada visando reverter o atual estado catastrófico em que se encontra o planeta Terra.³

Por meados da década de 1990, o astrônomo Carl Sagan já destacava em seu livro intitulado *Pale blue dot: a vision of the human future in space* a importância em se desenvolver uma consciência ambiental coletiva para manter a viabilidade da existência de vida no planeta Terra:

The Earth is the only world known so far to harbor life. There is nowhere else, at least in the near future, to which our species could migrate. Visit, yes. Settle, not yet. Like it or not, for the moment the Earth is where we make our stand. It has been said that astronomy is a humbling and character-building experience. There is perhaps no better demonstration of the folly of human conceits than this distant image of our tiny world. To me, it underscores our responsibility to deal more kindly with one another, and to preserve and cherish the pale blue dot, the only home we've ever known. (SAGAN, 1997, p. 7)⁴

^a A sustentabilidade pode ser compreendida como uma perspectiva multigeracional que enfatiza com a mesma relevância o meio ambiente, a economia e a sociedade.¹

As indústrias de alimentos configuram-se como grandes consumidoras de energia, o que as leva a ter participação na elevada emissão de GEE em função do uso de energia fóssil, contribuindo para a ocorrência do aquecimento global.² Esta demanda energética está principalmente associada aos processos empregados almejando uma longa vida de prateleira dos produtos alimentícios, como esterilização, secagem, refrigeração e congelamento de alimentos.⁵ Para além das demandas inerentes ao processo produtivo, a indústria de alimentos também requer um alto consumo de energia para o tratamento de efluentes e resíduos.⁶ Outros impactos ambientais associados a este setor têm relação com perdas ao longo do processamento, desperdício de matérias-primas, consumo de água, emprego de agentes químicos e manejo de resíduos e subprodutos.²

O despejo de compostos poluentes nos corpos de água e o aquecimento global, por sua vez, têm significativa contribuição para a poluição e a escassez de água potável.¹ Os altos padrões de higiene exigidos na produção de alimentos, bem como o próprio uso de energia oriunda de usinas hidrelétricas, constituem-se como componentes envolvidos no elevado consumo de água por este setor, comprometendo a disponibilidade deste recurso natural.⁶

Estima-se que um quarto dos alimentos produzidos terminam como resíduos agroindustriais. Muitas matérias-primas não podem ser integralmente envolvidas em determinados processos produtivos, a partir do que estes resíduos são gerados. Além disso, matérias-primas fora dos padrões de qualidade exigidos também são descartadas, incorrendo em um não aproveitamento de muitos compostos funcionais de valor nutricional e tecnológico.⁵ Este elevado volume de resíduos, além de representar uma grande perda de compostos de valor, incorre em um sério problema ambiental em função do seu frequente descarte inadequado no meio ambiente.⁷ Há também uma elevada geração de águas residuais neste setor, o que demanda tratamento prévio ao seu descarte.⁶

As maiores indústrias processadoras de alimentos incluem os segmentos de processamento de frutas e vegetais, frutos do mar, carne, cereais e laticínios.⁸ Na indústria de laticínios são verificados impactos ambientais em relação ao grande volume de efluentes gerados, bem como quanto à sua elevada demanda energética em função dos processos térmicos que emprega, dentre os quais menciona-se pasteurização, secagem e evaporação. O processo de secagem é apontado como um dos processos mais energeticamente intensivos, uma vez que está relacionado a um alto calor latente de vaporização da água; a secagem está associada, por exemplo, à produção de leite em pó e secagem de soro de leite.⁶

Além da demanda energética, este segmento está também vinculado a problemas ambientais em relação aos efluentes gerados. Seus efluentes apresentam elevada carga orgânica, bem como altos valores de DBO e DQO^b, principalmente por conta do seu conteúdo de lactose, proteínas e gorduras. Agentes de limpeza e desinfecção também podem compor estas águas residuais. Além disso, podem conter uma elevada carga microbiana, dentre a qual se incluem patógenos.^{6,7}

Outro segmento vinculado a uma grande geração de resíduos e efluentes consiste na indústria processadora de frutas e vegetais. Seus resíduos afetam aterros sanitários em função da sua elevada biodegradabilidade, volume de lixiviado e emissão de metano, além de também apresentarem elevados valores de DBO e DQO. Maçãs têm cerca de 25% da sua produção convertida em subprodutos. As frutas cítricas, por sua vez, apresentam uma pequena porção comestível, o que também contribui para uma elevada geração de subprodutos durante seu processamento. Na produção de azeite de oliva, segmento com forte tradição no Mediterrâneo, grandes volumes de resíduos e efluentes também são gerados, sendo estes frequentemente ricos em compostos fenólicos. Para além destes segmentos, tem-se também a indústria de carnes e derivados com uma grande quantidade de resíduos e efluentes gerados para descarte a partir de abatedouros.⁷

A recente crise mundial em função da pandemia pelo novo coronavírus, SARS-Cov2 (coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave, do inglês *Severe Acute Respiratory Syndrome - Coronavirus 2*), desafiou diversos setores da sociedade, dentre os quais se incluem as indústrias de alimentos. Dentre os principais impactos sofridos, menciona-se o excesso de oferta de alguns produtos ao passo em que houve a escassez de outros, devido ao fechamento de redes de comércio de alimentos e impossibilidade de fornecimento de insumos. Diante disso, evidenciou-se a importância deste setor em se adaptar a um manejo sustentável da sua cadeia produtiva.²

Tendo em vista o presente cenário ambiental, foram estabelecidos pela ONU, em 2015, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (do inglês, *Sustainable Development Goals - SDG*) como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável a fim de erradicar a pobreza, proteger o planeta e melhorar as perspectivas de vida de toda população global. Dentre estes objetivos, as indústrias de alimentos encontram importante papel de

^b A DBO consiste na quantidade de oxigênio dissolvido a ser consumido para oxidar a matéria orgânica por microrganismos aeróbicos. A DQO, por sua vez, está relacionada à quantidade de oxigênio requerida para que ocorra a total decomposição química de materiais orgânicos. Estes parâmetros configuram-se como indicadores de poluição em corpos de água.⁹

atuação para o seu fomento em função da responsabilidade ambiental inerente à sua atuação, com destaque para os objetivos determinados como (2) fome zero e agricultura sustentável; (6) água potável e saneamento; (7) energia limpa e acessível; (9) indústria, inovação e infraestrutura; (11) cidades e comunidades sustentáveis; (12) consumo e produção responsáveis; (13) ação contra a mudança global de clima; (14) vida na água; e (15) vida terrestre.¹⁰

Frequentemente, os subprodutos das indústrias de alimentos são aproveitados para alimentação animal e produção de bioenergia. A obtenção de compostos de valor mostra-se como um melhor aproveitamento destes resíduos, contribuindo para a redução dos impactos econômicos e ambientais associados à geração de subprodutos e águas residuais. Alguns dos compostos de valor que podem ser recuperados são as fibras, proteínas, compostos bioativos como carotenóides e compostos fenólicos, biopolímeros, carboidratos, dentre outros.^{5,7} A adoção deste tipo de manejo favorece a constituição de um sistema fechado baseado no conceito de simbiose industrial, onde o objetivo consiste no aproveitamento de resíduos para reincorporação em um processo produtivo,⁷ o que converge com os princípios da economia circular^c.

O soro de queijo tem despertado atenção em função da possibilidade de obtenção de compostos de valor a partir deste subproduto. Em relação ao azeite de oliva, os resíduos e efluentes do seu processamento apresentam grande volume de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes. Os subprodutos do processamento de maçãs são ricos em carboidratos como pectinas, hemiceluloses e fibras, além de conter vitaminas, minerais, proteínas e compostos antioxidantes. Frutas de bagas, como framboesas e amoras, têm em seus resíduos alto conteúdo de flavonóides, polifenóis e fibras. Nos resíduos do processamento de frutas cítricas, frutas exóticas e tomates é possível encontrar compostos como fibras, ácidos orgânicos, carotenóides, proteínas, flavonóides e vitaminas. Já os resíduos oriundos do processamento de carnes e derivados têm como principal composto de interesse algumas proteínas funcionais.⁷

A incorporação da tecnologia de membranas nos processos de separação das indústrias de alimentos mostra-se interessante no sentido de viabilizar uma produção menos onerosa ao meio ambiente por meio da economia de energia, além de promover a obtenção de

^c O conceito de economia circular está vinculado à implementação de um sistema que visa a adoção de atividades de redução, reúso e reciclagem de recursos, possibilitando o alcance de uma economia promissora em sincronia com a manutenção da qualidade ambiental.¹¹

produtos de alta qualidade e viabilização de recuperação de compostos de valor agregado. Por se tratar de um processo físico, essa tecnologia não envolve uma demanda por altas temperaturas nem está associada a processos de mudança de estado físico, o que a caracteriza como uma substituição vantajosa a processos de evaporação e destilação, por exemplo. Além disso, a tecnologia de membranas demanda pouco espaço físico para implementação, é altamente seletiva, adequada para integração a processos híbridos e incorre em menor produção de resíduos químicos, bem como pode ser empregada no reaproveitamento de efluentes de processos das indústrias de alimentos. Desta forma, os PSM configuram-se como processos com potencial sustentável para o setor de alimentos.¹²

2.2 PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

De modo geral, o processo de filtração pode ser descrito como a passagem de um fluido que carrega partículas suspensas através de um meio poroso, a partir do qual estas partículas são retidas.¹³ Os PSM, por sua vez, tratam-se de operações unitárias fundamentadas na remoção seletiva de água e de solutos em específico empregando-se uma membrana semipermeável, utilizando-se da pressão aplicada sobre o fluido, em geral, como força motriz.¹⁴

Embora a demanda das indústrias de alimentos por PSM seja registrada há muito tempo, verifica-se que a sofisticação destes processos ainda é muito recente.¹³ De acordo com Baker,¹⁵ na década de 1960 a permeação por membranas consistia em um segmento de estudo da ciência dos materiais; o conceito de tecnologia de membranas ainda não havia sido concebido e a sua aplicação industrial ainda não alcançava larga escala. Desde então, as vendas de membranas têm crescido exponencialmente, consolidando a indústria de membranas.¹⁵

Os PSM destacam-se como uma das tecnologias que têm crescido mais rapidamente em se tratando de processos de separação.¹² Menciona-se a relevância que os processos de separação eficientes apresentam na viabilização econômica da recuperação de compostos de interesse a partir de subprodutos de processamento de alimentos, como é possível verificar no processo de remoção de proteínas de soro de queijo com o uso desta tecnologia.¹³ Seu uso é também frequente em processos de pré-concentração em sucos e produtos lácteos de forma prévia à etapa de evaporação, otimizando o custo energético envolvido com evaporadores.¹⁴

Uma membrana pode ser descrita como uma interface fina que atua como mediadora na permeação de espécies químicas com que entra em contato. Sua interface pode ser

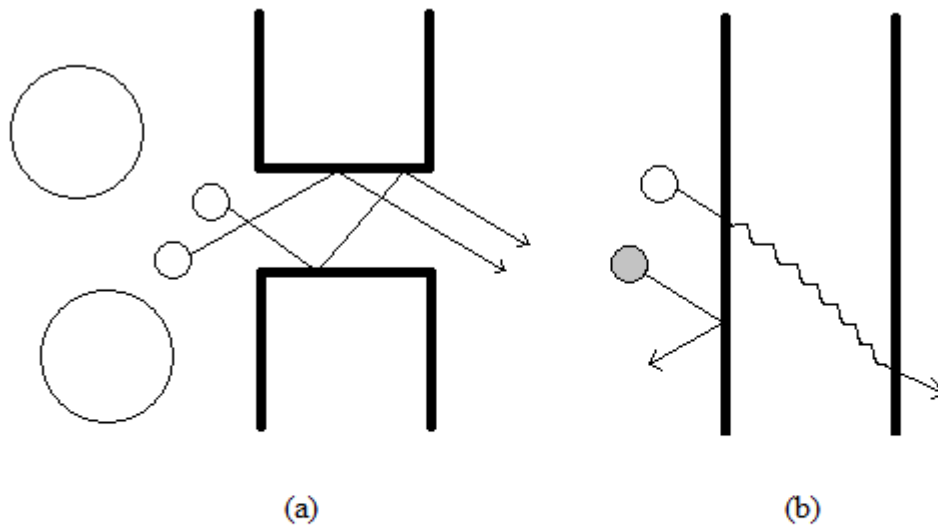
homogênea, com estrutura e composição uniformes, ou heterogênea, apresentando variações físicas e químicas.¹⁵

Os tipos de membranas variam de acordo com características físicas e químicas. Membranas microporosas apresentam poros com diferentes diâmetros. As membranas densas e não porosas consistem em um filme denso pelo qual os solutos são permeados por difusão sob a aplicação de uma força-motriz; o transporte destes solutos varia com a sua difusividade e solubilidade ao material da membrana. Em relação às membranas eletricamente carregadas, estas podem ser microporosas ou densas - com maior ocorrência para membranas microporosas, cujos poros são fixados com ânions ou cátions.¹⁵

As membranas apresentam a importante característica de controlar a taxa de permeação de diferentes moléculas. Este controle pode ocorrer de duas formas: a partir do modelo de solução-difusão^d ou pelo modelo de tamanho nominal de poro. No primeiro modelo, os solutos permeantes se dissolvem no material da membrana e posteriormente difundem através dela sob um gradiente de concentração. Estes solutos são separados por conta das diferenças de solubilidade dos materiais na membrana e nas taxas com que estes materiais se difundem por ela. No modelo de tamanho nominal de poro os solutos permeantes são transportados por fluxo convectivo dirigido por pressão através de pequenos poros; a separação ocorre em função da retenção de alguns solutos permeantes nos poros enquanto outros conseguem atravessá-los.¹⁵ A Figura 1 ilustra os mecanismos dos dois modelos.

^d A difusão consiste em um processo em que a matéria é transportada de uma parte do sistema para outra em função de um gradiente de concentração; quando dois elementos de volumes adjacentes com uma pequena diferença de concentração de solutos permeantes são separados por uma interface, há um movimento de moléculas do lado mais concentrado para o menos concentrado. A difusão é um processo naturalmente lento; a otimização do fluxo através da membrana se dá a partir de membranas extremamente finas e pela criação de um grande gradiente de concentração na membrana.¹⁵

Figura 1 - Separação em membranas por modelos de tamanho nominal de poro (a) e solução-difusão (b).



(a) A separação em membranas microporosas ocorre por filtração molecular.

(b) A separação em membranas densas ocorre em função da diferença de solubilidade e mobilidade dos solutos permeantes em relação ao material da membrana.

Fonte: adaptado de Baker.¹⁵

As estruturas das membranas dividem-se em algumas classes, como isotrópicas, anisotrópicas, líquidas, cerâmicas e de metal.¹⁵ Membranas isotrópicas têm distribuição de poros uniformes ao longo de toda sua espessura;¹³ as anisotrópicas consistem em uma camada fina de material com permeabilidade seletiva^e na superfície apoiada sobre uma subestrutura porosa.^{13,15} A camada de superfície determina as propriedades de separação e as taxas de permeação da membrana, enquanto que a subestrutura porosa atua somente como suporte mecânico. Por conta da sua estrutura delgada, altas taxas de transporte podem ser alcançadas.¹⁵

As membranas cerâmicas e de metal podem ser classificadas como isotrópicas ou anisotrópicas, mas são enquadradas em grupos diferentes das membranas poliméricas^f por

^e A permeabilidade seletiva pode ser definida como a permeação preferencial por espécies iônicas em específico, através de uma membrana de troca iônica.¹⁶

^f As membranas poliméricas podem ser divididas em duas categorias: elásticas e vítreas. Na primeira categoria, segmentos do polímero podem rotacionar em torno do seu eixo, tornando-o elástico e maleável. Em polímeros vítreos, o fenômeno de impedimento estérico impede essa rotação de segmentos, o que o torna um polímero mais rígido. Entretanto, a partir de uma determinada temperatura o impedimento estérico é superado, transformando o polímero vítreo em elástico; esta temperatura é referida como temperatura de transição vítrea. Desta forma, estes materiais podem ser menos estáveis quando comparados à cerâmica.¹⁵

serem fabricadas através de métodos diferentes. As membranas cerâmicas são vantajosas por serem quimicamente inertes e estáveis a altas temperaturas, características que as membranas poliméricas não comportam; são amplamente utilizadas em processos de MF e UF. As membranas líquidas, por sua vez, têm como barreira seletiva uma fase líquida com um carreador dissolvido que reage com solutos permeantes específicos a fim de aumentar sua taxa de transporte através da membrana.¹⁵

O material da membrana pode ser caracterizado por sua resistência mecânica e durabilidade frente à limpeza periódica. Embora nenhum material atenda a todos estes requisitos, o polivinildifluorido (PVDF, do inglês *polyvinylidene fluoride*) tem ganhado notabilidade por sua longa vida útil, que varia entre 3 e 5 anos em aplicações convencionais e entre 5 e 10 anos quando empregado na clarificação da água.¹²

As plantas industriais de membrana demandam de centenas a milhares de metros quadrados de membrana para que o processo seja viável. Desta forma, faz-se necessário o acondicionamento econômico e eficiente destas membranas; este acondicionamento é designado como módulo de membrana.¹⁵ Os módulos de membrana são descritos em quatro principais configurações: quadro e placas, tubular, espiral ou de fibra oca. A escolha do módulo deve ser feita com base em fatores como a performance almejada, a facilidade de limpeza e substituição, e razão entre superfície e volume necessária.¹²

Na configuração de quadro e placas, a membrana, os espaçadores de alimentação e de produto são sobrepostos entre duas placas terminais; a alimentação é impulsionada através da superfície da membrana, e o permeado que atravessa a membrana dirige-se a uma central de coleta. Por apresentar um custo elevado e acarretar em problemas de vedação entre as placas, é utilizada somente em poucas aplicações de UF e OI com alta ocorrência de incrustações, além de sistemas de ED e pervaporação^g.¹⁵

Os módulos tubulares consistem de suportes de fibra de vidro ou de papel poroso em que a membrana é formada no interior dos tubos. De modo geral, são dispostos vários tubos em série; em cada tubo, remove-se o permeado em um coletor. São vantajosos por sua resistência à formação de incrustações por desempenharem um bom fluxo; entretanto, seu alto custo só justifica este benefício em aplicações de UF. Já a configuração espiral é aplicada em processos de UF, NF e de OI, consistindo em um envelope de membrana com espaçadores enrolada em espiral em torno de um tubo de coleta central perfurado; o módulo é colocado

^g O processo de pervaporação é descrito no item 2.2.5.

dentro de um recipiente denominado *housing*, que pode ser confeccionado em aço inox ou polímero, sendo este material resistente a altas pressões empregadas nos processos de NF e OI. O permeado^h passa pela membrana e fica retido no envelope de membrana, onde a espiral o destina ao centro e o remove através de um tubo coletor.¹⁵

Por fim, o módulo de fibra oca apresenta dois tipos de configuração. No primeiro, denominado de alimentação *shell-side*, um feixe de fibras é contido em um reservatório de pressão; o sistema é pressurizado do lado interno do reservatório, o permeado atravessa a parede de fibra e sai através da abertura em sua ponta. No segundo tipo de módulo, denominado de alimentação *bore-side*, as fibras são abertas em ambos os lados e a alimentação as atravessa em seu interior. As fibras neste segundo sistema costumam ter maior diâmetro do que aquelas da configuração *shell-side*, a fim de minimizar a perda de pressão em seu interior. Nas duas configurações, é importante garantir que as fibras apresentem diâmetros e permeabilidades idênticas.¹⁵

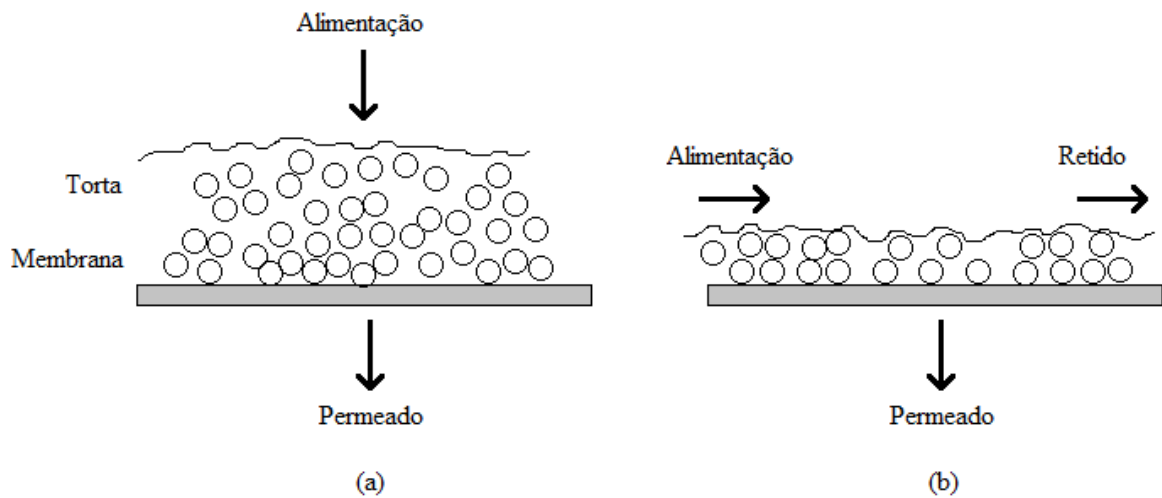
A eficácia de um sistema de membrana está pautada na separação de compostos de interesse a uma alta taxa de produção,¹³ enquanto que a sua performance é influenciada por fatores como estrutura molecular, composição química do fluido de alimentação e espessura da membrana.¹⁴ As propriedades dos sólidos suspensos e do soluto afetam também as propriedades de rejeição do soluto na membrana.¹³ Além disso, um sistema de membrana deve ser resistente a altas pressões.¹⁴

O fluxo no processo de separação por membranas é definido com base na pressão empregada e na área da membrana, bem como por sua suscetibilidade à formação de incrustação, também denominada como *fouling*. O modo como este sistema é configurado visa à maximização da área de membrana com operação sob alta pressão, de forma a facilitar sua limpeza e minimizar a ocorrência de incrustações.¹³

As operações com membranas podem ser executadas de modo tangencial, também denominado fluxo cruzado (*cross-flow*), ou de modo convencional (*dead-end*). No modo convencional o fluido passa através das membranas, o que pode acarretar na formação de uma torta a partir das partículas retidas, reduzindo a eficiência da filtração. A nível industrial, observa-se uma maior utilização do modo tangencial à superfície da membrana, em que o retido continua a fluir tangencialmente à membrana gerando maior turbulência na superfície e menor incrustação e, portanto, atinge-se um fluxo mais constante e elevado.¹³ Na Figura 2 estão representados ambos os modos.

^h O termo permeado refere-se ao fluido que atravessa a membrana. O fluido represado na face de alimentação da membrana é designado como retido.¹³

Figura 2 - Operações nos modos convencional (a) e tangencial (b).



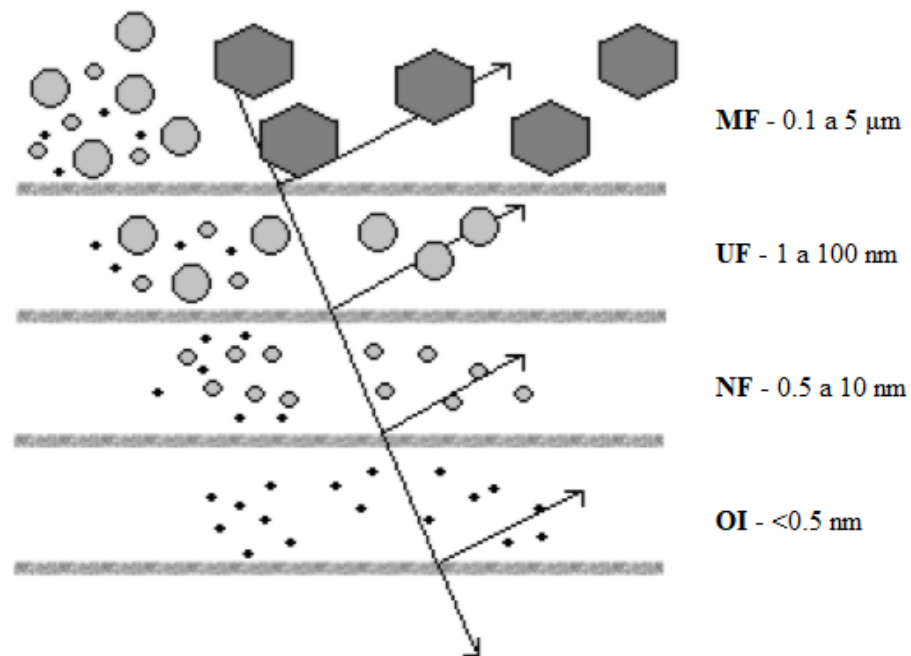
Fonte: adaptado de Pouliot, Conway e Leclerc.¹²

O escoamento do fluido de alimentação da membrana tem como fatores de influência a velocidade de escoamento, a temperatura e a viscosidade deste fluido. É necessária uma alta taxa de escoamento a fim de reduzir a formação de camada de gel polimérico na membrana.¹⁴ Em processos de concentração por membrana em batelada, recircula-se o líquido até que a concentração almejada seja atingida; o retido retorna ao tanque de alimentação e o permeado é continuamente removido. Já nos processos contínuos, a alimentação do fluido é ininterrupta, gerando um fluxo de permeado contínuo, o que permite a obtenção de um retido de qualidade mais uniforme.^{12,14} Normalmente, a filtração convencional é utilizada em menor escala para filtrações de amostras em laboratório, por exemplo. Em processos industriais o uso da filtração tangencial é mais eficiente e viável.¹⁷

Quando comparada ao processo clássico de concentração por evaporação, a concentração por membrana apresenta uma série de vantagens, dentre as quais se menciona: instalações mais simples e com menor demanda por mão-de-obra, dispensando a necessidade por espaços extensos; custos operacionais menores; perda mínima de compostos voláteis; alterações irrisórias na qualidade nutricional do alimento e maior eficiência energética, uma vez que não envolvem alto consumo de energia em mudanças de fase, o que implicaria em alterações físicas e químicas do produto final; dentre outros.^{12,14}

Os principais PSM com o uso de pressão são classificados com base nas principais faixas de separação: MF com separação de compostos na faixa de 0.1 a 5 μm e a pressões inferiores a 3 bar ou $3,0 \times 10^5$ Pa; UF, abrangendo a faixa de 1 a 100 nm, sob pressões abaixo de 1 até 10 bar ou 10^5 a 10^6 Pa; NF, com alcance de 0.5 a 10 nm e operando a pressões entre 10 a 30 bar ou 10^6 a $3,0 \times 10^6$ Pa; e OI, que engloba tamanhos inferiores a 0.5 nm, operando a pressões entre 35 e 100 bar ou $3,5 \times 10^6$ e 10^7 Pa.^{12,13} A Figura 3 ilustra os PSM em fluxo tangencial de acordo com suas respectivas faixas de separação.

Figura 3 - Faixas de separação para os PSM em fluxo tangencial.



Fonte: adaptado de Pouliot; Conway; Leclerc.¹²

O fluxo é proporcional ao quadrado do diâmetro dos poros da membrana; dessa forma, o fluxo de membranas de MF é muito maior do que aquele em membranas de UF; por sua vez, membranas de UF alcançam um fluxo muito maior que membranas de OI. Estas diferenças são cruciais na determinação do uso industrial destes processos.¹⁵ As pressões empregadas nos PSM variam inversamente com o tamanho dos poros. Cerca de 58% das membranas produzidas consistem em membranas de MF, seguidas pelas membranas de UF e de OI, com aproximadamente 17% de representação para cada. As demais membranas contemplam as tecnologias de NF, ED e pervaporação.¹²

2.2.1 Microfiltração

Os processos de MF, assim como os de UF, utilizam pressões menores em comparação aos processos de OI; entretanto, a tecnologia de MF difere da UF por englobar a separação de uma maior faixa de tamanhos de partículas – onde se encontram as partículas dispersas como glóbulos de gordura, coloides e células; enquanto a ultrafiltração é destinada à separação de macromoléculas. Seu desenvolvimento se deu antes dos demais PSM, embora seu avanço tenha ocorrido de forma mais lenta em função das dificuldades associadas à estrutura da membrana microporosa, com maior tendência ao bloqueio de materiais e retenção de partículas.¹⁴ A tecnologia de MF se encontra entre o processo convencional de filtração e a tecnologia de UF. Uma importante característica associada às membranas de MF é a separação de bactérias.¹⁵

A estrutura das membranas de MF também se assemelha à de UF, consistindo de duas partes: um revestimento microporoso na superfície e um material de suporte macroporoso.¹⁴ Membranas de acetato de celulose ou nitrato de celulose são comuns para a tecnologia de MF. Outros materiais verificados para estes processos são triacetato de celulose, polissulfonas, materiais polivinílicos, cerâmicas, dentre outros. Em relação aos módulos empregados, menciona-se como exemplo módulos de configuração de quadro e placas e de fibra oca. Verifica-se, também, a utilização de um pré-filtro a fim de aumentar a vida útil da membrana a partir da remoção de partículas largas do fluido de alimentação.¹⁵

Os dois principais tipos de membrana de MF são designados filtros de tela e filtros de profundidade. Os filtros de tela apresentam poros pequenos no alto da superfície da membrana, enquanto que os poros das demais regiões apresentam diâmetro maior. Nos filtros de profundidade, o alto da superfície da membrana apresenta poros mais largos em comparação ao filtro de tela. Desta forma, os filtros de profundidade são menos suscetíveis à formação de incrustações em comparação aos de tela. Os filtros de tela adaptam-se melhor aos processos com fluxo tangencial, uma vez que o fluido de recirculação auxilia a evitar as incrustações. O filtro de profundidade, por sua vez, é mais frequentemente aplicado como uma nova purificação da água ultrapura antes da sua utilização.¹⁵

Em função da maior tendência ao declínio da taxa de fluxo que o processo de MF apresenta quando comparado à UF e à OI, este sistema é comumente operado com fluxo constante elevando-se a pressão de trabalho.¹⁵

Os processos de MF têm ampla aplicação na produção de fármacos injetáveis, especialmente em função da sua capacidade de remoção de carga microbiana. Suas membranas são usualmente produzidas na forma de cartuchos que possibilitam esterilização por autoclave previamente à sua utilização. É também utilizada na esterilização de cerveja e vinho, a fim de clarificar o produto a partir da remoção de células de levedura. Além disso, tem aplicação na produção de água ultrapura para utilização na indústria de eletrônicos, bem como na purificação de água para produção de água potável.¹⁵

2.2.2 Ultrafiltração

Os processos de UF são destinados à retenção de moléculas grandes, como proteínas e coloides, o que acarreta em uma menor pressão osmótica no processo; os solutos de menor tamanho são permeados através da membrana.^{14,15} Os processos de UF e MF são semelhantes; sua maior diferença consiste no tamanho do poro da membrana utilizada.¹⁵ No processo de UF, a taxa do fluxo que atravessa a membrana é dependente da resistência do seu material, das camadas de limite do líquido e em cada face da membrana, assim como da extensão das incrustações.¹⁴

Uma extensão aos processos de UF é a etapa designada como DF, onde a água é adicionada novamente ao extrato ao longo do processo de concentração. Estes processos têm importante aplicação na remoção seletiva de materiais de menor peso molecular de uma mistura, configurando-se como um processo alternativo à ED ou troca iônicaⁱ para remoção de compostos antinutricionais, cátions e ânions, dentre outros.¹⁴ A extração de néctar de frutas que não podem ser prensadas consiste em outra aplicação relevante destes processos, em que o mosto é previamente tratado com pectinases e a polpa é então clarificada.¹³

As membranas de UF devem ser fabricadas de modo que uma estrutura de microporos seja formada e mantida ao longo do processamento, a partir de materiais mais espessos que aqueles empregados na fabricação de membranas de OI. Devem ser duráveis, resistentes à força mecânica, ao calor, à abrasão, à oxidação em água e à hidrólise.¹⁴ Em geral, as membranas usadas no processo de UF são anisotrópicas e fabricadas a partir do processo Loeb-Sourirajan, em que as membranas são constituídas de polissulfonas sulfatadas e álcool

ⁱ Os métodos de troca iônica e eletrodialise removem eletricamente moléculas e íons carregados de líquidos. Na troca iônica, os solutos são transferidos do material de alimentação e retidos em um material sólido a partir de um trocador iônico, que pode ser aniônico ou catiônico. Na eletrodialise, separam-se eletrólitos de não-eletrólitos, assim como promove-se a troca iônica entre soluções. Este processo ocorre a partir de uma corrente direta que atravessa a solução, fazendo com que moléculas e íons migrem até um anodo ou um catodo; uma membrana ionicamente seletiva barra ânions ou cations.¹⁴ Para mais informações, ver item 2.2.5.

vinílico; têm baixa rejeição a solutos, mas conseguem desempenhar um fluxo alto e são resistentes à degradação por solução clorada. Além disso, o limite de temperatura em que podem operar fica em torno de 35°C. Sua estrutura consiste de uma fina camada porosa a partir da qual a separação é desempenhada, apoiada sobre uma camada microporosa muito mais aberta, que atua provendo força mecânica à camada superior.¹⁵

As membranas mais hidrofóbicas tendem a ser menos resistentes à ocorrência de incrustação do que aquelas hidrofílicas; desta forma, costuma-se adicionar materiais hidrofílicos à membrana para reduzir a ocorrência deste fenômeno. Outra técnica adotada para a redução de incrustações é a atribuição de carga negativa à membrana. Dentre os materiais usados na constituição das membranas de UF, pode-se citar polissulfonas, poliamidas aromáticas, acetato de celulose, dentre outros.¹⁵

Os módulos em espiral costumam desempenhar o melhor custo-benefício nos processos de UF. O módulo tubular, associado a um alto custo e alto consumo energético, torna-se economicamente mais viável quando empregado para alimentações que tendem a formar incrustações com mais facilidade em outros módulos, tendo em vista sua alta resistência à formação de incrustações e fácil manutenção de limpeza. O módulo de quadro e placas não apresenta a mesma resistência ao *fouling* que o módulo tubular, mas possui menor custo, além de também ser de fácil limpeza.¹⁵

Esta tecnologia encontra ampla aplicação na indústria de laticínios. O soro do queijo é um resíduo que demanda tratamento antes do seu descarte; além disso, compostos de valor - como, por exemplo, proteínas - podem ser recuperados a partir deste resíduo. Também é empregada na concentração de proteínas do soro de leite em simultâneo com a remoção do seu conteúdo de lactose.¹⁵ Na fabricação do queijo, esta tecnologia alcança uma produção com maior rendimento e preservação do valor nutricional, bem como um processamento mais simplificado, com menor consumo de coalho e uma padronização facilitada do conteúdo de sólidos.¹⁴

Costuma-se empregar UF no tratamento de resíduos oriundos de esgoto a partir de uma menor quantidade de alimentação, bem como na separação de compostos de valor de águas residuais e produção de água ultrapura. Verifica-se também seu uso na clarificação de sucos de frutas, como laranja, maçã, uva, dentre outros. No campo da biotecnologia, pode ser aplicada na concentração e remoção de produtos de fermentação em operações de produção de vírus, cultivo de células ou produção enzimática.¹⁵

Outras aplicações verificadas neste contexto são a concentração de sacarose a partir de pasta de tomate; remoção de compostos proteicos responsáveis pelo escurecimento em mel e xaropes; tratamento de água de processamento para remoção de contaminantes e bactérias com diâmetro superior a 0.003 μm ; e até mesmo no pré-tratamento de membranas de osmose inversa a fim de prevenir incrustação por materiais coloidais e materiais orgânicos suspensos.¹⁴

2.2.3 Nanofiltração

A tecnologia de NF, também designada como *loose reverse osmosis* ou membranas de OI de baixa pressão, é associada às membranas empregadas para remoção de materiais com peso molecular entre 250 e 1000 Da.^{14,15} Estas membranas surgiram a partir da necessidade de se obter membranas de OI para dessalinização com rejeição ao cloreto de sódio superior a 98%, e estão em uma zona de transição entre as membranas para UF e as membranas para OI. Além disso, alcançam um teor de rejeição menor do que aquele inicialmente almejado, porém desempenham uma permeabilidade à água muito maior do que aquelas para OI.¹⁵

A maior parte das membranas de NF consistem de membranas de compósitos interfaciais - fabricadas a partir de polimerização interfacial^j - as quais podem estar associadas a grupos ácidos.¹⁵ Estas membranas são comumente dispostas em módulo espiral e feitas de poliamidas aromáticas, poliamidas, polipiperazinaamida, polissulfonas/polietersulfona, dentre outras; consistindo em uma camada de compósito de filme delgado sobre uma camada de substrato de UF. É frequente que estas membranas sejam negativamente carregadas, apresentando ponto isoelétrico entre os valores de pH 3 e 4.¹⁸

Solutos neutros tendem a não ser afetados por grupos ácidos associados à membrana, sendo a sua rejeição associada ao seu tamanho molecular. Solutos com a mesma carga destes grupos ácidos tendem a ser rejeitados na membrana; solutos com cargas opostas permeiam a membrana. Uma vez que estas membranas perdem a sua seletividade com concentrações altas de sais, são empregadas na remoção de baixo conteúdo de sal de líquidos parcialmente purificados. Menciona-se também que, nas membranas com poros muito

^j O processo de polimerização interfacial consiste na síntese de polímeros na interface entre duas fases imiscíveis. Neste processo, um monômero e um monômero denominado ativo, ou então um catalisador, são dispersos nas duas fases; quando as fases entram em contato, fabricam-se polímeros uniformes, tendo em vista que a difusão de monômeros em áreas onde não ocorre a formação de camadas permite o crescimento contínuo do polímero.¹⁹

pequenos, ocorre a transição entre transporte por tamanho nominal de poro e por solução-difusão.¹⁵

O uso de NF é comum na produção de água potável e água para processos industriais. Outras aplicações verificadas são no tratamento de águas residuais para reúso, concentração e desmineralização de soro de leite, concentração de xarope de glicose, concentração de sucos, dentre outros.¹⁸

2.2.4 Osmose inversa

Os processos de OI são também referidos como processos de hiperfiltração, e têm por fim a aplicação na separação da água de solutos com peso molecular inferior a 1000 Da (como, por exemplo, compostos aromáticos),^{13,14} em razão da elevada pressão osmótica que apresentam. Com o propósito de superar a pressão osmótica destes compostos, faz-se necessário a utilização de uma alta pressão entre cinco a dez vezes superior àquela utilizada nos processos de UF.¹⁴

A estrutura molecular das membranas de OI deve apresentar alta permeabilidade à água, elevada durabilidade e alta rejeição a solutos.¹⁴ Uma vez que as membranas de OI eram principalmente destinadas à dessalinização de água salobra,^{13,15} estas eram produzidas de forma a apresentar alta rejeição ao sal. As membranas têm sido produzidas com diferentes materiais para atender às demandas inerentes às aplicações dos processos de OI.¹⁵

Dentre as membranas celulósicas, menciona-se a membrana de acetato de celulose. Estas membranas são de fácil fabricação, resistentes à degradação por agentes oxidantes e têm bom desempenho mecânico. São vantajosas quando uma alimentação dotada de carga microbiana considerável requer esterilização com solução clorada, uma vez que suportam a concentração de até 1 ppm deste composto.¹⁵

Em relação às membranas poliméricas não celulósicas, mencionam-se as membranas poliamídicas que, diferentemente das celulósicas, são suscetíveis à degradação por solução clorada em função das suas ligações amidas. As membranas poliamídicas alifáticas têm fluxo moderado e baixa rejeição a solutos. Membranas de poliamida aromáticas desempenham rejeição a sais de água salobra acima de 99,5%, mas alcançam fluxos muito baixos.¹⁵

As membranas de compósitos interfaciais têm alta rejeição a solutos e desempenham fluxos altos, alcançando melhor desempenho quando comparadas às membranas de acetato de celulose. Estas membranas operam em temperaturas acima de 35°C. Como desvantagem,

menciona-se o fato de que membranas deste material tendem a perder sua seletividade permanentemente quando expostas a altas concentrações de desinfetantes clorados; membranas com polimerização interfacial e cuja estrutura incorpora aminas aromáticas tendem a retardar a degradação por contato com estes compostos.¹⁵

As membranas de OI rejeitam ácidos e bases fracas em função da sua ionização; ácidos e bases ionizados são altamente rejeitados, enquanto que a rejeição para não-ionizados é baixa. A rejeição de compostos orgânicos neutros, por sua vez, tende a aumentar com seu tamanho molecular. Gases dissolvidos - como oxigênio e dióxido de carbono, por exemplo - permeiam a membrana com facilidade.¹⁵

Nos processos de OI, as moléculas movimentam-se segundo o modelo de solução-difusão.³ O fluxo está associado aos gradientes de concentração e de pressão através da membrana; quando baixas pressões são empregadas, o escoamento ocorre por osmose direta, partindo das soluções salinas diluídas às mais concentradas. Quando o diferencial de pressão osmótica através da membrana se iguala à diferença de pressão aplicada, o fluxo cessa. Por outro lado, quando a pressão aplicada é maior do que a pressão osmótica, o fluxo ocorre da solução salina concentrada para a solução diluída.¹⁵

As aplicações de OI encontram-se majoritariamente na dessalinização de água salobra, bem como na produção de água ultrapura.⁴ Além disso, a tecnologia de OI é utilizada no tratamento de águas residuais com o fim de reutilização;^{13,15} entretanto, devido à sua tendência ao fenômeno de *fouling*, esta aplicação é mais frequente quando a água residual carrega compostos de valor a serem separados.¹⁵

Utiliza-se também deste processo principalmente na concentração de soro oriundo da fabricação de queijo, a fim de realizar sua pré-concentração prévia à secagem, assim como para a produção de sorvetes. Outros exemplos de aplicação deste processo são: a concentração de clara de ovo, aromas e extratos naturais; a clarificação de vinho e de cerveja; a concentração e purificação de sucos de fruta; dentre outros.¹⁴

2.2.5 Outros processos de separação por membranas e etapas associadas

No processo de ED são utilizadas membranas eletricamente carregadas para separação de moléculas iônicas e não-iônicas através de um campo elétrico como força-motriz, acelerando a migração dos solutos através das membranas em direção ao eletrodo apropriado.^{12,13,15} Os poros destas membranas têm alcance nanométrico e são produzidas de resinas de troca iônica que permitem a separação de ânions e cátions. Estas membranas são

dispostas alternadamente e espaçadas para formar compartimentos estreitos, destinados à diluição ou concentração. Os eletrodos são dispostos nas duas extremidades do sistema, de forma que os ânions se movimentam em direção ao ânodo e passam pela membrana aniônica, enquanto que os cátions passam pela membrana catiônica e são retidos em um compartimento no centro por conta da repleção da membrana aniônica.¹²

Desta forma, o fluido de alimentação tem suas moléculas de íons removidas, sendo que estas são concentradas e posteriormente recuperadas dos compartimentos em que foram retidas; compostos não-iônicos e compostos iônicos de grande peso molecular não permeiam através da membrana. Na indústria de alimentos, são aplicadas para dessalinização do soro de queijo assim como remoção de cálcio do leite e ácido láctico do soro de leite; podem também ser empregadas no controle de pH de sucos de frutas, na purificação de peptídeos bioativos e no controle da relação entre açúcares e ácidos no vinho.¹²

Os BRM operam a partir de uma combinação de processos com lodo ativado e filtração por membranas, sendo geralmente associados a membranas de MF. Apresenta uma unidade biológica responsável pela biodegradação de compostos residuais e um módulo de membrana a partir do qual ocorre a separação física da solução tratada. O biorreator pode ser pressurizado a fim de produzir a força motriz para que ocorra a filtração por membranas internas ao biorreator, ou então a solução a ser tratada pode ser recirculada através de um módulo de membranas externo ao biorreator, a partir do que se tem uma pressão criada pela velocidade do fluxo cruzado. Esta tecnologia é frequentemente empregada para tratamento de águas residuais.²⁰

A pervaporação, diferentemente dos outros processos abordados, consiste em um processo dirigido por pressão em que o permeado obtido consiste em um vapor de baixa pressão, e não um líquido que pode ser condensado e coletado ou concentrado.¹² Neste processo, uma mistura líquida contendo componentes voláteis é fracionada e entra em contato com a face superior de uma membrana porosa densa ou não-seletiva. O gradiente químico formado a partir da baixa pressão de vapor na face do permeado consiste na força-motriz, sendo gerado pelo seu resfriamento e condensação,^{12,15} embora seja usual a aplicação de vácuo nesta face para fomentar um gradiente artificial de pressão. Este processo é descrito em três etapas; absorção, difusão e evaporação (dessorção).¹²

Na primeira etapa, o conteúdo vaporizado é atraído na face ascendente da membrana em função da sua afinidade química. Em seguida, é difundido através da membrana e dessorvido da face posterior. Uma vez que a composição química da membrana determina a

permeação dos compostos, pode-se utilizar uma membrana hidrofílica para desidratar soluções orgânicas, assim como uma membrana hidrofóbica pode ser empregada na extração de compostos orgânicos de soluções aquosas. Na indústria de alimentos, verifica-se seu uso na concentração de sucos, recuperação e concentração de compostos aromáticos, desalcoholização de bebidas alcoólicas, dentre outros.¹² Esta tecnologia possibilita a separação de compostos com ponto de ebulição similar, cuja separação torna-se difícil por processo de destilação, por exemplo.¹⁵

O processo de destilação de membranas (DM) se assemelha ao processo de destilação no sentido de depender do equilíbrio líquido-vapor enquanto fase de separação; neste processo, membranas microporosas hidrofóbicas separam duas soluções aquosas ou uma fase gasosa de uma solução aquosa, baseando-se nas diferenças de temperatura de ebulição dos compostos. A diferença de pressão de vapor promove a evaporação da água em uma das faces da membrana carregando-a na forma de vapor até a outra face, a partir do que a água se condensa e se concentra o fluido de alimentação. Inicialmente, este processo era aplicado para produção de água potável; no entanto, tem sido verificado seu uso na concentração de alimentos líquidos, bebidas e soluções e açúcar, além de recuperação de compostos de interesse como aromas, ácidos minerais e produtos de fermentação. Apresenta como vantagem uma menor incidência ao fenômeno de *fouling* quando comparado aos processos de MF, UF e OI.²⁰

Ao contrário dos processos de OI, a OD requer a aplicação de pressões inferiores, acarretando em menor consumo de energia em comparação a este processo. Tem sido usada na recuperação de águas residuais, dessalinização de água salobra, concentração de sucos, produção de concentrados proteicos, dentre outros. Costumam apresentar a configuração de fibra oca ou então a configuração denominada como folha plana.²¹

A DF consiste em uma etapa adicionada aos processos de MF e UF a partir da alimentação contínua em volume igual ao de permeado. O propósito deste processo consiste na purificação de um composto de maior dimensão em relação aos demais compostos de uma matriz; a partir da obtenção deste composto, a alimentação de solvente é interrompida. Pode, também, ser realizado de forma semicontínua, a partir da adição do solvente em etapas.²²

2.2.6 Limitações dos PSM

Algumas limitações estão associadas aos PSM. Inevitavelmente, há uma diminuição da performance da filtração ao longo do processamento, sendo esta frequentemente atribuída à

polarização por concentração ou à incrustação. A polarização por concentração é referida como uma acumulação reversível de partículas suspensas ou dissolvidas próximo à superfície da membrana, que podem ser removidas com a limpeza física das membranas ou pela alteração das condições operacionais do processo como, por exemplo, velocidade tangencial ou pressão transmembrana.¹² Nos processos de OI, este fenômeno costuma ser satisfatoriamente controlado. Nos processos de pervaporação, ED e UF, entretanto, há um maior comprometimento da performance em função deste fenômeno.¹⁵

A incrustação, por sua vez, consiste na formação irreversível de um depósito de partículas retidas nos poros da membrana ou em sua superfície,¹² fazendo com que seja necessário empregar limpeza química, o que leva a uma redução da vida útil da membrana. A taxa de fluxo de alimentação pode apresentar variações conforme se altera a sua concentração. Cada tipo de membrana está associado a uma faixa de rejeição de peso molecular em específico.¹⁴

Conforme se amplia o tempo de filtração, a concentração de compostos na superfície da membrana aumenta, intensificando-se a diminuição do fluxo devido à polarização por concentração. A diminuição do fluxo em função da polarização por concentração está associada às condições de operação; mantendo-se concentração de sólidos no fluxo de alimentação, taxa de fluxo na superfície da membrana e pressão transmembrana constantes, o fluxo deve permanecer constante. Caso, ainda assim, o fluxo continue a diminuir, uma provável formação de incrustações na membrana pode justificar este fenômeno.¹³

No processo de OI, as principais fontes de incrustação são oriundas de bactérias, limo, compostos orgânicos e por *scaling* (incrustação que ocorre devido à precipitação de certos sais no interior da membrana). As três primeiras fontes são usualmente prevenidas adotando-se pré-tratamento, ocorrendo comumente nos primeiros módulos da planta, enquanto que a última tende a ocorrer nos módulos finais, uma vez que está associada com uma alimentação mais concentrada. No processo de UF, compostos coloidais e macromoléculas tendem a se depositar por polarização de concentração.¹⁵ Como exemplos destas fontes, menciona-se compostos minerais, formação de biofilmes por microrganismos e macromoléculas, como gorduras e proteínas, dentre outros.¹² Em processos de NF, estas fontes geralmente consistem em compostos orgânicos que ficam adsorvidos à membrana.¹⁸

A ocorrência de *scaling* se dá em função da precipitação de sais de metais dissolvidos que se concentram na alimentação no lado da superfície da membrana. O limo, por sua vez, é caracterizado pelo acúmulo de partículas suspensas variadas. A formação de

biofilme por acúmulo de bactérias tem influência do material da membrana; enquanto membranas de acetato de celulose constituem um bom substrato para a manutenção destas bactérias, membranas compostas finas costumam ser resistentes a este fenômeno. Por fim, a incrustação de membranas por compostos orgânicos está relacionada ao acúmulo de óleo ou gordura em sua superfície.¹⁵

Fatores como a concentração e a natureza do fluido de alimentação, distribuição do tamanho dos poros e material da membrana, bem como as condições de operação podem ser controlados a fim de prevenir a ocorrência deste fenômeno. Além disso, é possível minimizar sua ocorrência através da limpeza periódica das membranas e do pré-tratamento do fluido de alimentação, aumentando sua vida útil,^{12,15} com operações como: ajuste de pH; adição de agentes complexantes; clarificação química; centrifugação; dentre outros.¹²

O procedimento empregado deve ser escolhido com base na composição da alimentação, na fonte de incrustação de incidência e no tipo de membrana. Usualmente, emprega-se recirculação da solução limpa a uma velocidade alta para limpeza de membranas, seguida de repouso da membrana imersa nesta solução e posterior recirculação. Nas membranas de UF, os materiais gelatinosos e polímeros orgânicos coloidais constituem as camadas de incrustação mais frequentes, sendo geralmente controladas com soluções alcalinas ou soluções detergentes aquecidas. A sua vida útil também tende a ser reduzida ao longo da periodicidade de limpeza das membranas.¹⁵

A rejeição do soluto em processos de separação por membrana tem dependência no tipo de membrana e nas condições de operação. Define-se um fator de rejeição R conforme a Equação (1):

$$R = (C_s - C_p) / C_s \quad (1)$$

Onde C_s é a concentração do soluto na superfície da membrana no retido e C_p é a concentração do soluto no permeado. A partir desta equação, infere-se que a polarização por concentração e o aumento da concentração do soluto aumentam o fator de rejeição da membrana. A interação entre os solutos também tem influência no fator de rejeição; o fator de rejeição ao cálcio no leite, por exemplo, é maior do que o fator de rejeição em soluções aquosas. Neste caso, o uso de uma proteína para complexar o cálcio pode prevenir sua permeação através da membrana.¹³

O conceito de massa molar de corte descreve para os processos de UF e NF as propriedades de rejeição de membrana como o tamanho molecular aproximado que será retido

pela membrana com um fator R de 0.99 em soluções bastante diluídas,^{12,13} ou então o tamanho molecular médio em que a rejeição de moléculas de proteína globular é de 90%.¹⁵

Quando o fator R é igual a zero, os solutos de baixo peso molecular passam completamente pela membrana. Conforme aumenta-se o peso molecular dos solutos, o fator R tende a aumentar até que os solutos não passem mais pela maioria dos poros. Quando o tamanho molecular é superior ao tamanho de todos os poros da membrana, o fator R é de 1.0.^{12,13}

2.2.7 Uso de membranas no processamento de alimentos

A aplicação dos PSM nas indústrias de alimentos apresentou um aumento significativo a partir da década de 1980, tendo encontrado resistência inicial por indústrias mais conservadoras e já adaptadas a outros processos. Os avanços na ciência dos materiais de membranas, melhoramento dos módulos de membranas e melhor compreensão do fenômeno de *fouling* são citados como fatores que têm auxiliado esta tecnologia a encontrar maior aceitação industrial.¹⁷ A produção mundial de membranas tem cerca de 20-30% do seu total destinada ao uso em processamento de alimentos,¹² sendo os segmentos de laticínios e de sucos os maiores consumidores desta tecnologia.¹⁷

A indústria de laticínios domina a maior parte das aplicações de PSM na área de alimentos.¹⁷ Neste segmento, são utilizadas membranas de MF e UF para concentrar e separar o leite e seus subprodutos, com foco no processamento do soro de leite, compreendendo mais de 75% do uso de membranas neste segmento. As membranas de MF são principalmente aplicadas na remoção de bactérias do leite, no enriquecimento do leite destinado à produção de queijo e no pré-tratamento do soro de queijo para remoção de gorduras e bactérias. Neste sentido, são vantajosas por produzirem alimentos com maior vida de prateleira sem incorrer na produção de gostos indesejados. Em comparação aos processos convencionais de pré-tratamento do soro de leite - isto é, clarificação seguida de pasteurização - é possível remover uma maior variedade de compostos desta matriz empregando-se MF seguida de UF.¹²

Em relação à UF, os processos de fracionamento e concentração de proteínas do soro do leite contemplam as suas aplicações industriais de maior importância, assim como a concentração e purificação de proteínas do leite a partir da concentração por UF para produção de leite desnatado. Em geral, as membranas de NF são majoritariamente empregadas no tratamento de permeados de UF e MF. Na indústria de laticínios seu principal

uso está na dessalinização de permeados de proteína do soro de leite. As membranas de NF e de OI são utilizadas, sobretudo, na pré-concentração do leite ou do seu soro para remoção de água e de minerais, a fim de reduzir os custos energéticos e de transporte verificados antes do processo de evaporação.^{12,17}

Na indústria de frutas e vegetais, emprega-se UF e OI no processamento de suco e maçã, processos integrados de MF e UF e processos de OI e ED para suco de damasco, além de UF e OI para os sucos de uva e kiwi. Os PSM são também aplicados na concentração de pigmentos e tratamento de águas residuais.¹⁷ O suco extraído passa através de um módulo de UF de forma prévia à concentração por evaporação ou por PSM, retendo sua polpa e enzimas indesejadas. Pode-se, ainda, utilizar dessa tecnologia para conservar no suco os seus compostos bioativos presentes no permeado, a partir da reincorporação ao permeado da polpa retida submetida à pasteurização; dessa forma, obtém-se o suco pasteurizado sem perda destes compostos.¹²

Os processos de OI têm aplicação na obtenção de sucos concentrados de frutas de ótima qualidade sensorial e alto valor nutricional, uma vez que baixas temperaturas são utilizadas. Entretanto, estes processos têm como desafio a obtenção de um suco com concentração suficiente de Sólidos Solúveis Totais (SST); a partir da OI, obtém-se uma concentração de cerca de 25 °Brix, enquanto que por processo de evaporação este valor fica entre 42 e 65 °Brix. O processo denominado OI de alta concentração tem se mostrado eficiente na atenuação deste problema; combinando-se duas membranas, é possível obter um suco com maior concentração de SST (entre 42 e 60 °Brix) sem perdas consideráveis de compostos como ácido ascórbico, limoneno e pectina.¹²

Menciona-se a importância destes processos no sentido de prevenir a formação de gostos indesejáveis, degradação de pigmentos e perda de aromas essenciais aos sucos frescos. É comum empregar o pré-tratamento das frutas por enzimas como pectinases e celulases, a fim de promover uma maior extração do suco e reduzir a sua viscosidade, promovendo uma melhor manutenção da sua cor, bem como um maior rendimento. Os processos de UF e MF têm se destacado na clarificação de sucos em função do seu melhor desempenho na remoção de microrganismos e macromoléculas quando comparados aos métodos convencionais. Quando comparados à evaporação, os processos de OI e NF apresentam maior eficiência energética.¹²

A produção de bebidas alcoólicas se configura como outro setor que pode se beneficiar dos PSM.¹² Os processos de MF e UF são aplicados na clarificação de vinhos e cerveja; o processo de OI é aplicado na produção de cerveja com baixo teor alcoólico.¹⁷ Na

produção de cerveja, comumente emprega-se filtração convencional com terra diatomácea, uma técnica que envolve riscos de manuseio e a necessidade de tratamento de resíduos para descarte, além de etapas posteriores de filtração. As operações de filtração da cerveja são realizadas para remover partículas como malte, lúpulo e leveduras. A MF é principalmente aplicada na recuperação de cerveja do fundo dos tanques de maturação, constituindo-se como um importante promotor do rendimento da produção. Outras aplicações da MF são verificadas na separação do mosto após a etapa de moagem, bem como na clarificação e na esterilização a frio.¹²

Na produção de vinho, os processos de MF acarretam em uma melhor estabilidade microbiológica e clarificação do produto. Os processos de OI podem ser empregados para concentração e alteração do teor alcoólico do vinho, embora este processo possa incorrer na formação excessiva de ácido málico, comprometendo o seu sabor.¹²

No processamento de óleos vegetais, o uso de PSM pode ser interessante nas etapas que envolvem a aplicação de altas temperaturas, agentes químicos agressivos e altos custos de energia, como o refino e a degomagem, possibilitando a remoção de compostos como produtos de oxidação e traços de metais. Além disso, os PSM apresentam potencial para a recuperação de proteínas vegetais dos resíduos de extração de óleos. Os processos de MF, UF e NF constituem uma alternativa ambientalmente amigável ao processamento tradicional desta matéria-prima, embora dificuldades associadas ao volume do fluxo, à seletividade e à formação de incrustações na membrana ainda representem um desafio a ser superado.¹² São também empregados para tratamento de águas residuais oriundas deste segmento.¹⁷

Quanto ao refino de açúcar, a tecnologia de membranas mostra-se como uma alternativa ao processo de evaporação. A partir de PSM, pode-se purificar, clarificar e concentrar o açúcar com menores prejuízos de qualidade e cor.¹² Estes processos são verificados no refino de açúcar de cana-de-açúcar, de beterrabas e de xarope de bordo. Neste segmento realizam-se também processos de dessalinização por ED e pré-concentração por OI.¹⁷

Em relação aos produtos de origem animal, encontra-se aplicação de PSM na concentração e remoção de cinzas na produção de gelatina, a partir do processo de UF, bem como o uso de UF e OI para concentração e redução de glicose em ovos, além de tratamento de águas residuais e do subproduto de sangue a partir de UF.¹⁷

Na indústria biotecnológica, verifica-se o uso de processos de MF, UF, OI e ED na produção de água ultrapura, cultivo de células, fracionamento de proteínas, dessalinização e

concentração. O uso integrado de biorreatores está vinculado à hidrólise enzimática, cultura de tecidos e de células vegetais.¹⁷

3 ESTADO DA ARTE EM REVISÕES SOBRE MEMBRANAS EM CONTEXTOS SUSTENTÁVEIS

As revisões sobre membranas em contextos sustentáveis elaboradas até o momento apresentam diferentes enfoques. Drioli, Stankiewicz e Macedonio²³ abordaram o uso de membranas em relação ao conceito de Intensificação de Processos (IP)^k e Turner²⁴ revisou o uso desta tecnologia para reciclagem industrial, enquanto que Ojajuni, Saroj e Cavalli,²⁵ Yuan e He,²⁶ Tongwen²⁷ e Drioli, Profio e Curcio²⁸ levantaram o uso de membranas em relação ao tratamento de águas residuais, nos contextos de remoção de micropoluentes,²⁵ associado a um sistema bioeletroquímico para recuperação de água,²⁶ com foco em processos de ED com membranas bipolares também para recuperação de água,²⁷ além de processos de dessalinização de água salobra.²⁸ Li e Chase²⁹ discutiram o uso de membranas para recuperação de compostos naturais e He *et al.*³⁰ o seu uso em biorrefinarias e na produção de bioenergia. Todas estas revisões abordaram outros setores além da indústria de alimentos ou somente setores que não o alimentício.

Em relação à indústria de laticínios, Brans *et al.*³¹ levantaram o uso de membranas em processos de fracionamento do leite e Agüero *et al.*³² na separação e purificação de proteínas do soro de leite, com maior ênfase aos fenômenos envolvidos no processo e valorização das proteínas do soro em função das suas propriedades nutricionais, tecnológicas e medicinais, enquanto que Le, Cabaltica e Bui³³ deram maior destaque ao aspecto sustentável dos PSM, salientando o fato de que estes processos não requerem o uso de altas temperaturas e agentes químicos, além de discutir o tratamento de efluentes neste segmento.

Quanto às revisões referentes ao segmento de sucos e bebidas, Jiao, Cassano e Drioli³⁴ abordaram a tecnologia de membranas aplicada à concentração de sucos com maior ênfase às vantagens inerentes ao processo em relação à manutenção das qualidades nutricionais e sensoriais do produto fresco; Toffel e Moreira³⁵ focaram nos processos de MF e UF aplicados nas etapas de clarificação e esterilização de sucos também destacando a manutenção das características do produto fresco, com breve discussão sobre a menor

^k De modo geral, este conceito está relacionado a benefícios quanto à fabricação e processamento, emprego de equipamentos com menor demanda por espaço físico, maior economia de energia, redução de custo de capital e de impactos ambientais e maior aproveitamento de matérias-primas.²³

demanda energética do processo; e Conidi, Castro-Muñoz e Cassano³⁶ avaliaram os PSM no processamento de sucos de frutas, com destaque não somente para a manutenção das propriedades da matriz alimentar, como também para o menor impacto ambiental vinculado a esta tecnologia em razão da menor demanda energética em comparação aos processos convencionais, bem como ao fato deste processo ser livre do uso de agentes químicos potencialmente poluentes.

O processamento de azeite de oliva também tem atraído o foco das revisões sobre membranas em processos sustentáveis. Ochando-Pulido e Martinez-Ferez³⁷ descreveram o uso de membranas no tratamento e recuperação de águas residuais de moinhos de azeitona, comentando a complexidade e os custos envolvidos no processo, bem como os prejuízos ambientais associados ao descarte não tratado deste efluente, que apresenta elevados valores de DBO e DQO, além do potencial econômico presente na recuperação dos compostos de interesse destas águas residuais. Mudimu *et al.*³⁸ focaram na aplicação de membranas para recuperação de polifenóis destes efluentes, destacando seu frequente descarte em águas abertas em função dos custos de tratamento, bem como a importância industrial destes compostos de interesse, por sua vez vinculada a uma compensação econômica frente a estes custos.

Rajendran, Mason e Doucette,³⁹ Aider, Halleux e Bazinet⁴⁰ e Charcosset⁴¹ abordaram a aplicação de PSM no segmento biotecnológico da indústria de alimentos, com foco no processamento de frações biomoleculares de matrizes alimentares complexas para obtenção de compostos bioativos,³⁹ uso de eletroforese contínua com e sem membranas porosas⁴⁰ ou comentando o segmento de forma geral.⁴¹ Já Castro-Muñoz *et al.*⁴² e Castro-Muñoz, Yáñez-Fernández e Fíla⁴³ evidenciaram a aplicação de PSM para tratamento de subprodutos de diversos segmentos agroindustriais e a obtenção de compostos de valor, com enfoque nos impactos ambientais associados ao despejo destes subprodutos e a possibilidade de implementação de uma economia circular.

De um modo geral, algumas revisões têm elucidado o uso de membranas em processos sustentáveis em diversos segmentos da indústria alimentícia. Daufin *et al.*⁴⁴ abordaram as aplicações então emergentes dos PSM com ligeiro foco na indústria de alimentos, mencionando a sustentabilidade inerente a estes processos, sem destacar os processos sustentáveis específicos de cada segmento. Castro-Muñoz *et al.*⁴⁵ destacaram a produção de água e de compostos de interesse a partir de águas residuais do processamento de alimentos, comentando a importância do uso sustentável da água. Nazir *et al.*⁴⁶ trataram do

uso de membranas para recuperação de compostos nutracêuticos de efluentes de diversos setores da indústria alimentícia, e Sant'Anna, Marczak e Tessaro⁴⁷ deram enfoque à concentração de alimentos líquidos por OD, enfatizando os parâmetros do processo.

O presente estado da arte evidencia a lacuna existente na literatura científica em relação a uma abordagem integrativa, abrangente e atualizada quanto aos diversos processos sustentáveis viabilizados pelo uso da tecnologia de membranas no conjunto de segmentos da indústria de alimentos.

4 METODOLOGIA

O estudo consiste em uma revisão integrativa com base na metodologia descrita por Toronto e Remington,⁴⁸ com adaptações. Uma revisão integrativa possibilita uma compreensão holística acerca de um tópico de interesse, uma vez que apresenta uma abordagem com amplo alcance de investigação. Difere-se, portanto, da abordagem contemplada em uma revisão sistemática, considerando-se que esta envolve uma única questão clínica estrita e usualmente associada à área da saúde, frequentemente formulada a partir do formato PICO (onde P = *population*, I = *intervention*, C = *comparison*, O = *outcomes*), além desta última comumente fazer uso de meta-análise¹. Ambas as abordagens têm em comum a condução da pesquisa a partir de etapas metódicas.⁴⁸

4.1 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO NORTEADORA DA PESQUISA

Considerando-se a necessidade do desenvolvimento de processos e tecnologias mais sustentáveis nas indústrias de alimentos, aliada à escassez de estudos sumarizando a aplicação de PSM neste mesmo tipo de indústria, formulou-se a seguinte questão de partida: “Quais estudos têm sido realizados abordando os usos da tecnologia de membranas aplicada em processos sustentáveis nas indústrias de alimentos?”

4.2 BUSCA SISTEMÁTICA

¹ A meta-análise é utilizada a fim de sintetizar estatisticamente dados de diversos estudos, possibilitando avaliar de forma mais precisa a eficácia de uma intervenção.⁴⁸

A estratégia de busca foi formulada com auxílio de uma bibliotecária associada à Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina (BU-UFSC), a partir da descrição dos principais assuntos associados à questão de partida nos idiomas português, espanhol e inglês. Dentre os critérios de busca, foram determinados a) tipo de documento: artigos, teses e dissertações; b) área geográfica: qualquer origem; c) período de tempo: últimos 21 anos incompletos (2000 - junho de 2021); e d) idiomas: inglês e português.

Os descritores empregados na busca foram os termos “osmose inversa”; “hiperfiltração”; “ultrafiltração”; “concentração por membrana”; “nanofiltração”; “microfiltração”; “clarificação”; “fracionamento de compostos”; “osmose direta”; “sustentabilidade”; “tecnologias verdes”; “tecnologias ambientalmente amigáveis”; e “indústrias de alimentos”, nos idiomas português, inglês e espanhol, de acordo com as especificidades de idioma de cada base de dados.

A busca da literatura foi realizada em 21 de junho de 2021 em 11 bases de dados, sendo: 7 de acesso gratuito; 3 de acesso pago, intermediado através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES; e 1 de acesso híbrido, intermediado através do site da BU-UFSC. Dentre as bases de acesso gratuito consultadas, menciona-se: *Banco de Teses da Capes* (via CAPES); *Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações* - BDTD (via Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Ibict); *Google Acadêmico* (via Google); *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* - NDLTD; *Open Access Theses and Dissertations* - OATD; *PubMed* (via *National Center for Biotechnology Information* - NCBI); e *Scientific Electronic Library Online* - SciELO. Em relação às bases de acesso pago, foram consultadas: *Embase* (via Elsevier); *Scopus* (via Elsevier); e *Web of Science* (Coleção Principal, via Clarivate Analytics). Por fim, consultou-se a base de acesso híbrido *ProQuest Dissertations & Theses Global* - *PQDT Global*.

4.3 SELEÇÃO DE LITERATURA

Os critérios de inclusão de literatura foram estipulados como estudos que abordaram a) o uso de tecnologia de membrana; b) segmentos das indústrias de alimentos; c) processos considerados sustentáveis como, por exemplo, processos empregados no aproveitamento de resíduos ou processos alternativos àqueles envolvendo alta demanda energética. Dentre os critérios de exclusão, foram desconsiderados estudos que abordam ou consistem em a)

revisões; b) síntese de membranas. As referências resultantes das buscas foram exportadas de suas respectivas bases de dados e adicionadas à plataforma Rayyan⁴⁹ para triagem dos estudos.

A seleção de literatura se deu em duas etapas: na primeira etapa, quatro revisoras independentes (G.D.A.; J.A.T.; K.R.; M.C.P.) realizaram a triagem dos estudos a partir da leitura dos títulos e resumos potencialmente relevantes com base nos critérios definidos, sob a orientação de realizar sua leitura integral quando as informações disponíveis não se apresentaram suficientes para a tomada de decisão. Os estudos que apresentaram divergência de decisões foram discutidos até a obtenção de um consenso. Na segunda etapa de seleção, a leitura das listas de referências dos estudos selecionados foi realizada por uma das revisoras (J.A.T.) a fim de eleger outros estudos de relevância à revisão não contemplados pelas estratégias de busca adotadas. Os estudos selecionados nesta etapa foram posteriormente avaliados por uma segunda revisora (K.R.) para validação da seleção. Além disso, outros estudos relevantes à revisão não contemplados nas etapas anteriores e de conhecimento de uma das revisoras (K.R.) em função da sua experiência acadêmica foram incluídos na seleção. Por fim, o somatório de estudos selecionados nas duas etapas foi adicionado ao aplicativo de gerenciamento bibliográfico Mendeley⁵⁰ para auxílio no processo de leitura integral para extração de informações.

4.4 ANÁLISE DE CONTEÚDO

A análise de conteúdo foi adaptada com base na metodologia utilizada por Sundqvist-Andberg e Åkerman.⁵¹ As principais categorias codificadas para esta análise foram definidas como (a) segmento da indústria alimentícia em que se aplica; (b) processo sustentável; (c) aplicação específica; (d) processo(s) de separação por membranas estudado(s); (e) país; e (f) ano. Os dados extraídos a partir da leitura dos estudos foram atribuídos às categorias codificadas com auxílio do editor de planilhas Microsoft Excel, disponível no pacote de aplicativos Microsoft Office Professional Plus.⁵²

5 RESULTADOS

A partir das estratégias de busca empregadas, identificaram-se 710 estudos. Além de artigos, teses e dissertações, alguns trabalhos de conclusão de curso também foram retornados dentre as buscas realizadas. Os descritores, operadores booleanos e limites de busca

empregados foram definidos com base nas orientações específicas para cada base de dados e estão associados nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5, bem como a quantidade de resultados retornados a partir de cada busca.

Tabela 1 - Estratégia de busca 1.

Composição de descritores e operadores booleanos		Limites de busca	
("Reverse osmosis" OR "RO" OR "Forward osmosis" OR "Loose reverse osmosis" OR "Hyperfiltration" OR "Ultrafiltration" OR "UF" OR "Nanofiltration" OR "NF" OR "Microfiltration" OR "MF" OR "Clarification" OR "Membrane concentration" OR "Membranes concentration" OR "Compound fractionation" OR "Compost Fractionation") AND ("Food Industry" OR "Food Industries") AND ("Sustainability" OR "Sustainable" OR "Green technology" OR "Green technologies" OR "Eco-friendly technologies" OR "Eco-friendly technology" OR "Environmentally friendly technologies" OR "Environmentally friendly technology")		Em todos os campos	Nos campos título/resumo/palavras-chave No campo "qualquer lugar, exceto texto completo" - NOFT
Base de dados	Resultados		
Embase	46	X	
NDLTD	5	X	
OATD	4	X	
PQDT Global	1		X
Scopus	45		X
Web of Science	72	X	
Total	173		

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 - Estratégia de busca 2.

Composição de descritores e operadores booleanos	Limites de busca
<p style="text-align: center;">("Osmose inversa" OR "Osmose reversa" OR "Osmose direta" OR "Hiperfiltração" OR "Ultrafiltração" OR "Nanofiltração" OR "Microfiltração" OR "Clarificação" OR "Concentração por membrana" OR "Concentração por membranas" OR "Fracionamento de compostos" OR "Fracionamento de composto") AND ("Indústria Alimentícia" OR "Indústria da Alimentação" OR "Indústria de Alimentos" OR "Indústrias de Alimentos" OR "Industria alimentaria") AND ("Sustentabilidade" OR "Sustentáveis" OR "Sustentável" OR "Tecnologias verdes" OR "Tecnologia verde" OR "Tecnologias ambientalmente amigáveis" OR "Tecnologia ambientalmente amigável")</p>	Em todos os campos
Base de dados	Resultados
Banco de Teses da CAPES	0
BDTD	2
Total	2

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 3 - Estratégia de busca 3.

Composição de descritores e operadores booleanos	Limites de busca
<p data-bbox="636 464 1525 735">("Reverse osmosis" OR "RO" OR "Forward osmosis" OR "Loose reverse osmosis" OR "Hyperfiltration" OR "Ultrafiltration"[Mesh] OR "Ultrafiltration" OR "UF" OR "Nanofiltration" OR "NF" OR "Microfiltration" OR "MF" OR "Clarification" OR "Membrane concentration" OR "Membranes concentration" OR "Compound fractionation" OR "Compost Fractionation") AND ("Food Industry"[Mesh] OR "Food Industry" OR "Food Industries") AND ("Sustainability" OR "Sustainable" OR "Green technology" OR "Green technologies" OR "Eco-friendly technologies" OR "Eco-friendly technology" OR "Environmentally friendly technologies" OR "Environmentally friendly technology")</p>	Em todos os campos
Base de dados	Resultados
PubMed	85
Total	85

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4 - Estratégia de busca 4.

Composição de descritores e operadores booleanos	Limites de busca
<p>("Reverse osmosis" OR "RO" OR "Forward osmosis" OR "Loose reverse osmosis" OR "Hyperfiltration" OR "Ultrafiltration" OR "UF" OR "Nanofiltration" OR "NF" OR "Microfiltration" OR "MF" OR "Clarification" OR "Membrane concentration" OR "Membranes concentration" OR "Compound fractionation" OR "Compost Fractionation" OR "Osmose inversa" OR "Osmose reversa" OR "Osmose direta" OR "Hiperfiltração" OR "Ultrafiltração" OR "Nanofiltração" OR "Microfiltração" OR "Clarificação" OR "Concentração por membrana" OR "Concentração por membranas" OR "Fracionamento de compostos" OR "Fracionamento de composto" OR "Ósmosis inversa" OR "Ósmosis reversa" OR "Ósmosis directa" OR "Hiperfiltración" OR "Ultrafiltración" OR "Nanofiltración" OR "Microfiltración" OR "Clarificación" OR "Concentración por membrana" OR "Concentración por membranas" OR "Fraccionamiento de compuestos" OR "Fraccionamiento de compuesto") AND ("Food Industry" OR "Food Industries" OR "Indústria Alimentícia" OR "Indústria da Alimentação" OR "Indústria de Alimentos" OR "Indústrias de Alimentos" OR "Industria alimentaria") AND ("Sustainability" OR "Sustainable" OR "Green technology" OR "Green technologies" OR "Eco-friendly technologies" OR "Eco-friendly technology" OR "Environmentally friendly technologies" OR "Environmentally friendly technology" OR "Sustentabilidade" OR "Sustentáveis" OR "Sustentável" OR "Tecnologias verdes" OR "Tecnologia verde" OR "Tecnologias ambientalmente amigáveis" OR "Tecnologia ambientalmente amigável" OR "Sostenibilidad" OR "Sustentabilidad" OR "Sostenible" OR "Tecnologías ambientalmente amigables" OR "Tecnología ambientalmente amigable")</p>	Em todos os campos
Base de dados	Resultados
SciELO	1
Total	1

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5 - Estratégia de busca 5.

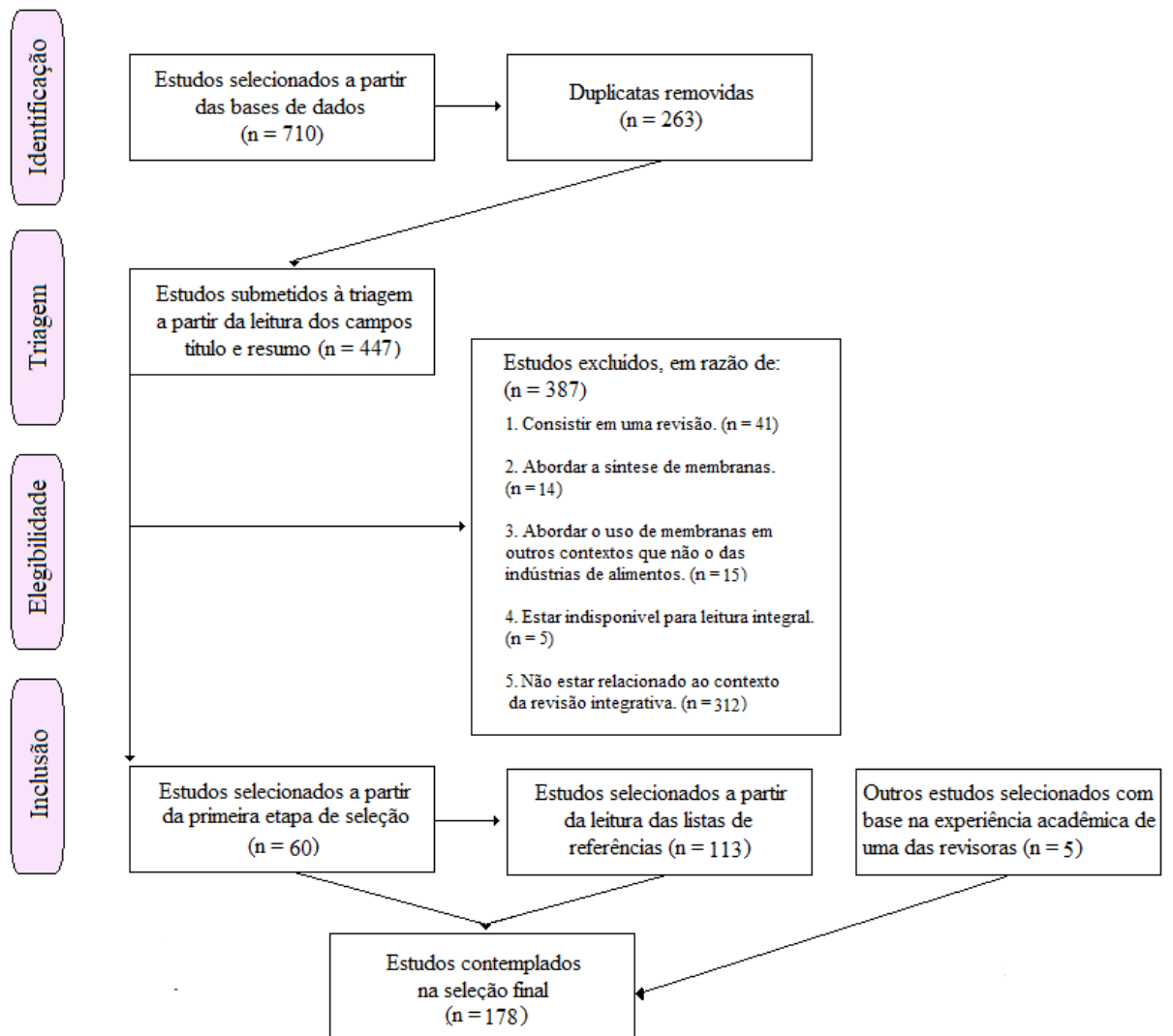
Composição de descritores e operadores booleanos					Limite de busca
"Osmose inversa" "Indústria Alimentícia" "Sustentabilidade"	"Nanofiltração" "Indústria Alimentícia" "Sustentabilidade"	"Ultrafiltração" "Indústria Alimentícia" "Sustentabilidade"	"Microfiltração" "Indústria Alimentícia" "Sustentabilidade"	Em todos os campos	
Base de dados	Resultados				
Google Acadêmico	65	88	187	109	
Total	449				

Fonte: elaborado pela autora.

5.1 ESTUDOS SELECIONADOS

Após a eliminação de estudos duplicados, restaram 447 estudos para seleção. As decisões consensuais entre as quatro revisoras resultaram na seleção de 60 estudos. A leitura das listas de referências dos 60 estudos selecionados levou a uma seleção prévia de outros 143 estudos; após a validação desta segunda seleção, outros 113 estudos foram selecionados. Além disso, outros 5 estudos não contemplados nas etapas anteriores foram incluídos com base na experiência acadêmica de uma das revisoras, totalizando em uma seleção final de 178 estudos. O processo de seleção de literatura está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção de literatura.



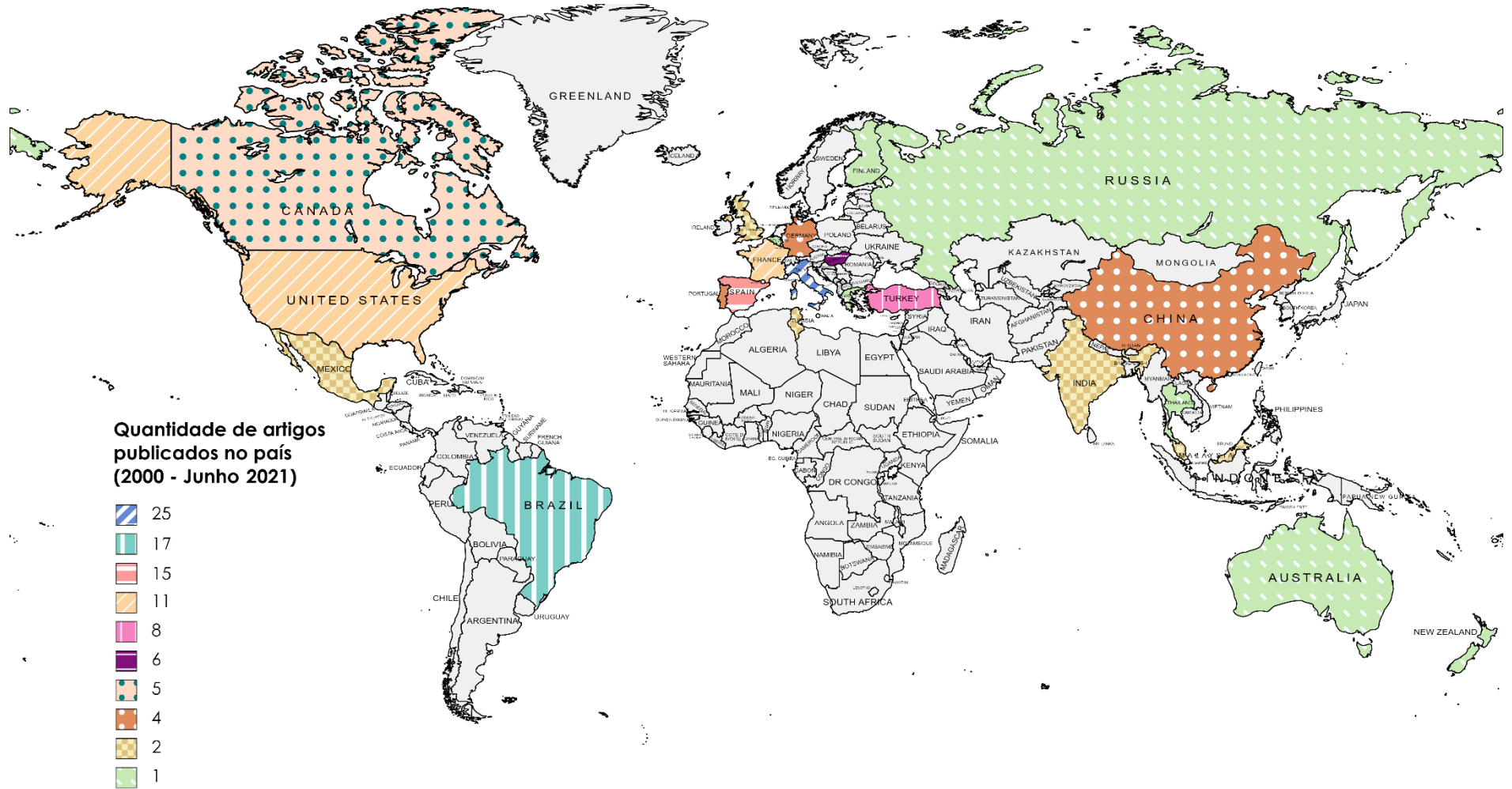
Fonte: elaborado pela autora.

5.1.1 Publicações em periódicos internacionais

Dentre os estudos contemplados na seleção final, 127 consistiram em artigos publicados em periódicos internacionais. Destes, 79 (62,2%) são oriundos do continente europeu, sendo que a Itália constituiu o país com maior número de publicações (25), totalizando 19,7% dos estudos mundiais, enquanto que os demais estudos europeus estão divididos entre Espanha (15); França (11); Turquia (8); Portugal (4); Hungria (6); Alemanha (4); Reino Unido (2); Bélgica, Finlândia, Grécia e Rússia, sendo estes últimos quatro com apenas um artigo cada. O continente americano representou 35 dos estudos (27,6%) com os seguintes números de publicações por país: Brasil (17); Estados Unidos (11); Canadá (5); e México (2). Representando o continente asiático, tem-se um total de 9 estudos (7,1%), além daquele atribuído à Rússia^m, com a seguinte divisão: China (4); Malásia (2); Índia (2); e Tailândia (1). Austrália e Nova Zelândia constituíram os dois países com publicações da Oceania, com um artigo cada (1,6%), e a Tunísia constituiu o único país africano, com duas publicações (1,6%). As Figuras 5 e 6 ilustram a distribuição geográfica das publicações por país considerando-se os níveis mundial e europeu.

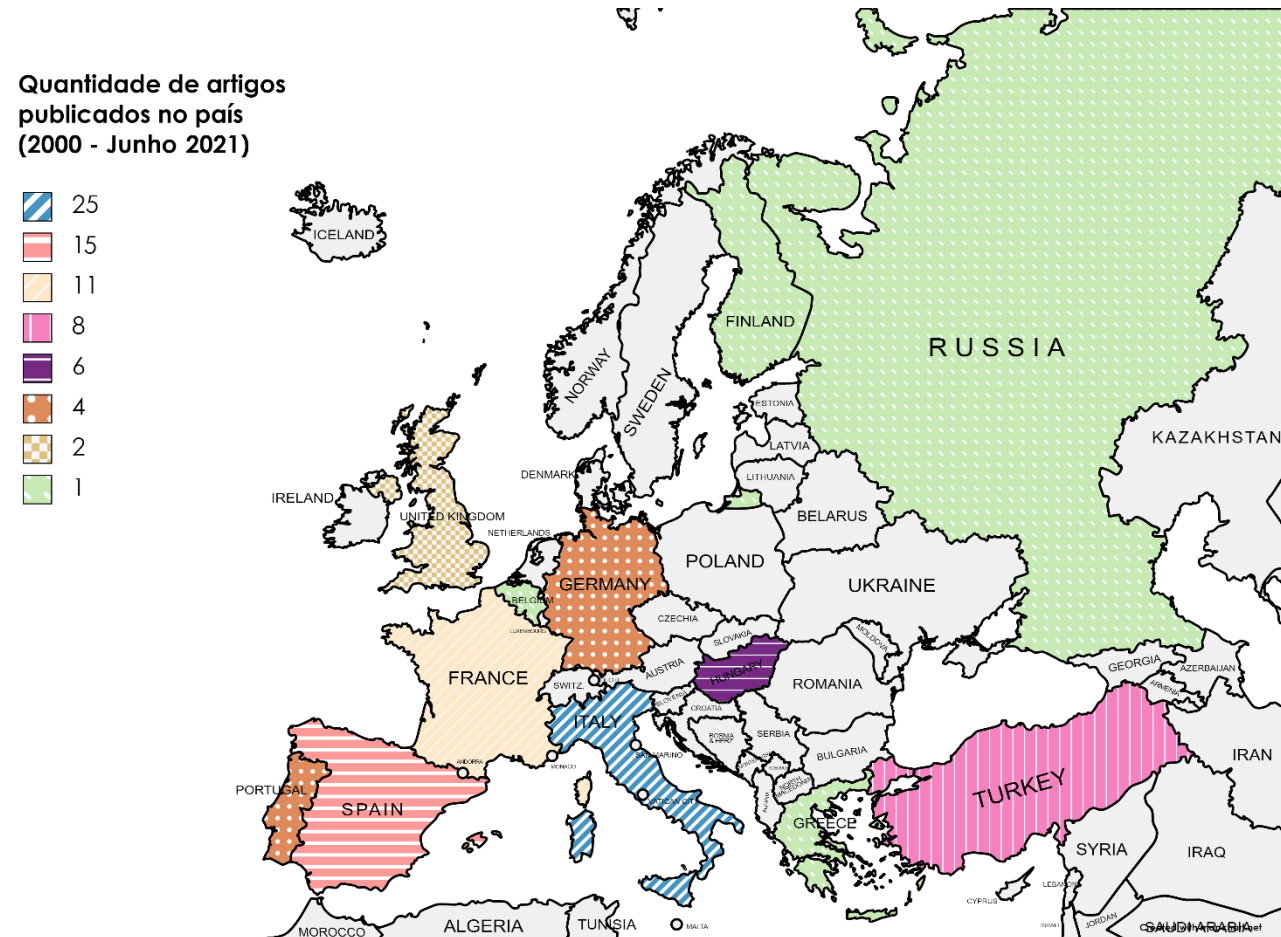
^m A Rússia é considerada uma república tanto europeia quanto asiática; entretanto, está considerada no percentual de países europeus.

Figura 5 - Distribuição geográfica de artigos publicados por país a nível mundial.



Fonte: mapa modificado pela autora a partir de mapchart.net.

Figura 6 - Distribuição geográfica de artigos publicados por país no continente europeu.



Fonte: mapa modificado pela autora a partir de mapchart.net.

Em relação aos periódicos de publicação, os periódicos *Desalination*, *Journal of Membrane Science* e *Journal of Food Engineering* contemplaram o maior número de publicações, com 27, 11 e 10 artigos, respectivamente, totalizando 37,8% das publicações em periódicos internacionais.

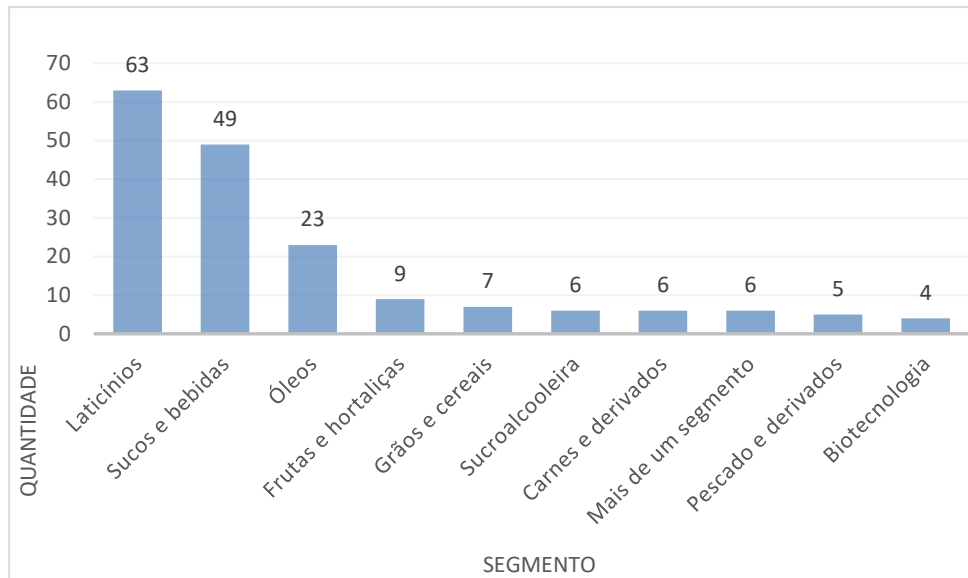
5.1.2 Outras publicações

Em relação aos demais 51 estudos selecionados, estes consistiram em 14 publicações em periódicos brasileiros; 6 teses de doutorado, sendo uma portuguesa e as demais brasileiras; 26 dissertações de mestrado, sendo também uma portuguesa e as demais brasileiras; 4 trabalhos de conclusão de curso; e 1 artigo publicado em um *e-book* nacional.

5.1.3 Distribuição de estudos por segmento industrial

Conforme ilustra a Figura 7, 63 estudos (35,4%) enquadram-se no segmento de laticínios, enquanto que a distribuição para os demais segmentos é de 49 (27,5%) em sucos e bebidas, 23 (12,9%) em óleos, 9 (5,1%) em frutas e hortaliças, 7 (3,9%) em grãos e cereais, 6 (3,4%) na indústria sucroalcooleira, 6 (3,4%) em carnes e derivados, 6 (3,4%) em mais de um segmento da indústria de alimentos, 5 (2,8%) em pescado e derivados e 4 (2,2%) na indústria biotecnológica.

Figura 7 - Distribuição de estudos por segmento industrial.

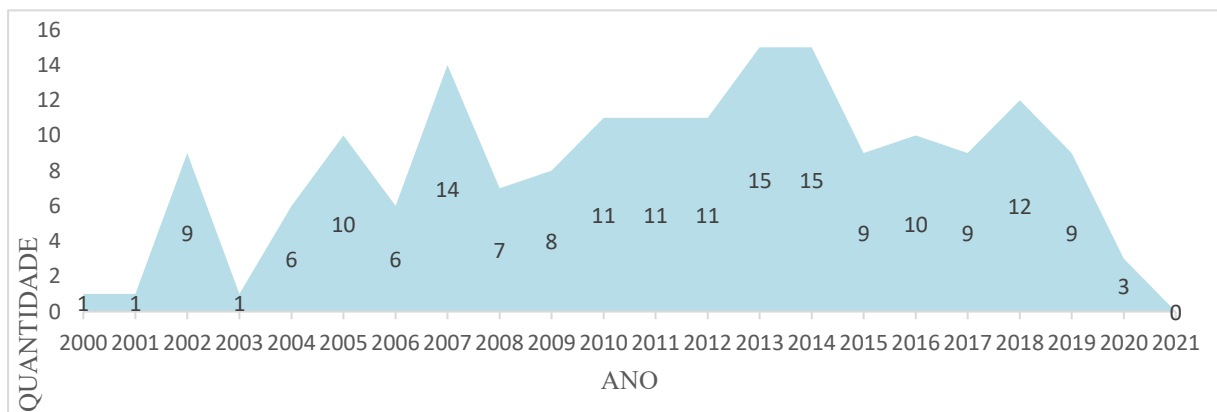


Fonte: elaborado pela autora.

5.1.3.1 Distribuição ao longo do tempo

Para a distribuição ao longo do tempo, tem-se que 48 (27%) dos estudos estão concentrados no período de 2000 a 2007; 78 (43,8%) entre 2008 e 2014; 49 (27,5%) no período pré-pandêmico entre 2015 e 2019; e 3 (1,7%) no período contemplado pela pandemia pelo novo coronavírus entre 2020 e junho de 2021, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Distribuição de estudos ao longo do tempo.



Fonte: elaborado pela autora

A Tabela 6 demonstra a relação de estudos publicados ao longo dos anos por segmento industrial. As Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 compreendem os estudos selecionados categorizados de acordo com o segmento industrial a que pertencem, apresentando as principais características em relação aos processos sustentáveis abordados, aplicações específicas, PSM empregados, ano e país de publicação, bem como autores responsáveis.

Tabela 6 - Distribuição de estudos por segmento industrial ao longo do tempo.

Ano	Laticínios	Sucos e bebidas	Óleos	Frutas e hortaliças	Grãos e cereais	Sucro-alcooleira	Carnes e derivados	Mais de um segmento	Pescado e derivados	Biotecnologia	Total
2000							1				1
2001	1										1
2002	2	5	1						1		9
2003		1									1
2004	2	3			1						6
2005	3	4	1	1			1				10
2006	3	2							1		6
2007	4	4	3	1	1		1				14
2008	2	5									7
2009	5	1	1			1					8
2010	3	3	3		1	1					11
2011	6	2	1			1				1	11
2012	3	3	1		2	1			1		11
2013	6	1	5			1		1		1	15
2014	6	3	3	1				1	1		15
2015	5				1	1	1	1			9
2016	3	3	2	1	1						10
2017	1	4		3				1			9
2018	4	2	2	1				2	1		12
2019	3	2		1			1			2	9
2020	1	1					1				3
2021											0
Total	63	49	23	9	7	6	6	6	5	4	178

Fonte: elaborado pela autora.

5.1.3.2 Indústria de laticínios

Tabela 7 - Estudos com aplicação na indústria de laticínios.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Tratamento de resíduo para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor	Tratamento do soro residual				
	Sistema integrado de MF, UF, NF e OI		Hungria	2004	Rektor e Vatai ⁵³
	Sistema integrado de UF e NF		Hungria	2005	Atra <i>et al.</i> ⁵⁴
	Sistema integrado de NF e OI		França	2005	Balanec <i>et al.</i> ⁵⁵
	UF		EUA	2006	Li, Shahbazi e Kadzere ⁵⁶
	Sistema integrado de MF e UF		Brasil	2006	Franco ⁵⁷
	UF		Brasil	2006	Prudêncio <i>et al.</i> ⁵⁸
	NF		Portugal	2007	Minhalma <i>et al.</i> ⁵⁹
	Sistema de BRM com MF		Tunísia	2007	Saddoud, Hassaïri e Sayadi ⁶⁰
	Sistema integrado de UF, NF e OI		Turquia	2008	Yorgun, Balcioglu e Saygin ⁶¹
	Sistema integrado de UF e ED		Brasil	2009	Baldasso, Tessaro e Ruver ⁶²
	Sistema integrado de NF e DF		Hungria	2009	Román <i>et al.</i> ⁶³
	NF		Espanha	2009	Cuartas-Urbe <i>et al.</i> ⁶⁴
	Sistema integrado de MF, UF e OI		Brasil	2010	Souza <i>et al.</i> ⁶⁵
	NF		França	2010	Luo <i>et al.</i> ⁶⁶
	UF		Portugal	2011	Macedo, Duarte e Pinho ⁶⁷
	UF e DF		Brasil	2011	Baldasso, Barros e Tessaro ⁶⁸
	UF		Brasil	2011	Leindecker ⁶⁹
	Sistema integrado de UF e NF		China	2011	Luo <i>et al.</i> ⁷⁰
	Sistema integrado de UF e DF		Espanha	2012	Sanmartín <i>et al.</i> ⁷¹
	UF		Brasil	2013	Corrêa ⁷²
	Sistema integrado de MF, OD e OI		Turquia	2013	Aydiner <i>et al.</i> ⁷³
	Sistema integrado de UF e DF		Brasil	2013	Marques ⁷⁴

	Sistemas integrados de UF e OI e OI e OD	Turquia	2013	Aydiner <i>et al.</i> ⁷⁵
	Sistema de BRM com MF	Brasil	2014	Andrade <i>et al.</i> ⁷⁶
	UF	Portugal	2015	Macedo, Duarte e Fragoso ⁷⁷
	UF	Portugal	2015	Azevedo ⁷⁸
	Sistema integrado de MF e UF	Brasil	2015	Mendes e Faria ⁷⁹
	MF	Índia	2016	Kumar <i>et al.</i> ⁸⁰
	Sistema integrado de UF e OI	EUA	2016	Meneses e Flores ⁸¹
	Sistemas integrados de MF e NF e MF e OI	Brasil	2017	Bortoluzzi <i>et al.</i> ⁸²
	MF	Brasil	2018	Fagnani, Puppio e Zanon ^{83*}
	Sistema integrado de UF e NF	Itália	2018	Monti <i>et al.</i> ⁸⁴
	Sistema integrado de UF, NF e OI	Brasil	2018	Mossmann ⁸⁵
	Sistema integrado de UF e ED	Brasil	2019	Oberherr ⁸⁶
	Sistema integrado de UF e NF	Itália	2020	Raho <i>et al.</i> ⁸⁷
Tratamento do leite desnatado e da coalhada de soro de leite oriundo de queijo tipo cottage				
	UF	Rússia	2018	Babenyshv <i>et al.</i> ⁸⁸
Tratamento de efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso				
Tratamento de águas residuais				
	Sistema integrado de NF e OI	França	2002	Balanec <i>et al.</i> ⁸⁹
	Sistema integrado de NF e OI	França	2004	Akoum <i>et al.</i> ⁹⁰
	Sistema integrado de NF e OI	França	2005	Vourch <i>et al.</i> ⁹¹
	UF	Brasil	2007	Brião e Tavares ⁹²
	UF	Nova Zelândia	2007	Chollangi e Hossain ⁹³
	OI	França	2008	Vourch <i>et al.</i> ⁹⁴

	Sistema de BRM com MF e NF	Brasil	2011	Andrade ⁹⁵
	Sistema de BRM e UF	Turquia	2011	Farizoglu e Uzuner ⁹⁶
	BRMAS	Itália	2012	Casu <i>et al.</i> ⁹⁷
	NF	França	2012	Luo <i>et al.</i> ⁹⁸
	NF	Espanha	2013	Riera, Suárez e Muro ⁹⁹
	UF	Tunísia	2014	Bennani, Ousji e Ennigrou ¹⁰⁰
	OI	Espanha	2014	Suárez, Fidalgo e Riera ¹⁰¹
	Sistemas integrados de OD e DM e DM e OI	Turquia	2014	Aydiner <i>et al.</i> ¹⁰²
	Sistema integrado de BRM com MF e NF	Brasil	2014	Andrade <i>et al.</i> ¹⁰³
	Sistema integrado de BRM com MF e NF	Brasil	2015	Andrade <i>et al.</i> ¹⁰⁴
	OI	Espanha	2015	Suárez e Riera ¹⁰⁵
	NF	Brasil	2018	Nadal ¹⁰⁶
	Sistema integrado de NF e OI	Brasil	2019	Brião <i>et al.</i> ¹⁰⁷
	MF em conjunto com biodegradação por microrganismo	Índia	2019	Goswami <i>et al.</i> ¹⁰⁸
Alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados				
Concentração do leite desnatado				
	MF	EUA	2001	Solanki e Rizvi ¹⁰⁹
	MF	EUA	2009	Zulewska, Newbold e Barbano ¹¹⁰
	MF	EUA	2010	Hurt <i>et al.</i> ¹¹¹
	MF	EUA	2013	Beckman e Barbano ¹¹²
	MF	EUA	2016	Adams e Barbano ¹¹³
Concentração de leite desnatado e soro de leite em pó reconstituído				
	DM	Austrália	2014	Hausmann <i>et al.</i> ¹¹⁴
Obtenção de concentrado proteico de leite de cabra				
	UF	Brasil	2002	Olim ¹¹⁵

Esterilização do soro de leite de búfala					
	MF		Brasil	2009	Lira <i>et al.</i> ¹¹⁶

*Citado também na Tabela 8.

Fonte: elaborado pela autora.

5.1.3.3 Indústria de sucos e bebidas

Tabela 8 - Estudos com aplicação na indústria de sucos e bebidas.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados	Clarificação e esterilização de suco de abacaxi	MF	Brasil	2002	Carneiro <i>et al.</i> ¹¹⁷
	Concentração de suco de tomate	Sistema integrado de MF e OI	Itália	2002	Bottino <i>et al.</i> ¹¹⁸
Clarificação de suco cítrico (laranja + limão) e suco de cenoura		Sistema integrado de UF, OI e destilação osmótica	Itália	2003	Cassano <i>et al.</i> ¹¹⁹
	Clarificação e concentração de suco de acerola	Sistema integrado de MF, UF e OI	Brasil	2004	Matta, Moretti e Cabral ¹²⁰

Pré-concentração do extrato de café para posterior secagem por <i>spray-drying</i>	NF	Hungria	2004	Vincze e Vatai ¹²¹
Concentração de suco de camu-camu	OI e evaporação osmótica	Brasil	2004	Rodrigues <i>et al.</i> ¹²²
Clarificação de suco de caju	Sistema integrado de MF e OI	Brasil	2005	Cianci <i>et al.</i> ¹²³
Clarificação de suco de laranja	Sistema integrado de MF e evaporação osmótica	França	2005	Cisse <i>et al.</i> ¹²⁴
Clarificação e esterilização de água de coco verde	Sistema integrado de MF e UF	Brasil	2005	Magalhães <i>et al.</i> ¹²⁵
Concentração de suco de laranja	OI	Brasil	2005	Araújo e Maciel ¹²⁶
	Pervaporação por predição em software e OI	Brasil	2007	Araújo ¹²⁷
Concentração de suco de kiwi e recuperação de aromas	Sistema integrado de UF, destilação osmótica e pervaporação	Itália	2006	Cassano <i>et al.</i> ¹²⁸
Concentração de suco de uva	OI	Hungria	2007	Rektor <i>et al.</i> ¹²⁹
Clarificação de suco de figo da Índia	Sistema integrado de UF e OD	Itália	2007	Cassano <i>et al.</i> ¹³⁰
Clarificação de suco de laranja-de-sangue	UF	Itália	2007	Cassano, Marchio e Drioli ¹³¹
Clarificação e concentração de suco de açaí	Sistema integrado de MF e OI	Brasil	2008	Neves ¹³²
Concentração/fracionamento de polpa de açaí	MF	Brasil	2008	Cruz ¹³³
	Sistema integrado de MF, UF e NF	Brasil	2010	Borovik ¹³⁴

Clarificação de suco de camu-camu				
	MF	Brasil	2008	Infante ¹³⁵
Clarificação do suco de kiwi				
	UF	Itália	2008	Cassano <i>et al.</i> ¹³⁶
Clarificação de polpa/suco de maracujá				
	MF	Brasil	2008	Oliveira ¹³⁷
	MF	Brasil	2012	Oliveira, Docê e Barros ¹³⁸
	MF	Brasil	2014	Domingues <i>et al.</i> ¹³⁹
Concentração de suco de tangerina				
	UF	Itália	2009	Cassano <i>et al.</i> ¹⁴⁰
Clarificação de suco de maçã				
	Sistema integrado de UF, destilação osmótica e DM	Turquia	2010	Onsekizoglu, Bahceci e Acar ¹⁴¹
Concentração de compostos fenólicos em suco de laranja-de-sangue				
	Sistema integrado de UF e destilação osmótica	Itália	2013	Destani <i>et al.</i> ¹⁴²
Clarificação de caldo de cana/caldo de cana com polpa de maracujá				
	MF	Brasil	2014	Rezzadori <i>et al.</i> ¹⁴³
	Sistema integrado MF e UF	Brasil	2014	Gaschi <i>et al.</i> ¹⁴⁴
Clarificação do extrato de bagaço de beterraba				
	MF	Brasil	2016	Corrêa ¹⁴⁵
Clarificação do suco de xoconostle				
	UF	México	2017	Castro-Muñoz <i>et al.</i> ¹⁴⁶
Clarificação de bebida produzida a partir de soro de leite e suco de laranja				
	MF	Brasil	2018	Fagnani, Puppio e Zanon ^{83*}
Clarificação de cerveja artesanal				
	MF	Brasil	2018	Marangoni ¹⁴⁷

Concentração de suco de maçã	Sistema integrado de OI e DM	China	2019	An <i>et al.</i> ¹⁴⁸
Concentração de compostos fenólicos do suco de morango	NF	Brasil	2016	Arend ¹⁴⁹
Aproveitamento de resíduo por processo energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados				
Clarificação e despectinização do suco residual de laranja-bergamota para obtenção de um concentrado de polifenóis	Sistema integrado de UF e NF	Itália	2011	Conidi, Cassano e Drioli ¹⁵⁰
Recuperação de compostos fenólicos de licor de laranja a partir de cascas de laranja	NF	Itália	2012	Conidi, Cassano e Drioli ¹⁵¹
Obtenção de extrato aquoso de resíduo da colheita de erva-mate	NF	Brasil	2011	Prudêncio ¹⁵²
Esterilização do extrato de caju obtido a partir do pedúnculo residual para obtenção de compostos de interesse	MF	Brasil	2020	Goes <i>et al.</i> ¹⁵³
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso				
Tratamento de águas residuais do processamento de suco cítrico				

	OI	Espanha	2002	García, Gozávez e Lora ¹⁵⁴
	OI	Espanha	2006	Garcia-Castello <i>et al.</i> ¹⁵⁵
Tratamento de águas residuais do processamento de suco de frutas**				
	Sistema integrado de BRM e NF	Alemanha	2002	Noronha <i>et al.</i> ¹⁵⁶
	Sistema integrado de BRM com MF e NF	Alemanha	2002	Blöcher <i>et al.</i> ¹⁵⁷
	BRM com UF	Brasil	2018	Morais ¹⁵⁸
Tratamento de águas residuais do processamento de vinho				
	BRM com MF	Itália	2010	Bolzonella <i>et al.</i> ¹⁵⁹
	BRM	Espanha	2012	Valderrama <i>et al.</i> ¹⁶⁰
	BRM com UF	Itália	2017	Petta <i>et al.</i> ¹⁶¹
Obtenção de pectinase produzida por microrganismo a partir de casca de maracujá-amarelo enquanto substrato				
	UF	Brasil	2014	Jaramillo ^{162***}
Tratamento de águas residuais do processamento de suco de laranja				
	MF	Itália	2016	Simone <i>et al.</i> ¹⁶³
Tratamento de águas residuais do processamento de suco de abacaxi				
	BRM com UF	Brasil	2017	Farias ¹⁶⁴
Extração de compostos de interesse de efluente/bagaço do processamento do pedúnculo do caju				
	MF	Brasil	2017	Goes ¹⁶⁵
Extração de compostos de interesse de efluente/bagaço do processamento do suco de maçã				
	UF	Portugal	2019	Fernandes <i>et al.</i> ¹⁶⁶

*Citado também na Tabela 7. **Matéria-prima não especificada. ***Citado também na Tabela 14.

Fonte: elaborado pela autora.

5.1.3.4 Indústria de óleos

Tabela 9 - Estudos com aplicação na indústria de óleos.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso	Tratamento de águas residuais de processamento de azeite de oliva	Sistema integrado de UF, NF e OI	Grécia	2007	Paraskeva <i>et al.</i> ¹⁶⁷
		Sistema integrado de MF, UF e OI	Itália	2007	Russo ¹⁶⁸
		UF	Turquia	2009	Akdemir e Ozer ¹⁶⁹
		Sistema integrado de UF, NF e OI	Turquia	2010	Coskun, Debik e Demir ¹⁷⁰
		Sistema integrado de MF, NF, OD e DM a vácuo	Itália	2010	Garcia-Castello <i>et al.</i> ¹⁷¹
		OI	Espanha	2012	Ochando-Pulido <i>et al.</i> ¹⁷²
		OI	Espanha	2013	Ochando-Pulido <i>et al.</i> ¹⁷³
		Sistema integrado UF e NF	Itália	2013	Cassano <i>et al.</i> ¹⁷⁴
		Sistema integrado de UF, NF e OI	Espanha	2013	Ochando-Pulido <i>et al.</i> ¹⁷⁵
		Sistema integrado de MF e NF	Itália	2014	Lecce <i>et al.</i> ¹⁷⁶
		Sistema integrado de MF, UF e NF	Alemanha	2014	Abdel-Shafy <i>et al.</i> ¹⁷⁷
		Sistema integrado de BMR com MF e UF	Itália	2014	Conidi <i>et al.</i> ¹⁷⁸
		Sistema integrado com os processos MF, NF, destilação osmótica e emulsificação por membrana	Itália	2016	Bazzarelli <i>et al.</i> ¹⁷⁹
		Sistema integrado de UF e OI	EUA	2016	Sedej <i>et al.</i> ¹⁸⁰
		NF	Espanha	2018	Ochando-Pulido, Corpas-

				Martínez e Martínez-Ferez ¹⁸¹
	Sistema integrado de MF, UF e NF	Espanha	2018	Ochando-Pulido e Martínez-Ferez ¹⁸²
Tratamento de águas residuais de processamento de óleo de palma	UF	Malásia	2005	Ahmad, Ismail e Bhatia ¹⁸³
	UF	Malásia	2007	Wu <i>et al.</i> ¹⁸⁴
Tratamento de águas residuais de processamento de óleo de soja	Sistema integrado de MF e UF	Brasil	2010	Zatti ¹⁸⁵
	Sistema integrado de UF e NF	Hungria	2013	Pauer, Csefalvay e Mizsey ¹⁸⁶
Obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de resíduo de azeitona	Sistema integrado de MF, UF, NF e OI	Itália	2017	Romani, Scardigli e Pinelli ^{187*}
Obtenção de extratos ricos em ésteres de esteróis a partir destilados de desodorização	Sistema integrado de MF, UF e NF	Portugal	2013	Teixeira ¹⁸⁸
Alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados				
Refino do óleo de soja	UF	Brasil	2002	Alicio <i>et al.</i> ¹⁸⁹
Recuperação de solvente usado no processo de extração de óleo de soja				

NF	Bélgica	2011	Darvishmanesh <i>et al.</i> ¹⁹⁰
----	---------	------	--

*Citado também na Tabela 12.

Fonte: elaborado pela autora.

5.1.3.5 Outros segmentos industriais

Tabela 10 - Estudos com aplicação na indústria sucroalcooleira.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso	Tratamento de vinhaça de caldo de cana-de-açúcar	Sistema integrado de MF e NF	Brasil	2011	Gomes, Eça e Viotto ¹⁹¹
		BRM com UF	Brasil	2012	Mota ¹⁹²
		MF	Brasil	2015	Amaral <i>et al.</i> ¹⁹³
Purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação		Sistema integrado de UF e NF	Brasil	2010	Branco ¹⁹⁴
Concentração de proteína e de extratos brutos a partir do bagaço de cana-de-açúcar		UF	Brasil	2013	Paiva ¹⁹⁵
Concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas		UF	Brasil	2013	Moreira ^{196*}
	Concentração de holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar				

	UF	Brasil	2015	Sciuto ^{197*}
Purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação				
	NF	Brasil	2018	Alves ^{198**}
Alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados				
Concentração de açúcar				
	OD	Espanha	2009	Garcia-Castello, McCutcheon e Elimelech ¹⁹⁹

*Citado também nas Tabelas 11 e 14. **Citado também na Tabela 14.

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 11 - Estudos com aplicação na indústria de grãos e cereais.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Obtenção de compostos de interesse a partir de resíduos, prevenindo seu descarte inadequado, e/ou alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados					
	Obtenção de concentrado proteico de soja a partir de farinha de soja desengordurada				
		UF	EUA	2004	Krishna Kumar, Yea e Cheryan ²⁰⁰
	Purificação de xilooligossacarídeos obtidos a partir de autohidrólise de casca de amêndoa				
		UF	Espanha	2007	Nabarlatz <i>et al.</i> ²⁰¹

Reciclagem de celulase e concentração de glicose presente no hidrolisado lignocelulósico obtido de resíduo de trigo	Sistema integrado de UF e NF	China	2012	Qi <i>et al.</i> ²⁰²
Concentração de compostos bioativos da soja	NF	Brasil	2012	Benedetti <i>et al.</i> ²⁰³
Concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas	UF	Brasil	2013	Moreira ^{196*}
Concentração de holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar	UF	Brasil	2015	Sciuto ^{197*}
Concentração de proteínas do soro oriundo da produção de tofu	NF	Brasil	2016	Benedetti <i>et al.</i> ²⁰⁴
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso				
Tratamento de águas residuais de produção de isolado proteico de soja	UF	Brasil	2010	Cassini <i>et al.</i> ²⁰⁵
Clarificação de águas residuais de nixtamalização para obtenção de compostos fenólicos	UF	México	2016	Castro-Muñoz, Barragán-Huerta e Yáñez-Fernández ²⁰⁶

*Citado também nas Tabelas 10 e 14.

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 12 - Estudos com aplicação na indústria de frutas e hortaliças.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Obtenção de compostos de interesse e/ou água para reúso a partir de resíduo/efluente, prevenindo seu descarte inadequado	Obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de resíduo de alcachofra	Sistema integrado de MF, UF, NF e OI	Itália	2017	Romani, Scardigli e Pinelli ^{187*}
Recuperação de compostos aromáticos de efluente de processamento de couve-flor		Pervaporação	França	2005	Souchon <i>et al.</i> ²⁰⁷
Tratamento de água residual em indústria processadora de horticultura**		MF	EUA	2007	Nelson <i>et al.</i> ²⁰⁸
		BRM com UF	Canadá	2016	Moore, Zytner e Chang ²⁰⁹
		UF	Itália	2017	Vergine <i>et al.</i> ²¹⁰
		Sistema integrado de MF, UF, OI	EUA	2018	Weng, Jacangelo e Schwab ²¹¹
Fracionamento de águas residuais de processamento de alcachofra para obtenção de compostos de interesse		Sistema integrado de UF e NF	Itália	2014	Conidi, Cassano e Garcia-Castello ²¹²

Concentração de amido cationizado produzido a partir de casca de batata rica em amido	UF	Finlândia	2017	Lappalainen <i>et al.</i> ²¹³
Produção de extrato rico em antioxidantes a partir de casca de bordo	OI	Canadá	2017	Geoffroy, Fortin e Stevanovic ²¹⁴
Concentração de liquor de vegetais**	OD	China	2019	Wang <i>et al.</i> ²¹⁵

*Também citado na Tabela 9. **Matéria-prima não especificada.

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 13 - Estudos com aplicação na indústria de pescado e derivados.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso					
	Separação de proteases a partir de baço de atum amarelo	UF	Tailândia	2006	Li, Youravong e H-Kittikun ²¹⁶
	Recuperação de peptídeos a partir de hidrolisado de proteína marinha de subproduto de caranguejo-da-neve	Sistema integrado de ED e UF	Canadá	2012	Doyen <i>et al.</i> ²¹⁷
		Sistema integrado de ED e UF	Canadá	2014	Suwal <i>et al.</i> ²¹⁸

Retenção de sais de efluente de cultivo de microalga para reuso in loco e tratamento do efluente	OI	Brasil	2018	Soster ²¹⁹
Recuperação de aromas marinhos de água residual de cozimento de frutos do mar	Sistema integrado de UF, NF e OI	França	2002	Vandanjon <i>et al.</i> ²²⁰

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 14 - Estudos com aplicação na indústria biotecnológica.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Produção de compostos com aplicação tecnológica alternativos aos oriundos de matérias-primas com maior custo ambiental de produção, como proteínas de ovo e de leite	Obtenção de extrato de ingredientes funcionais a partir de resíduo do processo de fermentação de <i>quorn</i>	UF	Reino Unido	2019	Lonchamp, Clegg e Euston ²²¹
		UF	Reino Unido	2019	Lonchamp <i>et al.</i> ²²²
Tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso	Purificação de lipases produzidas por fungo	UF	Brasil	2011	Menoncin ²²³

Concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas	UF	Brasil	2013	Moreira ^{196*}
Concentração e holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar	UF	Brasil	2015	Sciuto ^{197*}
Purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação	NF	Brasil	2018	Alves ^{198**}
Obtenção de pectinase produzida por microrganismo a partir de casca de maracujá-amarelo enquanto substrato	UF	Brasil	2014	Jaramillo ^{162***}
Alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados				
Concentração dos compostos de valor obtidos a partir de microrganismo	NF	Brasil	2013	Camelini <i>et al.</i> ²²⁴

*Citado também nas Tabelas 10 e 11. **Citado também na Tabela 10. ***Citado também na Tabela 8.

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 15 - Estudos com aplicação na indústria de carnes e derivados.

Processo sustentável	Aplicação	PSM	País	Ano	Referência
Obtenção de compostos de interesse e/ou água para reúso a partir de efluente, prevenindo seu descarte inadequado	Tratamento de efluentes de fazenda de criação e/ou abatedouro e/ou frigorífico	Sistema integrado de NF e OI	Alemanha	2000	Mavrov e Bélières ²²⁵
		UF	Canadá	2005	Fugère <i>et al.</i> ²²⁶
		UF	Brasil	2007	Matsumura ²²⁷
		Sistema integrado de MF e UF	Brasil	2015	Fappi ²²⁸
		Sistema integrado de MF e UF	Brasil	2019	Marchesi <i>et al.</i> ²²⁹
	Tratamento de sangue residual de abatedouro para obtenção de composto de valor				
		Sistema integrado de ED e UF	França	2020	Przybylski <i>et al.</i> ²³⁰

Fonte: elaborado pela autora.

6 DISCUSSÃO

As concentrações de estudos nos segmentos de laticínios⁵³⁻¹¹⁶ e sucos e bebidas¹¹⁷⁻¹⁶⁶ corroboram com o que Noble e Stern¹⁷ apresentaram em relação aos principais usos de membranas no processamento de alimentos, somando 62,9% dos estudos contemplados nesta revisão. A indústria de óleos contempla o terceiro segmento com mais pesquisas neste contexto,¹⁶⁷⁻¹⁹⁰ em especial no que tange à indústria processadora de azeite de oliva.^{167-182,187}

No período de 2008 a 2014 houve um crescimento progressivo de estudos com PSM em contextos sustentáveis nas indústrias de alimentos, com uma média de 11,1 estudos publicados por ano, demonstrando um aumento de 85% em relação à média de 6 publicações anuais no período de 2000 a 2007. Isso indica uma popularização deste contexto dentre as pesquisas acadêmicas realizadas na última década. Até 2007, a produção de pesquisas no segmento de sucos e bebidas era 26,7% superior à de pesquisas no segmento de laticínios; desde então, as pesquisas com PSM em contextos sustentáveis no segmento de laticínios alcançou um volume 60% superior ao segmento de sucos e bebidas. Em relação à indústria de óleos, as pesquisas neste segmento cresceram 280% no período de 2008 a 2014 em comparação ao período anterior, sendo que no período de 2015 a 2019 houve uma queda de 71,4% nestas pesquisas em comparação ao período de 2008 a 2014.

No período pré-pandêmico de 2015 a 2019 a média de estudos anuais dentre os vários setores caiu para 9,8, representando uma diminuição de 11,7% em relação à média de estudos publicados no período anterior de 2008 a 2014. No período que contempla a ocorrência da pandemia pelo novo coronavírus, de 2020 a meados de 2021ⁿ, percebe-se a drástica influência das medidas restritivas de isolamento social adotadas visando à contenção do seu contágio, uma vez que há somente 3 estudos publicados em 2020 e nenhum estudo publicado até meados de 2021.

A Europa destaca-se com uma importante representação dentre os estudos com PSM em contextos sustentáveis na indústria de alimentos, totalizando 45,5% dos estudos selecionados e 62,2% das publicações internacionais. A Itália lidera as publicações no segmento de sucos e bebidas^{118,119,128,130,131,136,140,142,150,151,159,161,163} em especial em relação à produção de sucos de frutas, além de também apresentar importante atuação no segmento de óleos com foco na produção de azeite de oliva.^{168,171,174,176,178,179,187} Os estudos oriundos da

ⁿ Considera-se como data limite a data em que foi realizada a busca de estudos para esta revisão; isto é, junho de 2021.

França,^{55,66,89,90,91,94,98} Turquia^{61,73,75,96,102} e Portugal^{59,67,77,78} destacam-se no segmento de laticínios, enquanto que a Espanha se distribui de forma aproximadamente equitativa entre as áreas de laticínios,^{64,71,99,101,105} produção de azeite de oliva^{172,173,175,181,182} e sucos e bebidas.^{154,155,160}

Dentre os países americanos, o Brasil tem significativa participação em publicações internacionais nas áreas de sucos e bebidas^{117,120,122,138,139,143} e laticínios.^{65,68,82,103,107} Em relação às publicações nacionais, os estudos também têm atribuído grande foco aos segmentos de sucos e bebidas^{123,125-127,147,132-135,137,144,145,152,153,158,164,165} e laticínios.^{57,58,62,69,72,74,76,79,85,86,92,95,104,106,115,116} Além disso, o Brasil é o país com maior contribuição de estudos na área da indústria sucroalcooleira dentre os estudos selecionados.^{191,192,194,195,198} Os Estados Unidos, por sua vez, desenvolvem pesquisas com PSM em contextos sustentáveis principalmente no segmento de laticínios,^{56,58,109-113} com foco em estudos com leite desnatado.¹⁰⁹⁻¹¹³

Os continentes asiático, oceânico e africano representaram a menor parcela de estudos contemplados nesta revisão, totalizando apenas 10,2% das publicações internacionais, sendo que 53,8% destas abordam o segmento de laticínios,^{60,70,80,93,100,108,114} enquanto que as demais estão vinculadas a matérias-primas e produtos próprios da região, como suco de maçã,¹⁴⁸ trigo,²⁰² vegetais,²¹⁵ óleo de palma^{183,184} e atum.²¹⁶

Os países com significativa quantidade de publicações na área de laticínios podem ter como motivação a maior presença dessa indústria em seu território, como é o caso da França, Estados Unidos e Brasil. A França constitui-se como uma grande exportadora de laticínios,²³¹ enquanto que os Estados Unidos caracterizam-se como o segundo maior produtor mundial de leite.²³²

No Brasil, a cadeia produtiva do leite configura-se como uma das principais atividades econômicas nacionais, além do país ocupar a posição de terceiro maior produtor mundial de leite,²³² sendo as regiões Sudeste e Sul, respectivamente, a primeira e a segunda maiores produtoras no país, somando cerca de 70% da produção nacional.²³³ Além disso, o Brasil compreende cerca de 60% das exportações mundiais de açúcar, o que pode explicar o interesse verificado neste país por estudos de PSM também no segmento sucroalcooleiro.²³⁴

Do mesmo modo, verifica-se uma relação entre países com pesquisas de PSM em contextos sustentáveis no segmento de sucos e bebidas e a sua oferta e/ou demanda por produtos correlatos, como os sucos de frutas. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), o comércio mundial de frutas alcançou o recorde de 7.7 milhões de

toneladas em 2019, com um crescente interesse apontado para as frutas tropicais.²³⁵ O Brasil configura-se como o terceiro maior produtor mundial de frutas, embora ainda apresente uma atuação global branda. Em relação ao consumo dessas matérias-primas, a União Europeia destaca-se como uma das principais importadoras.²³⁶

No que concerne à indústria de processamento de azeite de oliva, os países próximos ao mar Mediterrâneo como Itália, Espanha, Grécia e Turquia têm tradição na produção de azeite de oliva, compreendendo 97% da produção mundial, além de vivenciar uma crescente demanda mundial para este produto em razão das suas propriedades nutricionais, que têm atraído o interesse dos consumidores;^{37,174} esta característica industrial da região pode explicar a procedência de estudos neste segmento principalmente na Itália e na Espanha.

Outros segmentos abordados em menor quantidade pelas pesquisas com PSM em processos sustentáveis na indústria alimentícia compreendem as áreas de frutas e hortaliças para outras aplicações além do processamento de suco, sucroalcooleira, grãos e cereais, carnes e derivados, pescado e derivados e biotecnologia. Nos itens a seguir são discutidas as aplicações de PSM e seu caráter sustentável tanto nos principais segmentos de aplicação da indústria alimentícia quanto nos segmentos com aplicações minoritárias.

6.1 INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Os estudos contemplados na Tabela 7 estão categorizados em três principais processos sustentáveis, sendo estes: tratamento de resíduo para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor (A);⁵³⁻⁸⁸ tratamento de efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (B);⁸⁹⁻¹⁰⁸ e alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (C).¹⁰⁹⁻¹¹⁶

Os estudos da categoria A consistem em sua quase totalidade em tratamento de soro de leite residual, sendo essa a maior aplicação verificada para o segmento de laticínios (53,1%). Para essa aplicação, o PSM mais empregado foi UF de forma isolada^{58,67,69,72,77,78} ou integrada com processos de NF;^{54,70,84,87} ED;^{62,86} DF;^{68,71,74} OI;^{75,81} e em sistema com NF e OI.^{61,85} Alguns autores trabalharam com NF de forma isolada^{59,64,66} ou conjunta com os processos de OI⁵⁵ e DF.⁶³ Os processos de MF são verificados de forma isolada^{80,83} ou integrada a processos de UF,⁷⁹ NF⁸² e OI;⁸² e em sistemas com UF, NF e OI;⁵³ UF e OI;⁶⁵ OD e OI.⁷³ De forma minoritária verifica-se o uso de BRM com MF^{60,76} e o uso de OI integrado a

OD.⁷⁵ Ainda nessa categoria, encontra-se a aplicação de UF para tratamento do leite desnatado e da coalhada de soro de leite oriundo de queijo tipo cottage.⁸⁸

Em relação à categoria B, tem-se a aplicação de tratamento de águas residuais, que constitui 30,2% dos estudos neste segmento. Para estes estudos constata-se um maior uso de sistema integrado de NF e OI,^{89,90,91,107} seguido de uso de BRM com MF e NF^{95,103,104} e, de forma minoritária, BRM com UF.⁹⁶ São também empregados os processos isolados de UF,^{92,93,100} NF^{98,99,106} e OI^{94,101,105}, além de BRMAS,⁹⁷ MF em conjunto com biodegradação por microrganismo¹⁰⁸ e sistemas integrados de OD e DM¹⁰² e de DM e OI.¹⁰²

Na categoria C são encontradas aplicações de MF para concentração do leite desnatado¹⁰⁹⁻¹¹³ e esterilização do soro de leite de búfala,¹¹⁶ concentração de leite desnatado e soro de leite em pó reconstituído com DM¹¹⁴ e obtenção de concentrado proteico de leite de cabra com UF.¹¹⁵

O uso de MF para separação de bactérias é descrito por Baker¹⁵ e Noble e Stern,¹⁷ o que corrobora com a sua aplicação para fins de tratamento de águas residuais e esterilização de soro de leite. O emprego majoritário de UF para tratamento do soro de leite residual tem relação com a retenção de moléculas de tamanho semelhante ao de proteínas e colóides,^{14,15} tendo como principal aplicação a purificação de proteínas do leite.¹⁷ Noble e Stern¹⁷ demonstram também o uso de MF e UF para a concentração e separação dos subprodutos do leite. Os processos de NF, por sua vez, estão principalmente vinculados à desmineralização do soro residual¹⁸ e dessalinização de permeados de proteína do soro residual.^{12,17}

O uso de OI para tratamento de águas residuais a fim de viabilizar seu reúso e obtenção de compostos de interesse confirma o que é descrito por Toledo¹³ e Baker,¹⁵ bem como na pré-concentração do leite ou do soro residual.^{12,17} Os processos de ED encontram aplicação para a dessalinização do soro oriundo do processamento de queijo, desmineralização e desacidificação de leite.¹² A tecnologia de BRM para o tratamento de águas residuais foi descrita por Pabby, Rizvi e Sastre.²⁰

Para cada quilograma de queijo produzido, em média 10 litros de soro de leite são gerados.⁸⁶ O soro de queijo é um resíduo frequente na indústria de laticínios e comumente descartado de forma inadequada no meio ambiente,⁷³ o que acarreta em problemas ambientais uma vez que o soro é um poluente orgânico com altos valores de DBO e DQO;⁶⁰ o valor de DBO do soro oriundo da produção de queijo é cerca de 100 vezes superior ao de um esgoto doméstico, o que equivale ao poder poluente de uma população de 5000 habitantes.¹¹⁶ O

caráter poluente deste resíduo leva à eutrofização da água⁶⁶ e compromete a estrutura do solo.⁶⁰ Além disso, os processos usualmente empregados no seu tratamento têm alta demanda energética ou são ineficientes para atingir os limites determinados pelas legislações.¹⁰⁸

A indústria de laticínios consome uma grande quantidade de água e gera uma enorme quantidade de efluentes.¹⁰⁰ Em média, 2,5 L de águas residuais são gerados para cada litro de leite produzido. Processos como pasteurização, limpeza de equipamentos, processos UHT, resfriamento, dentre outros, são alguns dos processos envolvidos neste alto consumo de água¹⁰⁵, o que está vinculado à demanda por água de alta qualidade para execução destes processos.⁸¹ Além de envolverem uma elevada carga orgânica, as águas residuais da indústria de laticínios podem conter agentes químicos empregados em processos de limpeza, que se constituem como poluentes.⁷⁰ Seu tratamento viabiliza o seu reúso, diminuindo o consumo de água por este setor.^{55,103,106}

Em relação aos processos de concentração de leite por PSM, menciona-se a sua menor demanda energética em comparação a processos que empregam elevadas temperaturas, como é o caso do processo de evaporação.¹⁰⁹⁻¹¹³ Além disso, a esterilização por PSM também se configura como um processo energeticamente sustentável quando comparado ao convencional processo de pasteurização.⁸³ Neste sentido, os PSM constituem-se como uma tecnologia energeticamente eficiente e viabilizadora da execução dos processos sustentáveis descritos para este segmento.

6.2 INDÚSTRIA DE SUCOS E BEBIDAS

Na Tabela 8 encontram-se estudos divididos nas categorias de: alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (A);^{83,117-149} aproveitamento de resíduos por processo energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (B);¹⁵⁰⁻¹⁵³ e tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (C).¹⁵⁴⁻¹⁶⁶

A categoria A contempla processos de clarificação, esterilização, pré-concentração, concentração, clarificação e fracionamento de sucos e bebidas elaborados a partir de

^o A eutrofização consiste em um processo de poluição de corpos de água em função do acúmulo de nutrientes dissolvidos e acarreta na morte de espécies animais e vegetais em razão da diminuição dos níveis de oxigênio no meio, bem como no aumento de algas e cianobactérias, o que leva ao desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos.²³⁷

diferentes matérias-primas, correspondendo a 69,4% dos estudos neste segmento. São estudados os processos de clarificação e esterilização de suco de abacaxi;¹¹⁷ clarificação e concentração de suco de acerola¹²⁰ e de suco de açaí;¹³² clarificação e esterilização de água de coco verde;¹²⁵ clarificação de suco cítrico e de cenoura,¹¹⁸ caju,¹²³ laranja,¹²⁴ laranja-de-sangue,¹³¹ camu-camu,¹³⁵ kiwi,¹³⁶ maçã,¹⁴¹ xoconostle,¹⁴⁶ figo da Índia,¹³⁰ polpa/suco de maracujá,¹³⁷⁻¹³⁹ caldo de cana com ou sem polpa de maracujá,^{143,144} extrato de bagaço de beterraba,¹⁴⁵ bebida produzida a partir de soro de leite e suco de laranja⁸³ e cerveja artesanal;¹⁴⁷ concentração de suco de tomate,¹¹⁸ camu-camu,¹²² laranja,^{126,127} maçã,¹⁴⁸ uva¹²⁹ e tangerina;¹⁴⁰ concentração de suco de kiwi e recuperação de aromas;¹²⁸ concentração de compostos fenólicos em suco de laranja-de-sangue¹⁴² e maçã;¹⁴⁹ concentração/fracionamento de polpa de açaí;^{133,134} e pré-concentração do extrato de café para posterior secagem por *spray-drying*.¹²¹

Os estudos de clarificação utilizaram em sua maioria de processos de MF de forma isolada^{83,117,135,137-139,143,145,147} ou integrada a processos de OI,¹²³ UF,¹⁴² e evaporação osmótica.¹²⁴ Ainda para esta aplicação, foram avaliados processos de UF de forma isolada^{131,136,146} ou integrada a processos de OI e destilação osmótica,¹¹⁹ OD¹³⁰ e DM.¹⁴¹ Estudos que abordaram o processo de clarificação concomitantemente ao processo de concentração empregaram MF de forma integrada somente ao processo de OI¹³² ou aos processos combinados de UF e OI;¹²⁰ já a abordagem do processo de clarificação em conjunto ao processo de esterilização foi realizada a partir de sistema integrado de MF e UF.¹²⁵

No que se refere aos processos de concentração, verifica-se sobretudo o uso de OI de forma isolada^{126,129} ou integrada a processos de MF,¹¹⁸ evaporação osmótica,¹²² pervaporação por predição em software¹²⁷ e DM.¹⁴⁸ Tem-se também estudado esta aplicação a partir dos processos de UF de forma isolada¹⁴⁰ ou integrada à destilação osmótica.¹⁴² Para concentração e recuperação de aromas, estudou-se sistema integrado de UF, destilação osmótica e pervaporação.¹²⁸ Outros processos de concentração/fracionamento empregaram MF de forma isolada¹³³ ou integrada a processos de UF e NF.¹³⁴ O uso de NF foi estudado de forma isolada para os processos de pré-concentração de extratos¹²¹ e concentração de compostos fenólicos.¹⁴⁹

Em relação à categoria B, são encontrados estudos sobre clarificação e despectinização do suco residual de laranja-bergamota;¹⁵⁰ recuperação de compostos fenólicos de licor de laranja a partir de casca de laranja;¹⁵¹ obtenção de extrato aquoso de resíduo da colheita de erva-mate;¹⁵² e esterilização do extrato de caju obtido a partir do pedúnculo residual para obtenção de compostos de interesse.¹⁵³ Por fim, a categoria C está associada a

estudos de tratamento de águas residuais do processamento de vinho,¹⁵⁸⁻¹⁶⁰ suco cítrico,^{154,155} sucos de frutas,¹⁵⁶⁻¹⁵⁸ laranja¹⁶³ e abacaxi;¹⁶⁴ obtenção de pectinase produzida por microrganismo a partir de casca de maracujá-amarelo enquanto substrato;¹⁶² extração de compostos de interesse de efluente/bagaço do processamento do pedúnculo do caju¹⁶⁵ e do suco de maçã.¹⁶⁶

Para o processo de clarificação e despectinização, foi empregado sistema integrado de UF e NF,¹⁵⁰ enquanto que estudos sobre recuperação de compostos fenólicos de licor de laranja¹⁵¹ e obtenção de extrato aquoso de resíduo da colheita de erva-mate¹⁵² empregaram NF de forma isolada. Para esterilização de extrato de caju, trabalhou-se com MF.¹⁵³ Em relação ao tratamento de águas residuais, verificou-se o uso frequente de BRM, sem especificação do PSM envolvido¹⁶⁰ ou associado a processos de UF,^{158,161,164} NF,¹⁵⁶ MF¹⁵⁹ e sistema integrado de MF e NF.¹⁵⁷ Para esta aplicação foram também estudados os processos de MF¹⁶³ e OI.^{154,155} Quanto à extração de compostos de interesse de efluente/resíduo, usou-se MF¹⁶⁵ e UF.^{162,166}

O uso de MF para produção de água potável, esterilização e clarificação de cerveja e vinho foi descrito por Baker,¹⁵ o que pode explicar a frequência com que é empregado nos processos contemplados nos estudos da categoria A. Além disso, é também retratado o uso do processo de UF para clarificação de sucos de frutas, bem como para concentração e remoção de compostos de interesse.¹⁵ Em relação ao uso de BRM, Pabby, Rizvi e Sastre²⁰ descreveram sua frequente aplicação para o tratamento de águas residuais. Ademais, o uso da tecnologia de pervaporação para concentração de sucos e recuperação de compostos aromáticos também corrobora com o exposto por Baker.¹⁵ De acordo com Fellows,¹⁴ processo de OI é também verificado para concentração de aromas e extratos naturais, bem como concentração de sucos de frutas, conforme verificado nos estudos para estas aplicações.

Os PSM constituem-se como uma alternativa energeticamente eficiente aos processos de pré-concentração, concentração, clarificação e esterilização de sucos e bebidas quando comparados aos processos convencionais que demandam elevadas temperaturas,^{121,124,130,132,147} além de não envolverem o emprego de agentes químicos, o que poderia constituir um potencial poluente,^{134,143} representando uma importante tecnologia facilitadora da adoção de processos sustentáveis.

Nesse sentido, o aproveitamento de resíduos deste segmento para obtenção de compostos de interesse constitui-se como uma estratégia para minimizar o seu descarte inadequado, prevenindo uma potencial poluição ambiental em razão da elevada carga

orgânica que apresentam.^{150,163,166} Além disso, os efluentes deste segmento também se apresentam como uma fonte de carga orgânica concentrada, podendo contribuir para a degradação do meio ambiente quando descartados de forma não tratada, a partir do que se justifica a necessidade do seu tratamento.^{158,161} O vinho configura-se como um exemplo de produto cujo processamento origina estes resíduos e efluentes sendo que, na Europa, as águas residuais do seu processamento são frequentemente descartadas nas redes de esgoto.¹⁵⁹ Verifica-se a obtenção de água para reúso a partir deste segmento,^{155,157} o que também contribui para a diminuição da demanda por água potável verificada pela indústria de alimentos.

6.3 INDÚSTRIA DE ÓLEOS

A Tabela 9 compreende os estudos distribuídos nas categorias de tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (A);¹⁶⁷⁻¹⁸⁸ e alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (B).^{189,190}

Os estudos da categoria A compreendem 83,3% dos estudos para este segmento, sendo que o tratamento de águas residuais de processamento de azeite de oliva compõe o contexto de 80% dentre os estudos desta categoria.¹⁶⁷⁻¹⁸² Em relação ao tratamento de águas residuais do processamento de azeite de oliva, verifica-se um uso majoritário de sistemas integrados nesta aplicação, especialmente de processos de MF associados a processos de UF e OI;¹⁶⁸ UF e NF;¹⁷⁷⁻¹⁸² NF, OD e DM a vácuo;¹⁷¹ NF, destilação osmótica e emulsificação por membrana;¹⁷⁹ e NF.¹⁷⁶ De forma minoritária, cita-se os sistemas integrados de UF com NF e OI;^{167, 170, 175} NF;¹⁷⁴ e OI.¹⁸⁰ O uso de BRM é também constatado de forma associada aos processos de MF e UF.¹⁷⁸ O uso de sistemas isolados constitui a minoria dos estudos, sendo verificado o uso de UF,¹⁶⁹ NF¹⁸¹ e OI.^{172,173} Quanto ao tratamento de águas residuais do processamento de óleo de palma, tem-se a aplicação de UF para este fim.^{183,184} Na indústria de processamento de óleo de soja, verifica-se o uso de sistemas integrados de UF com MF¹⁸⁵ e NF¹⁸⁶ para tratamento de suas águas residuais.

Ainda nesta categoria, são estudados sistemas integrados de MF com UF, NF e OI na obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de resíduo de azeitona¹⁸⁷ e com UF e NF para obtenção de extratos ricos em ésteres de esteróis a partir de destilados de desodorização.¹⁸⁸ Por fim, na categoria B são abordados os processos de UF para refino do

óleo de soja¹⁸⁹ e NF para recuperação de solvente usado no processo de extração de óleo de soja.¹⁹⁰

O uso predominante de sistemas integrados com vários PSM para tratamento de águas residuais do processamento de azeite de oliva pode ter relação com a complexidade da matriz de compostos destes efluentes¹⁶⁸ em comparação às matrizes dos efluentes da produção dos óleos de palma e de soja, por exemplo, que foram estudados com processos isolados ou sistemas mais simples em comparação aos efluentes do processamento de azeite de oliva. A carga orgânica deste tipo de efluente é composta por açúcares, taninos, polifenóis, poliálcoois, pectinas e lipídios. Em relação à sua carga inorgânica, tem-se cloretos, cálcio, ferro, magnésio, cobre, sódio, sulfatos e sais fosfóricos de potássio e traços de outros elementos, sendo que estes elementos e compostos não podem ser destruídos por tratamentos físico-químicos convencionais.¹⁷³ A adoção de sistemas com o uso de sucessivos PSM possibilita contemplar a remoção de compostos de tamanhos e características diversas através do tratamento sequencial por diferentes PSM, promovendo uma separação mais eficiente e com menor tendência ao fenômeno de *fouling*.¹⁴

No mesmo sentido, a adoção de um sistema integrado complexo é verificada para a obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de resíduo de azeitona, enquanto que o estudo de obtenção de extratos ricos em ésteres de esteróis a partir de destilados de desodorização adotou um sistema integrado de menor complexidade, assim como se verifica com a aplicação de PSM isolados para o processamento do óleo de soja.

As águas residuais do processamento de azeite de oliva e de azeitona são ricas em compostos fenólicos, o que pode levar à formação de compostos fitotóxicos de difícil biodegradação quando seu descarte é feito de forma inadequada,^{176,181,187} como se verifica com frequência em áreas de cultivo. Estes compostos caracterizam-se também por serem altamente fermentáveis,¹⁶⁸ além de apresentar intenso odor, coloração violeta-escuro, pH ácido e alta toxicidade salina, incorrendo em altos valores de eletrocondutividade. Com isso, podem acarretar em contaminação do solo, vazamento subterrâneo e poluição de corpos de água.¹⁷⁵ Além disso, os processos usuais de tratamento para este efluente costumam envolver alta demanda energética e o uso de agentes químicos, o que também caracteriza um problema ambiental. Menciona-se também que o tratamento destes efluentes pode viabilizar a obtenção de água para reúso no processo produtivo.^{172,179} Foi demonstrado, por exemplo, que o tratamento de 1000 L de águas residuais do processamento de moinhos de azeitona possibilitou a recuperação 800 L de água e 1463 g de polifenóis.¹⁷⁹

Em relação ao processamento do óleo de soja, é importante destacar que o seu refino e o processo de recuperação de solventes de extração usualmente demandam alto consumo de energia e/ou água, tornando a adoção de PSM uma alternativa sustentável para essa aplicação.^{189,190} Para o processo de extração do óleo de palma verifica-se também um alto consumo de água, sendo que mais da metade deste consumo se converte em água residual. Além disso, esse efluente também se caracteriza por elevados valores de DBO e DQO, bem como conteúdo de óleo e graxa, sólidos totais e sólidos suspensos, fazendo com que seja necessário o seu tratamento para viabilizar um descarte ambientalmente seguro.¹⁸⁴ Diante do exposto, tem-se que os PSM constituem-se como uma importante ferramenta para o alcance de medidas sustentáveis no processamento deste segmento.

6.4 OUTROS SEGMENTOS INDUSTRIAIS

Alguns outros segmentos industriais são abordados nos estudos com PSM em contextos sustentáveis, como é o caso das indústrias sucroalcooleira,¹⁹¹⁻¹⁹⁹ de grãos e cereais,^{196,197,200-206} frutas e hortaliças,^{187,207-215} pescado e derivados;²¹⁶⁻²²⁰ biotecnológica;^{162,196-198,221-224} e de carnes e derivados.²²⁵⁻²³⁰ Estes estudos constam nas Tabelas 10, 11, 12, 13, 14 e 15, respectivamente

A primeira categoria abordada para a indústria sucroalcooleira diz respeito ao tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (A)¹⁹¹⁻¹⁹⁸ e alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (B).¹⁹⁹

Alguns estudos da categoria A deste segmento estão associados ao tratamento de vinhaça oriunda do processamento de caldo de cana-de-açúcar, onde foram empregados sistema integrado de MF e NF,¹⁹¹ BRM em associação ao processo de UF¹⁹² e MF de forma isolada.¹⁹³ Em outros estudos, são encontradas aplicações de sistema integrado de UF e NF para purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação;¹⁹⁴ UF para concentração de proteína e de extratos brutos a partir do bagaço de cana-de-açúcar,¹⁹⁵ concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas¹⁹⁶ e concentração de holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar;¹⁹⁷ e NF para purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação.¹⁹⁸ Por fim, encontra-se na categoria B a aplicação de OD para concentração de açúcar.¹⁹⁹

Em relação ao segmento de grãos e cereais, são abordadas as categorias de obtenção de compostos de interesse a partir de resíduos, prevenindo seu descarte inadequado, e/ou alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (A)^{196,197,200-204} e tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (B).^{205,206}

A categoria A para a indústria de grãos e cereais contempla aplicações de UF para obtenção de concentrado proteico de soja a partir de farinha de soja desengordurada,²⁰⁰ purificação de xilooligossacarídeos obtidos a partir de autohidrólise de casca de amêndoa,²⁰¹ concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas¹⁹⁶ e concentração de holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar.¹⁹⁷ A aplicação de sistema integrado de UF e NF é verificada para a reciclagem de celulase e concentração de glicose presente no hidrolisado lignocelulósico obtido de resíduo de trigo,²⁰² enquanto que a aplicação isolada de NF se dá nos estudos de concentração de compostos bioativos da soja²⁰³ e concentração de proteínas do soro oriundo da produção de tofu.²⁰⁴ Para a categoria B deste segmento, tem-se a aplicação de UF para o tratamento de águas residuais de produção de isolado proteico de soja²⁰⁵ e clarificação de águas residuais de nixtamalização para obtenção de compostos fenólicos.²⁰⁶

No segmento de frutas e hortaliças, verifica-se uma única categoria de obtenção de compostos de interesse e/ou água para reúso a partir de resíduo/efluente, prevenindo seu descarte inadequado.^{187,207-215} Menciona-se o uso de sistema integrado de MF, UF, NF e OI para obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de resíduo de alcachofra;¹⁸⁷ pervaporação para recuperação de compostos aromáticos de efluente de processamento de couve-flor;²⁰⁷ uso de processos de MF,²⁰⁸ BRM com UF,²⁰⁹ UF²¹⁰ e sistema integrado de MF, UF e OI²¹¹ para o tratamento de água residual em indústria processadora de horticultura; sistema integrado de UF e NF para fracionamento de águas residuais de processamento de alcachofra para obtenção de compostos de interesse;²¹² processos isolados de UF para concentração de amido cationizado produzido a partir de casca de batata rica em amido,²¹³ OI para produção de extrato rico em antioxidantes a partir de casca de bordo²¹⁴ e OD para concentração de liquor de vegetais.²¹⁵

Para o segmento de pescado e derivados, definiu-se uma única categoria como tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso.²¹⁶⁻²²⁰ É possível constatar um uso predominante de sistemas

integrados neste segmento, dentre os quais cita-se a aplicação conjunta de ED e UF para recuperação de peptídeos a partir de hidrolisado de proteína marinha de subproduto de caranguejo-da-neve^{217,218} e de UF, NF e OI para recuperação de aromas marinhos de água residual de cozimento de frutos do mar.²²⁰ Em relação ao uso de PSM isolados, tem-se a aplicação de UF para separação de proteases a partir de baço de atum amarelo²¹⁶ e OI para retenção de sais de efluente de cultivo de microalga para reuso *in loco* e tratamento do efluente.²¹⁹

No que se refere ao segmento biotecnológico, os estudos estão divididos em três categorias: produção de compostos com aplicação tecnológica alternativos aos oriundos de matérias-primas com maior custo ambiental de produção, como proteínas de ovo e de leite (A);^{221,222} tratamento de resíduo/efluente para viabilização do seu descarte e/ou obtenção de compostos de valor e/ou água para reúso (B);^{162,196-198,223} e alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais empregados (C).²²⁴

Para a categoria A foram aplicados processos isolados de UF para obtenção de extrato de ingredientes funcionais a partir de resíduo do processo de fermentação de *quorn*.^{221,222} Na categoria B verifica-se um uso prevaletente de processos isolados de UF para purificação de lipases produzidas por fungo,²²³ concentração do extrato bruto cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e casca de soja para separação das enzimas sintetizadas,¹⁹⁶ concentração de holocelulases produzidas por microrganismo a partir de substrato residual de casca de soja e de bagaço de cana de açúcar¹⁹⁷ e obtenção de pectinase produzida por microrganismo a partir de casca de maracujá-amarelo enquanto substrato.¹⁶² Ainda nesta categoria, tem-se também o uso de NF em uma única aplicação de purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar usado como substrato de fermentação.¹⁹⁸ Na categoria C é encontrada a aplicação de NF para concentração dos compostos de valor obtidos a partir de microrganismo.²²⁴

O último segmento abordado, referente à indústria de carnes e derivados, concentra uma única categoria de processo sustentável determinada como obtenção de compostos de interesse e/ou água para reúso a partir de efluente, prevenindo seu descarte inadequado.²²⁵⁻²³⁰ Para o tratamento de efluentes de fazenda de criação e/ou abatedouro e/ou frigorífico, são empregados de forma majoritária sistemas integrados de PSM, dentre os quais cita-se sistemas integrados de NF e OI²²⁵ e MF e UF.^{228,229} De forma isolada, foi estudado o processo de UF para esta mesma aplicação.^{226,227} Para o tratamento de sangue residual de abatedouro para obtenção de composto de valor, empregou-se sistema integrado de ED e UF.²³⁰

De forma geral, o emprego de MF dentre os diversos segmentos minoritários abordados pode estar principalmente associado com a remoção de carga microbiana,¹⁵ como se verifica para o tratamento de vinhaça e tratamento de águas residuais de outros segmentos, assim como em segmentos previamente abordados. Baker¹⁵ cita o seu uso para produção de água potável, o que pode configurar um dos objetivos da sua aplicação dentre estes setores. Em relação ao uso de UF, destaca-se a sua frequência para obtenção de proteínas, conforme é verificado com os concentrados proteico de soja, bagaço de cana-de-açúcar, lipases produzidas por fungos e proteases oriundas do baço de atum amarelo, dentre outros compostos. Este tipo de aplicação já havia sido descrito para os outros segmentos anteriormente abordados, e corrobora com o que é afirmado por Baker.¹⁵

O uso de NF também havia sido anteriormente descrito para a remoção/obtenção de compostos de menor peso molecular em relação a proteínas em outros segmentos industriais, e o mesmo pode ser verificado nos segmentos minoritários abordados neste tópico, como é o caso das aplicações de NF para purificação de xilitol produzido a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar, reciclagem de celulase, concentração de glicose e concentração de compostos bioativos da soja, por exemplo. Consta-se o uso de outros processos para obtenção de compostos de interesse, como no caso da aplicação de OD para concentração de licor de vegetais e açúcar, OI para recuperação de aromas marinhos e retenção de sais de efluente de cultivo de microalga, UF associada a ED para obtenção de peptídeo antibacteriano de caranguejo-da-neve, dentre outros. Além disso, o uso de BRM vinculado ao processo de UF para viabilização do descarte do vinhoto constitui-se como mais uma aplicação de tratamento de efluentes para esses processos.

Os PSM estão associados a diversas tratativas sustentáveis no que se refere aos segmentos industriais abordados neste tópico. O vinhoto ou vinhaça consiste em um efluente de destilação de mosto fermentado oriundo tanto da obtenção de bebidas alcoólicas destiladas quanto de etanol a partir do processamento de cana-de-açúcar, apresentando altos valores de DBO e DQO.^{191,192} Para cada litro de etanol produzido, cerca de 15 litros de vinhaça são gerados.¹⁹³ Este efluente está associado à acidificação do solo, geração de zonas de anaerobiose e contaminação de águas. Seu tratamento por PSM viabiliza a obtenção de um efluente com baixo teor de matéria orgânica e livre de sólidos suspensos, com pH neutro e menor tendência à acidificação.^{191,192} Em relação ao reúso de água, verificou-se que o efluente recuperado do processamento de frutas e hortaliças mostrou-se seguro para irrigação do sistema de cultivo.²¹⁰

Em relação ao processo de nixtamalização, frequente no México em função da sua elevada produção de milho, verifica-se também o tratamento de águas residuais para obtenção de compostos de valor.²⁰⁶ O aproveitamento de soja e de bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de compostos de valor enquanto substratos de fermentação são importantes incentivos de prevenção ao seu descarte.^{94,197,198} Outros subprodutos aproveitados para obtenção de compostos de interesse por PSM consistem nas cascas de amêndoa.²⁰¹

Efluentes de processamento de vegetais, como no caso de processamento de couve-flor, podem estar associados a compostos sulfurados com potencial poluente, dentre outros compostos orgânicos. O seu tratamento para obtenção de compostos aromáticos constitui uma alternativa preventiva ao seu descarte inadequado. Além disso, sua concentração por PSM possibilita uma substituição de processos com alta demanda energética.^{207,209,212,215} Verifica-se, também, a possibilidade de obtenção de água para reúso a partir deste segmento.²¹¹ O aproveitamento da casca de batata residual, que consiste entre 15 a 40% do total da batata processada, é outro exemplo de prevenção ao descarte prejudicial ao meio-ambiente, além de viabilizar a obtenção de um composto que pode ser usado para tratamento de efluentes.²¹³

Para o processamento de subprodutos de caranguejo-da-neve, destaca-se também a importância na destinação deste resíduo como forma de prevenir o seu descarte, o que comprometeria a segurança ambiental do local em questão.^{217,218} As águas residuais de outros frutos do mar, como camarões e moluscos, também podem ser tratadas por PSM para obtenção de compostos de interesse, como compostos aromáticos.²²⁰ Foi verificada também a obtenção de compostos de valor a partir de baço de atum amarelo.²¹⁶

O processo de produção de biomassa de microalgas gera um efluente com acúmulo de sais, demandando tratamento para viabilização do seu descarte. Este tratamento possibilita a obtenção de água para reúso e compostos de valor.²⁰⁶ O *quorn*, um produto que propõe ser um substituto ao consumo de carne, consiste em um produto de fermentação. Seu processamento acarreta na geração de um coproduto que se configura como uma potencial fonte alternativa de ingredientes funcionais para a indústria de alimentos em comparação àqueles oriundos de matérias-primas com maior impacto ambiental, como é o caso das proteínas de origem animal.^{221,222}

Águas residuais de abatedouros e frigoríficos também podem ser tratadas por PSM para obtenção de água para reúso, contribuindo para uma diminuição na demanda por água por este segmento,²²⁶⁻²²⁸ menciona-se que cerca de 26.5 L de água são gastos por ave em seu processamento, por exemplo.²²⁹ O sangue residual de abatedouros também apresenta alto

potencial poluente a partir da sua carga orgânica, sendo o seu aproveitamento para obtenção de compostos de valor a partir de PSM uma alternativa para prevenir o seu descarte.²³⁰

Em relação ao consumo de energia, destaca-se a aplicação de PSM para concentração de açúcar¹⁹⁹ e concentração de extrato de bordo, um resíduo do processamento do seu xarope,²¹⁴ como alternativa energeticamente eficiente em comparação aos processos convencionais de concentração. O uso de PSM para purificação de proteínas e compostos em geral produzidos por microrganismos também incorre em menor demanda energética, bem como menor emprego de agentes químicos.^{223,224} Para a extração de proteína de soja, frequentemente são também empregados processos com uso de agentes químicos e altas temperaturas, constituindo sua substituição por PSM como uma alternativa sustentável.²⁰⁰

6.5 O USO DE MEMBRANAS E A ECONOMIA CIRCULAR

Para além da obtenção de água para reúso previamente discutida, o aproveitamento de resíduos para obtenção de compostos de valor configura-se como um importante promotor da economia circular nas indústrias alimentícias. O soro oriundo da indústria de laticínios tem como principais componentes lactose, proteínas, peptídeos, oligossacarídeos e minerais, sendo estes compostos com potencial aplicação tecnológica,^{60, 77, 84, 86} como se verifica com seu uso na produção de sorvetes, iogurtes, ricota, dentre outros^{57,62} como ingredientes funcionais.⁹³ As propriedades funcionais e nutricionais de suas proteínas estão associadas à alta solubilidade, absorção de água, propriedades de emulsificação e gelatinização.⁶⁸ Além disso, as águas residuais de laticínios podem fornecer substrato para geração de bioenergia.⁷⁰

No segmento de sucos e bebidas, cita-se como exemplo o emprego de PSM para obtenção de compostos fenólicos a partir de suco residual de laranja-bergamota,¹⁵⁰ recuperação de compostos bioativos do bagaço de maçã¹⁶⁶ e obtenção de extrato de caju rico em carotenóides,¹⁵³ para aplicação enquanto corante natural amarelo.¹⁶⁵ As betalaínas oriundas do bagaço de beterraba apresentam alto teor nutritivo, podendo ser empregadas nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia.¹⁴⁵ A partir do processo de pré-concentração do extrato de café com PSM, é possível recircular no processo de extração o filtrado obtido.¹²¹ Os ramos residuais do processamento de erva-mate, por sua vez, são geralmente descartados no solo; estes resíduos também se constituem como fonte de compostos fenólicos.¹⁵²

Os compostos fenólicos presentes nos efluentes e resíduos oriundos do processamento de azeite de oliva e de azeitonas apresentam uma elevada concentração de

compostos de interesse, uma vez que estes compostos se constituem como antioxidantes naturais de amplo uso em diversos segmentos industriais.^{178,181,182,187} Cerca de 50 compostos fenólicos já foram identificados neste tipo de resíduo.¹⁸⁰ O processamento do óleo de palma também gera efluentes que carregam compostos de interesse cuja recuperação é viabilizada por PSM.¹⁸⁴ Para os resíduos e efluentes de soja, cita-se também a presença de compostos de interesse como lipídios, carboidratos, proteínas, saponinas, dentre outros.¹⁸⁶ Os destilados de desodorização da soja, por exemplo, são ricos em compostos bioativos como esteróis e tocoferóis.¹⁸⁸

Em relação ao processamento de cana-de-açúcar, verifica-se uma oportunidade de aproveitamento de compostos de alto valor agregado obtidos a partir de rotas metabólicas utilizando-se de bagaço residual. Dentre estes compostos, menciona-se o ácido felúrico e xilooligossacarídeos.¹⁹⁵ A casca de soja, em conjunto com o bagaço de cana-de-açúcar, são importantes substratos para processos de obtenção compostos de interesse por processos fermentativos, como de enzimas,¹⁹⁷ xilanases¹⁹⁶, e xilitol, que apresenta aplicações nas indústrias alimentícia e farmacêutica enquanto substituto de sacarose.^{194,198}

Resíduos da cadeia produtiva de soja têm se destacado em razão das propriedades funcionais atribuídas ao seu conteúdo de isoflavonas,²⁰³ tendo sido verificada a sua associação à prevenção de doenças cardiovasculares, osteoporose e alguns tipos de câncer.²⁰⁴ A partir do efluente do processo de nixtamalização, pode-se obter compostos fenólicos com aplicação industrial.²⁰⁶ As cascas de amêndoas configuram-se como fontes de xilano, um tipo de hemicelulose com potencial de aplicação nas indústrias alimentícia e farmacêutica enquanto adoçante de baixa caloria e biopolímero, por exemplo.²⁰¹

Águas residuais de processamento de alcachofra também se constituem como fontes de compostos fenólicos de aplicação industrial.²¹² A concentração de amido cationizado a partir da casca da batata tem importante aplicação industrial, como se verifica para a remoção de íons sulfato de efluente industrial.²¹³ O extrato residual de bordo é fonte de antioxidantes, compostos fenólicos, proteínas e açúcares.²¹⁴

Os subprodutos de processamento de caranguejo-da-neve e sangue residual de abatedouros constituem-se como fontes de peptídeos antibacterianos e/ou antioxidantes.^{217,230} Os hidrolisados proteicos oriundos de subproduto de caranguejo-da-neve também estão associados a características imunomodulatórias, antihipertensivas, anticancerígenas, antioxidantes e antiobesidade, encontrando importante aplicação em alimentos funcionais.²¹⁸ A partir do baço de atum, é possível obter as proteases tripsina e quimotripsina, que encontram aplicação na indústria de alimentos para produção de hidrolisados proteicos,

remoção de ossos, processos de clarificação e fermentação, amaciamento da carne, dentre outros.²¹⁶ Efluentes de processamento de couve-flor²⁰⁷ e de cozimento de frutos do mar²¹⁹ mostraram-se como fontes para extração de compostos aromáticos.

O aproveitamento do coproduto de *quorn* para obtenção de concentrado proteico também se constitui como um processo promotor da economia circular na indústria biotecnológica.^{221,222} Além disso, a partir dos efluentes de produção de biomassa de microalga, é possível obter a recuperação de nutrientes não consumidos no metabolismo microbiano.²¹⁹

Pode-se inferir que a aplicação de PSM dentre os diversos segmentos abordados das indústrias alimentícias viabilizou não somente a adequação de resíduos e efluentes a um descarte ambientalmente seguro em função da diminuição de suas cargas microbiológica, orgânica e inorgânica, como também o aproveitamento deste conteúdo para a obtenção de compostos de valor agregado com ampla aplicação industrial em razão de suas características tecnológicas e nutricionais, além da própria viabilização de obtenção de água para reúso previamente discutida. Diante do exposto, os PSM aplicados a processos sustentáveis nas indústrias de alimentos culminam com a implementação de um sistema de economia circular onde o descarte de resíduos e efluentes é mínimo em razão do seu aproveitamento para reinserção na cadeia produtiva.

6.6 PERSPECTIVAS E TENDÊNCIAS

O Brasil apresenta potencial para se tornar um dos maiores exportadores mundiais de laticínios; seu maior desafio frente ao alcance do mercado internacional consiste na agregação de valor aos produtos e implementação de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis.¹⁰⁴ As principais técnicas empregadas para o tratamento de efluentes envolvem alta demanda de área, alto custo e desempenham baixa eficiência, o que frequentemente acarreta em obtenção de efluentes e/ou resíduos não conformes com os padrões exigidos para descarte pelos órgãos ambientais.⁹⁵ Neste sentido, a implementação de sistemas com PSM neste segmento mostra-se como uma ferramenta oportuna para impulsionar melhores práticas industriais e maior conquista do mercado internacional.

Além do caráter sustentável na adoção dos PSM discutidos, menciona-se a vantagem tecnológica em relação à manutenção das propriedades nutricionais - como minerais, vitaminas e compostos fenólicos - e sensoriais das matérias-primas submetidas a PSM, em

razão desta tecnologia não empregar altas temperaturas, o que pode atrair o interesse de indústrias processadoras visando a produção de alimentos e bebidas com valor agregado, a partir de qualidades nutricional e sensorial superiores.^{118,125,132,133,136,141,143} Os PSM também prometem ser uma alternativa para a viabilização da extração e uso seguro de esteróis e tocoferóis oriundos do destilado de desodorização do óleo de soja, uma vez que seu uso direto é inviável por conta do alto teor de pesticidas associado ao resíduo.¹⁸⁸

O tratamento de águas residuais do processamento por PSM torna-se também uma alternativa à construção de lagoas artificiais para este propósito, que estão associadas à possibilidade de poluição por vazamento, incorrendo em atração de pragas, contaminação atmosférica, dentre outros. Além disso, possíveis custos adicionais envolvidos com a tecnologia de membranas podem ser justificados pelos ganhos alcançados com a obtenção de compostos de interesse,¹⁸¹ uma vez que muitos produtores não investem no tratamento de resíduos por esta razão.¹⁶⁷

A purificação de proteínas por PSM constitui uma alternativa mais econômica aos processos convencionais de purificação, além de atingir alta produtividade com razoável grau de pureza.²²⁰ Menciona-se também a vantagem de economia de espaço físico associada à implementação de PSM, como se verifica quando comparado ao espaço físico que ocupam digestores aeróbicos e anaeróbicos empregados para tratamento de efluentes.²⁰⁵

Em relação às matérias-primas mais processadas no país, menciona-se que o bagaço da cana-de-açúcar constitui a maior parcela de resíduos lignocelulósicos no Brasil, enquanto que a casca de soja é o principal subproduto de indústrias processadoras dessa semente.¹⁹⁶ O bagaço de cana-de-açúcar é frequentemente destinado ao abastecimento de caldeiras para geração de energia elétrica; o seu aproveitamento para obtenção de compostos de valor a partir de processos biotecnológicos mostra-se como uma oportunidade a ser explorada no sentido de se alcançar uma cadeia produtiva com maior valor econômico.¹⁹⁵ Sendo assim, identifica-se uma oportunidade para conversão de um grande volume de resíduos nacionais em compostos de alto valor agregado por intermédio dos PSM, fomentando a economia nestes segmentos industriais.¹⁹⁶

Dessa forma, é possível vislumbrar uma perspectiva de crescimento no interesse de implementação dos PSM nas indústrias de alimentos no sentido de consolidar este setor a partir de práticas sustentáveis em uma cadeia produtiva com mínima geração de resíduos e aproveitamento máximo de recursos, fomentando o seu desenvolvimento econômico a partir da exploração de resíduos até então não aproveitados integralmente, bem como a partir da

produção de alimentos e bebidas nutricional e sensorialmente superiores àqueles obtidos por sistemas convencionais de produção.

6.7 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA

Não foram empregados na estratégia de busca descritores relativos a outros processos de separação por membranas, como eletrodialise, pervaporação e destilação de membranas, o que pode ter reduzido a quantidade de estudos retornados a partir das buscas realizadas. Além disso, em função da disponibilidade de tempo das quatro revisoras envolvidas na primeira etapa de seleção de estudos, a segunda etapa foi realizada somente por duas das revisoras (J.A.T.; K.R.), sendo a leitura das listas de referências realizada por apenas uma destas revisoras (J.A.T.) e a validação desta seleção pela segunda revisora (K.R.). Desta forma, a segunda etapa de seleção foi condicionada primeiramente ao julgamento individual de uma das revisoras (J.A.T.) e posteriormente à validação de apenas outra revisora (K.R.), o que pode ter comprometido a totalidade de estudos válidos para inclusão pela não participação das quatro revisoras em todas as etapas de seleção de estudos.

Por fim, a etapa de análise de qualidade dos estudos selecionados descrita na metodologia de Toronto e Remington⁴⁸ não foi realizada em função da dificuldade de identificação de uma ferramenta de análise adequada para o contexto e a estrutura propostos para esta revisão, bem como em razão do tempo requerido para a realização desta análise para cada um dos estudos selecionados, o que demandaria um comprometimento de tempo muito superior ao disponível para realização deste trabalho.

7 CONCLUSÃO

O uso de membranas para aplicações sustentáveis em diversos segmentos das indústrias alimentícias tem conquistado crescente interesse no campo da pesquisa no decorrer das últimas duas décadas, sendo o processamento de laticínios, sucos e bebidas e óleos, respectivamente, os segmentos com maior volume de publicações no período avaliado. Neste sentido, verifica-se uma associação entre os segmentos mais explorados e os países com maior produção no segmento em questão em relação à concentração de publicações, a partir do que se tem como exemplo as publicações no segmento de óleos com foco na produção de azeite de oliva para a Itália, dentre outros países próximos ao mar Mediterrâneo; laticínios para a França, Estados Unidos e Brasil; além das publicações nos segmentos de sucos e bebidas e indústria sucroalcooleira para o Brasil. A Itália tem também importante representatividade no segmento de sucos e bebidas, o que pode estar associado com o grande volume de importação de frutas pelo continente europeu.

Os processos sustentáveis nas indústrias de alimentos viabilizados pelo uso de membranas estão associados ao tratamento de resíduos e efluentes com elevada carga orgânica, assim como teor de matéria inorgânica prejudicial ao meio ambiente, a fim de adequar o seu descarte seguro, bem como para obtenção de compostos de valor e água para reúso. Além disso, configurarem-se enquanto processos substitutos àqueles que usualmente empregam altas temperaturas e agentes químicos com potencial poluente. Em geral, os processos empregados para as diferentes aplicações específicas corroboraram com aqueles indicados na literatura científica de referência. Através desta revisão, foi possível elucidar quais têm sido os PSM empregados em processos com caráter sustentável nas indústrias de alimentos.

A abordagem de diversos estudos no sentido de obtenção de água para reúso e extração de compostos de interesse indicam o forte potencial de aplicação de PSM para implementação de um sistema de economia circular. Em função da pluralidade de compostos de interesses presentes nos resíduos e efluentes dentre os diversos segmentos da indústria de alimentos, como proteínas, compostos fenólicos, carboidratos e sais, dentre outros, aponta-se como tendência o direcionamento dos PSM para a obtenção desses compostos de interesse como forma de não somente adequar os subprodutos ao seu descarte legal, mas também agregar valor à cadeia produtiva como um todo, o que se soma às vantagens de obtenção de produtos nutricionais e sensorialmente superiores, segurança ambiental e menores custos de processo verificadas em relação aos PSM. Pesquisas no sentido de avaliar e desenvolver a

viabilidade de aplicação destes processos para as diferentes dimensões de plantas industriais devem ser incentivadas, a fim de promover uma adoção cada vez maior destes processos a nível industrial.

Por fim, a partir da diminuição de consumo energético e, por consequência, menor emissão de GEE, redução no consumo de água potável viabilizado pela obtenção de água para reuso, prevenção de descarte de resíduos e agentes químicos com alto potencial poluente, bem como o seu aproveitamento para fomento do valor econômico associado às diferentes cadeias produtivas neste setor industrial, as indústrias de alimentos podem utilizar dos PSM como ferramenta para a construção de um futuro sustentável pautado na economia circular. Dessa forma, é possível dar continuidade ao seu importante papel enquanto fornecedora de uma alimentação segura e de qualidade à sociedade de forma concomitante à preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 1 - LANG, Tim; BARLING, David. Nutrition and sustainability: an emerging food policy discourse. **Proceedings of the Nutrition Society**, [S.L.], v. 72, n. 1, p. 1-12, 10 dez. 2012. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s002966511200290x>.
- 2 - LODIN, Gabriella; SVENSSON, Rebecka. **Sustainable Innovation in Supply Chain Management within the Food Industry**: "by knowing we can suddenly act more proactively". 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Business Administration, Linnaeus University, Växjö, 2020.
- 3 - UNITED NATIONS. **IPCC report: 'Code red' for human driven global heating, warns UN chief**. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2021/08/1097362>>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- 4 - SAGAN, Carl. **Pale blue dot**: a vision of the human future in space. 2. ed. Nova Iorque: Ballantine Books, 1997. 384 p.
- 5 - GOOT, Atze Jan van Der; PELGROM, Pascale J.M.; BERGHOUT, Jacqueline A.M.; GEERTS, Marlies E.J.; JANKOWIAK, Lena; HARDT, Nicolas A.; KEIJER, Jaap; SCHUTYSER, Maarten A.I.; NIKIFORIDIS, Constantinos V.; BOOM, Remko M.. Concepts for further sustainable production of foods. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 168, p. 42-51, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.010>.
- 6 - RAD, Salimeh Jabbari; LEWIS, Michael John. Water utilisation, energy utilisation and waste water management in the dairy industry: a review. **International Journal of Dairy Technology**, [S.L.], v. 67, n. 1, p. 1-20, 28 dez. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1471-0307.12096>.
- 7 - MIRABELLA, Nadia; CASTELLANI, Valentina; SALA, Serenella. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 65, p. 28-41, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>.
- 8 - LEE, Jung-Kul; PATEL, Sanjay Kumar Singh; SUNG, Bong Hyun; KALIA, Vipin Chandra. Biomolecules from municipal and food industry wastes: an overview. **Bioresourc Technology**, [S.L.], v. 298, n. 122346, p. 1-12, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122346>.
- 9 - NAJAFZADEH, Mohammad; GHAEMI, Alireza. Prediction of the five-day biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand in natural streams using machine learning methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.L.], v. 191, n. 6, p. 1-21, 19 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7446-8>.
- 10 - UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Agenda**. Disponível em: <www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>. Acesso em: 09 ago. 2021.

- 11 - KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.L.], v. 127, p. 221-232, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- 12 - POULIOT, Yves; CONWAY, Valérie; LECLERC, Pierre-Louis. Separation and Concentration Technologies in Food Processing. In: CLARK, Stephanie; JUNG, Stephanie; LAMSAL, Buddhi. **Food Processing: principles and applications**. 2. ed. [S.L.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2014. p. 46-58.
- 13 - TOLEDO, Romeo T. **Fundamentals of Food Process Engineering**. 3. ed. Athens: Springer Science, 2007. 585 p.
- 14 - FELLOWS, P. **Food Processing Technology: principles and practice**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. 575 p.
- 15 - BAKER, Richard W. **Membrane Technology and Applications**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 545 p.
- 16 - MILLET, P. Hydrogen production by polymer electrolyte membrane water electrolysis. **Compendium of Hydrogen Energy**, 255–286. 2015. doi:10.1016/b978-1-78242-361-4.00009-1
- 17 - NOBLE, Richard D.; STERN, S. Alexander. **Membrane separations technology: principles and applications**. Elsevier Science: Elsevier Science, 1995. 730 p.
- 18 - LI, Norman N.; FANE, Anthony G.; HO, W. S. Winston; MATSUURA, Takeshi. **Advanced membrane technology and applications**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 994 p.
- 19 - ZHANG, Feilong; FAN, Jun-Bing; WANG, Shutao. Interfacial polymerization: from chemistry to functional materials. **Angewandte Chemie**, [S.L.], v. 132, n. 49, p. 22024-22041, 9 set. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ange.201916473>.
- 20 - PABBY, Anil K.; RIZVI, Syed S. H.; SASTRE, Ana Maria. **Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food and biotechnological applications**. Boca Raton: Crc Press, 2009. 1164 p.
- 21 - SUWAILEH, Wafa; PATHAK, Nirenkumar; SHON, Hokyong; HILAL, Nidal. Forward osmosis membranes and processes: a comprehensive review of research trends and future outlook. **Desalination**, [S.L.], v. 485, p. 114455, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114455>.
- 22 - HABERT, Alberto Cláudio; BORGES, Cristiano Piacsek; NOBREGA, Ronaldo. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2006. 180 p.
- 23 - DRIOLI, Enrico; STANKIEWICZ, Andrzej I.; MACEDONIO, Francesca. Membrane engineering in process intensification—An overview. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 380, n. 1-2, p. 1-8, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2011.06.043>.

- 24 - TURNER, Greg. Evolution of membrane application for industrial recycling. **Desalination and Water Treatment**, [S.L.], v. 51, n. 25-27, p. 4817-4820, jul. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.809642>.
- 25 - OJAJUNI, Oluwatosin; SAROJ, Devendra; CAVALLI, Gabriel. Removal of organic micropollutants using membrane-assisted processes: a review of recent progress. **Environmental Technology Reviews**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 17-37, 1 jan. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/21622515.2015.1036788>.
- 26 - YUAN, Heyang; HE, Zhen. Integrating membrane filtration into bioelectrochemical systems as next generation energy-efficient wastewater treatment technologies for water reclamation: a review. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 195, p. 202-209, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.058>.
- 27 - TONGWEN, Xu. Electrodialysis processes with bipolar membranes (EDBM) in environmental protection: a review. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l], v. 37, p. 1-22, jan. 2002.
- 28 - DRIOLI, E.; PROFIO, G. di; CURCIO, E.. Hybrid membrane operations in water desalination and industrial process rationalisation. **Water Science and Technology**, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 293-304, 2005.
- 29 - LI, Jing; CHASE, Howard A.. Applications of membrane techniques for purification of natural products. **Biotechnology Letters**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 601-608, 5 jan. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10529-009-0199-7>.
- 30 - HE, Yi; BAGLEY, David M.; LEUNG, Kam Tin; LISS, Steven N.; LIAO, Bao-Qiang. Recent advances in membrane technologies for biorefining and bioenergy production. **Biotechnology Advances**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 817-858, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.01.015>.
- 31 - BRANS, G.; SCHROËN, C.G.P.H.; SMAN, R.G.M. van Der; BOOM, R.M.. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 243, n. 1-2, p. 263-272, nov. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.029>.
- 32 - AGUERO, R.; BRINGAS, E.; ROMÁN, M.F. San; ORTIZ, I.; IBÁÑEZ, R.. Membrane Processes for Whey Proteins Separation and Purification. A Review. **Current Organic Chemistry**, [S.L.], v. 21, n. 17, p. 1740-1752, 30 ago. 2017. Bentham Science Publishers Ltd.. <http://dx.doi.org/10.2174/1385272820666160927122523>.
- 33 - LE, Thien Trung; CABALTICA, Angeli D.; BUI, Van Mien. Membrane separations in dairy processing. **Journal of Food Research and Technology**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1-14, fev. 2014.
- 34 - JIAO, B.; CASSANO, A.; DRIOLI, E.. Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 63, n. 3, p. 303-324, ago. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.003>.

35 - TOFFEL, Fernanda; MOREIRA, Angelita da Silveira. Aplicação de micro e ultrafiltração no processamento de sucos de fruta: revisão. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 31, n. 2, p. 321-336, dez. 2013.

36 - CONIDI, Carmela; CASTRO-MUÑOZ, Roberto; CASSANO, Alfredo. Membrane-Based Operations in the Fruit Juice Processing Industry: a review. **Beverages**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 18, 16 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/beverages6010018>.

37 - OCHANDO-PULIDO, Javier; MARTINEZ-FEREZ, Antonio. On the Recent Use of Membrane Technology for Olive Mill Wastewater Purification. **Membranes**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 513-531, 28 set. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes5040513>.

38 - MUDIMU, Ompe Aime; PETERS, Martin; BRAUNER, Florian; BRAUN, Gerd. Overview of membrane processes for the recovery of polyphenols from olive mill wastewater olive mill wastewater. **American Journal of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 195-201, 2012.

39 - RAJENDRAN, Subin R. C. K.; MASON, Beth; DOUCETTE, Alan A.. Review of Membrane Separation Models and Technologies: processing complex food-based biomolecular fractions. **Food and Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 415-428, 2 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-020-02559-x>.

40 - AIDER, Mohammed; HALLEUX, Damien de; BAZINET, Laurent. Potential of continuous electrophoresis without and with porous membranes (CEPM) in the bio-food industry: review. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], v. 19, n. 7, p. 351-362, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.12.008>.

41 - CHARCOSSET, Catherine. Membrane processes in biotechnology: an overview. **Biotechnology Advances**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 482-492, set. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.002>.

42 - CASTRO-MUÑOZ, Roberto; BARRAGÁN-HUERTA, Blanca E.; FÍLA, Vlastimil; DENIS, Pierre Charles; RUBY-FIGUEROA, René. Current Role of Membrane Technology: from the treatment of agro-industrial by-products up to the valorization of valuable compounds. **Waste and Biomass Valorization**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 513-529, 3 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-0003-1>.

43 - CASTRO-MUÑOZ, Roberto; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, Jorge; FÍLA, Vlastimil. Phenolic compounds recovered from agro-food by-products using membrane technologies: an overview. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 213, p. 753-762, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.030>.

44 - DAUFIN, G.; ESCUDIER, J.-P.; CARRÈRE, H.; BÉROT, S.; FILLAUDEAU, L.; DECLoux, M.. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. **Food and Bioproducts Processing**: Transactions of The Institution of Chemical Engineers, Part C, [S.L.], v. 79, p. 1-14, jun. 2001.

- 45 - CASTRO-MUÑOZ, Roberto; FÍLA, Vlastimil; RODRÍGUEZ-ROMERO, Víctor M.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, Jorge. Water production from food processing wastewaters using integrated membrane systems: a sustainable approach. **Tecnología y Ciencias del Agua**, [S.L.], v. 08, n. 6, p. 129-136, 24 nov. 2017. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-09>.
- 46 - NAZIR, Akmal; KHAN, Kashif; MAAN, Abid; ZIA, Rabia; GIORNO, Lidietta; SCHROËN, Karin. Membrane separation technology for the recovery of nutraceuticals from food industrial streams. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], v. 86, p. 426-438, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.049>.
- 47 - SANT'ANNA, Voltaire; MARCZAK, Ligia Damasceno Ferreira; TESSARO, Isabel Cristina. Membrane concentration of liquid foods by forward osmosis: process and quality view. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 111, n. 3, p. 483-489, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.032>.
- 48 - TORONTO, Coleen E.; REMINGTON, Ruth. **A Step-by-Step Guide to Conducting an Integrative Review**. [S.L.]: Springer, 2020. 114 f.
- 49 – OUZZANI, Mourad; HAMMADY, Hossam; FEDOROWICZ, Zbys; ELMAGARMID, AHMED. Elmagarmid. **Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews**. *Systematic Reviews* (2016) 5:210, DOI: 10.1186/s13643-016-0384-4.. Acesso em: 17 jul. 2021.
- 50 – **Mendeley Desktop**. Version 1.19.8. [S.I]: Mendeley Ltd, 2020. Instalador gratuito disponível em < <https://desktop-download.mendeley.com/download/Mendeley-Desktop-1.19.8-win32.exe>>. Acesso em: 10 out. 2020.
- 51 - SUNDQVIST-ANDBERG, Henna; ÅKERMAN, Maria. Sustainability governance and contested plastic food packaging – An integrative review. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 306, p. 127111, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127111>.
- 52 – **Microsoft Office Professional Plus**: Microsoft Excel. Version 16.0.14228.20226. [S.I]: Microsoft Corporation, 2016. 1 CD-ROM.
- 53 - REKTOR, Attila; VATAI, Gyula. Membrane filtration of Mozzarella whey. **Desalination**, [S.L.], v. 162, p. 279-286, jan. 2004.
- 54 - ATRA, Ramadan; VATAI, Gyula; BEKASSY-MOLNAR, Erika; BALINT, Agnes. Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 67, n. 3, p. 325-332, abr. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.035>.
- 55 - 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 and Purification Technology**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 195-200, mar. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2004.07.013>.
- 56 - LI, Yebo; SHAHBAZI, Abolghasem; KADZERE, Charles T.. Separation of cells and proteins from fermentation broth using ultrafiltration. **Journal of Food Engineering**, [S.L.],

v. 75, n. 4, p. 574-580, ago. 2006. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.045>.

57 - FRANCO, Regivânia Lima de Meneses. **Recuperação e concentração das proteínas do soro de leite das queijarias do município de nossa senhora de lourdes/sergipe visando o desenvolvimento sustentável da região**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2006.

58 - PRUDÊNCIO, Elane Schwinden; MAGENIS, Renata Bongioiolo; FALCÃO, Leila Denise; BORDIGNON-LUIZ, Marilde T.. Comportamento do leite de búfala (*Bubalus bubalis*) desnatado e pasteurizado durante o processo de ultrafiltração. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 99-114, 30 jun. 2006. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v24i1.5292>

59 - MINHALMA, Miguel; MAGUEIJO, Vítor; QUEIROZ, Denise P.; PINHO, Maria Norberta de. Optimization of “Serpa” cheese whey nanofiltration for effluent minimization and by-products recovery. *Journal of Environmental Management*, [S.L.], v. 82, n. 2, p. 200-206, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.011>.

60 - SADDODUD, Ahlem; HASSAÏRI, Ilem; SAYADI, Sami. Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 98, n. 11, p. 2102-2108, ago. 2007. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.013>.

61 - YORGUN, M.S.; BALCIOGLU, I. Akmehmet; SAYGIN, O.. Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, [S.L.], v. 229, n. 1-3, p. 204-216, set. 2008. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.09.008>.

62 - BALDASSO, Camila; TESSARO, Isabel Cristina; RUVIER, Gabriel Schmitt. Desmineralização do soro de leite através da eletrodialise. **Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UFRGS - VIII-Oktoberforum – PPGEQ**, [s. l.], p. 1-6, out. 2009.

63 - ROMÁN, Andrés; WANG, Jianming; CSANÁDI, József; HODÖR, Cecília; VATAI, Gyula. Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. *Desalination*, [S.L.], v. 241, n. 1-3, p. 288-295, maio 2009. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.054>.

64 - CUARTAS-URIBE, B.; ALCAINA-MIRANDA, M.I.; SORIANO-COSTA, E.; MENDOZA-ROCA, J.A.; IBORRA-CLAR, M.I.; LORA-GARCÍA, J.. A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*, [S.L.], v. 241, n. 1-3, p. 244-255, maio 2009. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.086>.

65 - SOUZA, Rosane Rosa de; BERGAMASCO, Rosângela; COSTA, Sílvio Cláudio da; FENG, Xianshe; FARIA, Sergio Henrique Bernardo; GIMENES, Marcelino Luiz. Recovery and purification of lactose from whey. **Chemical Engineering and Processing: Process**

Intensification, [S.L.], v. 49, n. 11, p. 1137-1143, nov. 2010. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.015>.

66 - LUO, Jianquan; DING, Luhui; WAN, Yinhua; PAULLIER, Patrick; JAFFRIN, Michel Y.. Application of NF-RDM (nanofiltration rotating disk membrane) module under extreme hydraulic conditions for the treatment of dairy wastewater. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 163, n. 3, p. 307-316, out. 2010. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.08.007>.

67 - MACEDO, Antonia; DUARTE, Elizabeth; PINHO, Maria. The role of concentration polarization in ultrafiltration of ovine cheese whey. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 381, n. 1-2, p. 34-40, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2011.07.012>.

68 - BALDASSO, C.; BARROS, T.C.; TESSARO, I.C.. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, [S.L.], v. 278, n. 1-3, p. 381-386, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.055>.

69 - LEINDECKER, Gisele Cristina. **Separação das proteínas do soro do leite in natura por ultrafiltração**. 2011. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

70 - LUO, Jianquan; DING, Luhui; QI, Benkun; JAFFRIN, Michel Y.; WAN, Yinhua. A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 102, n. 16, p. 7437-7442, ago. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.012>.

71 - SANMARTÍN, Beatriz; DÍAZ, Olga; RODRÍGUEZ-TURIENZO, Laura; COBOS, Angel. Composition of caprine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese whey. **Small Ruminant Research**, [S.L.], v. 105, n. 1-3, p. 186-192, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.020>.

72 - CORRÊA, Ana Paula Folmer. **Obtenção de peptídeos bioativos a partir da hidrólise enzimática de caseinato ovino e soro de queijo ovino**. 2013. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013

73 - AYDINER, Coskun; TOPCU, Semra; TORTOP, Caner; KUVVET, Ferihan; EKINCI, Didem; DIZGE, Nadir; KESKINLER, Bulent. A novel implementation of water recovery from whey: \therefore forward \therefore :reverse osmosis \therefore :integrated membrane system. **Desalination and Water Treatment**, [S.L.], v. 51, n. 4-6, p. 786-799, jan. 2013. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2012.693713>.

74 - MARQUES, Diego Isaias Dias. **Obtenção de concentrados do soro do leite caprino por ultrafiltração**. 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

75 - AYDINER, Coskun; SEN, Unal; TOPCU, Semra; SESLI, Duygu; EKINCI, Didem; ALTdNAY, Aysegul Derya; OZBEY, Bahar; KOSEOGLU-IMER, Derya Yuksel; KESKINLER, Bulent. Techno-economic investigation of water recovery and whey powder production from whey using UF/RO and FO/RO integrated membrane systems. **Desalination**

and Water Treatment, [S.L.], v. 52, n. 1-3, p. 123-133, 29 abr. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.786655>.

76 - ANDRADE, Laura Hamdan; MENDES, Flávia Danielle de Souza; CERQUEIRA, Naiara; ESPÍNDOLA, Jonathan Cawettiere Almeida; AMARAL, Miriam Cristina Santos. Distribuição de massa molar em um biorreator com membrana para tratamento de efluente de laticínios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 325-334, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000639>.

77 - MACEDO, Antónia; DUARTE, Elizabeth; FRAGOSO, Rita. Assessment of the performance of three ultrafiltration membranes for fractionation of ovine second cheese whey. **International Dairy Journal**, [S.L.], v. 48, p. 31-37, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.003>.

78 - AZEVEDO, Beatriz Monjardino de Brito de. **Ultrafiltração de concentrados de soro de leite de mistura para fabrico de requeijão**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2015.

79 - MENDES, P. R. A.; FARIA, L. F. F.. **Avaliação do uso de processos de separação por membranas em efluentes de laticínios pré-tratados por coagulação/floculação**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, [S.L.], p. 1-8, fev. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0630-24668-181190>.

80 - KUMAR, R. Vinoth; GOSWAMI, Lalit; PAKSHIRAJAN, Kannan; PUGAZHENTHI, G.. Dairy wastewater treatment using a novel low cost tubular ceramic membrane and membrane fouling mechanism using pore blocking models. **Journal of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 13, p. 168-175, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.08.012>.

81 - MENESES, Yulie E.; FLORES, Rolando A.. Feasibility, safety, and economic implications of whey-recovered water in cleaning-in-place systems: a case study on water conservation for the dairy industry. **Journal of Dairy Science**, [S.L.], v. 99, n. 5, p. 3396-3407, maio 2016. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10306>.

82 - BORTOLUZZI, Airton C.; FAITÃO, Julio A.; LUCCIO, Marco di; DALLAGO, Rogério M.; STEFFENS, Juliana; ZABOT, Giovanni L.; TRES, Marcus V.. Dairy wastewater treatment using integrated membrane systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 4819-4827, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.018>.

83 - FAGNANI, Rafael; PUPPIO, Ana Amélia Nunes; ZANON, Emely Osti. Sustainable alternative for the food industry: converting whey and orange juice into a micro-filtered beverage. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 75, n. 2, p. 136-143, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0360>.

84 - MONTI, Lucia; DONATI, Emanuela; ZAMBRINI, Angelo Vittorio; CONTARINI, Giovanna. Application of membrane technologies to bovine Ricotta cheese exhausted whey

(scotta). **International Dairy Journal**, [S.L.], v. 85, p. 121-128, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.05.007>.

85 - MOSSMANN, Juliane. **Tratamento de água para reúso no beneficiamento de soro de leite**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

86 - OBERHERR, Renata. **Aplicação das tecnologias conjugadas de ultrafiltração e eletrodialise ao soro de leite proveniente da indústria láctea para posterior reúso**. 2019. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas Ambientais Sustentáveis, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2019

87 - RAHO, Susanna; CAROFIGLIO, Vito Emanuele; MONTEMURRO, Marco; MICELI, Valerio; CENTRONE, Domenico; STUFANO, Paolo; SCHIOPPA, Monica; PONTONIO, Erica; RIZZELLO, Carlo Giuseppe. Production of the Polyhydroxyalkanoate PHBV from Ricotta Cheese Exhausted Whey by Haloferax mediterranei Fermentation. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 1459, 14 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9101459>.

88 - BABENYSHEV, Sergey; NESTERENKO, Pavel; BRATSIKHIN, Andrey; ZHIDKOV, Vladimir; MAMAY, Dmitriy; ALEXANDR, Maximenko. Hydrodynamics and mass transfer with gel formation in a roll type ultrafiltration membrane. **Foods and Raw Materials**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 350-357, 20 dez. 2018. Kemerovo State University. <http://dx.doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-350-357>.

89 - BALANNEC, Béatrice; GÉSAN-GUIZIOU, Geneviève; CHAUFER, Bernard; RABILLER-BAUDRY, Murielle; DAUFIN, Georges. Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. **Desalination**, [S.L.], v. 147, p. 89-94 mar. 2002.

90 - AKOUM, Omar; JAFFRIN, Michel Y.; DING, Lu Hui; FRAPPART, Matthieu. Treatment of dairy process waters using a vibrating filtration system and NF and RO membranes. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 235, n. 1-2, p. 111-122, jun. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2004.01.026>.

91 - VOURCH, Mickael; BALANNEC, Béatrice; CHAUFER, Bernard; DORANGE, Gérard. Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. **Desalination**, [S.L.], v. 172, n. 3, p. 245-256, fev. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2004.07.038>.

92 - BRIÃO, Vandrê Barbosa; TAVARES, Célia Regina Granhen. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 134-138, jun. 2007.

93 - CHOLLANGI, A.; HOSSAIN, Md. M.. Separation of proteins and lactose from dairy wastewater. Chemical Engineering And Processing: **Process Intensification**, [S.L.], v. 46, n. 5, p. 398-404, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2006.05.022>

94 - VOURCH, Mickael; BALANNEC, Béatrice; CHAUFER, Bernard; DORANGE, Gérard. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**,

[S.L.], v. 219, n. 1-3, p. 190-202, jan. 2008. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.013>.

95 - ANDRADE, Laura Hamdan de. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reúso**. 2011. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

96 - FARIZOGLU, Burhanettin; UZUNER, Suleyman. The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system. **Biochemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 57, p. 46-54, nov. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2011.08.007>.

97 - CASU, Stefania; CRISPINO, Nedda A.; FARINA, Roberto; MATTIOLI, Davide; FERRARIS, Marco; SPAGNI, Alessandro. Wastewater treatment in a submerged anaerobic membrane bioreactor. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 204-209, 15 jan. 2012. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2012.640562>.

98 - LUO, Jianquan; DING, Luhui; WAN, Yinhua; JAFFRIN, Michel Y.. Threshold flux for shear-enhanced nanofiltration: experimental observation in dairy wastewater treatment. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 409-410, p. 276-284, ago. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2012.03.065>.

99 - RIERA, Francisco A.; SUÁREZ, Adrián; MURO, Claudia. Nanofiltration of UHT flash cooler condensates from a dairy factory: characterisation and water reuse potential. **Desalination**, [S.L.], v. 309, p. 52-63, jan. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2012.09.016>.

100 - BENNANI, Cheïma Fersi; OUSJI, Bisma; ENNIGROU, Dorra Jellouli. Reclamation of dairy wastewater using ultrafiltration process. **Desalination and Water Treatment**, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 297-303, 6 maio 2014. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.913996>.

101 - SUÁREZ, Adrián; FIDALGO, Tatiana; RIERA, Francisco A.. Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis. Production of boiler water. **Separation and Purification Technology**, [S.L.], v. 133, p. 204-211, set. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.06.041>.

102 - AYDINER, Coskun; SEN, Unal; TOPCU, Semra; EKINCI, Didem; ALTINAY, Aysegul D.; KOSEOGLU-IMER, Derya Y.; KESKINLER, Bulent. Techno-economic viability of innovative membrane systems in water and mass recovery from dairy wastewater. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 458, p. 66-75, maio 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.01.058>.

103 - ANDRADE, L.H.; MENDES, F.D.s.; ESPINDOLA, J.C.; AMARAL, M.C.s.. Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor. **Separation and Purification Technology**, [S.L.], v. 126, p. 21-29, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.056>

- 104 - ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. S.; ESPINDOLA, J. C.; AMARAL, M. C. S.. Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 735-747, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150323s00003133>.
- 105 - SUÁREZ, Adrián; RIERA, Francisco A.. Production of high-quality water by reverse osmosis of milk dairy condensates. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, [S.L.], v. 21, p. 1340-1349, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.06.004>
- 106 - NADAL, Bruno Alves. **Processos eletrolíticos e de nanofiltração para produção de água de reúso a partir de efluentes de laticínios**. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.
- 107 - BRIÃO, Vandrê Barbosa; SALLA, Ana Cláudia Vieira; MIORANDO, Taizi; HEMKEMEIER, Marcelo; FAVARETTO, Danúbia Paula Cadore. Water recovery from dairy rinse water by reverse osmosis: giving value to water and milk solids. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.L.], v. 140, p. 313-323, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.007>.
- 108 - GOSWAMI, Lalit; KUMAR, R. Vinoth; PAKSHIRAJAN, Kannan; PUGAZHENTHI, G.. A novel integrated biodegradation—microfiltration system for sustainable wastewater treatment and energy recovery. **Journal of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 365, p. 707-715, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.029>.
- 109 - SOLANKI, G.; RIZVI, S. S. H.. Physico-chemical properties of skim milk retentates from microfiltration. **Journal of Dairy Science**, [S.L.], v. 84, n. 11, p. 2381-2391, jun. 2001.
- 110 - ZULEWSKA, J.; NEWBOLD, M.; BARBANO, D.M.. Efficiency of serum protein removal from skim milk with ceramic and polymeric membranes at 50°C. **Journal of Dairy Science**, [S.L.], v. 92, n. 4, p. 1361-1377, abr. 2009. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1757>.
- 111 - HURT, E.; ZULEWSKA, J.; NEWBOLD, M.; BARBANO, D.M.. Micellar casein concentrate production with a 3X, 3-stage, uniform transmembrane pressure ceramic membrane process at 50°C. *Journal Of Dairy Science*, [S.L.], v. 93, n. 12, p. 5588-5600, dez. 2010. **American Dairy Science Association**. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3169>.
- 112 - BECKMAN, S.L.; BARBANO, D.M.. Effect of microfiltration concentration factor on serum protein removal from skim milk using spiral-wound polymeric membranes. **Journal of Dairy Science**, [S.L.], v. 96, n. 10, p. 6199-6212, out. 2013. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6655>.
- 113 - ADAMS, Michael C.; BARBANO, David M.. Effect of ceramic membrane channel diameter on limiting retentate protein concentration during skim milk microfiltration. **Journal of Dairy Science**, [S.L.], v. 99, n. 1, p. 167-182, jan. 2016. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9897>.

114 - HAUSMANN, Angela; SANCILOLO, Peter; VASILJEVIC, Todor; KULOZIK, Ulrich; DUKE, Mikel. Performance assessment of membrane distillation for skim milk and whey processing. *Journal Of Dairy Science*, [S.L.], v. 97, n. 1, p. 56-71, jan. 2014. **American Dairy Science Association**. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7044>

115 - OLIM, José Andrade Crisóstomo Vieira de. **Produção de concentrados protéicos de leite de cabra por ultrafiltração utilizando membranas de fibra oca**. 2002. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

116 - LIRA, Hércules de Lucena; SILVA, Maria Cristina Delgado da; VASCONCELOS, Maria Raphaella dos Santos; LIRA, Helio de Lucena; LOPEZ, Ana Maria Queijeiro. Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l], v. 29, n. 1, p. 33-37, mar. 2009.

117 - CARNEIRO, Lucia; SA, Iralla dos Santos; GOMES, Flávia dos Santos; MATTA, Virginia Martins; CABRAL, Lourdes Maria Correa. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. **Desalination**, [S.L.], v. 148, p. 93-98, mar. 2002.

118 - BOTTINO, A.; CAPANNELLI, G.; TURCHINI, A.; DELLA VALLEB, P.; TREVISANC, M.. Integrated membrane processes for the concentration of tomato juice. **Desalination**, [S.L.], v. 148, n. 1, p. 73-77, mar. 2002.

119 - CASSANO, A.; DRIOLI, E.; GALAVERNA, G.; MARCHELLI, R.; SILVESTRO, G. di; CAGNASSO, P.. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 57, p. 153-163, 2003.

120 - MATTA, V.M.; MORETTI, R.H.; CABRAL, L.M.C.. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 61, n. 3, p. 477-482, fev. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00154-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00154-7).

121 - VINCZE, Ivetta; VATAI, Gyula. Application of nanofiltration for coffee extract concentration. **Desalination**, Budapest, v. 162, n. 1, p. 287-294, jan. 2004.

122 - RODRIGUES, R.B.; MENEZES, H.C.; CABRAL, L.M.C.; DORNIER, M.; RIOS, G.M.; REYNES, M.. Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 63, n. 1, p. 97-102, jun. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.07.009>.

123 - CIANCI, Fernando C.; SILVA, Luiz Fernando M.; CABRAL, Lourdes M. C.; MATTA, Virgínia M.. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 579-583, set. 2005.

124 - CISSE, Mady; VAILLANT, Fabrice; PEREZ, Ana; DORNIER, Manuel; REYNES, Max. The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic

evaporation. **International Journal of Food Science and Technology**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 105-116, jan. 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00914.x>.

125 - MAGALHÃES, Márcia Pimentel; GOMES, Flávia dos Santos; DELLA MODESTA, Regina Célia; MATTA, Virgínia Martins da; CABRAL, Lourdes Maria Corrêa. Conservação de água de coco verde por filtração com membrana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 72-77, mar. 2005.

126 - ARAÚJO, Wilson Andalécio de; MACIEL, Maria Regina Wolf. Reverse osmosis concentration of orange juice using spiral wound membranes. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 3, p. 213-219, set. 2005.

127 - ARAÚJO, Wilson Andalécio de. **Avaliação do processo de osmose inversa para concentração de suco de laranja e simulação da recuperação do etil butirato através da pervaporação com predição de propriedades**. 2007. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

128 - CASSANO, A.; FIGOLI, A.; TAGARELLI, A.; SINDONA, G.; DRIOLI, E.. Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. **Desalination**, [S.L.], v. 189, n. 1-3, p. 21-30, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.06.009>.

129 - REKTOR, Attila; KOZAK, Aron; VATAI, Gyula; BEKASSY-MOLNAR, Erika. Pilot plant RO-filtration of grape juice. **Separation and Purification Technology**, [S.L.], v. 57, n. 3, p. 473-475, 15 nov. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2006.07.007>.

130 - CASSANO, A.; CONIDI, C.; TIMPONE, R.; D'AVELLA, M.; DRIOLI, E.. A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 80, n. 3, p. 914-921, jun. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.08.005>.

131 - CASSANO, A.; MARCHIO, M.; DRIOLI, E.. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. **Desalination**, [S.L.], v. 212, n. 1-3, p. 15-27, jun. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.013>.

132 - NEVES, Denise Palacio Menchero. **Concentração de suco clarificado de açaí por osmose inversa**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

133 - CRUZ, Ana Paula Gil. **Avaliação do efeito da extração e da microfiltração do açaí sobre sua composição e atividade antioxidante**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

134 - BOROVIK, Carolina Pavan Bagagli. **Fracionamento de polpa de açaí e concentração de antocianinas utilizando membranas poliméricas**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

- 135 - INFANTE, Ximena Leticia Bardales. **Produção e avaliação da qualidade do suco clarificado de camu-camu, originário da margem do rio Putumayo (fronteira Brasil – Colômbia)**. 2008. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- 136 - CASSANO, A.; DONATO, L.; CONIDI, C.; DRIOLI, E.. Recovery of bioactive compounds in kiwifruit juice by ultrafiltration. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 556-562, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2008.03.004>.
- 137 - OLIVEIRA, Ricardo Cardoso de. **Comparação entre centrifugação e microfiltração na clarificação do suco tropical de maracujá**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- 138 - OLIVEIRA, Ricardo Cardoso de; DOCÊ, Roselene Caleffi; BARROS, Sueli Teresa Davantel de. Clarification of passion fruit juice by microfiltration: analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 111, n. 2, p. 432-439, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.021>.
- 139 - DOMINGUES, Rui Carlos Castro; RAMOS, Amanda Araújo; CARDOSO, Vicelma Luiz; REIS, Miria Hespanhol Miranda. Microfiltration of passion fruit juice using hollow fibre membranes and evaluation of fouling mechanisms. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 121, p. 73-79, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.037>.
- 140 - CASSANO, Alfredo; TASSELLI, Franco; CONIDI, Carmela; DRIOLI, Enrico. Ultrafiltration of Clementine mandarin juice by hollow fibre membranes. **Desalination**, [S.L.], v. 241, n. 1-3, p. 302-308, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.10.102>.
- 141 - ONSEKIZOGLU, Pelin; BAHCECI, K. Savas; ACAR, M. Jale. Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: a comparative quality assessment. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 352, n. 1-2, p. 160-165, 15 abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2010.02.004>.
- 142 - DESTANI, Fitim; CASSANO, Alfredo; FAZIO, Alessia; VINCKEN, Jean-Paul; GABRIELE, Bartolo. Recovery and concentration of phenolic compounds in blood orange juice by membrane operations. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 117, n. 3, p. 263-271, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.001>
- 143 - REZZADORI, Katia; SERPA, Leo; PENHA, Frederico Marques; PETRUS, Rodrigo Rodrigues; PETRUS, José Carlos Cunha. Crossflow microfiltration of sugarcane juice – effects of processing conditions and juice quality. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 210-217, mar. 2014.
- 144 - GASCHI, Priscilla dos Santos; GASCHI, Paola dos Santos; BARROS, Sueli Tereza Davantel; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Pretreatment with ceramic membrane microfiltration in the clarification process of sugarcane juice by ultrafiltration. **Acta**

Scientiarum. Technology, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 303, 4 abr. 2014. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i2.17322>.

145 - CORRÊA, Filipe. **Clarificação do extrato obtido a partir do resíduo da fabricação de suco de beterraba (*Beta Vulgaris L.*) por microfiltração**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

146 - CASTRO-MUÑOZ, Roberto; FÍLA, Vlastimil; BARRAGÁN-HUERTA, Blanca E.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, Jorge; PIÑA-ROSAS, José A.; ARBOLEDA-MEJÍA, Jaime. Processing of Xoconostle fruit (*Opuntia joconostle*) juice for improving its commercialization using membrane filtration. **Journal of Food Processing And Preservation**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 1-9, 28 jun. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13394>.

147 - MARANGONI, Anielle Bosquesi. **Avaliação da microfiltração como processo alternativo à pasteurização da cerveja artesanal**. 2018. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.

148 - AN, Xiaochan; HU, Yunxia; WANG, Ning; ZHOU, Zongyao; LIU, Zhongyun. Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 573, p. 192-199, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.010>.

149 - AREND, Giordana Demaman. **Concentração de compostos fenólicos do suco de morango (*Fragaria x. ananassa Duch.*) por nanofiltração**. 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

150 - CONIDI, Carmela; CASSANO, Alfredo; DRIOLI, Enrico. A membrane-based study for the recovery of polyphenols from bergamot juice. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 375, n. 1-2, p. 182-190, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.035>.

151 - CONIDI, Carmela; CASSANO, Alfredo; DRIOLI, Enrico. Recovery of phenolic compounds from orange press liquor by nanofiltration. **Food and Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 90, n. 4, p. 867-874, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.07.005>.

152 - PRUDÊNCIO, Ana Paula Aguiar. **Perfil de compostos fenólicos e atividade antioxidante do extrato aquoso da casca dos ramos residuais da colheita da erva-mate (*Ilex paraguariensis St. Hil.*) concentrado por nanofiltração**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

153 - GOES, Talita de Sousa; LIRA, Sandra Machado; SOUSA, Jessica Maria Silva; LIMA, Ana Carolina Viana de; ABREU, Fernando Antônio Pinto de; RODRIGUES, Arthur Claudio; BORGES, Maria de Fátima; GARRUTI, Deborah dos Santos; ARAÚJO, Ídila Maria da Silva; MARQUES, Chayane Gomes; HOLANDA, Marcelo Oliveira; LAGUNA, Luís Eduardo; EGITO, Antônio Silvio; DIONISIO, Ana Paula. Caracterização e estabilidade do queijo coalho de leite de cabra adicionado de extrato de caju. **Realidades e Perspectivas em**

Ciência dos Alimentos Volume II, [S.L.], p. 6-22, 19 out. 2020. Pantanal Editora.
<http://dx.doi.org/10.46420/9786588319277cap1>.

154 - GARCÍA, E.; GOZÁLVEZ, J. M.; LORA, J.. Use of reverse osmosis as a preconcentration system of waste leaching liquid from the citric juice production industry. **Desalination**, [S.L.], v. 148, n. 1, p. 137-142, mar. 2002.

155 - GARCIA-CASTELLO, E.; LORA-GARCIA, J.; GARCIA-GARRIDO, J.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A.D.. Energetic comparison for leaching waste liquid from citric juice production using both reverse osmosis and multiple-effect evaporation. **Desalination**, [S.L.], v. 191, n. 1-3, p. 178-185, maio 2006. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.012>.

156 - NORONHA, M.; BRITZ, T.; MAVROV, V.; JANKE, H. D.; CHMIEL, H.. Treatment of spent process water from a fruit juice company for purposes of reuse: Hybrid process concept and on-site test operation of a pilot plant. **Desalination**, [S.L.], v. 143, p. 183-196, jan. 2002.

157 - BLÖCHER, C.; NORONHA, M.; FÜNFROCKEN, L.; DORDA, J.; MAVROV, V.; JANKE, H. D.; CHMIEL, H.. Recycling of spent process water in the food industry by an integrated process of biological treatment and membrane separation. **Desalination**, [S.L.], v. 144, p. 143-150, fev. 2002.

158 - MORAIS, Carlos Eduardo Pereira de. **Biorreator de membranas aplicado ao tratamento de efluentes de uma indústria de processamento de frutas**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

159 - BOLZONELLA, D.; FATONE, F.; PAVAN, P.; CECCHI, F.. Application of a membrane bioreactor for winery wastewater treatment. **Water Science and Technology**, [S.L.], v. 62, n. 12, p. 2754-2759, 1 dez. 2010. IWA Publishing.
<http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.645>.

160 - VALDERRAMA, C.; RIBERA, G.; BAHÍ, N.; ROVIRA, M.; GIMÉNEZ, T.; NOMEN, R.; LLUCH, S.; YUSTE, M.; MARTINEZ-LLADÓ, X.. Winery wastewater treatment for water reuse purpose: conventional activated sludge versus membrane bioreactor (mbr). **Desalination**, [S.L.], v. 306, p. 1-7, nov. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2012.08.016>.

161 - PETTA, Luigi; GISI, Sabino de; CASELLA, Patrizia; FARINA, Roberto; NOTARNICOLA, Michele. Evaluation of the treatability of a winery distillery (vinasse) wastewater by UASB, anoxic-aerobic UF-MBR and chemical precipitation/adsorption. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 201, p. 177-189, out. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.042>.

162 - JARAMILLO, Paula Marcela Duque. Produção, **Caracterização e Aplicação Biotecnológica de Pectinases produzidas pelo fungo *Aspergillus oryzae* cultivado em casca de maracujá-amarelo**. 2014. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Molecular, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

163 - SIMONE, Silvia; CONIDI, Carmela; URSINO, Claudia; CASSANO, Alfredo; FIGOLI, Alberto. Clarification of Orange Press Liquors by PVDF Hollow Fiber Membranes. **Membranes**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 9, 20 jan. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes6010009>.

164 - FARIAS, Amanda Paiva. **Biorreator de membranas de ultrafiltração aplicado ao tratamento de efluente industrial: avaliação da eficiência de tratamento e potencial de reúso da água**. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

165 - GOES, Talita de Souza. **Extrato concentrado de carotenoides obtido a partir da fibra do pedúnculo do caju: caracterização, estabilidade durante o período de armazenamento e aplicação em queijo de leite de cabra tipo coalho**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

166 - FERNANDES, Pedro A. R.; FERREIRA, Sónia S.; BASTOS, Rita; FERREIRA, Isabel; CRUZ, Maria T.; PINTO, António; COELHO, Elisabete; PASSOS, Cláudia P.; COIMBRA, Manuel A.; CARDOSO, Susana M.; WESSEL, Dulcineia F.. Apple Pomace Extract as a Sustainable Food Ingredient. **Antioxidants**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 189, 21 jun. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox8060189>.

167 - PARASKEVA, C.A.; PAPADAKIS, V.G.; TSAROUCI, E.; KANELLOPOULOU, D.G.; KOUTSOUKOS, P.G.. Membrane processing for olive mill wastewater fractionation. **Desalination**, [S.L.], v. 213, n. 1-3, p. 218-229, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.04.087>

168 - RUSSO, Claudio. A new membrane process for the selective fractionation and total recovery of polyphenols, water and organic substances from vegetation waters (VW). **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 288, n. 1-2, p. 239-246, fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.11.020>.

169 - AKDEMIR, Ezgi Oktav; OZER, Adem. Investigation of two ultrafiltration membranes for treatment of olive oil mill wastewater. **Desalination**, [S.L.], v. 249, n. 2, p. 660-666, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.06.035>.

170 - COSKUN, Tamer; DEBIK, Eyup; DEMIR, Neslihan Manav. Treatment of olive mill wastewaters by nanofiltration and reverse osmosis membranes. **Desalination**, [S.L.], v. 259, n. 1-3, p. 65-70, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.034>

171 - GARCIA-CASTELLO, E.; CASSANO, A.; CRISCUOLI, A.; CONIDI, C.; DRIOLI, E.. Recovery and concentration of polyphenols from olive mill wastewaters by integrated membrane system. **Water Research**, [S.L.], v. 44, n. 13, p. 3883-3892, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.005>.

172 - OCHANDO-PULIDO, J.M.; RODRIGUEZ-VIVES, S.; HODAIFA, G.; MARTINEZ-FEREZ, A.. Impacts of operating conditions on reverse osmosis performance of pretreated olive mill wastewater. **Water Research**, [S.L.], v. 46, n. 15, p. 4621-4632, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.026>.

- 173 - OCHANDO-PULIDO, J.M.; HODAIFA, G.; VICTOR-ORTEGA, M.D.; RODRIGUEZ-VIVES, S.; MARTINEZ-FEREZ, A.. Reuse of olive mill effluents from two-phase extraction process by integrated advanced oxidation and reverse osmosis treatment. **Journal of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 263, p. 158-167, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.015>.
- 174 - CASSANO, Alfredo; CONIDI, Carmela; GIORNO, Lidietta; DRIOLI, Enrico. Fractionation of olive mill wastewaters by membrane separation techniques. **Journal of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 248-249, p. 185-193, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.01.006>.
- 175 - OCHANDO-PULIDO, J.M.; HODAIFA, G.; VICTOR-ORTEGA, M.D.; RODRIGUEZ-VIVES, S.; MARTINEZ-FEREZ, A.. Effective treatment of olive mill effluents from two-phase and three-phase extraction processes by batch membranes in series operation upon threshold conditions. **Journal of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 263, p. 168-176, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.03.041>.
- 176 - LECCE, Giuseppe di; CASSANO, Alfredo; BENDINI, Alessandra; CONIDI, Carmela; GIORNO, Lidietta; TOSCHI, Tullia Gallina. Characterization of olive mill wastewater fractions treatment by integrated membrane process. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 94, n. 14, p. 2935-2942, 9 abr. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6637>.
- 177 - ABDEL-SHAFY, Hussein I.; SCHORIES, Gerhard; MOHAMED-MANSOUR, Mona S.; BORDEI, Valentina. Integrated membranes for the recovery and concentration of antioxidant from olive mill wastewater. **Desalination and Water Treatment**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 305-314, 11 jul. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.935807>.
- 178 - CONIDI, C.; MAZZEI, R.; CASSANO, A.; GIORNO, L.. Integrated membrane system for the production of phytotherapics from olive mill wastewaters. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 454, p. 322-329, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.12.021>
- 179 - BAZZARELLI, Fabio; PIACENTINI, Emma; POERIO, Teresa; MAZZEI, Rosalinda; CASSANO, Alfredo; GIORNO, Lidietta. Advances in membrane operations for water purification and biophenols recovery/valorization from OMWWs. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 497, p. 402-409, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2015.09.049>.
- 180 - SEDEJ, Ivana; MILCZAREK, Rebecca; WANG, Selina C.; SHENG, Runqi; AVENA-BUSTILLOS, Roberto de Jesús; DAO, Lan; TAKEOKA, Gary. Membrane-Filtered Olive Mill Wastewater: quality assessment of the dried phenolic-rich fraction. **Journal of Food Science**, [S.L.], v. 81, n. 4, p. 889-896, 14 mar. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.13267>.
- 181 - OCHANDO-PULIDO, J.M.; CORPAS-MARTÍNEZ, J.R.; MARTINEZ-FEREZ, A.. About two-phase olive oil washing wastewater simultaneous phenols recovery and treatment

by nanofiltration. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.L.], v. 114, p. 159-168, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.005>.

182 - OCHANDO-PULIDO, J.M.; MARTINEZ-FEREZ, A.. Novel micro/ultra/nanocentrifugation membrane process assessment for revalorization and reclamation of agricultural wastewater. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 222, p. 447-453, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.092>.

183 - AHMAD, A.L.; ISMAIL, S.; BHATIA, S.. Ultrafiltration behavior in the treatment of agro-industry effluent: pilot scale studies. **Chemical Engineering Science**, [S.L.], v. 60, n. 19, p. 5385-5394, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2005.04.021>.

184 - WU, T.Y.; MOHAMMAD, A.W.; JAHIM, J. Md.; ANUAR, N.. Palm oil mill effluent (POME) treatment and bioresources recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure on membrane fouling. **Biochemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 309-317, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2007.01.029>.

185 - ZATTI, Daniel D'agnoluzzo. **Avaliação do Uso de Membranas Cerâmicas de Micro e Ultrafiltração no Tratamento de Efluentes de um Biodigestor Anaeróbico**. 2010. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

186 - PAUER, Viktor; CSEFALVAY, Edit; MIZSEY, Peter. Treatment of soy bean process water using hybrid processes. **Open Chemistry**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 46-56, 1 jan. 2013. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/s11532-012-0128-9>.

187 - ROMANI, Annalisa; SCARDIGLI, Arianna; PINELLI, Patrizia. An environmentally friendly process for the production of extracts rich in phenolic antioxidants from *Olea europaea* L. and *Cynara scolymus* L. matrices. **European Food Research and Technology**, [S.L.], v. 243, n. 7, p. 1229-1238, 27 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-016-2835-5>

188 - TEIXEIRA, Andreia Filipa Rodrigues Simão. **Valorisation of Vegetable Oil Deodorizer Distillate by Enzymatic Reaction and Membrane Processing**. 2013. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química e Bioquímica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

189 - ALICIEO, T.V.R.; MENDES, E.s.; PEREIRA, N.C.; LIMA, O.C. Motta. Membrane ultrafiltration of crude soybean oil. **Desalination**, [S.L.], v. 148, p. 99-102, abr. 2002.

190 - DARVISHMANESH, Siavash; ROBBERECHT, Thomas; LUIS, Patricia; DEGRÈVE, Jan; BRUGGEN, Bart van Der. Performance of Nanofiltration Membranes for Solvent Purification in the Oil Industry. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, [S.L.], v. 88, n. 8, p. 1255-1261, 18 fev. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1779-y>.

191 - GOMES, Maria Thereza de Moraes Santos; EÇA, Kaliana Sintonio; VIOTTO, Luiz Antonio. Concentração da vinhaça por microfiltração seguida de nanofiltração com membranas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 633-638, jun. 2011.

- 192 - MOTA, Vera Tainá Franco Vidal. **Biorreator com membranas anaeróbio de duplo estágio para o tratamento do vinhoto**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- 193 - AMARAL, Míriam C. S.; ANDRADE, Laura H.; NETA, Luzia S. F.; MAGALHÃES, Natalie C.; SANTOS, Fábio S.; MOTA, Gabriel E.; CARVALHO, Roberto B.. Microfiltration of vinasse: sustainable strategy to improve its nutritive potential. **Water Science and Technology**, [S.L.], v. 73, n. 6, p. 1434-1441, 14 dez. 2015. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2015.606>.
- 194 - BRANCO, Ricardo de Freitas. **Produção enzimática de xilitol utilizando sistema de regeneração de coenzima como alternativa às vias química e microbiológica de obtenção**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia Industrial, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.
- 195 - PAIVA, Livia Beatriz Brenelli de. **Desenvolvimento de estratégias para produção biotecnológica de ácido ferúlico e xilooligosacarídeos a partir do bagaço de cana-de-açúcar**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biociências e Tecnologia de Produtos Bioativos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- 196 - MOREIRA, Leonora Rios de Souza. **Xilanases produzidas por *Aspergillus terreus*: caracterização, degradação de biomassa lignocelulósica e efeito de compostos fenólicos**. 2013. 297 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Molecular, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- 197 - SCIUTO, Débora Lo. **Produção de holocelulases por *Clonostachys bysicola* cultivado em casca de soja - purificação parcial e caracterização de uma endoglicanase**. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Microbiana, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- 198 - ALVES, Yara Pereira Cerceau. **Produção e purificação de xilitol a partir de bagaço de cana-de-açúcar utilizando nanofiltração**. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- 199 - GARCIA-CASTELLO, Esperanza M.; MCCUTCHEON, Jeffrey R.; ELIMELECH, Menachem. Performance evaluation of sucrose concentration using forward osmosis. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 338, n. 1-2, p. 61-66, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2009.04.011>
- 200 - KRISHNA KUMAR, N; YEA, M; CHERYAN, M. Ultrafiltration of soy protein concentrate: performance and modelling of spiral and tubular polymeric modules. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 244, n. 1-2, p. 235-242, 15 nov. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.056>.
- 201 - NABARLATZ, D; TORRAS, C; GARCIAVALLS, R; MONTANE, D. Purification of xylo-oligosaccharides from almond shells by ultrafiltration. **Separation and Purification Technology**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 235-243, 1 mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2006.07.006>.

202 - QI, Benkun; LUO, Jianquan; CHEN, Guoqiang; CHEN, Xiangrong; WAN, Yinhua. Application of ultrafiltration and nanofiltration for recycling cellulase and concentrating glucose from enzymatic hydrolyzate of steam exploded wheat straw. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 104, p. 466-472, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.049>.

203 - BENEDETTI, S.; PRUDÊNCIO, E. S.; REZZADORI, K.; CAMELINI, C. M.; PRONER, M.; FOGAÇA, L. A.; LEITE, R. S.; MANDARINO, J. M. G.; PETRUS, J. C. C. Utilização do processo de nanofiltração para concentração de compostos da soja. **COBEQ 2012 XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Búzios, p. 5022-5031, set. 2012.

204- BENEDETTI, Silvia; PRUDÊNCIO, Elane Schwinden; MÜLLER, Carmen Maria Olivera; VERRUCK, Silvani; MANDARINO, José Marcos Gontijo; LEITE, Rodrigo Santos; PETRUS, José Carlos Cunha. Utilization of tofu whey concentrate by nanofiltration process aimed at obtaining a functional fermented lactic beverage. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 171, p. 222-229, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.034>.

205 - CASSINI, A.s.; TESSARO, I.C.; MARCZAK, L.D.F.; PERTILE, C.. Ultrafiltration of wastewater from isolated soy protein production: a comparison of three uf membranes. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 260-265, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.016>.

206 - CASTRO-MUÑOZ, Roberto; BARRAGÁN-HUERTA, Blanca E.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, Jorge. The Use of Nixtamalization Waste Waters Clarified by Ultrafiltration for Production of a Fraction Rich in Phenolic Compounds. **Waste and Biomass Valorization**, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 1167-1176, 10 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9512-6>.

207 - SOUCHON, I.; PIERRE, F.X.; ATHES-DUTOUR, V.; MARIN, M.. Pervaporation as a deodorization process applied to food industry effluents: Recovery and valorization of aroma compounds from cauliflower blanching water. **Desalination**, [S.L.], v. 148, p. 79-85, mar. 2005.

208 - NELSON, Heather; SINGH, Rakesh; TOLEDO, Romeo; SINGH, Nepal. The Use of a Submerged Microfiltration System for Regeneration and Reuse of Wastewater in a Fresh-cut Vegetable Operation. **Separation Science and Technology**, [S.L.], v. 42, n. 11, p. 2473-2481, jul. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01496390701477147>.

209 - MOORE, Adam W.; ZYTNER, Richard G.; CHANG, Sheng. Potential Water Reuse for High Strength Fruit and Vegetable Processor Wastewater with an MBR. **Water Environment Research**, [S.L.], v. 88, n. 9, p. 852-870, 1 set. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2175/106143016x14609975747649>.

210 - VERGINE, Pompilio; SALERNO, Carlo; LIBUTTI, Angela; BENEDEUCE, Luciano; GATTA, Giuseppe; BERARDI, Giovanni; POLLICE, Alfieri. Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 164, p. 587-596, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.239>.

- 211 - WENG, S. C.; JACANGELO, J. G.; SCHWAB, K. J.. Sustainable practice for the food industry: assessment of selected treatment options for reclamation of washwater from vegetable processing. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1369-1378, 22 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-1761-4>.
- 212 - CONIDI, C.; CASSANO, A.; GARCIA-CASTELLO, E.. Valorization of artichoke wastewaters by integrated membrane process. **Water Research**, [S.L.], v. 48, p. 363-374, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.047>
- 213 - LAPPALAINEN, Katja; KÄRKKÄINEN, Johanna; NIEMELÄ, Matti; VARTIAINEN, Harri; RISSANEN, Olli; KORVA, Hanne. Preparation of cationized starch from food industry waste biomass and its utilization in sulfate removal from aqueous solution. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 178, p. 331-337, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.054>.
- 214 - GEOFFROY, Thibaud R.; FORTIN, Yves; STEVANOVIC, Tatjana. Process optimisation for pilot-scale production of maple bark extracts, natural sources of antioxidants, phenolics, and carbohydrates. **Chemical Papers**, [S.L.], v. 72, n. 5, p. 1125-1137, 12 dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11696-017-0355-9>.
- 215 - WANG, Jin; ZHAO, Shuwei; DOU, Pengjia; LI, Xuemei; LI, Dengxin; HE, Tao. Sustainable fertilizer-drawn forward osmosis for the vegetable industry in reducing liquor from vegetable waste. **Environmental Technology**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 388-396, 16 jul. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2019.1629633>.
- 216 - LI, Zhenyu; YOURAVONG, Wirote; H-KITTIKUN, Aran. Separation of proteases from yellowfin tuna spleen by ultrafiltration. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 97, n. 18, p. 2364-2370, dez. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.019>.
- 217 - DOYEN, Alain; SAUCIER, Linda; BEAULIEU, Lucie; POULIOT, Yves; BAZINET, Laurent. Electroreparation of an antibacterial peptide fraction from snow crab by-products hydrolysate by electrodialysis with ultrafiltration membranes. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 132, n. 3, p. 1177-1184, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.059>.
- 218 - SUWAL, Shyam; ROBLET, Cyril; AMIOT, Jean; DOYEN, Alain; BEAULIEU, Lucie; LEGAULT, Jean; BAZINET, Laurent. Recovery of valuable peptides from marine protein hydrolysate by electrodialysis with ultrafiltration membrane: impact of ionic strength. **Food Research International**, [S.L.], v. 65, p. 407-415, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.031>.
- 219 - SOSTER, Aline Manfroi. **Recuperação de sais de efluentes de cultivo de microalgas por osmose inversa para reuso in loco**. 2018. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

- 220 - VANDANJON, L.; CROSA, S.; JAOUENB, P.; QUÉMÉNEUR, F.; BOURSEAU, P.. Recovery by nanofiltration and reverse osmosis of marine flavours from seafood cooking waters. **Desalination**, [S.L.], v. 144, n. 1, p. 379-385, mar. 2002.
- 221 - LONCHAMP, Julien; CLEGG, P. S.; EUSTON, S. R.. Foaming, emulsifying and rheological properties of extracts from a co-product of the Quorn fermentation process. **European Food Research and Technology**, [S.L.], v. 245, n. 9, p. 1825-1839, 24 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-019-03287-z>.
- 222 - LONCHAMP, J.; AKINTOYE, M.; CLEGG, P. S.; EUSTON, S. R.. Functional fungal extracts from the Quorn fermentation co-product as novel partial egg white replacers. **European Food Research and Technology**, [S.L.], v. 246, n. 1, p. 69-80, 13 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-019-03390-1>
- 223 - MENONCIN, Silvana. **Purificação de lipases produzidas por fungo utilizando sistema aquoso bifásico e separação por membrana**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.
- 224 - CAMELINI, C. M.; REZZADORI, K.; BENEDETTI, S.; PRONER, M. C.; FOGAÇA, L.; AZAMBUJA, A. A.; GIACHINI, A. J.; ROSSI, M. J.; PETRUS, J. C. C.. Nanofiltration of polysaccharides from *Agaricus subrufescens*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [S.L.], v. 97, n. 23, p. 9993-10002, 29 set. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-013-5241-y>.
- 225 - MAVROV, V.; BÉLIÈRES, E.. Reduction of water consumption and wastewater quantities in the food industry by water recycling using membrane processes. **Desalination**, [S.L.], v. 131, p. 75-86, jul. 2000.
- 226 - FUGERE, R; MAMERI, N; GALLOT, J; COMEAU, Y. Treatment of pig farm effluents by ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 255, n. 1-2, p. 225-231, 15 jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2005.01.036>.
- 227 - MATSUMURA, Erika Myho. **Perspectivas para conservação e reúso de água na indústria de alimentos – estudo de uma unidade de processamento de frangos**. 2007. 250 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- 228 - FAPPI, Devanir André. **Micro e ultrafiltração como pós-tratamento para reúso de efluentes de abatedouro e frigoríficos de suínos**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.
- 229 - MARCHESI, Cristiane M.; PALIGA, Marshall; ORO, Carolina E. D.; DALLAGO, Rogério M.; ZIN, Guilherme; LUCCIO, Marco di; OLIVEIRA, J. Vladimir; TRES, Marcus V.. Use of membranes for the treatment and reuse of water from the pre-cooling system of chicken carcasses. **Environmental Technology**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 126-133, 4 jun. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2019.1624834>.

- 230 - PRZYBYLSKI, Rémi; BAZINET, Laurent; FIRDAOUS, Loubna; KOUACH, Mostafa; GOOSSENS, Jean-François; DHULSTER, Pascal; NEDJAR, Naïma. Harnessing slaughterhouse by-products: from wastes to high-added value natural food preservative. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 304, p. 125448, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125448>
- 231 - USDA. **France: Food Processing Ingredients Sector**. 2016. Disponível em: <[USDA apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Food%20Processing%20Ingredients_Paris_France_10-5-2016.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Food%20Processing%20Ingredients_Paris_France_10-5-2016.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- 232 – ROCHA, Denis Teixeira da; CARVALHO, Glauco Rodrigues; RESENDE, João Cesar de. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. **Circular Técnica EMBRAPA**, Juiz de Fora, v. 123, n. 1, p. 1-16, ago. 2020.
- 233 - MORAES, Bruna Márcia Machado; BENDER FILHO, Reisoli. Mercado Brasileiro de Láceos: análise do impacto de políticas de estímulo à produção. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 55, n. 4, p. 783-800, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550410>.
- 234 - FONTANETTI, Carmem Silvia; BUENO, Odair Correa. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru: Canal 6 Editora, 2017. 275 p
- 235 - FAO. **Major tropical fruits market review 2019**. Roma: 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/cb0834en/CB0834EN.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- 236 - VIDAL, Maria de Fátima. Produção comercial de frutas na área de atuação do BNB. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE**, [S.L.], v. 168, n. 1, p. 1-14, jun. 2021.
- 237 - LANGANKE, Roberto. **Eutrofização: conservação para Ensino Médio**. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/des_eutro.htm>. Acesso em: 26 ago. 2021.