

Gestão do reúso de efluentes na agroindústria: uma revisão da literatura sobre soluções reportadas e finalidades de aplicação

Jackson Epaminondas de Sousa (Universidade do Estado do Amapá - UEAP)

jackson.sousa@ueap.edu.br

Romeu Tavares Bandeira (Universidade do Estado do Amapá - UEAP)

romeu.bandeira@ueap.edu.br

Resumo

A gestão da água na agroindústria tornou-se tema estratégico para operações, diante do consumo elevado em etapas produtivas e da geração de efluentes com variabilidade que afeta custos, conformidade e continuidade do processo. O problema que orienta este estudo é a dispersão da literatura sobre tratamento e reúso de efluentes na agroindústria, o que dificulta uma visão consolidada para apoiar decisões gerenciais sobre soluções adotadas e finalidades de aplicação. O objetivo foi sintetizar evidências da literatura, com enfoque em Engenharia de Produção, caracterizando o portfólio de estudos por setor e escala, identificando categorias de soluções reportadas e descrevendo finalidades de reúso quando efetivamente reportadas. Realizou-se uma revisão da literatura na Web of Science Core Collection, com recorte temporal de 2015 a 2025, busca estruturada por operadores booleanos, triagem por título e resumo e confirmação por leitura na íntegra. A extração ocorreu em planilha padronizada, com matriz de transparência disponibilizada no Anexo I. Foram incluídos 27 estudos, com predominância de frutas e vegetais (40,7%). Houve presença relevante de estudos em escala industrial e mista (66,6%). O reúso foi reportado em 66,7% dos estudos. As soluções apareceram majoritariamente como arquiteturas em múltiplas etapas, com forte recorrência de módulos de membranas e combinações com etapas complementares. Entre os estudos com reúso reportado, predominou o reúso interno industrial (66,7%), seguido de irrigação/uso agrícola (22,2%). Conclui-se que o reúso é apresentado como estratégia operacional, dependente de integração de processo e governança, com adoção mais frequente em aplicações internas por maior controlabilidade.

Palavras-Chaves: *reúso de água, agroindústria, gestão de operações, efluentes industriais, tecnologias de tratamento.*

Abstract

Water management in agroindustry has become a strategic operations issue due to high consumption across production stages and the generation of variable wastewater streams that affect costs, compliance, and process continuity. This study addresses the problem of a fragmented body of literature on agroindustrial wastewater treatment and reuse, which limits a consolidated managerial view of reported solutions and application purposes. The objective was to synthesize evidence from the literature from an Industrial Engineering perspective by characterizing the study portfolio by sector and scale, identifying reported solution categories, and describing reuse purposes when explicitly reported. A literature review was conducted in the Web of Science Core Collection with a 2015–2025 time window, a Boolean search strategy, title and abstract screening, and full-text eligibility confirmation. Data were extracted using a standardized spreadsheet, and a transparency matrix was provided as an appendix. Twenty-seven studies were included, with a predominance of fruit and vegetable processing (40.7%). Industrial and mixed-scale studies were frequent (66.6%). Reuse was reported in 66.7% of the studies. Reported solutions were mostly multi-stage architectures, with a strong recurrence of membrane-based modules combined with complementary stages. Among studies reporting reuse, internal industrial reuse was predominant (66.7%), followed by irrigation/agricultural use (22.2%). The findings indicate that reuse is framed as an operational strategy reliant on process integration and governance, with more frequent adoption for internal applications due to higher controllability.

Keywords: *water reuse, agroindustry, operations management, industrial wastewater, treatment Technologies.*

1. INTRODUÇÃO

A água é um insumo essencial na agroindústria, porque sustenta etapas de lavagem, processamento, higienização e utilidades. Por isso, além do consumo, as plantas também geram efluentes que variam conforme o produto, o ritmo de produção e a própria rotina operacional, o que torna o tratamento e o controle dessa água um tema recorrente para a gestão da operação (Moore; Zytner; Chang, 2016).

Nos últimos anos, o reúso de água tratada passou a ser visto como alternativa prática para enfrentar restrições de disponibilidade e custos, especialmente quando a água influencia diretamente a capacidade de produção e a continuidade do processo. A literatura aponta que a redução do consumo e o reúso podem ser viáveis, mas muitas decisões ainda são tomadas olhando apenas o investimento inicial, sem considerar implicações de longo prazo e custos associados ao ciclo completo da água na planta (Moore; Zytner; Chang, 2016).

Entretanto, transformar o reúso em prática operacional exige organização, disciplina e governança do sistema, e não somente a adoção de uma solução técnica isolada. Experiências em escala plena destacam que o reúso demanda bom desenho do sistema, com redundância, monitoramento e equipe experiente, porque a interação entre etapas é alta e falhas em um ponto podem comprometer o desempenho do conjunto (Stachurski; Delgorge; Muszyński, 2024).

Além disso, requisitos de qualidade e segurança podem limitar o fechamento de circuitos, pois a água destinada a determinados usos precisa atender padrões e controles, muitas vezes sob regras específicas e avaliações de risco. Em empresas de processamento de vegetais, por exemplo, a própria variabilidade do efluente e a presença de compostos difíceis de remover podem dificultar programas de reúso e favorecer acúmulo de contaminantes ao longo de sucessivos ciclos (Hoendervangers et al., 2025).

Nesse cenário, a recuperação de água a partir de efluentes tratados tem sido tratada na literatura como um caminho de melhoria do desempenho hídrico e de gestão de recursos, com destaque para arranjos que buscam garantir qualidade para reutilização em processos e reduzir dependência de fontes externas (Hernández et al., 2021). Ainda assim, o conhecimento está disperso entre setores, soluções e níveis de aplicação, o que dificulta uma visão consolidada para apoiar decisões rápidas em contextos industriais e eventos técnicos.

Diante disso, este artigo apresenta uma revisão da literatura com foco em organizar evidências de forma útil para a Engenharia de Produção e para a gestão de operações, caracterizando os estudos por setor e escala, identificando categorias de soluções reportadas e

descrevendo finalidades de reúso quando efetivamente reportadas. A proposta é oferecer uma visão sintética e replicável, apoiando decisões iniciais de diagnóstico e planejamento em iniciativas de reúso na agroindústria.

2. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão da literatura, de caráter exploratório, com triagem de títulos e resumos e leitura do texto completo dos estudos elegíveis. A fonte de dados utilizada foi a Web of Science Core Collection, com busca realizada no campo All fields.

A estratégia de busca empregou a seguinte string, estruturada com operadores booleanos para reunir termos relacionados a reúso de água, efluentes industriais, agroindústria e tecnologias de tratamento: (("water reuse" OR "water reclamation" OR "reclaimed water" OR "wastewater reuse") AND (wastewater OR effluent* OR "industrial wastewater") AND (agroindustr* OR "food industry" OR "food processing" OR agrifood OR "agri-food") AND (treatment OR anaerobic OR UASB OR "activated sludge" OR membrane* OR MBR OR "constructed wetland*" OR "advanced oxidation" OR ozonation OR coagulation OR adsorption)). Foram considerados artigos publicados entre 2015 e 2025, e a busca foi executada em 26 de janeiro de 2026.

Os critérios de inclusão abrangeram: estudos no contexto da agroindústria ou do processamento de alimentos; abordagem de efluentes industriais e gestão da água; descrição de tecnologias, processos ou estratégias de tratamento voltadas ao reúso; apresentação de ao menos um indicador de desempenho ambiental ou resultado associado à qualidade do efluente tratado; e artigos revisados por pares. Foram excluídos: estudos exclusivamente agrícolas sem relação com processamento agroindustrial; estudos sobre consumo de água sem tratar de efluentes ou reúso; publicações que não descrevessem tecnologias ou processos de tratamento; trabalhos sem dados, resultados ou indicadores mínimos de desempenho ambiental; e resumos de congresso sem texto completo disponível.

O processo de seleção ocorreu em três etapas. Primeiro, os registros recuperados foram verificados quanto à duplicidade. Em seguida, realizou-se a triagem por título e resumo mediante um fluxograma decisório com três perguntas excludentes: inserção no contexto agroindustrial ou de processamento de alimentos; presença de efluentes industriais, gestão da água ou tratamento de águas residuárias em sistemas agroindustriais; e descrição de tecnologias ou estratégias de tratamento voltadas ao reúso ou à melhoria da qualidade da água. Por fim, os

estudos classificados como elegíveis passaram por leitura do texto completo para confirmação dos critérios. Os motivos de exclusão foram registrados conforme a etapa do processo.

A extração de dados foi realizada em planilha padronizada (Excel), contemplando, no mínimo, autor e ano, país, setor agroindustrial, tipo de efluente, objetivo do estudo, tecnologias de tratamento, existência e finalidade do reúso, indicadores ambientais reportados, principais resultados, escala do estudo e limitações apontadas. Para a síntese, os dados foram organizados descritivamente por frequências, priorizando categorias de setor, escala e soluções reportadas. No caso da finalidade do reúso, a categorização foi apresentada apenas quando o estudo reportou reúso, de modo a preservar a distinção entre implementação descrita e menções de potencial. Para transparência e reprodutibilidade, foi elaborada uma matriz de dados no Anexo I, reunindo os estudos incluídos e as variáveis utilizadas na construção das tabelas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gestão e Tratamento de Efluentes na Agroindústria

Na agroindústria, o tratamento de efluentes deve ser compreendido como parte da gestão das operações. A água participa de atividades centrais, como lavagem, processamento, higienização e utilidades. Por isso, a geração de correntes residuárias não representa apenas uma questão ambiental. Ela interfere no custo, na regularidade da produção e na segurança operacional da planta. Segundo (Bistué-Rovira et al., 2025) quando esses efluentes apresentam grande variação de composição, com matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes, sais e microrganismos, o tratamento passa a exigir decisões técnicas e gerenciais articuladas. No caso de efluentes de abatedouro, por exemplo, a literatura mostra que a elevada carga orgânica e microbiológica exige sistemas capazes de produzir água compatível com usos internos específicos (Bistué-Rovira et al., 2025).

Esse entendimento também se aplica a outros segmentos da indústria de alimentos. No processamento de frutas, a presença de demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos totais, nitrogênio Kjeldahl total e fósforo amplia a pressão regulatória e os custos ligados ao descarte, além de elevar o risco de impacto ambiental (Chu; Abbassi; Zytner, 2022). Nesse cenário, tratar adequadamente o efluente não significa apenas atender exigências legais. Significa, também, preservar a continuidade da operação e melhorar o uso da água dentro da unidade produtiva.

Diante dessa complexidade, a literatura tem apontado para sistemas de tratamento em múltiplas etapas. A combinação entre ultrafiltração e osmose reversa aplicada a correntes específicas da indústria de alimentos apresentou elevada remoção de turbidez, sólidos, sais e matéria orgânica, permitindo recuperar água para recirculação interna (Hernández et al., 2021). Do ponto de vista da gestão de operações, esse resultado é relevante porque reduz a variabilidade da água tratada e transforma parte do efluente em recurso reaproveitável. Assim, o tratamento deixa de ser apenas resposta ao descarte e passa a integrar a lógica de desempenho hídrico da planta.

Nessa mesma direção, o biorreator com membranas amplia o controle do processo ao reunir tratamento biológico e separação física em um mesmo sistema. Em estudo com efluente de abatedouro, as remoções superaram noventa e cinco por cento para demanda química de oxigênio e noventa e nove por cento para amônio, desde que o tempo de retenção hidráulica fosse mantido em faixa adequada (Bistué-Rovira et al., 2025). Quando essa condição foi pressionada além do limite, surgiram acúmulo de nitrito, desequilíbrio microbiológico e aumento da incrustação da membrana. Isso indica que a qualidade do tratamento depende não só da tecnologia empregada, mas da estabilidade operacional com que ela é conduzida.

As etapas físico-químicas aparecem como complemento importante nesse arranjo. A coagulação com sulfato de alumínio reduziu demanda química de oxigênio, absorvância em ultravioleta, cor e turbidez em efluente secundário da indústria alimentícia, contribuindo para a melhoria da qualidade da água destinada à reciclagem hídrica (Cheng et al., 2023). De forma complementar, o processo Fenton pode atuar como pré ou pós-tratamento em correntes com ácido acético, alcançando elevada remoção de cor e demanda química de oxigênio (Suwannahong et al., 2021). Esses resultados reforçam que, na agroindústria, o tratamento eficiente costuma depender da combinação entre técnicas compatíveis com o perfil do efluente e com o padrão final de água requerido.

3.2 Estratégias de Reúso de Água e Governança no Contexto Agroindustrial

O reúso de água, nesse contexto, deve ser entendido como estratégia de gestão das operações. Mais do que reduzir descarte, ele pode diminuir a dependência de fontes externas, conter custos e ampliar a estabilidade do abastecimento interno. Em avaliação de ciclo de vida realizada na indústria de frutas, o tratamento local com biorreator com membranas, osmose reversa e desinfecção por radiação ultravioleta apresentou menor impacto ambiental global do que o envio do efluente para tratamento externo, além de viabilizar reúso interno (Chu; Abbassi;

Zytner, 2022). Isso desloca o tema de uma abordagem apenas ambiental para uma lógica mais próxima da sustentabilidade produtiva.

Essa relação entre reúso e desempenho operacional torna-se ainda mais visível em escala plena. Em planta avícola, a estação de reúso forneceu quatro mil metros cúbicos por dia de água de alta qualidade, acumulou mais de quatro milhões de metros cúbicos recuperados e reduziu em quarenta e cinco por cento a pegada hídrica da instalação (Stachurski; Delgorge; Muszyński, 2024). O dado é expressivo porque mostra que a recuperação hídrica pode contribuir diretamente para a segurança da produção, sobretudo em contextos de escassez, aumento do custo de captação e maior pressão regulatória.

Ao mesmo tempo, o reúso não se sustenta apenas pela instalação de tecnologias avançadas. Sua viabilidade depende de governança operacional, com monitoramento contínuo, ajuste da relação entre carga orgânica e nitrogênio, dosagem adequada de coagulantes, manejo do lodo e controle da incrustação em filtros e membranas (Stachurski; Delgorge; Muszyński, 2024). Em termos práticos, isso significa que a água de reúso precisa ser tratada como produto interno da planta, cuja qualidade depende de manutenção, padronização e resposta rápida a desvios do processo.

Dessa forma, a literatura indica que o reúso de efluentes na agroindústria se apoia em três bases articuladas. A primeira é a escolha de tecnologias compatíveis com a composição do efluente e com a qualidade final requerida. A segunda é a integração do tratamento à rotina produtiva. A terceira é a governança, entendida como monitoramento, manutenção e controle da variabilidade operacional. Quando esses elementos se combinam, o reúso deixa de ser apenas alternativa ambiental e passa a atuar como recurso de racionalização, continuidade e estabilidade da produção (Bistué-Rovira et al., 2025; Chu; Abbassi; Zytner, 2022; Stachurski; Delgorge; Muszyński, 2024).

A partir desse enquadramento teórico, a análise dos resultados privilegia a compreensão do tratamento de efluentes e do reúso de água como elementos vinculados à gestão das operações agroindustriais. Assim, a discussão desenvolve-se em torno de três eixos, a caracterização dos estudos por setor e escala, as soluções de tratamento mais recorrentes e as finalidades de reúso efetivamente reportadas, buscando interpretar esses achados em termos de desempenho operacional e integração de processo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese do portfólio ($n = 27$) evidencia padrões relevantes para a gestão de operações em agroindústrias, ao organizar a literatura em termos de contexto setorial, nível de aplicação e destinos de reúso, como pode ser observado na Tabela 1. Observa-se maior concentração de estudos em frutas e vegetais (11; 40,7%), seguida de alimentos diversos (6; 22,2%), carnes e abate (4; 14,8%) e laticínios (3; 11,1%). Setores como bebidas e derivados, azeite ou olivicultura e pecuária aparecem de forma pontual (1 estudo cada), o que sugere menor densidade de evidências comparáveis nesses segmentos, ao menos no recorte analisado. Em termos de escala, prevalecem estudos em configuração mista (10; 37,0%), com proporções semelhantes em escala laboratorial (8; 29,6%) e industrial (8; 29,6%), e baixa incidência de estudos exclusivamente em piloto (1; 3,7%). Esse resultado é relevante sob a ótica gerencial porque combina duas mensagens: há evidências próximas de condições reais de operação, mas permanece uma parcela expressiva de investigações ainda em validação, o que reforça a necessidade de decisões por estágios (pilotos, testes controlados e escalonamento progressivo) para reduzir incerteza de investimento.

Tabela 1 – Caracterização dos estudos incluídos ($n = 27$)

Variável	Categoria	n	%
Setor agroindustrial	Frutas e vegetais	11	40,7
	Alimentos diversos	6	22,2
	Carnes e abate	4	14,8
	Laticínios	3	11,1
	Bebidas e derivados	1	3,7
	Azeite ou olivicultura	1	3,7
	Pecuária	1	3,7
Escala do estudo	Mista	10	37,0
	Laboratorial	8	29,6
	Industrial	8	29,6
	Piloto	1	3,7
Existência de reúso	Sim	18	66,7
	Não	8	29,6
	NR	1	3,7

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Do ponto de vista de estratégia operacional, chama atenção que 66,7% dos estudos (18) reportam algum tipo de reúso. Isso indica que uma parcela substantiva da literatura trata o efluente como recurso passível de reinserção no sistema produtivo, e não apenas como um passivo a ser descartado. Para a gestão, essa orientação se conecta diretamente a eficiência hídrica, redução de dependência de captação, estabilidade operacional em cenários de restrição e aumento de resiliência do processo, além de potenciais ganhos de conformidade ambiental e mitigação de riscos reputacionais.

Em relação às soluções adotadas, a literatura reporta predominantemente arquiteturas de tratamento em múltiplas etapas, como pode ser visualizado na Tabela 2, com forte presença de módulos de separação por membranas (24; 88,9%) e combinações com etapas de condicionamento físico-químico (12; 44,4%) e biológicas (10; 37,0%), além de arranjos integrados do tipo MBR (7; 25,9%). Também aparecem etapas de polimento complementar, como adsorção (5; 18,5%), e barreiras finais, como desinfecção (5; 18,5%). Para um enquadramento em Engenharia de Produção, a leitura central desses achados não é prescritiva do ponto de vista técnico, mas organizacional: o padrão recorrente é o uso de redundância e encadeamento de etapas como estratégia para aumentar robustez e confiabilidade do sistema, reduzir variabilidade do efluente tratado e garantir consistência para o reúso. Em termos de decisão, isso implica atenção a integração do processo, necessidade de monitoramento, rotinas de manutenção e capacitação da operação, além de implicações em custo total de propriedade (implantação, operação e manutenção) e disponibilidade de competências internas ou terceirização.

Tabela 2 – Categorias de soluções reportadas nos estudos (presença no estudo)

Categoria de solução (visão de sistema)	n	%
Etapas de separação por membranas (RO, NF, UF)	24	88,9
Etapas de condicionamento físico-químico (coagulação, floculação, flotação, decantação etc.)	12	44,4
Etapas biológicas (aeróbias ou anaeróbias)	10	37,0
Arranjos integrados do tipo MBR	7	25,9
Polimento complementar (adsorção)	5	18,5
Barreiras finais (desinfecção)	5	18,5
Soluções menos recorrentes (oxidação avançada, wetlands, outros)	3	11,1

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Ao analisar apenas os estudos que reportaram reúso ($n = 18$), a Tabela 3 indica predominância do reúso interno industrial (12), seguido de irrigação ou uso agrícola (4). Há poucos casos classificados como “não informado” (1) e “outros” (1). Esse padrão é consistente com uma interpretação gerencial: usos internos tendem a apresentar maior controlabilidade (volumes, horários, padrões internos de qualidade, rastreabilidade e gestão de riscos), o que reduz incertezas de implementação e facilita a incorporação do reúso à rotina operacional. Já a irrigação, embora presente, pode demandar arranjos adicionais de governança e controle por envolver condições externas ao processo industrial e, frequentemente, exigências específicas de qualidade e segurança do uso.

Tabela 3 – Finalidade do reúso entre estudos com reúso reportado ($n = 18$)

Finalidade do reúso	n	%
Reúso interno industrial	12	66,7
Irrigação ou uso agrícola	4	22,2
Não informado	1	5,6
Outros	1	5,6

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Importa registrar que, entre os estudos que não reportaram reúso ($n = 8$), há menções a finalidades potenciais, especialmente irrigação e usos internos, mas sem caracterização como implementação. Para a Engenharia de Produção, essa diferença entre “reúso implementado” e “reúso potencial” é um indicador indireto de maturidade decisória: sugere que, em parte dos casos, as barreiras relevantes podem estar menos na existência de alternativas tecnológicas e mais em fatores típicos de implantação, como análise de viabilidade econômica, requisitos de controle, disponibilidade de equipe, alinhamento com rotinas produtivas, investimento inicial, aceitação organizacional e desenho de indicadores de desempenho.

Em síntese, o portfólio analisado indica: concentração de evidências em alguns segmentos agroindustriais, presença expressiva de estudos em condições próximas da operação (industrial e mista), preferência por soluções estruturadas em múltiplas etapas e, quando o reúso é efetivamente reportado, predominância de aplicações internas ao processo produtivo. Esses achados, sob a ótica da gestão, reforçam o reúso como estratégia operacional e não apenas ambiental, orientando empresas para abordagens de implementação por etapas, com foco em robustez, governança do processo, padronização operacional e avaliação do desempenho ao longo do tempo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão da literatura evidencia que o reúso de efluentes na agroindústria vem sendo tratado como estratégia de eficiência e resiliência, e não apenas como resposta ambiental ao descarte. O portfólio analisado concentra-se em segmentos de alta intensidade hídrica e reúne parcela de estudos em condições próximas da operação, mista, o que reforça sua utilidade para a tomada de decisão em sistemas produtivos reais.

Os resultados mostram predominância de soluções organizadas em múltiplas etapas, com combinação de módulos e barreiras de tratamento para reduzir variabilidade e elevar a confiabilidade da água para reúso. Do ponto de vista gerencial, esse padrão indica que a viabilidade do reúso depende tanto da tecnologia quanto de fatores de implantação, como integração ao processo, monitoramento, manutenção, capacitação da equipe, governança e avaliação do desempenho.

Entre os estudos que reportaram reúso, predominou a aplicação à operação industrial, sugerindo que a substituição gradual de água de captação por água de reúso em usos controláveis tende a ser o caminho mais recorrente e gerenciável. Na prática, esse resultado

aponta para uma implementação por etapas, com diagnóstico de fluxos e consumos, definição de usos prioritários, implantação piloto, estabilização das rotinas operacionais e expansão posterior para usos mais sensíveis ou externos.

Persistem lacunas na transição entre validação e escalonamento. A baixa presença de estudos em escala piloto e a heterogeneidade de reporte indicam a necessidade de pesquisas sobre viabilidade econômica, custo de propriedade, confiabilidade, desempenho de longo prazo e modelos de governança voltados à integração do reúso às rotinas produtivas.

REFERÊNCIAS

- BELAQZIZ, Majdouline *et al.* **Treatment of olive mill wastewaters using infiltration/percolation system: effect on microbial communities in the soil filter.** *Desalination and Water Treatment*, v. 276, p. 124–132, 2022.
- BISTUÉ-ROVIRA, Miquel *et al.* **Long-term performance evaluation of a membrane bioreactor for slaughterhouse wastewater reclamation and reuse.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 13, n. 3, p. 116144, 2025.
- BRIÃO, Vandrê Barbosa *et al.* **Water recovery from dairy rinse water by reverse osmosis: Giving value to water and milk solids.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 140, p. 313–323, 2019.
- CASTRO, L. E. N. *et al.* **Valorization of residual ashes from boiler combustion process into activated carbon for adsorption of food industry wastewater.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 22, n. 7, p. 5341–5362, 2025.
- CHEN, Jianle *et al.* **Green recovery of pectic polysaccharides from citrus canning processing water.** *Journal of Cleaner Production*, v. 144, p. 459–469, 2017.
- CHENG, Yu *et al.* **Evaluation of efficiently removing secondary effluent organic matters (EfOM) by Al-based coagulant for wastewater recycling: a case study with an industrial-scale food-processing wastewater treatment plant.** *Membranes*, v. 13, n. 5, p. 510, 2023.
- CHU, Tong; ABBASSI, Bassim E.; ZYTNER, Richard G. **Life-cycle assessment of full-scale membrane bioreactor and tertiary treatment technologies in the fruit processing industry.** *Water Environment Research*, v. 94, n. 1, p. e1661, 2022.
- FAGBOHUNGBE, Michael O. *et al.* **Sustainable strategies for improved regulatory compliance within the food-processing sector.** *In: Thomas Telford Ltd*, 2021.
- FALCÓN-CARDONA, Nereida *et al.* **Hydraulic behavior and chemical characterization of lapilli as material for natural filtering of slurry.** *Water*, v. 7, n. 6, p. 2840–2850, 2015.
- GARNIER, Céline *et al.* **Treatment of cauliflower processing wastewater by nanofiltration and reverse osmosis in view of recycling.** *Journal of Food Engineering*, v. 317, p. 110863, 2022.
- HERNÁNDEZ, Karina *et al.* **Water recovery by treatment of food industry wastewater using membrane processes.** *Environmental technology*, v. 42, n. 5, p. 775–788, 2021.
- HOENDERVANGERS, Perry *et al.* **Monitoring of pesticides in the processing water and wastewater of vegetable processing companies: sources and treatment challenges.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, p. 119252, 2025.



HUMMEL, Ferdinand *et al.* **Meat-Processing Wastewater Treatment Using an Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR).** *Fermentation*, v. 11, n. 2, p. 68, 2025.

KYLLÖNEN, Hanna *et al.* **Membrane-based conceptual design of reuse water production from candy factory wastewater.** *Water Science and Technology*, v. 84, n. 6, p. 1389–1402, 2021.

LIMA, Aías; ABREU, Tiago; FIGUEIREDO, Sónia. **Water and wastewater optimization in a food processing industry using water pinch technology.** *Sustainable Water Resources Management*, v. 7, n. 5, p. 82, 2021.

MAHONEY, Laura; YOUNIS, Bassam A.; SIMMONS, Christopher W. **A novel system for the treatment of wastewater from a tomato processing plant with UV light.** *Water Practice & Technology*, v. 13, n. 3, p. 662–672, 2018.

MATEUS, Angélica *et al.* **Implementation of magnetic bentonite in food industry wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation.** *Water Resources and Industry*, v. 26, p. 100154, 2021.

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*, v. 88, n. 9, p. 852–870, 2016.

PAHAZRI, Nor Fadzilah *et al.* **Stryhnos potatorum and Pisum sativum as natural coagulant for meat food processing wastewater treatment: isotherm studies.** *Separation Science and Technology*, v. 58, n. 2, p. 345–360, 2023.

PETROSELLI, Andrea *et al.* **Integrated system of phytodepuration for agroindustrial wastewater: three different case studies.** *International journal of phytoremediation*, v. 17, n. 12, p. 1227–1236, 2015.

STACHURSKI, Arkadiusz; DELGORGE, Frank; MUSZYŃSKI, Adam. **Water reuse from wastewater: Experiences and challenges of implementing a full-scale water reuse system in a food industry plant.** *Journal of Water Process Engineering*, v. 59, p. 104994, 2024.

SUWANNAHONG, Kowit *et al.* **Pre-treatment of acetic acid from food processing wastewater using response surface methodology via Fenton oxidation process for sustainable water reuse.** *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, v. 9, n. 4, p. 1–18, 2021.

VERGINE, Pompilio *et al.* **Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation.** *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 587–596, 2017.

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*, v. 16, n. 3, p. 1369–1378, 2019.

WU, Dan *et al.* **Feasibility study on water reclamation from the sorting/grading operation in mandarin orange canning production.** *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 224–230, 2016.

XU, Hang *et al.* **Microalgae treatment of food processing wastewater for simultaneous biomass resource recycling and water reuse.** *Journal of Environmental Management*, v. 369, p. 122394, 2024.

YAPICIOĞLU, Pelin Soyertaş; ELISA, Fatma. **Dual benefits on valorization of waste agro-industrial biochar by low-carbon thermal pyrolysis in biochar regeneration for carbon-neutral industrial wastewater treatment and reclaimed water achievement.** *Process Safety and Environmental Protection*, p. 108280, 2025.

ANEXO I - Matriz de extração e codificação dos estudos incluídos (base para replicação das tabelas)

Autores	Setor Agroindustrial	Escala	Reúso	Finalidade	Membranas	Físico-Químico	Biológico	MBR	Adsorção	Desinfecção	Outros
(Yapıcıoğlu; Elisa, 2025)	Bebidas e derivados	Mista	Sim	Irrigação/uso agrícola	0	0	0	0	1	0	0
(Moore; Zytner; Chang, 2016)	Frutas e vegetais	Laboratorial	Sim	NR	1	0	1	1	1	1	0
(Bistué-Rovira et al., 2025)	Carnes e abate	Mista	Sim	Reúso interno industrial	1	1	1	1	0	0	0
(Stachurski; Delgorge; Muszyński, 2024)	Carnes e abate	Industrial	Sim	Reúso interno industrial	1	1	1	0	0	0	0
(Suwannahong et al., 2021)	Frutas e vegetais	Laboratorial	Não	NR	1	0	0	0	0	0	1
(Mateus et al., 2021)	Frutas e vegetais	Piloto	Sim	Irrigação/uso agrícola	0	1	0	0	1	0	0
(Cheng et al., 2023)	Alimentos diversos	Mista	Sim	Outros	0	1	1	1	0	0	0
(Hoendervangers et al., 2025)	Frutas e vegetais	Industrial	Sim	Reúso interno industrial	1	1	1	0	0	0	0
(Hernández et al., 2021)	Alimentos diversos	Mista	Sim	NR	1	0	0	0	0	0	0
(Chu; Abbassi; Zytner, 2022)	Frutas e vegetais	Industrial	Sim	Reúso interno industrial	1	0	0	1	0	1	0
(Hummel et al., 2025)	Carnes e abate	Mista	Não	NR	1	0	1	1	0	0	0
(Vergine et al., 2017)	Frutas e vegetais	Industrial	Sim	Irrigação/uso agrícola	1	1	1	1	0	1	0
(Xu et al., 2024)	Alimentos diversos	Laboratorial	Sim	Outros	1	1	0	0	0	0	0
(Castro et al., 2025)	Laticínios	Laboratorial	Não	NR	1	1	0	0	1	0	0

1 = tecnologia mencionada no estudo; 0 = não mencionada

ANEXO I - Matriz de extração e codificação dos estudos incluídos (base para replicação das tabelas) - Continuação

Autores	Setor Agroindustrial	Escala	Reúso	Finalidade	Membranas	Físico-Químico	Biológico	MBR	Adsorção	Desinfecção	Outros
(Kyllönen et al., 2021)	Alimentos diversos	Laboratorial	Sim	Reúso interno industrial	1	1	0	0	0	0	0
(Weng; Jacangelo; Schwab, 2019)	Frutas e vegetais	Laboratorial	Não	NR	1	1	1	0	0	0	0
(Lima; Abreu; Figueiredo, 2021)	Alimentos diversos	Industrial	Sim	Reúso interno industrial	1	1	1	0	0	0	0
(Pahazri et al., 2023)	Carnes e abate	Laboratorial	NR	NR	1	1	0	0	0	0	0
(Wu et al., 2016)	Alimentos diversos	Mista	Sim	Outros	1	0	0	0	1	1	0
(Garnier et al., 2022)	Frutas e vegetais	Mista	Não	NR	1	0	0	0	0	0	0
(Fagbohunbe et al., 2021)	Alimentos diversos	Industrial	Sim	NR	1	1	0	0	0	0	0
(Petroselli et al., 2015)	Laticínios	Industrial	Sim	Irrigação/uso agrícola	1	0	1	0	0	0	0
(Mahoney; Younis; Simmons, 2018)	Alimentos diversos	Industrial	Não	NR	1	0	0	0	0	1	0
(Belaqziz et al., 2022)	Azeite/olivicultura	Piloto	Não	NR	1	0	1	0	0	0	0
(Brião et al., 2019)	Laticínios	Mista	Sim	Outros	1	0	0	1	0	0	0
(Falcón-Cardona et al., 2015)	Pecuária	Laboratorial	Não	NR	1	0	0	0	0	0	0
(Chen et al., 2017)	Alimentos diversos	Industrial	Sim	Reúso interno industrial	1	1	0	0	0	0	0

1 = tecnologia mencionada no estudo; 0 = não mencionada