



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**CURSO DE BACHARELADO EM GASTRONOMIA**

**Luana Amanda Mesquita da Silva**

**Aproveitamento integral do soro do leite: uma análise bibliométrica**

**RECIFE-PE**

**FEVEREIRO/2026**

LUANA AMANDA MESQUITA DA SILVA

## **Aproveitamento integral do soro do leite: uma análise bibliométrica**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à coordenação do Curso de Bacharelado em Gastronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gastronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>.Dr. Emmanuela Prado de Paiva Azevedo

Recife-PE

Fevereiro/2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

S586a Silva, Luana Amanda Mesquita da.  
Aproveitamento integral do soro do leite: uma análise bibliométrica / Luana Amanda Mesquita da Silva. – Recife, 2026.  
55 f.; il.

Orientador(a): Emmanuela Prado de Paiva Azevedo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Gastronomia, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Soro de leite. 2. Leite - Subprodutos . 3. Biotecnologia. 4. Economia circular I. Azevedo, Emmanuela Prado de Paiva, orient. II. Título

CDD 641.013

LUANA AMANDA MESQUITA DA SILVA

**Aproveitamento integral do soro do leite: uma análise  
bibliométrica**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à coordenação do Curso de Bacharelado em Gastronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gastronomia.

Data: 06/02/2026

Resultado: Aprovado

**Banca Examinadora**

---

Profª Drª. Emmanuela Prado de Paiva Azevedo -DTR/ URFPE- Orientadora

---

Profª Drª Amanda Rafaela Carneiro de Mesquita-DTR/ URFPE- Examinadora

---

Profª Drª. Elizabeth Sampaio de Medeiros-DTR/ URFPE- Examinadora

---

Profª Drª. Neide Kazue Sakugawa Shinohara-DTR/ URFPE- Examinadora

RECIFE-PE

FEVEREIRO/2026

## **AGRADECIMENTOS**

Refleti bastante sobre minha jornada acadêmica para escrever essa nota de agradecimentos e primeiro, quero agradecer a Deus, pois “Sempre estive aqui, me ensinando a caminhar e a perder meus medos”. E a mim, por não ter desistido.

Foi uma jornada atribulada e com muitos desafios, conciliar trabalho, pesquisa e o curso, não foi fácil. No entanto, durante esse percurso, pessoas importantes estiveram comigo, me incentivando e motivando a continuar, então quero agradecer a Tia Cícera (e demais tias), minha mãe, minhas irmãs, meu namorado e amigos.

Quero agradecer a minha orientadora Professora Emmanuela Azevedo que, desde o final de 2022, tem me conduzido a descobrir, aprender e alcançar coisas que nunca pensei que conseguiria durante a graduação. Por ter escutado minhas lóstimas e dificuldades com as pesquisas, projetos e coisas da vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao corpo docente do curso de Bacharelado em Gastronomia, que foram fundamentais na minha jornada acadêmica e no meu desenvolvimento enquanto profissional.

E um profundo agradecimento à Pró-Reitoria de Gestão Estudantil e Inclusão (PROGESTI) pelo fornecimento da bolsa de apoio acadêmico, durante todo o período da minha graduação, pois foi crucial para a concretização desse sonho.

A finalização dessa jornada não foi alcançada apenas por mim, mas pelo trabalho em conjunto de muitas pessoas: “Se você quer ir rápido, vá sozinho. Mas se quer ir longe, vá em grupo”. E isso, me trouxe até aqui.

## RESUMO

O soro do leite, subproduto da fabricação de queijos, representa um desafio ambiental significativo devido ao seu alto volume de produção e elevada carga orgânica (DBO/DQO), sendo grande parte ainda descartado inadequadamente. No entanto, sua rica composição nutricional, incluindo proteínas, vitaminas e sais minerais, o torna uma potente matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos. Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica para mapear as principais linhas de pesquisa e tecnologias emergentes focadas no aproveitamento integral do soro do leite, identificando tendências e lacunas de conhecimento. A metodologia empregou o software VOSviewer para analisar a produção científica, usando a base de dados do Scopus, quantificando o volume de publicações e mapeando a coocorrência de autores, instituições e palavras-chave. Os resultados delinearam um campo de pesquisa em expansão, com destaque para as aplicações biotecnológicas, como a bioconversão do soro em bioprodutos de alto valor agregado. A análise revelou a necessidade de maior foco em soluções de baixo custo e na implementação de políticas públicas para o setor informal, visando a sustentabilidade ambiental e a valorização socioeconômica. Conclui-se que a biotecnologia e a abordagem de economia circular são cruciais para transformar o soro do leite de um efluente poluente em um recurso valioso para as indústrias alimentícia, nutracêutica e farmacêutica.

Palavras-chave: Soro do leite, aproveitamento integral, biotecnologia, bioprodutos, bioconversão, economia circular e VOSviewer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Soro do leite.....	10
Figura 2: VOSviewer.....	17
Figura 3: Quantidade de estudos publicados por ano.....	21
Figura 4: Quantidade de estudos publicados por Instituições.....	22
Figura 5: Quantidade de estudos publicados por país.....	23
Figura 6: Rede de países.....	23
Figura 7: Quantidade de estudos publicados por autor.....	25
Figura 8: Rede de autores.....	26
Figura 9: Rede de Palavras-chaves.....	37
Figura 10: Pão integral multigrãos feito com soro do leite.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros físico-químicos para o soro do leite.....	11
Quadro 2: Principais autores e tema central de cada cluster.....	27
Quadro 3: Artigos selecionados e pertencentes aos <i>clusters</i> azul, amarelo e vermelho.....	28
Quadro 4: Comparação entre grandes e pequenos produtores de laticínios.....	39
Quadro 5: Comparação entre o soro ácido e o soro doce.....	43

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....	10
<b>3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	10
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
4.1 Soro do leite.....	10
4.2 Características nutricionais do soro do leite.....	12
4.3 Descarte do soro do leite e impacto ambiental.....	13
4.4 Principais aplicações tecnológicas.....	14
4.5 Linhas emergentes de pesquisa.....	16
4.6 Análise bibliométrica.....	17
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	20
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
6.1 Progressão temporal das publicações referente ao tema central “Aproveitamento integral do soro do leite”.....	21
6.2 Instituições, países e autores.....	22
6.3 Estudos pertencentes ao <i>cluster</i> azul.....	30
6.4 Estudos pertencentes ao <i>cluster</i> amarelo.....	31
6.5 Estudos pertencentes ao <i>cluster</i> vermelho.....	32
6.6 Rede de palavras-chaves.....	37
6.7 Lacunas identificadas.....	39
6.8 Perspectivas futuras.....	45
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	47
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

O soro do leite é um líquido amarelo-esverdeado com sabor ácido e levemente salgado que se separa da coalhada durante a fabricação do queijo e é classificado em duas categorias com base no método de coagulação do leite: soro doce e soro ácido. O soro doce é obtido como resultado da coagulação enzimática do leite pela quimosina e tem um valor de pH de 6,7. O soro ácido é um subproduto da coagulação do leite por acidificação com um valor de pH < 5 (Papademas P. e Kotsaki P., 2019).

Durante a produção de queijo, cerca de 80-90% do volume total de leite é o soro. Esse, se forma durante o processo de coagulação do leite na fabricação de produtos lácteos. Era considerado um grande efluente das indústrias de laticínios (Goveas et al., 2024).

Nos anos 1970, o soro do leite era frequentemente descartado de forma inadequada, sendo nocivo ao meio ambiente (Milkpoint, 2024). Transformando-se em um rejeito industrial, causava alto impacto ambiental pelos prejuízos à fauna e flora, isso porque sua Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é de dez a 100 vezes maior que a do esgoto doméstico (Nunes et al., 2018).

Contudo, após caracterização química, foi descoberto que era uma fonte preciosa de bioativos, contribuindo para a sua ascensão no mercado. O soro do leite consiste em 50% dos constituintes do leite, como lactose, proteínas, sais minerais e nutrientes essenciais (Luparelli e et al., 2025).

Catalisado pelo avanço tecnológico na técnica de separação por membrana (microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração), junto à crescente demanda por proteínas de alta qualidade e a busca do consumidor por uma alimentação mais saudável, contribuíram para converter este resíduo em matéria prima de alto valor agregado (Milkpoint, 2024).

Essas inovações tecnológicas e a demanda emergente por produtos nutracêuticos, favoreceram o aumento do valor comercial do soro do leite e a sustentabilidade ambiental nas indústrias, reduzindo o desperdício com o aproveitamento dos seus constituintes (Milkpoint, 2024).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento aprovou a Instrução Normativa nº 94 de 2020 que dispõe sobre a regulamentação Técnica de Identidade e Qualidade para o soro do leite e o soro do leite ácido. Onde estabelece padrões de qualidades físico-químicos e microbiológicos, com o objetivo de garantir a segurança do seu consumo para comercialização (MAPA, 2020).

Então, houve uma geração notável do aumento de interesse em aplicações nos diferentes setores da nutrição, indústria alimentícia e farmacêutica, pois o soro do leite confere propriedades tecnológicas como a gelificação, emulsificação e capacidade de formar espumas. E também, atividades biológicas como antimicrobiana, anti-hipertensiva, antitrombótica, anticancerígena, antioxidante, opioide, peptídeos bioativos, imunomodulador e regulação da microbiota intestinal (Luparelli e et al., 2025).

Mesmo com os avanços tecnológicos, mais de 40% do soro do leite produzido globalmente, ainda é descartado (Luparelli et al., 2025). Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 33% da produção global de alimentos é perdida durante os processos de fornecimento e consumo (Tita et al, 2024). O desperdício de alimentos afeta o meio ambiente e os recursos, sendo uma grande preocupação no setor alimentício.

O descarte do soro é um problema ambiental complexo devido à alta carga orgânica (demanda bioquímica por oxigênio: 35–45 kg/m<sup>3</sup>; demanda química de oxigênio: 60–80 kg/m<sup>3</sup>), teor de gordura, salinidade e outros sólidos suspensos presentes no soro (Tita et al., 2024).

O principal componente que causa altos valores de DBO e DQO é a lactose, que é o constituinte predominante no soro de leite, ou seja, 70-72% dos sólidos totais. Estima-se que 4000L de soro de leite podem causar danos ambientais equivalentes aos causados por resíduos fecais produzidos por 1.900 pessoas (Papademas P. e Kotsaki P., 2019).

O uso eficaz do soro do leite, reduz o impacto ambiental e aumenta a sustentabilidade da fabricação. Logo, uma abordagem circular para a gestão dos desperdícios e criação de produtos inovadores, se faz necessária (Tita et al., 2024).

O objetivo deste estudo é realizar uma análise bibliométrica para delinear as principais linhas de pesquisa e as tecnologias emergentes que visam o aproveitamento integral do soro de leite, identificando tendências de pesquisa, lacunas de conhecimento e aplicações funcionais que podem contribuir para o desenvolvimento de novos produtos nutracêuticos e biotecnológicos.

## 2. OBJETIVOS GERAL

Realizar uma análise bibliométrica sobre o soro do leite, delineando principais linhas de pesquisa sobre o desenvolvimento de tecnologias emergentes para o seu aproveitamento integral.

## 3. OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Quantificar o volume da produção científica sobre as aplicações biotecnológicas e bioprocessamento do soro do leite;
- Mapear as principais instituições, autores, palavras-chave e campos temáticos mais frequentes;
- Descrever as características nutricionais do soro do leite, principais aplicações tecnológicas e estudos emergentes;
- Identificar as lacunas existentes através da análise bibliométrica.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Soro do leite

O soro do leite é caracterizado como a parte aquosa amarelo-esverdeada do leite que permanece quando a coalhada é separada durante a fabricação de queijo. Ele representa cerca de 85–90% do volume do leite e contém cerca de 55% dos nutrientes do leite. O conteúdo médio do resíduo seco do soro é: 70% de lactose (dependendo da acidez do soro), 14% de proteínas, 9% de minerais, 4% de gorduras e 3% de ácido láctico (Zandona et al., 2021).

Figura 1: Soro do leite.



Fonte: Etiel (S/D).

O método de coagulação do leite, implicará no tipo de soro do leite resultante. O soro doce resulta da fabricação de queijos obtidos pelo uso de enzimas de coalho para coagulação (quimosina). O soro ácido resulta da acidificação do leite, seja pela ação das bactérias lácticas ou pela adição de ácidos minerais (HCl ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) durante a fabricação do queijo. O soro salgado representa de 2 a 5% da produção de queijo salgado (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023).

A Instrução Normativa n° 94 de 2020 dispõe sobre o regulamento técnico para os Padrões de Identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite ácido, quanto as características físico-químicas, como consta no quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros físico-químicos para o soro de leite líquido e concentrado.

Requisitos	Soro de leite	Soro de leite ácido	Soro de leite co soro de leite ácido concentrado
pH	6.0 a 6.8	Inferior 6.0	5.8 a 6.9
Acidez titulável em ácido láctico (g/100g)	0.08 a 0.14	-	-
Sólidos totais (g/100g)	Mínimo 5.0*	Mínimo 5.0*	Mínimo 11.0

\*Mínimo 4.5 para soros obtidos de queijo de massa lavada. Fonte: MAPA (IN n° 94/2020).

## 4.2 Características nutricionais do soro do leite

O soro é composto por água (90%), proteínas (6,0 g L<sup>-1</sup>), lactose (46–52 g L<sup>-1</sup>), sais dissolvidos, ácido láctico, lipídios, componentes menores (por exemplo, ácido cítrico, ureia e ácido úrico) e vitaminas do complexo B. Suas características organolépticas dependem do tipo (ácido, doce ou salgado), fonte de leite (por exemplo, bovino, caprino, ovino e camelo), alimentação animal, estágio de lactação do gado, época do ano e processos de fabricação de queijo (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023).

O soro é considerado uma ótima fonte de proteínas, uma rica fonte de vitaminas do complexo B e minerais como cálcio, fósforo, sódio, potássio, cloreto, ferro, cobre, zinco e magnésio, e lactose (Zandona et al., 2021).

As principais proteínas que compõe o soro do leite são a Beta-lactoglobulina, possui maior proporção e é resistente à degradação pela quimotripsina no estômago. A Alfa-lactoalbumina, contém alto teor do aminoácido essencial triptofano. A albumina, é uma transportadora de ácidos graxos insolúveis no sistema circulatório e com um bom perfil de aminoácidos essenciais. E também, imunoglobulinas, lactoferrina, lizozema e peptídeos derivados da caseína (como o glicomacropéptido) (Assunção e et al., 2022).

Composição das proteínas do soro do leite (Zandona et al., 2021):

- Beta-lactoglobulina (50%);
- Alfa-lactoalbumina (20-25%);
- Albumina sérica bovina (10-15%);
- Imunoglobulina (6%);
- Proteose-peptonas termoestáveis (1%);
- Lactoferrina (<1%).

O alto valor nutricional do soro do leite e seus benefícios a saúde resultaram na reciclagem de quase 50% do soro residual para a produção de produtos na indústria alimentícia, nutricional, farmacêutica e química (Zandona et al., 2021).

A Agenda 2030 que consta os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), alguns dos quais estão relacionados à gestão sustentável de resíduos, redução de emissões para água, solo e ar, da geração de resíduos por meio da reciclagem e reutilização, impulsionou a transformação do efluente soro do leite, em um subproduto valioso das indústrias de laticínios (Zandona et al., 2021).

### 4.3 Descarte do soro do leite e impacto ambiental

Entre o século XIX e XX, os produtos lácteos eram oriundos de produtores artesanais e não havia legislações para garantir a sanidade desses produtos. Contudo, houve movimentações socioeconômicas para garantir a produção de laticínios em quantidade e qualidade, devido a demanda. Assim, em 1952 foi criada a Regulamentação da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), incluindo a inspeção de leite e seus derivados (Medeiros, 2023).

Logo, a introdução da padronização e nivelamento da produção de alimentos de origem animal, com o objetivo de reduzir os riscos sanitários, corroborou com que produtores tradicionais, fosse do âmbito do setor formal para o informal, por não atenderem a legislação vigente (Medeiros, 2023).

A reciclagem e o reaproveitamento do soro continuam sendo desafios para locais remotos e comunidades pobres com acesso limitado a tecnologias, por vezes caras (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023). Estima-se que 40% dos produtores de pequenas empresas e informais no Brasil, descarta o soro do leite inadequadamente (Amaral, 2021).

A implementação de políticas públicas com uma ótica voltada para o setor informal, detentor de saberes tradicionais, é importante para preservar a história, cultura, subsistência, qualidade do produto e sustentabilidade ambiental.

Na ausência de práticas sustentáveis, o soro do leite (SL) é descartado como água residual, considerado um dos maiores poluentes ambientais da indústria de laticínios (Zandona et al., 2021). Mais de 40% do SL obtido da produção de queijo é descartado globalmente (Luparelli et al., 2025). Resultando na perda de nutrientes valiosos e potencialmente nocivos a flora e fauna (Tita et al., 2024).

Em 2022, cerca de 160 milhões de toneladas de SL foram gerados e espera-se que haja aumento, devido a demanda global por laticínios. No entanto, uma quantidade substancial ainda está sendo descartada como efluente (Goveas et al., 2024).

Aproximadamente 42% do SL é usado para produtos de baixo valor, como ração animal e fertilizantes, sendo também despejado em cursos d'água, causando danos ao meio ambiente através da eutrofização (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023).

Para obter 10kg de queijo, são necessários 100L de leite, gerando 80-90L de soro do leite (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023). A produção de queijo cresce a uma taxa de 6,9% por ano com estimativas até 2029, levando a um aumento correspondente no volume de soro (Mordor Intelligence, 2023).

A principal fração constituinte de matéria orgânica do SL é a lactose, proteína e lipídeo. O componente que mais causa altos valores de DBO (40-60g/L) e DBQ (50-80g/L) é a lactose (70-72% dos sólidos solúveis totais) (Papademas P. & Kotsaki P., 2019; Zandona et al., 2021).

A reutilização e a reciclagem do soro de leite tornaram-se um enorme desafio científico para reduzir o desperdício de laticínios e atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 e o conceito de economia circular (Zeng et al., 2023).

O uso eficaz do soro reduz o impacto ambiental e aumenta a sustentabilidade da fabricação (Tita et al., 2024). Portanto, a sua valorização integral é necessária para garantir a transição completa do setor de laticínios para a economia circular (Almeida M.P.G., Mockaitis G. & Weissbrodt D.G., 2023).

#### **4.4 Principais aplicações tecnológicas**

O soro do leite pode ser empregado na fabricação de soro do leite em pó, concentrado proteico, alimentos e bebidas funcionais, filmes e revestimentos comestíveis, ácido láctico, bioquímicos, bioplásticos, biocombustíveis e bioprodutos (Zandona et al., 2021).

Devido às propriedades do soro de leite, como boa solubilidade em água e enriquecimento proteico, a demanda no segmento de bebidas aumentou. Sendo uma alternativa para produtores que buscam desenvolver produtos ricos em proteínas e com boa dispersibilidade (Mordor Intelligence, 2025).

A América do Norte domina o mercado mundial de proteína do soro do leite. A nutrição esportiva está centrada no consumo de matrizes alimentares ricas em proteínas e os Estados Unidos, contribuiu entre 2017-2022, com o lançamento desses produtos em 40% (Mordor Intelligence, 2025).

O tamanho do mercado de proteína do soro do leite foi estimado em US\$ 2,32 bilhões em 2024, e deverá atingir US\$ 2,91 bilhões até 2029, crescendo a uma taxa de 4,64% durante o período de previsão 2024-2029 (Mordor Intelligence, 2025).

O whey protein é absorvido mais rápido e também é uma fonte rica em cisteína, um aminoácido que auxilia na prevenção contra a fadiga muscular pós-exercício. O whey possui um teor maior de aminoácidos de cadeia ramificada que ajudam a reduzir a degradação proteica durante exercícios pesados e aumentam a síntese muscular (Mordor Intelligence, 2025).

Uma quantidade significativa do soro é processada em pós de soro doce, desmineralizado, deslactosado, concentrado de proteína, isolado de proteína ou lactose (Zandona et al., 2021).

A proteína do soro de leite (WP) pode ser preparada por meio do processo de clarificação, ultrafiltração, nanofiltração e secagem (Zeng et al., 2023). Para produzir o soro do leite em pó, é realizada a clarificação do soro, separação do creme e posterior pasteurização, concentração de sólidos totais, cristalização da lactose e secagem por atomização (Zandona et al., 2021).

O WP pode ser distinguido em concentrado de proteína de soro de leite (WPC), isolado de proteína de soro de leite (WPI) e hidrolisados de proteína de soro de leite (WPH) de acordo com a diferença nos componentes e procedimentos de processamento (Zeng et al., 2023).

A ultrafiltração é empregada para separar a lactose e o WP, resultando em WPC com teor de proteína variando de 20 a 80%. Para aumentar ainda mais a concentração de proteína e remover a gordura, a microfiltração é utilizada para obter WPI (Zeng et al., 2023).

Caso a etapa de cristalização da lactose não seja realizada, a massa do pó a granel obtida, destina-se a ração animal. Pois, a não cristalização da lactose resulta na formação de cristais grandes e aglomerados, onde as partículas se aglutinam e constituem um “bolo sólido” (Zandona et al., 2021).

Devido à sensibilidade do WP ao calor, especialmente em soluções concentradas, a nanofiltração é comumente empregada como uma técnica de tratamento a frio para minimizar a desnaturação do WP. Essa técnica substitui a evaporação a vácuo na produção de WPC80 e WPI, visando concentrar a matéria seca e remover sais (Zeng et al., 2023).

A secagem por pulverização é o principal método usado para secagem na indústria de soro de leite. WPH refere-se a produtos obtidos por meio da hidrólise por protease do WP concentrado (Zeng et al. 2023).

A produção de SL em pó não produz resíduos que precisem ser tratados separadamente e a qualidade é preservada durante transporte e armazenamento (Zandona et al., 2021).

#### **4.5 Linhas emergentes de pesquisa com soro do leite: formulações sustentáveis, aproveitamento de resíduos e biotecnologia (fermentação e bioprodutos).**

O soro do leite ácido (SLA) representa importantes desafios de manejo, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, devido à sua alta carga orgânica e as restrições de descarte. Onde uma grande proporção produzida pela indústria de laticínios é descartada como efluente, gerando problemas ambientais, pois polui a água e o solo (Mutaliyeva e et al., 2025).

O soro ácido pode ser convertido em produtos funcionais, mas, devido ao seu pH muito baixo e ao teor de lactose, seu uso é limitado e amplamente subutilizado. Mesmo rico em lactose, pobre em proteínas, com excelente perfil de aminoácidos e o dobro de teor de cálcio quando comparado com o soro doce, apresenta dificuldades na elaboração de produtos à base de lactose, devido a presença de ácido láctico e pelos altos investimentos de capital necessário (Mutaliyeva e et al., 2025).

A produção de 1 kg de queijo gera pelo menos 9 L de soro de leite doce, a fabricação de 1 kg de iogurte grego resulta em 2–3 kg de soro ácido e para 1 kg de ricota, são necessários 20L soro doce, gerando 19L de soro ácido (Tunick M.H, Renye Jr. J.A., Garcia R.A., 2025).

Pesquisas emergentes, por meio da biotecnologia, têm empregado consórcios microbianos e tratamentos enzimáticos para promover a biotransformação do soro ácido em um produto fermentado de valor funcional e probiótico.

A seleção de microrganismos capazes de usar o SLA para a bioconversão da lactose em galactooligossacarídeos, um prebiótico que serve de alimento para as bactérias benéficas do intestino, especialmente bifidobactérias e lactobacilos, é uma importante linha de pesquisa para a valorização do soro e o desenvolvimento de produtos funcionais (Mutaliyeva e et al., 2025).

Estudos investigam a utilização do soro do leite como substrato de baixo custo para geração de peptídeos antimicrobianos, especialmente bacteriocinas. Através do cultivo das bactérias ácido-láticas na síntese de bacteriocinas, atuando contra bactérias Gram-positivas, como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e espécies de *Clostridium* (Tunick M.H, Renye Jr. J.A., Garcia R.A., 2025). Essa alternativa se torna crucial devido a demanda do consumidor por redução dos conservantes químicos e resistência de alguns microrganismos a antibióticos.

A fermentação microbiana do soro do leite produz peptídeos bioativos que têm sido associados a atividades antioxidantes, anti-hipertensivas, antidiabéticas, anticancerígenas, opioides e imunomoduladoras, além da síntese de proteínas musculares.

Os peptídeos bioativos são sequências curtas de aminoácidos que proporcionam benefícios à saúde, além da nutrição básica. Os peptídeos bioativos derivados do soro do leite, são liberados de suas proteínas (alfa-lactoalbumina, beta-lactoglobulina e lactoferrina), por meio da hidrólise enzimática, digestão gastrointestinal e/ou fermentação (Sumny E.H e Kempka A.P., 2025).

Portanto, a geração desses produtos de alto valor agregado reduz o impacto ambiental causado pelo descarte do soro do leite, especialmente o ácido, e aumenta o valor econômico industrial dos produtos finais (Faria et al., 2023).

#### **4.6 Análise bibliométrica: importância do mapeamento científico para identificar lacunas de pesquisas emergentes empregando o VOSviewer.**

A bibliometria é um método estatístico que permite a análise quantitativa de artigos de pesquisa sobre um tópico específico por meio de métodos matemáticos. Também permite avaliar a qualidade dos estudos, analisar as principais áreas temáticas e prever a direção de estudos futuros (Yu et al., 2020).

Os indicadores bibliométricos são usados para medir o impacto de uma ampla variedade de áreas do conhecimento quantificando a produção, o crescimento e consumo das publicações científicas. Podendo ser divididas em dois campos de estudos: análise de desempenho e mapeamento científico. Ambos são analisados por softwares com aplicações de métodos estatísticos e matemáticos das produções acadêmicas (Caneppele et al., 2023). O VOSviewer foi desenvolvido por Nees Jan Van Eck e Ludo Waltman em 2010, na Leiden University, Holanda. É um software disponível gratuitamente e serve para construir e visualizar mapas bibliométricos (Van Eck e Waltman, 2010; Caneppele et al., 2023).

Figura 2: Software VOSviewer.



Fonte: Vosviewer (S/D).

O VOSviewer, onde VOS significa visualização por similaridades, é um software de análise bibliométrica com capacidade de lidar com milhares de itens, convertendo em um mapa para estudo. Constrói redes bibliométricas com base em cocitação, pareamento ou relações de coautoria, com ênfase em autores, organizações ou países (Van Eck e Waltman, 2010).

A cocitação reflete a influência passada do campo de pesquisa, relacionada ao impacto de publicações e que representa a base do conhecimento do campo. Já o pareamento, é útil para avaliar a evolução de um campo temático (Caneppele et al., 2023).

O VOSviewer constrói os mapas com base em uma matriz de coocorrência que consiste em três etapas: a primeira, uma matriz de similaridade é calculada com base na matriz de coocorrência. Na segunda, um mapa é construído aplicando a técnica VOS à matriz de similaridade. E a terceira, o mapa é translado, rotacionado e refletido (Van Eck e Waltman, 2010).

Alguns tipos de mapas são empregados nas análises bibliométricas: mapas baseados em distâncias, onde a distância entre dois itens reflete a força de relação entre eles, quanto menor a distância, maior a força de relação. E mapas baseados em grafos, no qual a distância entre dois itens não precisa refletir a força de relação entre eles. Ao invés disso, linhas são criadas entre os itens para representar suas relações (Van Eck e Waltman, 2010).

O VOSviewer pode exibir de 3 a 4 mapas de formas distintas, dependendo do conteúdo do arquivo. A exibição pode ser representada por visualização de rótulos, densidade, densidade de clusters e dispersão.

*Visualização de rótulos*, os itens são indicados por rótulo e círculos. Quanto mais importante for um item, maior será seu rótulo e círculo. Se cores tiverem sido atribuídas aos itens, o círculo de cada item será exibido na sua cor correspondente. Essa visualização é especialmente útil para análises detalhadas de mapas científicos (Van Eck & Waltman, 2010).

*Visualização de densidade*, os itens são indicados por um rótulo e áreas coloridas cuja intensidade varia conforme a importância do elemento. O VOSviewer, por padrão, usa um esquema de cores vermelho-verde-azul, onde o vermelho corresponde à maior densidade de itens e o azul, a menor. Essa visualização possibilita uma visão ampla da estrutura geral do mapa, destacando as áreas de maior concentração e relevância dos estudos (Van Eck & Waltman, 2010).

Quanto mais uma publicação for referida, mais predominante ela se tornará para o desenvolvimento de uma área e estará em evidência no mapa (Caneppele et al., 2023).

Para obter o arquivo para análise no software, é necessário fazer uma busca em periódicos, especialmente o Scopus, incluir os filtros essenciais, exportar em CSV e efetuar o download (Caneppele et al., 2023).

As informações dos documentos que atendem aos requisitos devem conter ano de publicação, idioma, periódico, título, autor, afiliação, palavras-chave, tipo de documento, resumo e contagem de citações. O VOSviewer pode ser utilizado para analisar a coautoria, coocorrência, citação, acoplamento bibliográfico, cocitação e temas.

A análise bibliométrica permitirá identificar padrões, tendências e lacunas na literatura científica, contribuindo para a elucidação da problemática deste estudo: o aproveitamento integral do soro do leite.

## 5. METODOLOGIA

A investigação bibliométrica utilizou dados de produção científica do repositório central do Scopus ( [www.scopus.com](http://www.scopus.com) , Elsevier BV), por meio do Periódico da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). O procedimento baseou-se na seguinte consulta: "cheese whey" AND

("bioconversion" OR "fermentation" OR "bioprocess" OR "biotransformation" OR "biotechnology"). O refinamento da seleção abrangeu oito áreas temáticas: Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, Engenharia química, Ciências Agrárias e Biológicas, Ciências Ambientais, Energia, Imunologia e Microbiologia, Engenharia e Química.

Foram considerados apenas artigos científicos revisados por pares e publicados em periódicos, cobrindo todo o período para o qual os resultados estavam disponíveis. O recorte do período para busca do material, foi entre 15 de setembro a 21 de novembro de 2025. Os critérios de busca refinados incluíram Nome do Autor, Palavras-chave, Afiliação, País ou Território, Idioma e disponibilidade em Acesso Aberto. A busca foi realizada no Título, Resumo e Palavras-chave de cada documento. Um total de 176 documentos foram recuperados, abrangendo o período de 2022 a 2025. A análise de dados foi realizada utilizando o recurso "Analisar resultados" do Scopus e o software VOSviewer<sup>®</sup>, gerando representações visuais dos principais padrões e relações dos dados (Sumny E.H e Kempka A.P, 2025).

No mais, a utilização do soro do leite abrange diversas áreas temáticas como aplicações alimentícias (produção de bebidas lácteas e funcionais, iogurtes, produtos fermentados e queijos), sustentabilidade e reaproveitamento industrial (artigos sobre tratamento, redução de impacto ambiental e reuso do soro de queijo como parte de sistemas sustentáveis). No entanto, este estudo se delimitou na área de biotecnologia e bioprocessamento para a utilização do soro do leite, como em substratos fermentativos, síntese de enzimas, ácidos orgânicos, biopolímeros e biocombustível.

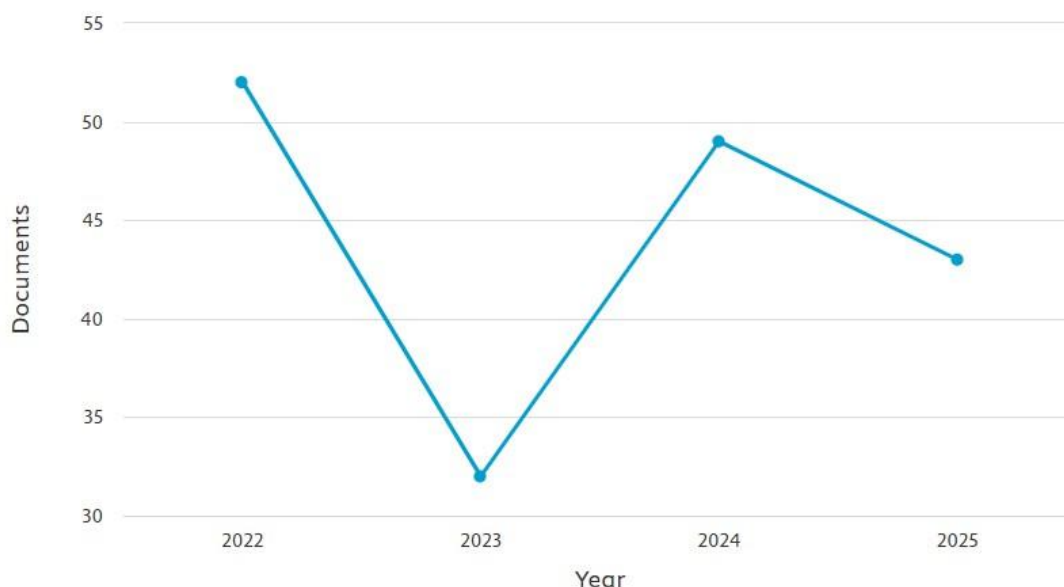
A busca inicial, realizada entre 2022 e 2025, identificou 10 artigos relevantes para discussão, que foram posteriormente categorizados em 11 campos temáticos: Engenharia ambiental e biotecnologia, Bioeconomia circular, Biotecnologia industrial, Engenharia bioquímica, Ciência e tecnologia de alimentos, Ciência e tecnologia de laticínios, microbiologia de alimentos, Biotecnologia alimentar e nutrição, Ciência de materiais e Bioenergia (Sumny E.H e Kempka A.P, 2025).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Progressão temporal das publicações referente ao tema central “Aproveitamento integral do soro do leite”.

Foram encontrados 176 documentos, onde 161 eram artigos de pesquisa, 9 de revisão, 5 de capítulo de livro e 1 editorial. Uma relação percentual entre os anos de 2022 e 2023, evidencia um déficit de 38,46% nas publicações de pesquisas científicas sobre o desenvolvimento e aplicações de biotecnologias e bioprocessamento no soro do leite, sendo mais acentuado em 2023, ano de menor produção. Já a relação percentual 2022 e 2025, consta uma queda de 17,3%. A partir de 2024, as produções científicas voltaram a subir, 53,12%.

Figura 3: Quantidade de estudos publicados por ano.



Fonte: Scopus, 2025.

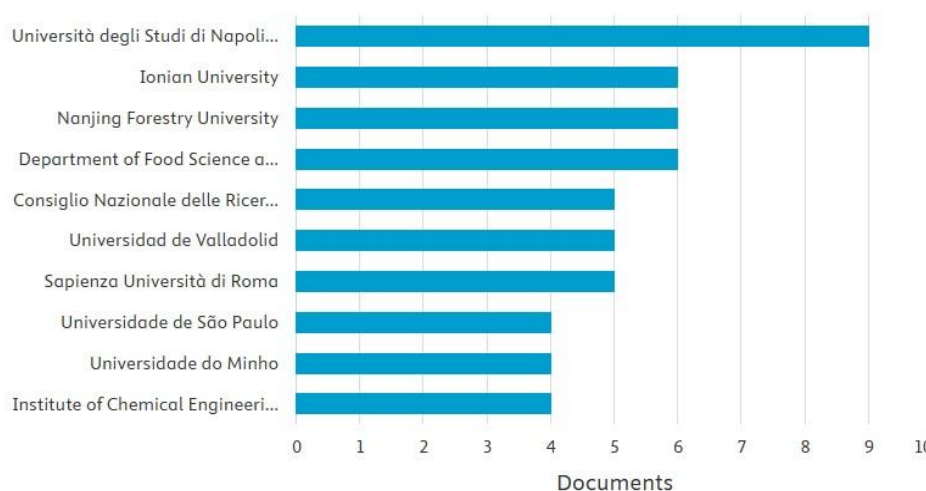
Um relatório elaborado pela Elsevier-Bori, analisou a produção científica de 53 países entre 1996 a 2023 que, em 2022, publicaram mais de 10 mil artigos científicos. Foi constatado que houve uma queda em 35 países, incluindo o Brasil (-7,2%), Japão (-5.6%), Austrália (-4.1%) e Estados Unidos (-3,5%), no ano de 2023 (BORI-Elsevier, 2024).

Ainda segundo este relatório, uma das justificativas para essa queda é em função dos efeitos da pandemia do Covid-19, pois diversos países foram afetados. E especialmente no

Brasil, a falta de investimentos públicos em Pesquisa e Desenvolvimento Científico feitos pelos governos Federal e Estaduais, estão aplicando cortes desde 2013 e 2015, respectivamente.

## 6.2 Instituições, países e autores.

Figura 4: Quantidade de estudos publicados por Instituições.



Fonte: Scopus, 2025.

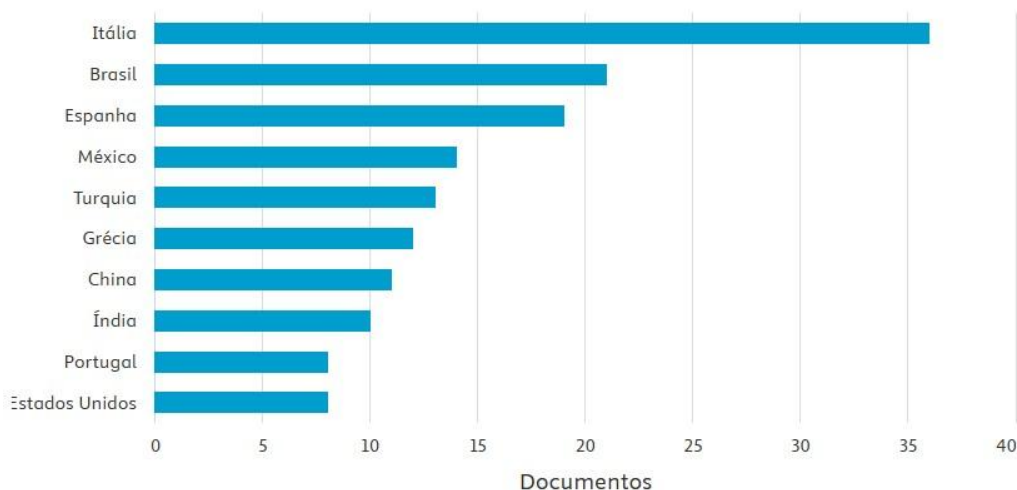
A Università degli Studi di Napoli Federico II, com 9 documentos, é a universidade pública mais antiga do mundo, fundada em 1224, com sede em Nápoles, Itália. Organizada em 26 departamentos, oferece cursos de graduação, mestrado e doutorado. É tida como uma das melhores universidades do mundo e está incluída no ranking QS World University Rankings. Em 2024, foi classificada em 30 áreas de estudo e obteve reconhecimento especial para esfera de Engenharia e Tecnologia, ficando entre as 5 melhores em 2018 a 2022.

A Instituição seguinte, com 6 publicações, é a Universidade Jônica, fundada em 1824 - como Academia Jônica- pelo 5º conde de Guilford, Frederick North. Funcionou em Corfu, nas Ilhas Jônicas, até 1864, quando ocorreu a sua fusão com o Estado Grego. Assim, em 1984, a Universidade Jônica é criada, com o objetivo de reconhecer a contribuição de Corfu para a educação da Grécia. Composta por 5 escolas e 12 departamentos, seu foco é nas áreas de humanas e artes, mas em 2018 fundou o Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos que consta com 6 documentos.

Entre essas Instituições de ensino, se encontra a Universidade de São Paulo – com 4 documentos-, (USP), localizada no estado de São Paulo, Brasil. Fundada em 1827 como Academia de Direito e em 1934, como Universidade, é considerada uma das maiores instituições de ensino superior da América Latina e está classificada como a melhor universidade do mundo lusófono, segundo o QS World University Rankings 2021. O relatório mundial de 2021 (SIR World Report) da SCImago Institutions Rankings, classifica a USP na 22.ª posição mundial entre as instituições de ensino e pesquisa internacionais. Em 2023, entrou no top 100 de melhores

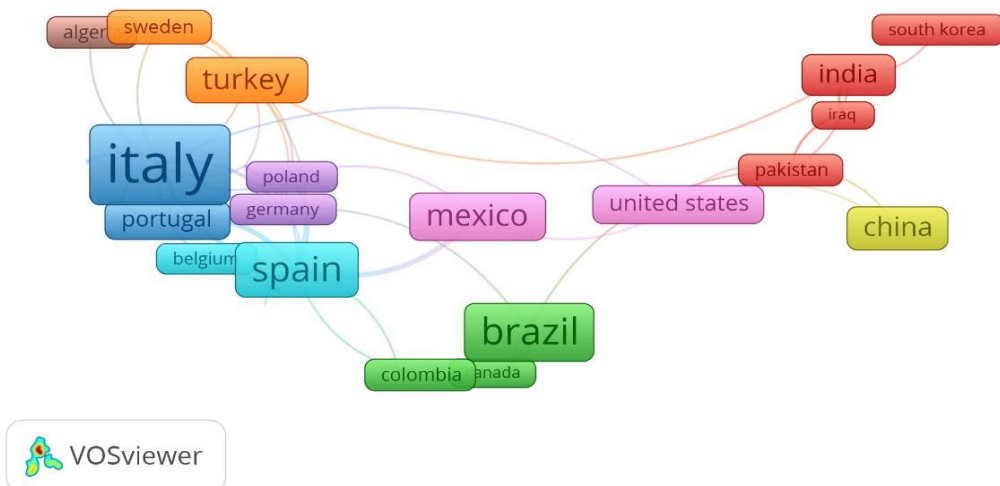
universidades do mundo no QS World University Rankings, o qual também a elegeu a 5.<sup>a</sup> mais sustentável do planeta em 2024. A USP promove pesquisas para o desenvolvimento de produtos alimentícios que contribuam com a economia circular, sustentabilidade e saúde do consumidor, meio ambiente e mercado.

Figura 5: Quantidade de estudos publicados por país.



Fonte: Scopus, 2025.

Figura 6: Rede de países.



Fonte: Scopus, 2025.

Nas figuras 5 e 6, é notório que a Itália se destaca como o país que possui mais influência, devido a sua força de *link* total, e maior publicação de artigos sobre o tema, com 36 documentos. Esse destaque se deve a uma gama de fatores, como a tradição centenária e sólida das indústrias de laticínios italianas, especialmente na produção de queijos que geram soro do leite como subproduto, pois desencadeou o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para o seu aproveitamento, em função do alto valor biológico e econômico do soro.

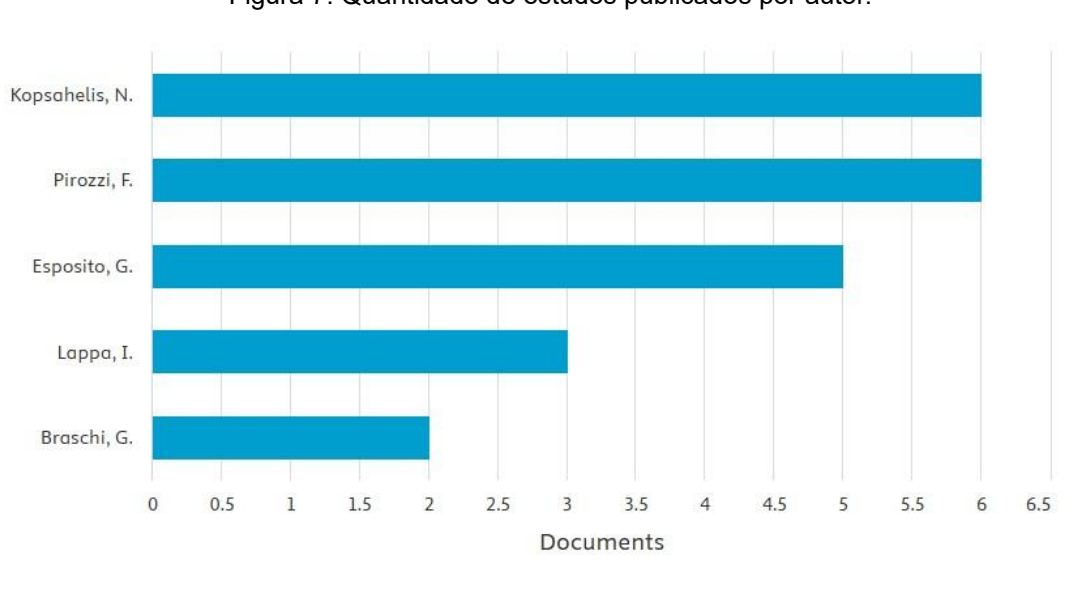
A Itália é um dos maiores produtores de leite da Europa, possuindo animais de alta genética e de longa tradição queijeira. Em 2022, processou cerca de 13,4 milhões de toneladas de leite. Ao passo em que o Brasil, produziu cerca de 34,6 bilhões de litros de leite, contudo foi destinado para consumo interno e a tradição queijeira brasileira ainda é de nicho e incipiente (Forbes, 2023).

Embora o *cluster* da Itália (azul) e do Brasil (verde) sejam distintos, há um acordo de cooperação entre esses dois países, com o objetivo de fomentar a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de modelos sustentáveis para a agricultura, a produção e o processamento de queijos e subprodutos. Em 2023, a EMBRAPA e o Conselho Nacional de Pesquisa da Itália, ampliaram esse acordo para promover, financiar e apoiar as produções científicas entre as duas instituições, incluindo projetos nas áreas de biodiversidade, biotecnologia, nanotecnologia e agricultura (EMBRAPA, 2023). O que corrobora para o número de publicações da Itália e o Brasil.

O Brasil, está em segundo lugar, com 21 documentos. É o terceiro maior produtor de leite do mundo, onde esse setor possui grande importância econômica e social para o país, estando presente em 98% dos municípios brasileiros, emprega cerca de 4 milhões de pessoas e produz mais de 34 bilhões de litros de leite por ano (BRASIL, S/N).

O Ministério da Agricultura brasileiro regulamenta a utilização do soro de leite na produção de laticínios e bebidas. A introdução dessas bebidas tem sido apresentada às empresas como uma oportunidade tecnológica e um meio de expandir o mercado de produtos à base de soro de leite, aumentando, conseqüentemente, o desenvolvimento de tecnologias para obter o seu melhor manejo, reverberando no número das produções científicas (SCHAEFER, J.; ETGES, B. I.; SCHAEFER, J. L., 2023).

Figura 7: Quantidade de estudos publicados por autor.



Fonte: Scopus, 2025.

Nikolaos Kopsaelis, com 6 documentos, é professor associado na área de química de alimentos e fermentações industriais no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Jônica, sendo o coordenador desde 2021. Seus interesses de pesquisa concentram-se em tecnologia de fermentação, química e análise de alimentos, valorização biotecnológica de recursos renováveis, bem como no desenvolvimento de novas biorrefinarias/processos de fracionamento para a produção de produtos funcionais (Kopsaelis, S/D).

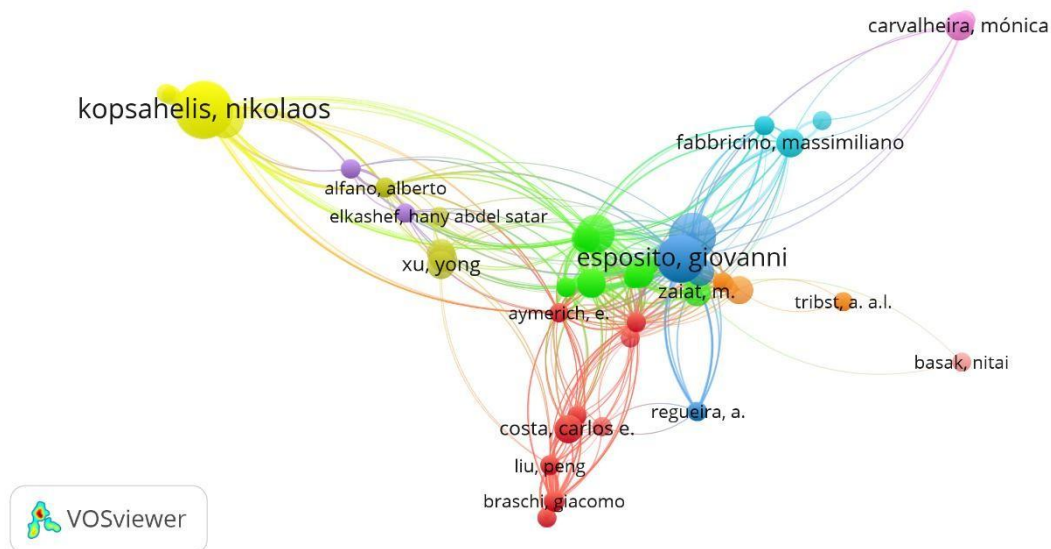
Francesco Pirozzi, com 6 documentos, é professor de Engenharia Sanitária-Ambiental no Departamento de Engenharia Civil, Edilícia e Ambiental (DICEA) da Universidade de Nápoles Federico II. Sua pesquisa está relacionada com o desenvolvimento de bioprocessos, economia circular, biotecnologia ambiental, recuperação de recursos a partir de resíduos (PIROZZI, 2023).

Giovanni Esposito, com 5 documentos, é também professor de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade de Nápoles Federico II, sua linha de pesquisa está associada a formulação de processos sustentáveis para tratamento de resíduos e efluentes, síntese de proteínas microbianas e bioconversões de subprodutos (MDPI, 2021).

Iliada Lappa, com 3 documentos, é professora e pesquisadora universitária no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Jônica. Sua pesquisa concentra-se no estudo de microrganismos e seu comportamento em alimentos, bem como na concepção e desenvolvimento de abordagens inovadoras relacionadas ao controle de qualidade e à segurança alimentar (Lappa, S/D).

E Giacomo Braschi, com 2 publicações de 2025, é professor no Departamento de Ciências Agrícolas e Alimentares (DISTAL) na Universidade de Bolonha, Itália. Suas pesquisas estão relacionadas a área de microbiologia, uso de compostos naturais (óleos essenciais), fermentação e biotecnologia alimentar.

Figura 8: Rede de autores.



Fonte: VOSviewer, 2025.

A figura 8, apresenta a rede de autores e sua força total de conexões, estabelecidas por um item dentro da rede bibliométrica, refletindo o quantitativo e a intensidade dos vínculos de coautoria, cocitação ou co-ocorrência.

Agrupamentos próximos uns dos outros no mapa, indicam campos científicos intimamente relacionados. As linhas que ligam um item a outro, expressa essa correlação e coautoria. Quanto mais influente for um item, maior será seu círculo e mais linhas terá.

A força total de conexões (Total Link Strength- TLS) representa a soma de todas as ligações que um item possui com os demais dentro da rede bibliométrica, como autores, instituições, países e palavras-chaves. Quanto maior o TLS, maior é a intensidade das relações, ou seja, o item frequentemente aparece ligado a outros e seu círculo é maior (Van Eck e Waltman, 2010).

Os autores que mais se destacam são Francesco Pirozzi (TLS igual a 320) e Giovanni Esposito (TLS igual a 309) pertencentes ao mesmo *cluster*. Nikolaos Kopsaelis (TLS igual 231) e

Iliada Lappa (TLS igual a 168), ambos *cluster* amarelo. Giacomo Braschi (TLS igual 148, *cluster*-vermelho).

Quadro 2: Principais autores e tema central de cada cluster.

<i>Cluster</i>	Autores chaves	Palavras-chaves mais frequentes	Linhas de pesquisa central
Azul	Pirozzi, F. e Esposito, G.	Gestão de resíduos, digestão anaeróbia, biogás e tratamento de águas residuais.	Tratamento de efluentes e produção de energia/biogás a partir do soro.
Amarelo	Kopsaelis, N. e Lappa, I.	Proteína do soro do leite, alimento funcional, nutracêuticos e indústria alimentícia.	Aplicações do soro na indústria alimentícia e nutracêutica, com ênfase em proteínas.
Vermelho	Braschi, G.	Bioconversão, polihidroxialcanoatos (PHA), bioplásticos e Economia circular.	Bioconversão do soro em bioprodutos de alto valor, como bioplásticos (PHA).

Fonte: O autor (2026).





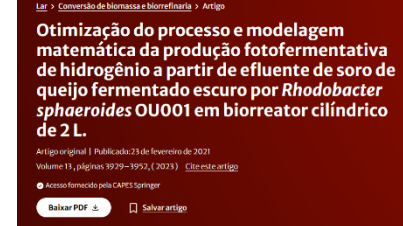
O *Cluster* Azul, liderado por autores como Pirozzi e Esposito, concentra-se majoritariamente na gestão de resíduos e tratamento de efluentes do soro. Já o amarelo, foca no desenvolvimento de produtos com valor agregado para as indústrias. E o vermelho, na bioconversão do resíduo soro do leite em matéria prima para síntese de bioprodutos.

- *Cluster* Azul: se conecta com a seção “4.3 Descarte do soro do leite e impacto ambiental”. Os estudos presentes neste *cluster*, validam que o descarte ainda é um problema de pesquisa ativa.
- *Cluster* Amarelo: se conecta com as seções “4.2 Características nutricionais e 4.4 Principais aplicações tecnológicas”. O *cluster* confirma a tendência de mercado para *wey protein* e alimentos funcionais.
- *Cluster* Vermelho: se conecta com a seção “4.5 Linhas emergentes de pesquisa”. O *cluster* destaca a bioconversão em PHA como uma fronteira tecnológica de alto valor agregado.

Para a seleção dos artigos, foi utilizado o critério de maior TLS entre os autores. Assim, foram selecionados 10 estudos para discussão sobre o desenvolvimento e aplicações de biotecnologias e bioprocessamento no soro do leite, como se segue no quadro 3.

Quadro 3: Artigos selecionados e pertencentes aos *clusters* azul, amarelo e vermelho.

Autores	Título	Ano	Revista	Campo temático	Citação
Policastro, G.; Lamboglia, R.; Fabbricino, M.; Pirozzi, F.	Aprimorando a produção de hidrogênio por fermentação escura a partir de substratos problemáticos através da estratégia de co-fermentação.	2022	<p>Artigo publicado em 3 de dezembro de 2022. Título: Aprimorando a produção de hidrogênio por fermentação escura a partir de substratos problemáticos através da estratégia de cofermentação. Autores: Grazia Policastro, Rosetta Lamboglia, Massimiliano Fabbricino, e Francesco Pirozzi.</p>	Engenharia ambiental e Biotecnologia (foco em Bioenergia e tratamento de resíduos).	22
Moscariello, C.; Matassa, S.; Oliva, A.; Lens, Piet N. L.; ESPOSITO, G.; PIROZZI, F.; PAPIRO, S.	Produção de proteína unicelular em um único estágio a partir de resíduos de biomassa de cânhamo ( <i>Cannabis sativa</i> L.) e soro de queijo por meio de fermentação aeróbica-anaeróbica sequencial.	2025	<p>Artigo de pesquisa publicado em 193.1 de fevereiro de 2025. Título: Produção de proteína unicelular em um único estágio a partir de resíduos de biomassa de cânhamo (Cannabis sativa L.) e soro de queijo por meio de fermentação anaeróbica-aeróbica sequencial. Autores: Carlo Moscariello, Silvio Matassa, Armando Oliva, Piet N. Lens, Giovanni Esposito, Francesco Pirozzi, Stefano Papirio.</p>	Engenharia ambiental e Bioeconomia circular (foco em tratamento de resíduos e produção de proteínas).	3
Scotto di Uccio, A.; Matassa, S.; Cesaro, A.; ESPOSITO, G.; Papirio, S.	Produção de proteína microbiana a partir de efluentes ricos em lactose por meio de culturas mistas de grau alimentício: Efeito da relação carbono/nitrogênio e da taxa de diluição.	2023	<p>Artigo publicado em 388 de novembro de 2023. Título: Produção de proteína microbiana a partir de efluentes ricos em lactose por meio de culturas mistas de grau alimentício: Efeito da relação carbono/nitrogênio e da taxa de diluição. Autores: Antonella Scotto di Uccio, Silvio Matassa, Alessandro Cesaro, Giovanni Esposito, Stefano Papirio.</p>	Biotecnologia e Engenharia bioquímica (foco em produção de proteínas e otimização de processos).	10
Kachimanidou V.; Alimpoumpa D.; Papadaki A.; Lappa I.; Alexopoulos K.; Kopsahelis N.	Utilização do soro de queijo para a produção de biossurfactante: avaliação de estratégias de bioprocessamento utilizando novas cepas de <i>Lactobacillus</i> .	2022	<p>Artigo original publicado em 25 de maio de 2022. Título: Utilização do soro de queijo para a produção de biossurfactantes: avaliação de estratégias de bioprocessamento utilizando novas cepas de Lactobacillus. Autores: Vesiliki Kachimanidou, Dimitra Alimpoumpa, Aikaterini Papadaki, Iliada Lappa, Konstantinos Alexopoulos, Nikolaos Kopsahelis.</p>	Biotecnologia Industrial e Bioeconomia Circular (foco em Valorização de Resíduos Lácteos).	28

Papadaki A.; Manikas C.A.; Papazoglou E.; Kachrimanidou V.; Lappa I.; Galiotis C.; Mandala L.; Kopsahelis N.	Filmes de proteína de soro de leite reforçados com nanocristais de celulose bacteriana: Melhorando as propriedades de filmes comestíveis por meio de uma abordagem de economia circular.	2022	 <p>Química dos Alimentos Volume 385, 15 de agosto de 2022, 132604</p> <p>Filmes de proteína de soro de leite reforçados com nanocristais de celulose bacteriana: Melhorando as propriedades comestíveis do filme por meio de uma abordagem de economia circular.</p>	Ciência e Tecnologia de Alimentos (foco em Embalagens Sustentáveis e Nanomateriais).	80
Gottardi D., Siroli L.; Braschi G.; D'Alessandro M.; Vannini L.; Patrignani F.; e Lanciotti R.	Aplicação superficial e impacto da <i>Yarrowia lipolytica</i> cultivada em soro de queijo como cultura adjunta para queijos inovadores e de maturação rápida do tipo Caciotta.	2025	 <p>Revista Internacional de Microbiologia de Alimentos Volume 432, 16 de março de 2025, 111112</p> <p>Aplicação superficial e impacto da <i>Yarrowia lipolytica</i> cultivada em soro de queijo como cultura adjunta para queijos inovadores e de maturação rápida do tipo Caciotta.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111112">https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111112</a></p>	Ciência e Tecnologia de Laticínios e Microbiologia de Alimentos (foco em Maturação de Queijos).	6
Kaya B.; Guneser O.; Taherzadeh M.J.; Yuceer Y.K.; e Sar T.	Aprimoramento do valor nutricional e do perfil de sabor do soro de leite em pó por meio da fermentação fúngica com <i>Aspergillus oryzae</i> e <i>Neurospora intermedia</i> .	2025	 <p>CSIC</p> <p>Sabor de impacto 1.6   Sabor de impacto de 5 anos 2.4   Página Inicial do Periódico</p> <p>Acesso aberto   Artigo de pesquisa   Publicado online pela primeira vez em 17 de agosto de 2025.</p> <p>Aprimoramento do valor nutricional e do perfil de sabor do soro de leite em pó por meio da fermentação fúngica com <i>Aspergillus oryzae</i> e <i>Neurospora intermedia</i>.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.csi.2025.100107">https://doi.org/10.1016/j.csi.2025.100107</a></p>	Biotecnologia Alimentar e Nutrição (foco em Valorização de Subprodutos e Alimentos Alternativos).	0
D'Alessandro M.; Gottardi D.; Franceschini S.; Braschi G., et al.	Impacto do soro de queijo enriquecido com ácido lactobiótico nas características de leites fermentados preparados com ou sem o probiótico <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> GG.	2025	 <p>Revista Internacional de Laticínios Volume 169, outubro de 2025, 106127</p> <p>Artigo de pesquisa</p> <p>Impacto do soro de queijo enriquecido com ácido lactobiótico nas características de leites fermentados preparados com ou sem o probiótico <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> GG</p> <p>Margherita D'Alessandro <sup>✉</sup>, Davide Gottardi <sup>✉</sup>, Sara Franceschini <sup>✉</sup>, Giacomo Braschi <sup>✉</sup>, Lorenzo Siroli <sup>✉</sup>, Lorenzo Nissen <sup>✉</sup>, Roberto Romano <sup>✉</sup>, Lorenzo Patrignani <sup>✉</sup>, Andrea Giannetti <sup>✉</sup>, Noura Roddadi <sup>✉</sup>, Rosalba Lanciotti <sup>✉</sup>, Pamela Veronesi <sup>✉</sup>, Francesca Patrignani <sup>✉</sup></p>	Ciência e Tecnologia de Laticínios e Microbiologia de Alimentos (foco em Alimentos Funcionais).	1
Rao R. e Basak N.	Otimização do processo e modelagem matemática da produção fotofermentativa de hidrogênio a partir de efluente de soro de queijo fermentado escuro por <i>Rhodobacter sphaeroides</i> OU001 em biorreator cilíndrico de 2 L.	2023	 <p>Lar - Conversão de biomassa a bioenergia - Artigo</p> <p>Otimização do processo e modelagem matemática da produção fotofermentativa de hidrogênio a partir de efluente de soro de queijo fermentado escuro por <i>Rhodobacter sphaeroides</i> OU001 em biorreator cilíndrico de 2 L.</p> <p>Artigo original   Publicado 23 de fevereiro de 2023 Volume 11, páginas 3929–3932, (2023)   <a href="#">Clique aqui</a></p> <p>Acesso financiado pela CAPES/Springer</p> <p><a href="#">Baixar PDF</a> <a href="#">Salvar artigo</a></p> <p>Raman Rao <sup>✉</sup> Hitali Basak <sup>✉</sup></p>	Engenharia Bioquímica e Bioenergia (foco em Produção de Hidrogênio).	24

Carvalhoira M., et al.	Polihidroxicanoatos derivados do soro de queijo industrial: Produção e caracterização de polímeros com diferentes teores de hidroxivalerato.	2022		Biotecnologia Industrial e Ciência de Materiais (foco em Biopolímeros e Economia Circular).	25
------------------------	--	------	--	---	----

Fonte: O autor (2026).

### 6.3 Estudos pertencentes ao *cluster* azul

Uma das temáticas do cluster azul, aborda a fermentação escura, caracterizada como um processo biológico anaeróbico, realizado por bactérias que converte resíduos orgânicos em biohidrogênio, sem a necessidade de luz.

Uma pesquisa realizada por Policastro et al. (2022), com contribuições de Pirozzi, com o objetivo de aprimorar a produção de hidrogênio por meio da fermentação escura, a partir de dois efluentes: águas residuais de largar de azeite (LZ) e soro do queijo. No entanto, ambos apresentavam problemas, o primeiro, continha compostos recalcitrantes/ tóxicos e o segundo, baixa capacidade de tamponamento de pH, tais fatores inibiam a fermentação. Para identificar quais eram esses fatores, ambos substratos foram fermentados individualmente. As águas residuais de LZ, tiveram baixa produtividade. E o soro de queijo, por mudanças metabólicas, não produziu hidrogênio. A correção de tais efeitos foi feita por meio da Co-fermentação, a formulação 80% águas residuais de largar de azeite e 20% soro do queijo, possibilitou a duplicação da produção de hidrogênio.

Um estudo feito por Moscariello et al. (2025), com contribuições de Esposito e Pirozzi, teve como objetivo produzir proteína unicelular (SCP), por meio de resíduos de biomassa de cânhamo (*Cannabis sativa* L.) e soro de queijo. Através de um processo fermentativo anaeróbico-aeróbico sequencial em um estágio. Onde os ácidos graxos voláteis sintetizados anaerobicamente, eram convertidos em SCP na etapa aeróbia. Sendo uma estratégia circular para limitar as perdas de subprodutos de alto valor biológico, os bioconvertendo em proteína unicelular (MOSCARIELLO et al., 2025).

A maior parte da planta de cânhamo (60-80%), é composta por resíduos de biomassa, como talos, folhas e inflorescências, que não são utilizadas nos processos industriais e são descartadas como resíduos. Assim como o soro do queijo, representando um descarte global de 90-95 megatoneladas por ano.

SCP são proteínas unicelulares produzidas pela biomassa microbiana (leveduras, microalgas, fungos e/ou bactérias), onde assimilam nitrogênio reativo e usam uma fonte de carbono para seu crescimento. Podem ser utilizadas para alimentação humana e animal, aditivos alimentícios e síntese de bioprodutos. Sendo uma alternativa para as proteínas convencionais, com potencial de reciclagem de resíduos orgânicos e baixo impacto ambiental.

Outro estudo com contribuições de Esposito, foi usado uma cultura mista de bactérias e leveduras de grau alimentício, onde foi testada sob diferentes condições operacionais para o tratamento e a valorização do permeado de soro de queijo e resíduo da recuperação de proteína do soro, com o objetivo de produzir proteína microbiana a partir desses efluentes ricos em lactose (DI UCCIO et al., 2023).

Estima-se que 2-11% da futura produção de alimentos à base de proteína microbiana (PM), será proveniente de resíduos lácteos, como o soro do leite. Alguns desses microrganismos possui a capacidade de metabolizar diretamente resíduos lácteos ricos em lactose – como o soro ácido-, em proteína metabolizável, como as PM, contendo até 70% de seu peso em proteínas (DI UCCIO et al., 2023).

#### **6.4 Estudos pertencentes ao *cluster* amarelo**

Já o cluster amarelo, foca no estudo sobre surfactantes microbianos, onde têm ganhado interesse pela ciência e indústria devido as suas vantagens significativas quando comparado com seus equivalentes produzidos quimicamente. Surfactantes, são substâncias químicas com moléculas que possuem partes que atraem a água (hidrofílica) e partes que a repele (hidrofóbica), o que lhes permite reduzir a tensão superficial de um líquido, como detergente, emulsificantes e sabão (Kachrimanidou et al., 2022).

Kachrimanidou et al. (2022), com contribuições de Lappa e Kopsahelis, avaliou diferentes parâmetros e esquemas de bioprocessamento para a síntese de biosurfactantes, a partir de cepas de *Lactobacillus*. O permeado de soro do queijo, foi usado como suplemento nutricional de baixo custo para estas cepas. Foram utilizados dois meios de culturas distintas no biorreator, junto com diversas condições de fermentação. No mais, uma produção significativa de biosurfactantes foi observada, devido a redução da tensão superficial. Onde a maioria dos experimentos evidenciou uma correlação inversa entre biosurfactantes e a produção de ácido láctico. Logo, o refino de subprodutos da indústria alimentícia é um caminho para a redução de efluentes e consequente, sustentabilidade ambiental.

A gestão de resíduos plásticos foi identificada como uma prioridade fundamental pela comissão Europeia, juntamente com a necessidade de desenvolver materiais biosustentáveis. Assim, o campo dos polímeros biodegradáveis tem sido explorado para obter embalagens seguras para os alimentos, capazes de substituir as de plásticos.

A produção de filmes comestíveis a partir de subprodutos alimentares, é uma alternativa sustentável e econômica à utilização das embalagens convencionais. Filmes comestíveis são produzidos a partir de proteínas ou polissacarídeos. E sua aplicação em alimentos, visa conservar suas características organolépticas e prolongar sua shelf-life. Proteínas do soro do leite, estão sendo empregadas para este fim.

Papadaki et al. (2022), com contribuições de Lappa e Kopsahelis, desenvolveram filme comestível a partir do concentrado de proteína do soro do leite. Para estabilizar, foi adicionado nanocristais de um biopolímero natural, a celulose bacteriana (CB). A CB foi sintetizada pela fermentação de cascas de laranja e depois, foi hidrolisada em meio ácido para obter os seus nanocristais com alta cristalinidade. A caracterização mecânica mostrou que o filme comestível de soro do leite e celulose bacteriana, resistiu à tração (32%), o módulo de elasticidade de Young (80%) e a permeabilidade da água, reduzida em 33,9%. Este estudo foi crucial para evidenciar uma abordagem sustentável, ao utilizar um subproduto das indústrias lácteas e transformá-lo em um produto com valor agregado, contribuindo para o fechamento da cadeia produtiva de laticínios e a redução de plásticos.

## **6.5 Estudos pertencentes ao cluster vermelho**

Globalmente, por ano, são produzidos 190 milhões de toneladas de soro do leite e estima-se que para 2030, esse volume aumente para 203 a 241 milhões de toneladas. Devido a sua alta Demanda Bioquímica por Oxigênio (50-60 g/L) e Demanda Química por Oxigênio (60-80 g/L) e o alto teor de sal, é inviável seu descarte sem tratamento prévio (Gottardi et al., 2025).

A *Yarrowia lipolytica* é uma levedura oleaginosa, não fermentadora e assimiladora de lactose, encontrada em diversas matrizes alimentares (iogurte, kefir, fermento natural e molho de soja), em distintos ambientes (solos, rios e mares) e em muitos queijos (brie, eslovaco e livarot). É tida como um microrganismo deteriorante, por conta da sua forte atividade proteolítica e lipolítica. No entanto, é fundamental para o amadurecimento de alguns gêneros alimentícios (Gottardi et al., 2025).

Gottardi et al. (2025), com contribuições de Braschi, pertencentes ao cluster vermelho, focam em pesquisas na bioconversão do soro do leite em bioprodutos. Assim, utilizaram o soro

do leite como substrato para produzir duas cepas de *Y. lipolytica* (RO<sub>3</sub> e Y<sub>3</sub>), em escala industrial. Após o processo fermentativo, foram aplicadas em superfícies de queijos do tipo Caciotta, com o objetivo de acelerar a maturação e promover o desenvolvimento de compostos aromáticos e de sabor. Foram armazenados a 6°C durante 35 dias, nos quais foram realizadas análises microbiológicas, químicas e sensoriais. Foi constatado que, no decorrer do tempo, a concentração de células viáveis de *Y. lipolytica* reduziram, na medida em que a maturação foi acelerada, intensificando a atividade proteolítica e o teor de ácidos graxos insaturados, assim como as características organolépticas.

Bebidas fermentadas à base do soro do leite, geralmente, são produzidas por meio de culturas de bactérias do ácido láctico e algumas cepas de leveduras. No entanto, culturas fúngicas produzem um bom perfil proteico, fibras, vitaminas, compostos antioxidantes, ácidos graxos e aminoácidos essenciais. Há uma ausência de bebidas fermentadas iniciadas por esse tipo de cultura, sendo um campo a ser explorado (Kaya et al., 2025).

Kaya et al. (2025), elaborou um estudo para identificar as características nutricionais de biomassa fúngica sintetizadas a partir da fermentação do soro do leite, com o objetivo de transformá-lo em pó. As cepas usadas foram *Aspergillus oryzae* e *Neurospora intermedia*. Foram realizadas análises para comparar a qualidade nutricional entre as duas cepas, considerando teores de aminoácidos, ácidos graxos, conteúdo mineral, fenólicos totais, flavonóides totais, atividades antioxidantes, compostos voláteis e atributos sensoriais. A *A. oryzae* e *N. intermedia*, aumentou significativamente o conteúdo nutricional e sensorial do soro do leite em pó. *A. oryzae*, se destacou no aumento do teor mineral, enquanto *N. intermedia*, nas propriedades bioativas. Esses resultados evidenciam o potencial fúngico na conversão de subprodutos das indústrias lácteas em produtos com alto valor agregado, ricos em nutrientes e sabores complexos.

O ácido lactobiônico (LBA), é um derivado da lactose caracterizado como um prebiótico—são componentes alimentares não digeríveis que funcionam como alimento para a microbiota intestinal. O LBA é biodegradável, biocompatível, antioxidante, não citotóxico e quelante de íons e hidratantes. Devido a essas propriedades, tem sido bastante investigado, com o objetivo de ser empregado como conservante, agente protetor, prebiótico e texturizador. Pode ser sintetizado através da oxidação química da lactose com bromo ou como um metabólito pela *Pseudomonas taetrolens*, *Zymomonas mobilis* e/ou *Acetobacter orientalis* (D'Alessandro et al., 2025).

D'Alessandro et al. (2025) promoveu um estudo com o objetivo de desenvolver um produto lácteo contendo LBA, produzido pela cepa *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG, usando o soro de queijo como substrato. Para identificar funcionalidades prebióticas, probióticas e simbióticas, foram realizadas análises para contagem de células microbianas viáveis, pH, concentração de

lactose/ LBA, atividade antagônica contra cepas deteriorantes de alimentos, atividade antioxidante e compostos voláteis. As amostras foram armazenadas a 6°C durante 28 dias.

Em consonância com esse estudo, a utilização do soro de queijo enriquecido com LBA, estimulou o crescimento de *L. rhamnosus* GG e aumentou a atividade antioxidante- in vitro-, sugerindo um potencial papel prebiótico pela presença do LBA. No estudo, foi observado que a cepa preferiu o LBA do que a lactose, indicando uma mudança metabólica que pode influenciar a formulação de produtos simbióticos, pois a produção de ácido láctico reduziu abaixo do limite de detecção, resultando em valores residuais elevados de lactose. E ainda, como a cepa consumiu significativamente o LBA, a sua disponibilidade e funcionalidade enquanto prebiótico, foi lesada. Logo, é necessário a utilização de cepas que priorizem a lactose em relação ao LBA. Assim, poderá ser obtido um produto com características, prebiótica, probiótica e simbiótica usando o soro do leite como substrato, contribuindo para a economia circular e sustentabilidade.

A produção de bio-hidrogênio por comunidades microbianas tem sido amplamente estudada como alternativa viável aos métodos termoquímicos para geração de gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), equivalente ao grau combustível. Pode ser obtido por meio da biofotólise da água por algas e cianobactérias ou rota fermentativa, utilizando compostos orgânicos na ausência (fermentação escura) ou presença de luz (fotofermentação). O processo pode ocorrer em diferentes faixas de temperatura, de psicrófilos a termófilos, e prioriza o uso de matéria-prima orgânica renovável, barata e abundante (Rao R. e Basak N., 2023).

Dependendo da atividade metabólica das bactérias produtoras de H<sub>2</sub> durante a fermentação escura, os principais ácidos graxos voláteis (AG) sintetizados são acetato e butirato, na sequência lactato, propionato e etanol. Quando não removidos, são antagônicos das bactérias produtoras de H<sub>2</sub>. No entanto, os AG podem ser usados como matéria-prima na fermentação fotoquímica. Assim, a co-fermentação sequencial escura-fotoquímica é uma alternativa para superar as limitações de baixo rendimento da produção de H<sub>2</sub> quando realizada de forma isolada (Rao R. e Basak N., 2023).

Rao R. e Basak N. (2023), realizaram um estudo para preencher essa lacuna na modelagem do sistema microbiano fotofermentativo com o auxílio de quatro modelos cinéticos: Monod, logístico, a equação de Gompertz modificada e o modelo de LuedekingPiret. Com o objetivo de estudar a cinética da fermentação de H<sub>2</sub> em batelada, em um biorreator sob condições variáveis, utilizando o soro do leite para produzir ácidos orgânicos na fermentação escura e o fermentado resultante, foi usado na fotofermentação para produzir H<sub>2</sub> pela bactéria *Rhodobacter sphaeroides*. A cepa *R. sphaeroides* OU001 possui a capacidade de fermentar o acetato, butirato

e lactato como fonte de carbono para produzir  $H_2$ , esse processo ocorre em condições anoxigênicas e requer intensidade luminosa ideal, proveniente de fonte de luz natural ou sintética.

Ainda segundo este estudo, a análise baseada no planejamento de Plackett-Burman revelou que a concentração de ácido orgânico, a temperatura e a intensidade luminosa foram as variáveis mais significativas. Os valores ótimos foram obtidos pela matriz de planejamento Box-Behnken, considerando a taxa de produção de bio-hidrogênio. A análise dos metabólitos sintetizados revelou que os ácidos acético e láctico foram utilizados para produzir biohidrogênio em pH não controlado. Esse estudo revela uma alternativa para usar o soro do leite ácido, rico em lactose e mais descartado pelas indústrias de laticínios.

Os polihidroxicanoatos (PHA) são poliésteres naturais produzidos por diversos microrganismos como reserva de carbono e energia. Possuem propriedades mecânicas e térmicas, similares aos plásticos convencionais, sendo uma alternativa ambiental viável. Entretanto, a produção de PHA pode custar cinco vezes mais caro quando comparada ao plástico convencional, limitando sua produção e aplicabilidade. Traçar estratégias para reduzir esses custos é crucial para tornar o PHA uma alternativa competitiva no mercado (Carvalho et al., 2022).

A utilização de recursos renováveis para produção de PHA é economicamente e ambientalmente atrativo. Logo, o uso de culturas mistas, sem a necessidade de um ambiente estéril e matéria-prima de baixo custo, é uma opção para contornar esse cenário. O emprego do soro do leite para esse viés, tem ganhado espaço, pois é rico em lactose e possui uma boa fonte de nutrientes, como as proteínas, sais minerais e vitaminas (Carvalho et al., 2022).

Diferentes tipos de PHA, mais comumente o poli-hidroxi-butilato e o poli-hidroxi-butilato-co-valerato, são sintetizados a partir de resíduos por culturas mistas. A fermentação acidogênica, é caracterizada pela segunda etapa da digestão anaeróbica, onde os microrganismos quebram polímeros orgânicos, produzindo ácidos graxos voláteis, álcoois, gás hidrogênio, gás carbônico e reduz o pH.

Um estudo elaborado por Carvalho et al. (2022), investigou a aplicação do soro de queijo como substrato para produzir ácidos graxos voláteis precursores de PHA, durante a fermentação acidogênica. E então, por meio de uma comunidade microbiana selecionada, foi usado o fermentado obtido para produzir o PHA. O processo foi dividido em três etapas:

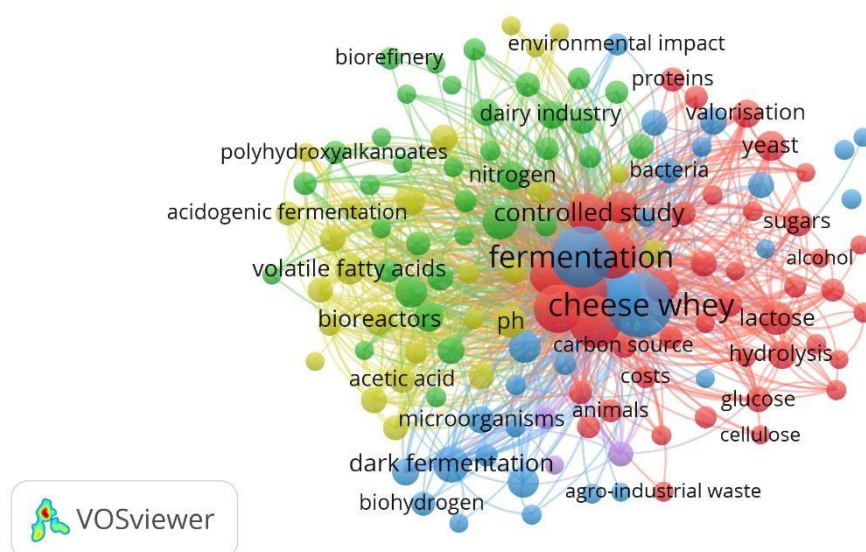
- Etapa 1: Fermentação acidogênica, a matéria-prima (soro do leite) é fermentada para produzir precursores de PHA, ocorre a conversão da matéria orgânica em ácidos graxos voláteis.

- Etapa 2: Seleção da cultura microbiana, consiste no enriquecimento da cultura com organismos armazenadores de PHA através da aplicação de uma pressão seletiva, normalmente, um “regime de abundância e escassez”.
- Etapa 3: Produção do PHA, a cultura selecionada é alimentada com um fluxo do fermentado obtido na etapa 1, com o objetivo de atingir a capacidade máxima de produção de PHA pela cultura.

A quantidade e o tipo de substrato oferecido a comunidade microbiana, pode influenciar suas vias metabólicas e a composição de microrganismos. Nesse estudo, foi demonstrado a viabilidade de produzir o PHA, a partir de um rejeito das indústrias de laticínios, o soro do leite. Controlando as condições fermentativas das etapas e conseqüente, obtenção de ácidos graxos voláteis com qualidade, estes precursores essenciais usados pela comunidade microbiana para produzir PHA. É crucial para diminuir a fragilidade, tornando o polímero mais flexível e melhorando sua processabilidade.

## 6.6 Rede de palavras-chaves

Figura 9: Rede de Palavras-chaves.



Fonte: VOSviewer, 2025.

A Figura 7, apresenta as palavras-chaves de maior ocorrência entre os 176 documentos. A de maior ocorrência foi a palavra “cheese whey”, mencionada em 103 artigos, seguido por “fermentation” com 89 menções, por fim “whey” com 58 ocorrências. Esses vocábulos foram cruciais para desenvolver a temática deste estudo, por isso aparecem com mais frequência nos artigos analisados.

A análise da rede de palavras-chaves (Figura 7) não apenas valida os temas dos clusters de coautoria, mas também revela a interconexão entre a pesquisa científica e as tendências globais de mercado, focadas na sustentabilidade e economia circular.

No mais, a diferença de cores entre cada *cluster* retrata as distintas áreas temáticas presente nessa nuvem de palavras-chaves. O *cluster* de cor azul está direcionado para processos fermentativos e obtenção de produtos com alto valor agregado, evidenciando que a valorização do soro transcende a preocupação meramente ambiental e se direciona para um imperativo socioeconômico.

O desperdício alimentar, associado aos subprodutos, representa uma preocupação global, pois segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 33% da produção mundial de alimentos se perde durante os processos de abastecimento e consumo. Como o desperdício alimentar afeta o meio ambiente e os recursos, logo é crucial implementar medidas que minimizem ou erradique essa problemática. Ao adotar práticas relacionadas à economia circular, no que diz respeito à redução, reutilização e reciclagem de resíduos

alimentares, as empresas podem transformar esses subprodutos em recursos valiosos (Tita et al., 2024).

Por conseguinte, o *cluster* vermelho, foca em bioprocessos, bioconversão e rotas metabólicas. O *cluster* amarelo, uso de biorreatores, obtenção de ácidos orgânicos e biopolímeros. Já o *cluster* verde, emprego de biotecnologia, biotransformação, obtenção de biomassa e tratamento de efluentes. E o cluster lilás, se concentra em características físicoquímicas.

Isso sinaliza que o futuro do soro do leite está na produção de ingredientes de alto valor agregado, que atendam à crescente demanda do consumidor por alimentos que promovam a saúde, indo além da nutrição básica. Que promovam a equidade social, assegurando que os recursos sejam distribuídos e utilizados de forma justa e consciente, sem comprometer o bem-estar das gerações futuras. Unindo o conhecimento tradicional (cultural) e moderno (científico) para guiar práticas de manejo desses recursos.

### 6.7 Lacunas identificadas na análise bibliométrica

Apesar do avanço tecnológico evidenciado nos *clusters* de pesquisa, a análise bibliométrica reforça a existência de lacunas críticas que precisam ser sanadas para a efetiva implementação da economia circular no setor lácteo, tais como se segue abaixo.

**Lacuna 1:** Não há pesquisas significativas direcionadas para o setor dos pequenos e médios produtores, com o objetivo de viabilizar uma solução economicamente e ambientalmente mais atrativa.

Quadro 4: Comparação entre grandes e pequenos produtores de laticínios.

Produtores	Utilização	Descarte
Grandes	<ul style="list-style-type: none"><li>- O soro é tido como matéria-prima;</li><li>- Investem em tecnologias para processar e obter um produto com alto valor agregado (bebidas lácteas, fermentados, suplementos-whey protein, hidrolisado e concentrado proteico).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mínimo ou inexistente;</li><li>- O descarte acarreta em maiores custos com tratamentos, redução do lucro e prejuízos ao meio ambiente.</li></ul>
Pequenos	<ul style="list-style-type: none"><li>- A falta de infraestrutura adequada, o alto custo de equipamentos para processar e obter um produto derivado do soro do leite mais valorizado, economicamente, são fatores decisivos que contribuem para seu uso limitado e descarte.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maior parcela desse grupo, está categorizada no setor informal e são os que mais descarta;</li><li>- A falta de poder aquisitivo, direciona esse grupo a aplicar métodos mais rudimentares para a utilização do soro do leite, tais como: alimentação animal, produção de ricota (subproduto perneado) e descarte inadequado, sem tratamento em águas e solos. Causando o desequilíbrio do meio ambiente.</li></ul>

Fonte: O autor (2026).

A maior parte da literatura foca na otimização de processos tecnológicos em laboratório ou em escala industrial de grande porte. Contudo, a lacuna reside na implementação de modelos de negócios circulares viáveis para laticínios de pequeno e médio porte.

Um estudo promovido por Mutio et al. (2025) elencou a subutilização do soro do leite por empresas lácteas em desenvolvimento, especificando a África Subsariana, contendo infraestrutura inadequada, tecnologias defasadas e acesso ao mercado limitado. Destacando o Quênia, um dos principais produtores de leite da região, com uma produção anual superior a 5,2 mil milhões de litros, gerando também volumes significativos de soro do leite, sendo a maior parte descartada sem tratamento, o que agrava os riscos ambientais, como a eutrofização, acidificação do solo e as emissões de gases de efeito estufa.

Mutio et al. (2025) com o objetivo de ilustrar como a integração entre os produtores, os facilitadores/investidores externos e a reconfiguração sistêmica conseguem impulsionar a circularidade desse setor lácteo em evolução, avaliaram as práticas atuais de valorização do soro de leite em empresas de laticínios quenianas, examinando os fatores internos e externos que impulsionam a adoção dessas práticas e também, analisaram modelos de negócios que promovem resultados sustentáveis no setor, tais como:

1. Produção de queijo ricota: Demonstrou ser economicamente mais viável e acessível para os produtores.
2. Bebidas lácteas à base de soro de leite: São produtos mais elaborados, no entanto, demonstraram dificuldades para atingir uma fatia do mercado.
3. Smoothies de soro de leite com frutas: Esses produtos também apresentaram dificuldades para inserção no mercado.
4. Recuperação de concentrado proteico de soro de leite (WPC): Embora exija mais capital para o processamento, foi exposto como uma alternativa mais rentável, considerando uma possível colaboração mútua entre os produtores para atingir esse fim.

Todavia, existem evidências empíricas limitadas quanto a adoção desses modelos por países emergentes. O estudo elencou algumas práticas empregadas pelos produtores de laticínios quenianos quanto a utilização do soro do leite, incluindo descarte, doação aos agricultores para alimentação animal e valorização limitada em produtos como ricota e iogurtes à base de soro de leite (Mutio et al., 2025).

Mutio et al. (2025) reforçou que essas práticas não exploram todo o potencial do soro do leite, particularmente em segmentos de alto valor agregado, como “isolados de proteína de soro

de leite (WPI) e bebidas funcionais, que permanecem limitados por altos custos de processamento e cadeias de suprimentos fragmentadas”.

A adoção de modelos cooperativos entre pequenos e médios produtores emerge como uma solução estratégica para superar a barreira do alto capital inicial exigido pelo processamento individual do soro. Ao centralizar a coleta e a conversão do soro do leite em uma unidade compartilhada e devidamente equipada, os produtores conseguem otimizar a logística e viabilizar a produção de produtos com maior valor agregado e apelo comercial (Mutio et al., 2025).

**Lacuna 2:** O Brasil, mesmo estando no ranking mundial entre os maiores produtores de leite e derivados lácteos, ainda possui uma parcela significativa de produtores estabelecida no setor informal. Estima-se que 40% dos produtores de pequenas empresas e informais no Brasil, descartam o soro do leite inadequadamente (Amaral, 2021).

Estreitando mais esse paradigma, na região Agreste de Pernambuco, formada por 29 municípios, sua principal base econômica se perpetua na pecuária leiteira. Conhecida como Bacia Leiteira do Estado, responsável por mais de 70% da produção total de leite (Mourão, 2019).

Um estudo feito, em 2017, pelo Programa de Produção e Difusão de Inovações para a Competitividade de Arranjos Produtivos Locais do Estado de Pernambuco- PROAPL nas regiões tidas como Bacias Leiteiras, concluiu que em 2016, cerca de 56% da produção de laticínios em Pernambuco, foram feitos por queijarias informais. Onde o produto foi comercializado clandestinamente (APL 2017).

Segundo empresários, em anos de maior produção, a porcentagem de clandestinidade chega a mais de 75% (APL 2017). Em 2018, cerca de 15,3 toneladas de queijo Coalho foram apreendidos no Estado, pela falta de registro e pelo transporte inadequado (Mourão, 2019).

**Lacuna 3:** Bebidas fermentadas a partir do soro do leite, normalmente, utilizam culturas puras e/ou co-fermentação a partir de bactérias. No entanto, há poucos estudos utilizando culturas mistas, tipo kefir- contendo leveduras, fungos e bactérias.

**Lacuna 4:** Em 2025, dentro da categoria lácteos, fora do MERCOSUL, o Brasil importou 80% desse segmento em soro do leite (ABIQ, 2025). Isso evidencia que a demanda interna é maior que capacidade de processamento nacional. Logo, se faz necessária a implementação de políticas públicas para o desenvolvimento de tecnologias que supra essa demanda.

**Lacuna 5:** O soro do leite ácido (SLA) representa importantes desafios de manejo, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, devido à sua alta carga orgânica e as restrições de descarte (Mutaliyeva e et al., 2025).

Em razão do seu pH muito baixo e ao teor de lactose, seu uso é limitado e amplamente subutilizado. Mesmo rico em lactose, com excelente perfil de aminoácidos e o dobro de teor de cálcio quando comparado com o soro doce, apresenta dificuldades na elaboração de produtos à base de lactose, devido a presença de ácido láctico e pelos altos investimentos de capital necessário (Mutaliyeva e et al., 2025).

Uma grande proporção de soro ácido produzido pelo setor lácteo é descartado como efluente e isso, constitui uma forma de poluição grave. Essa subutilização quando comparada com o soro doce, se deve a alta concentração de sal, ácidos e lactose, fatores que limitam seu uso.

A fabricação de iogurte grego resulta em 2–3 kg de soro ácido para cada 1kg produzido (Tunick M.H, Renye Jr. J.A., Garcia R.A., 2025). O mercado de iogurte grego foi estimado em 18,70 bilhões de dólares em 2025, crescendo anualmente a 8,33%. Com estimativas para atingir em 2030, 27,90 bilhões de dólares. O maior mercado concentra-se na América do Norte e o que cresce mais rápido, na Ásia-Pacífico (Mordor Intelligence, 2025). É evidente que o aumento na produção do iogurte grego irá gerar maiores volumes de soro ácido.

Esse aumento no interesse pelo iogurte grego se deve a transição de um alimento básico da cozinha mediterrânea para um alimento funcional, em função das alegações promovidas pela Food and Drug Administration (FDA) em 2024, quanto aos benefícios obtidos pelo consumo regular, como a redução do risco de diabetes tipo 2 (Mordor Intelligence, 2025).

Produtos lácteos ricos em proteínas, incluindo o iogurte grego, geraram uma receita significativa para o varejo. E a crescente conscientização dos consumidores sobre os benefícios

da saúde intestinal para o bom funcionamento do organismo, pode possibilitar a abertura do mercado para a inserção de produtos elaborados a partir do soro do leite e seus derivados, ricos em proteínas de qualidade, aminoácidos essenciais, sais minerais, vitaminas e probióticos.

Mutaliyeva e et al. (2025) elaboraram uma revisão que explorou as abordagens inovadoras para a valorização do soro do leite ácido, enfatizando métodos biotecnológicos, técnicas de fermentação e processos avançados de filtração por membrana.

Segundo esse mesmo estudo, o tratamento biotecnológico incluía o uso de enzimas e microrganismos para converter a lactose e proteínas do soro do leite em substâncias bioquímicas úteis. Os processos de filtração possibilitam a obtenção de permeado do soro, isolado e concentrado proteico, soro em pó e lactose em pó. Para a utilização do soro ácido, geralmente se emprega um método biotecnológico com o cultivo de diversas culturas de microrganismos e suas combinações.

Quadro 5: Comparação entre o soro ácido e o soro doce.

Composition	Acid whey	Sweet whey
Total solid, % wb	4.27–5.92	60.64 ± 1.15 g/L
Minerals g/L	3.49–5.04	1.2
Ca <sup>2+</sup> , wt, %	1.98 wt, % 1.91 ± 0.01b g/L	0.69 wt, % 0.29 ± 0.00 g/L
Phosphate ions	0.8–0.92 g/L	0.34–0.4 g/L
Total Proteins % wb	0.16–0.48 7.5 + 0.2 wt%	5.52 ± 0.47 g/L 9.2 + 0.3 wt%
Lactose % wt	67% Wt 2.1–3.5	72–73% wt 49.44 ± 0.55 g/L
Lactic acid	7.19–13.07 g/L 14.4 + 1.5 wt%	1.2 + 0.1 wt%
pH	4.21–4.7	5.9–6.4
COD mg/L	31.9–62.400	50–102 g/L
BOD mg/L	32.7–50.5	35–60 g/L 35.000–55.000 mg l <sup>-1</sup>
Ash % wt	0.6–0.73% wt	0.5% wt 4.41 g/L

Fonte: Mutaliyeva e et al. (2025).

Mutaliyeva e et al. (2025), elenca o potencial das proteínas e o excelente perfil de aminoácidos. E defende a produção de proteínas em pó de alta qualidade, como uma das

alternativas para o uso do soro ácido. As proteínas em pó elaboradas a partir do soro ácido poderiam ser comercializadas como um produto premium, dado o seu alto valor nutricional.

**Lacuna 6:** Inovações tecnológicas e emergentes estão sendo desenvolvidas. Contudo, devido aos elevados custos de implementação e uso, quando comparada com as convencionais, a sua utilização em larga escala é limitada (Ex: produção de PHA como uma substituição ecológica e viável aos plásticos convencionais, (Carvalheira et al., 2022)).

**Lacuna 7:** Falta de integralização e comunicação entre pesquisas científicas, poder público e setor privado para solucionar essa problemática vigente: uso integral do soro do leite e inclusão na economia circular.

## 6.8 Perspectivas futuras aliadas à gastronomia

Diversas técnicas avançadas de processamento foram desenvolvidas para a utilização do soro do leite, incluindo filtração por membrana, evaporação, separação cromatográfica, precipitação de proteínas e tecnologias que são adotadas principalmente em escala industrial (Khazzar et al., 2025).

É fundamental desenvolver tecnologias abrangentes, escalonáveis e de baixo custo para atender toda a cadeia produtiva do setor lácteo, do pequeno, médio a grandes produtores. E que a sustentabilidade associada a economia circular se faça presentes. Pois, a subutilização do soro do leite está atrelada ao baixo capital desses produtores para a aquisição e implementação dessas tecnologias nas suas linhas de produção.

Aggarwal e et al. (2025), elaborou um estudo com dois objetivos simultâneos:

encontrar alternativas para utilizar subprodutos lácteos para a valorização de resíduos e a criação de alimentos funcionais. Assim, foram desenvolvidas três formulações combinadas com o trigo preto: trigo preto com soro de paneer (BWP); trigo preto com soro de queijo (BWC) e; trigo preto com concentrado proteico de soro do leite (BWWPC). Para produzir o bolinho *idli*, típico da cozinha indiana, com acréscimo funcional.

O *idli* enriquecido com soro de leite apresentou o maior teor proteico (g/100 g) no grupo WPC (24,76), seguido pelo grupo paneer (20,34) e pelo grupo queijo (21,03), em comparação com o grupo controle (18,7). Os fatores antinutricionais foram reduzidos, com o WPC apresentando os menores níveis de ácido fítico (5,52 mg/100 g) e saponina (616 mg/100 g). Além disso, as formulações apresentaram características reológicas significativas, com destaque para o grupo BWP, pois obteve maior elasticidade ( $G' = 9821$  Pa), melhora da coesão (0,692) e a adesividade (-45,12 N s). No entanto, a avaliação sensorial não foi positiva devido à excessiva dureza do bolinho *idli*, sendo um ponto de melhoria para aumentar a palatabilidade sem comprometer suas vantagens nutricionais (Aggarwal e et al., 2025).

Já Khazzar et al. (2025), avaliou a eficácia da técnica da microparticulação termomecânica seguida da fermentação no soro do leite bovino, com o objetivo de concentrá-lo e obter um creme macio, rico em proteínas. Os resultados obtidos mostraram um aumento significativo das proteínas (de 0,7% para 8,8%) e nos lipídios (de 0,3% para 1,3%), além de uma coloração amarela mais intensa. Uma análise discriminante fatorial mostrou que o soro fermentado apresentou maior teor de ácidos graxos saturados e de alguns ácidos graxos poliinsaturados. Isso contribui para as características sensoriais de maciez no produto final.

A aplicação da técnica de microparticulação no soro do leite, pode ser considerada uma matriz coloidal de micropartícula, apresentando propriedades de lubrificação semelhantes às de rolamentos de esferas, como substitutos de gordura, com capacidade emulsificante, podendo ser utilizado na fabricação de produtos lácteos como queijo, iogurte e bebidas fermentadas (Khazzar et al., 2025). Assim, pode ser empregado no desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais.

Enquanto profissional da gastronomia, busquei desenvolver uma solução prática e acessível que pudesse minimizar o desperdício do soro do leite. Então, criei um pão integral multigrãos elaborado a partir de fermentação natural, utilizando o soro do leite.

Figura 10: Pão integral multigrãos feito com soro do leite.



Fonte: O autor (2026).

## 7. CONCLUSÃO

Há uma crescente sensibilização do consumidor em relação aos benefícios dos alimentos para a saúde. Isso se torna a força motriz da pesquisa científica para apoiar a noção de que a dieta pode atender às necessidades nutricionais e exercer um papel benéfico na saúde humana (Papademas P. e Kotsaki P., 2019).

Mesmo com os avanços tecnológicos, mais de 40% do soro do leite produzido globalmente, ainda é descartado (Luparelli et al., 2025). Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 33% da produção global de alimentos é perdida durante os processos de fornecimento e consumo (Tita et al, 2024). O desperdício de alimentos afeta o meio ambiente e os recursos, sendo uma grande preocupação no setor alimentício.

O descarte do soro é um problema ambiental complexo devido à alta carga orgânica (demanda bioquímica por oxigênio: 35–45 kg/m<sup>3</sup>; demanda química de oxigênio: 60–80 kg/m<sup>3</sup>), teor de gordura, salinidade e outros sólidos suspensos presentes no soro (Tita et al., 2024).

O soro do leite é rico em compostos nutricionais e um potencial recurso para o desenvolvimento de produtos em diversos setores da economia, como a gastronomia, nutrição, indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica.

No entanto, a subutilização do soro do leite ainda é um fator limitante. O desenvolvimento de tecnologias, aliadas à demanda populacional por produtos nutracêuticos e proteicos, e o avanço das pesquisas científicas, são um gás propulsor para mitigar essa problemática.

No presente estudo, a análise bibliométrica confirmou o crescente interesse global no tema, com um volume significativo de publicações (176 estudos), o que atesta a relevância científica do soro do leite como matéria-prima.

Dessa forma, este estudo buscou demonstrar sua importância e relevância econômica, socioambiental, nutricional e científica. A realização de uma análise bibliométrica, portanto, foi indispensável para compreender o estado atual das pesquisas, aprofundar o conhecimento e direcionar prospecções futuras voltadas ao aproveitamento integral do soro do leite.

A análise crítica dos *clusters* permitiu identificar uma lacuna crucial: os estudos investigados se concentram em tecnologias de alto custo e complexidade industrial. Isso se torna uma barreira na elaboração de produtos a partir do soro do leite, com mais valor agregado, para os pequenos e médios produtores de laticínios. Como abordado neste estudo, o capital reduzido limita investimentos em maquinários com tecnologias de ponta para esse setor.

No mais, essa tendência nos estudos negligencia a necessidade de soluções de baixo custo e fácil implementação para os pequenos produtores e ainda, dificulta a transição do setor

informal para o formal. Logo, evidencia a necessidade de políticas públicas e de novos campos de pesquisas que promovam a inclusão tecnológica e a sustentabilidade em toda a cadeia produtiva.

Em suma, o soro do leite está em transição de um efluente poluente para um biorrecurso estratégico. A comunicação entre o campo científico, poder público, pequenos e grandes produtores de laticínios, são os principais pilares catalisadores para a concretização deste feito: o aproveitamento integral do soro do leite.

## 8. REFERÊNCIAS

ABIQ – Associação Brasileira das Indústrias de Queijo. Importações de soro avança e mantém 80% do volume total importado fora do Mercosul. *ABIQ*, 12 dez. 2025. Disponível em: <https://abiq.com.br/importacoes-de-soro-avanca-e-mantem-80-do-volume-total-importadofora-do-mercosul/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

AGGARWAL, A.; VERMA, T.; GHADAI, K.; MAITI, P.; SHARMA, R.; YADAV, S. S.; KUMAR, S.; KUMAR, A.; CHEN, K.-T. *Valorization of under-utilized whey: its effect on rheological and functional properties in black wheat idli*. *LWT – Food Science and Technology*, v. 235, p. 118637, 1 nov. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118637>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643825013222>. Acesso em: 11 jan. 2026.

AMARAL, Danilo de Assis. **Soro de leite na indústria: impactos ambientais e de valorização**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 9, n. 9, p. 133–150, 2021. DOI: [10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/environmental-engineering/en/whey](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/environmental-engineering/en/whey). Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/environmentalengineering-en/whey>. Acesso em: 03 out. 2025.

Arranjo produtivo de laticínios em Pernambuco (APL): plano de melhoria da competitividade / coordenação de Luciana Elizabeth da Mota Távora e Antônio Vaz de Albuquerque Cavalcanti. - Recife: SECTI/PE, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de Pernambuco, 2017.

ASSUNÇÃO, C. et al. **Anuário Leite 2023: um olhar sobre a cadeia produtiva brasileira**. São Paulo: MilkPoint, 2023.

ASSUNÇÃO, Carine Clara Olímpia de. Perfil da destinação do soro de leite na cidade de Barbacena e microrregião - Minas Gerais. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, e224111435344, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35344>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35344>. Acesso em: 10 set. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Mapa do Leite: políticas públicas e privadas para o leite*. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BORI-Elsevier. *2023: ano de queda na produção científica de 35 países, inclusive o Brasil* [Relatório]. Julho 2024. Disponível em: [https://www2.ufjf.br/noticias/wpcontent/uploads/sites/2/2024/07/relatorio\\_bori\\_elsevier\\_2024.pdf](https://www2.ufjf.br/noticias/wpcontent/uploads/sites/2/2024/07/relatorio_bori_elsevier_2024.pdf). Acesso em: 14 nov. 2025.

CANEPELE, N. R.; SHIGAKI, H. B.; RAMOS, H. R.; RIBEIRO, I. A utilização do software VOSviewer em Pesquisas Científicas. *Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSM)*, v. 22, n. 1, p. 1–8, e24970, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5585/2023.24970>.

CARVALHEIRA, Mónica; HILLIOU, Loïc; OLIVEIRA, Catarina S.; GUARDA, Eliana C.; REIS, Maria A. M. Polihidroxialcanoatos derivados do soro de queijo industrial: produção e

caracterização de polímeros com diferentes teores de hidroxivalerato. *Current Research in Biotechnology*, v. 4, p. 211–220, 2022. DOI: 10.1016/j.crbiot.2022.03.004.

CZARNIECKA-SKUBINA, E.; PIELAK, M.; NEFFE-SKOCIŃSKA, K.; KAJAK-SIEMASZKO, K.; KARP-PAŹDZIERSKA, S.; GŁUCHOWSKI, A.; MOCZKOWSKA-WYRWISZ, M.; ROSIAK, E.; RUTKOWSKA, J.; ANTONIEWSKA-KRZESKA, A.; ZIELIŃSKA, D. *Whey — a valuable technological resource for the production of new functional products with added healthpromoting properties*. *Foods*, v. 14, n. 24, art. 4258, 10 dez. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14244258>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12732941/>. Acesso em: 11 jan. 2026.

DI UCCIO, A. S.; et al. Effect of carbon to nitrogen ratio and dilution rate on a food-grade mixed culture for the treatment and valorisation of a dairy wastewater. *Bioresource Technology*, v. 390, art. 129896, 2023. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.11458.

**D’ALESSANDRO, Margherita; GOTTARDI, Davide; FRANCESCHINI, Sara; BRAGSHI, Giacomo; SIROLI, Lorenzo.** Impacto do soro de queijo enriquecido com ácido lactobiônico nas características de leites fermentados preparados com ou sem o probiótico *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG. *International Dairy Journal*, 2025.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106327>. Acesso em: 09 dez. 2025.

EMBRAPA. *Itália e Brasil ampliam acordo de cooperação para o desenvolvimento de modelo sustentável para a agricultura*. Portal Embrapa, 15 mar. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79082697/italia-e-brasil-ampliamacordo-de-cooperacao-para-o-desenvolvimento-de-modelo-sustentavel-para-a-agricultura>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ETIEL. *O que fazer com o soro do leite?* Etiel: Blog. Disponível em: [https://etiel.com.br/index.php?route=information/blog/ler&blog\\_id=12](https://etiel.com.br/index.php?route=information/blog/ler&blog_id=12). Acesso em: 05 jan. 2026.

Faria, D. J.; Carvalho, A. P. A. de; Conte-Junior, C. A. Valorização de resíduos e subprodutos alimentares fermentados: compostos bioativos e valiosos, síntese de bioprodutos e aplicações. *Fermentation*, v. 9, n. 10, p. 920, 2023. DOI: 10.3390/fermentation9100920.

FORBES BRASIL. *Italianos querem vender mais lácteos para o Brasil*. ForbesAgro, 13 dez. 2023. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2023/12/italianos-querem-vendermais-lacteos-para-o-brasil/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

GIULIANETTI DE ALMEIDA, M. P.; et al. Got whey? Sustainability endpoints for the dairy industry. *Sustainability*, v. 15, n. 3, p. 1948, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15031948>. Acesso em: 30 set. 2025.

GOVEAS, L. C. et al. Bebida funcional probiótica de soro de leite rico em EPS, fermentado e bioativo, *Lactobacillus plantarum* SVP2. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 62, p. 1547-1556, 2024.

GOTTARDI, Davide; SIROLI, Lorenzo; BRASCHI, Giacomo; D'ALESSANDRO, Margherita; VANNINI, Lúcia; et al. Aplicação superficial e impacto da *Yarrowia lipolytica* cultivada em soro de queijo como cultura adjunta para queijos inovadores e de maturação rápida do tipo Caciotta. *Revista Internacional de Microbiologia de Alimentos*, 2025. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111112.

**GRANA, Matteo; MARREIROS, Bruno C.; CARVALHEIRA, Mónica; FICARA, Elena; REIS, Maria A. M.** Polyhydroxyalkanoates production from cheese whey under near-seawater salinity conditions. *New Biotechnology*, v. 84, p. 53-63, 2024. DOI: 10.1016/j.nbt.2023.11.003.

**KACHRIMANIDOU, Vasiliki; ALIMPOUMPA, Dimitra; PAPADAKI, Aikaterini; LAPPA, Iliada; ALEXOPOULOS, Konstantinos; KOPSAHELIS, Nikolaos.** Utilização do soro de queijo para a produção de biossurfactantes: avaliação de estratégias de bioprocessamento utilizando novas cepas de *Lactobacillus*. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 12, p. 4621–4635, 25 maio 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02767-9.

KAYA, Burcu; GÜNEŞER, Onur; SAR, Taner; et al. Aprimoramento do valor nutricional e do perfil de sabor do soro de leite em pó por meio da fermentação fúngica com *Aspergillus oryzae* e *Neurospora intermedia*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos Internacional*, 2025. Disponível em: <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1177/10820132251368707>. Acesso em: 04 dez. 2025.

KHAZZAR, S.; BALZAN, S.; PEKER, A.; DA DALI, L.; FONTANA, F.; GARBIN, E.; TONOLO, F.; RILIEVO, G.; NOVELLI, E.; SEGATO, S. *An integrated approach in assessing the foodrelated properties of microparticulated and fermented whey*. *Foods*, v. 14, n. 19, artigo 3421, 4 out. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14193421>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12523710/>. Acesso em: 11 jan. 2026.

KOPSAHELIS, Nikolaos. Perfil docente – Department of Food Science & Technology. *Ionian University*. Disponível em: <https://fst.ionio.gr/en/department/staff/kopsahelis/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

LAPPA, Iliada. Perfil docente – Department of Food Science & Technology. *Ionian University*. Disponível em: <https://fst.ionio.gr/en/department/staff/684-lappa/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

LUPARELLI, A. et al. Proteínas de soro de leite e peptídeos bioativos: avanços na produção, seleção e perfil de bioatividade. *Biomedicines*, v. 13, n. 6, p. 1311, 2025. DOI: 10.3390/biomedicines13061311.

MATASSA, S. et al. Direct nitrogen stripping and upcycling from anaerobic digestate during conversion of cheese whey into single cell protein. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 358, p. 127308, 2022. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127308. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085242200637X>. Acesso em: 26 nov. 2025.

MEDEIRO, Inã Cândido de. **Modos de saber-fazer e de resistir**: os desafios dos produtores familiares de queijo de coalho artesanal no Agreste Pernambucano. 2023. Tese (Doutorado em Sociologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa SDA nº 94, de 18 de setembro de 2020. Aprova o Regulamento Técnico que fixa os Padrões de Identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite ácido. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 22 set. 2020. Edição 182. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-94-de-18-de-setembro-de-2020278692811>. Acesso em: 21 set. 2025.

MILKPOINT. A ascensão do mercado de soro de leite: tecnologia e impacto na indústria de alimentos. **MilkPoint**, 17 out. 2024. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/a-ascensao-do-mercado-de-sorode-leite-tecnologia-e-impacto-na-industria-de-alimentos-237581/>. Acesso em: 9 set. 2025.

**MORDOR INTELLIGENCE. Análise de tamanho e participação do mercado de queijos – Tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029)**. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/cheese-market>. Acesso em: 30 set. 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. *Global Whey Protein Market: Tamanho do mercado, análise de participação, tendências de crescimento e previsões até 2029*. 2025. [S.l.]: Mordor Intelligence, 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industryreports/global-whey-protein-market>. Acesso em: 03 out. 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. *Greek Yogurt Market Size & Share Analysis – Growth Trends and Forecast (2025–2030)*. Mordor Intelligence, atualizado em **12 set. 2025**. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/greek-yogurt-market>. Acesso em: 08 jan. 2026.

Mourão, Fernando. Queijo coalho Brasil. Fev. 2019. Disponível em: <https://www.queijocoalhobrasil.com/pernambuco-queijo-artesanal/>.

MOSCARIELLO, Carlo; MATASSA, Silvio; OLIVA, Armando; LENS, Piet N. L.; ESPOSITO, Giovanni; PIROZZI, Francesco; PAPIRO, Stefano. One-stage single cell protein production from hemp (*Cannabis sativa* L.) biomass residues and cheese whey through sequential anaerobic-aerobic fermentation. *Waste Management*, v. 193, p. 462-471, 2025.

**MUTALIYEVA, B.; TURKEYEVA, E.; MADYBEKOVA, G.; ŽIVKOVIĆ, L.; TALLURI, V. S. S. L. P.; ISSAYEVA, A.; VINCEKOVIĆ, M.** Valorização do soro ácido: novas abordagens para o desenvolvimento de produtos probióticos e funcionais. *Frontiers in Nutrition*, v. 12, p. 1630925, 19 set. 2025. DOI: 10.3389/fnut.2025.1630925. Acesso em: 01 nov. 2025.

MUTIO, C. et al. Circular business models for whey valorization in the Kenyan dairy sector through product life extension and resource recovery. *Circular Economy and Sustainability*,

2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01759-9>. Acesso em 03 jan. 2026.

MDPI. *Prof. Dr. Giovanni Esposito appointed as Section Editor-in-Chief of “Hydrogen Energy” in Energies*. MDPI, 20 maio 2021. Acesso em: 15 nov. 2025.

**NOVA School of Science and Technology – Departamento de Química.** Mónica Isabel Gonçalves Carvalheira. Disponível em: <https://www.dq.fct.unl.pt/pessoas/investigadores/monica-isabel-goncalves-carvalheira>. Acesso em: 15 nov. 2025.

NUNES, L. A. et al. O soro do leite, seus principais tratamentos e meios de valorização. **Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 301–326, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5310>. Acesso em: 9 set. 2025.

PAPADEMAS, P.; KOTSAKI, P. Utilização Tecnológica do Soro de Leite para uma Exploração Sustentável. *Advances in Dairy Research*, v. 7, n. 4, 2019.

PAPADAKI, Aikaterini; MANIKOS, Anastasios C.; PAPAZOGLU, Eleonora; KACHRIMANIDOU, Vasiliki; Lappa, Iliada; et al. Filmes de proteína de soro de leite reforçados com nanocristais de celulose bacteriana: Melhorando as propriedades comestíveis do filme por meio de uma abordagem de economia circular. *Food Chemistry*, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132604.

PIROZZI, Francesco. Francesco Pirozzi confermato alla guida del DICEA. *Università degli Studi di Napoli Federico II*, [s.l.], 24 set. 2023. Disponível em: <https://www.old.unina.it/45078053-francesco-pirozzi-confermato-alla-guida-del-dicea>. Acesso em: 18 nov. 2025.

POLICASTRO, G. et al. Enhancing Dark Fermentative Hydrogen Production from Problematic Substrates via the Co-Fermentation Strategy. *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 12, p. 706, 2022.

DOI: 10.3390/fermentation8120706. Disponível em: <https://www.mdpi.com/23115637/8/12/706>. Acesso em: 26 nov. 2025.

RAO, Raman; BASAK, Nitai. Otimização do processo e modelagem matemática da produção fotofermentativa de hidrogênio a partir de efluente de soro de queijo fermentado escuro por *Rhodobacter sphaeroides* OU001 em biorreator cilíndrico de 2 L. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 13, p. 3929–3952, 2023.

SILVA, D. R. et al. Diagnóstico da destinação do soro de leite no estado de Minas Gerais: perspectivas de valorização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 777-787, jul./ago. 2021.

SILVA, Isabela Maria de Moura; CRUZ, Adriano Gomes da; ALI, Sher; FREIRE, Lucas Gabriel Dionísio; FONSECA, Luziana Macedo; ROSIM, Roice Eliana; CORASSIN, Carlos Humberto; OLIVEIRA, Rodrigo Barbosa Acioli de; OLIVEIRA, Carlos Augusto Fernandes de. **Incidência**

**e níveis de aflatoxina M<sub>1</sub> em queijos artesanais e industrializados no estado de Pernambuco, Brasil.** *Toxins*, v. 15, n. 3, p. 182, 28 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins15030182>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/20726651/15/3/182>. Acesso em: 03 out. 2025.

SOARES, B. C. V.; VENDRAMEL, S. M. R.; SOUZA, S. L. Q. de. SORO DE LEITE: UMA VISÃO AMBIENTAL. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 2, n. 4, 2021. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/1907>. Acesso em: 9 set. 2025.

**SUMNY, Eduarda Heck; KEMPKA, Aniela Pinto.** Peptídeos bioativos do soro do leite: uma visão geral bibliométrica e funcional. *Discover Food*, v. 5, artigo 138, 2025. Springer Nature. Acesso em 04 nov. 2025.

SCHAEFER, J.; ETGES, B. I.; SCHAEFER, J. L. *A Literature Database Review of the Competitive Factors That Influence the Production and Use of Whey in the Brazilian Dairy Industry.* *Foods*, v. 12, n. 18, art. 3348, 7 set. 2023. DOI: 10.3390/foods12183348. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10528795/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

TIȚA, M. A.; et al. Harnessing the potential of whey in the creation of innovative products: a review. *Processes*, v. 12, n. 5, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/22279717/12/5/832>. Acesso em: 10 set. 2025.

Tunick, M. H.; Renye Jr., J. A.; Garcia, R. A. Conversão do soro de leite e outros resíduos lácteos em compostos antimicrobianos e imunorreguladores por fermentação. *Frontiers in Food Science and Technology*, v. 5, 2025. DOI: 10.3389/frfst.2025.1542284.

UNIVERSITÀ degli Studi di Napoli Federico II. *Cenni storici*. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.old.unina.it/chi-siamo/cenni-storici>. Acesso em: 15 nov. 2025.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. DOI: 10.1007/s11192-009-0146-3.

VOSVIEWER. *VOSviewer – Visualization of bibliometric networks*. Leiden: Centre for Science and Technology Studies, [s.d.].

WIKIPÉDIA. *Ionian University*. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ionian\\_University](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionian_University). Acesso em: 15 nov. 2025.

WIKIPÉDIA. *Universidade de São Paulo*. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Universidade\\_de\\_S%C3%A3o\\_Paulo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Universidade_de_S%C3%A3o_Paulo). Acesso em: 15 nov. 2025.

YU, Y. et al. Uma análise bibliométrica usando o VOSviewer de publicações sobre COVID-19. *Annals of Translational Medicine*, v. 8, n. 13, p. 816, jul. 2020. DOI: 10.21037/atm-20-4235.

ZANDONA, E.; **et al.** Whey utilization: sustainable uses and environmental perspectives. *Foods*, v. 10, n. 5, p. 1067, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10051067>. Acesso em: 21 set. 2025.

ZENG, X.; **et al.** The functionalities and applications of whey/whey protein. *Frontiers in Nutrition*, v. 10, p. 1099889, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1099889>. Acesso em: 01 out. 2025.

**ZENG, Xiaorong; WANG, Yujie; YANG, Shuda; LIU, Yijun; LI, Xing; LIU, Diru.** *As funcionalidades e aplicações do soro de leite/proteína do soro em alimentos fermentados: uma revisão.* *Food Science and Biotechnology*, v. 33, n. 4, p. 769–790, 2023. DOI: 10.1007/s10068023-01460-5.

ZOU, J. et al. Past, Present, and Future Perspectives on Whey as a Sustainable Feedstock for Biofuel Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 10, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9031875/>. Acesso em 03 jan. 2026.