

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEBORAH LIZAMA BOETTCHER

GOMA XANTANA: PERSPECTIVAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

DOIS VIZINHOS

2025

DEBORAH LIZAMA BOETTCHER

GOMA XANTANA: PERSPECTIVAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Xanthan gum: perspectives for sustainable agriculture

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia, do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Giovana Binder Pagnoncelli

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Andreia Anschau
Prof. Dr. Gustavo Henrique Couro

**DOIS VIZINHOS
2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



DEBORAH LIZAMA BOETTCHER

GOMA XANTANA: PERSPECTIVAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como
requisito para obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Data de aprovação: 16 de Dezembro de 2024

Maria Giovana Binder Pagnoncelli – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo Henrique Couto – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Maria Rosa Machado Prado, Doutorado – Faculdade Pequeno Príncipe (Fpp)

Nédia De Castilhos Ghisi – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

No Brasil, a agricultura é uma das principais fontes de renda, mas precisa de melhorias para se tornar mais eficaz e sustentável. Materiais inovadores, como a goma xantana, são promissores por suas propriedades reológicas, que permitem melhorar a agricultura. Produzida por *Xanthomonas* spp. durante a fermentação aeróbica, a xantana é um exopolissacarídeo biodegradável com mercado crescente. No entanto, os altos custos de produção são um desafio, e sua obtenção a partir de resíduos agroindustriais surge como uma alternativa sustentável promissora. Com essas problemáticas, este estudo teve dois objetivos principais: realizar uma análise cienciométrica sobre o uso da goma xantana na agricultura e a aplicação de resíduos agroindustriais em sua produção, visando promover a sustentabilidade e melhorar a produtividade agrícola, e analisar resíduos da agroindústria regional em relação ao seu potencial nutricional. Utilizando a base de dados Web of Science™, foram realizadas três buscas principais com combinações de palavras-chave relacionadas à goma xantana, agricultura, sustentabilidade e resíduos agroindustriais. Documentos publicados entre 1982 e setembro de 2024 foram analisados com os programas CiteSpace® e Microsoft Excel®, permitindo a identificação de tendências, autores, palavras-chave e países envolvidos. Os resultados destacaram um aumento expressivo nas publicações a partir de 2016, evidenciando o crescente interesse em aplicações agrícolas e sustentáveis do biopolímero. O Brasil surgiu como um dos países mais produtivos na área, atrás apenas da Índia e da China, com destaque para a pesquisadora Janice Druzian, que lidera estudos sobre a produção de goma xantana a partir de resíduos agroindustriais. A análise das palavras-chave revelou a evolução das pesquisas, inicialmente focadas em produção e otimização, e mais recentemente voltadas para aplicações, como recuperação de águas e aproveitamento de resíduos. Esses resultados mostram a importância da goma xantana como solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Este estudo também analisou dois subprodutos gerados no Brasil, o soro de leite e a milhocina, provenientes das indústrias de processamento de leite e milho, respectivamente. Eles foram caracterizados físico-quimicamente quanto ao teor de carbono, nitrogênio, proteínas, açúcares redutores totais, demanda química de oxigênio e pH, e comparados com análises estatísticas. Os resultados indicaram que tanto o soro de leite quanto a milhocina possuem composições que sugerem sua viabilidade como substratos para a produção de goma xantana, com teores adequados de carbono, 8,95% e 31,00% (p/v), e nitrogênio, 0,31% e 6,84% (p/v), respectivamente. A análise estatística mostrou diferenças significativas entre os dois, sendo que ambos possuem características para a produção do biopolímero. Este estudo mostra que a goma xantana pode ser produzida a partir de resíduos como soro de leite e milhocina, dando um novo destino a materiais que seriam descartados, como também, pesquisas futuras podem explorar a combinação desses subprodutos para melhorar sua utilização. O estudo mostrou a crescente aplicação da xantana na agricultura, unindo teoria e prática. Enquanto a análise cienciométrica destacou a evolução das pesquisas, os testes experimentais indicaram o potencial dos substratos na sua produção. Isso reforça a importância de integrar os dois estudos para avançar em soluções sustentáveis.

Palavras-chave: biopolímero; fermentação; agronegócio; produção sustentável.

ABSTRACT

In Brazil, agriculture is one of the main sources of income, but it requires improvements to become more efficient and sustainable. Innovative materials, such as xanthan gum, are promising due to their rheological properties, which can enhance agricultural practices. Produced by *Xanthomonas* spp. during aerobic fermentation, xanthan is a biodegradable exopolysaccharide with a growing market. However, high production costs pose a challenge, and obtaining it from agro-industrial waste emerges as a promising sustainable alternative. Given these challenges, this study had two main objectives: conducting a scientometric analysis on the use of xanthan gum in agriculture and the application of agro-industrial waste in its production to promote sustainability and improve agricultural productivity, and analyzing regional agro-industrial waste regarding its nutritional potential. Using the Web of Science™ database, three main searches were conducted with keyword combinations related to xanthan gum, agriculture, sustainability, and agro-industrial waste. Documents published between 1982 and September 2024 were analyzed using CiteSpace® and Microsoft Excel®, allowing the identification of trends, authors, keywords, and involved countries. The results highlighted a significant increase in publications since 2016, demonstrating the growing interest in the agricultural and sustainable applications of the biopolymer. Brazil emerged as one of the most productive countries in this field, ranking behind India and China. Notably, researcher Janice Druzian leads studies on xanthan gum production from agro-industrial waste. The keyword analysis revealed the evolution of research, initially focused on production and optimization, and more recently on applications such as water recovery and waste utilization. These findings emphasize the importance of xanthan gum as a sustainable solution for waste reuse and the development of innovative technologies. This study also analyzed two by-products generated in Brazil: whey and corn steep liquor, derived from the dairy and corn processing industries, respectively. These by-products were physicochemically characterized in terms of carbon, nitrogen, protein content, total reducing sugars, chemical oxygen demand, and pH, and were compared using statistical analyses. The results indicated that both whey and corn steep liquor have compositions suggesting their viability as substrates for xanthan gum production, with suitable carbon contents of 8.95% and 31.00% (w/v), and nitrogen contents of 0.31% and 6.84% (w/v), respectively. Statistical analysis revealed significant differences between the two, yet both exhibit characteristics suitable for biopolymer production. This study demonstrates that xanthan gum can be produced from waste materials such as whey and corn steep liquor, providing a new purpose for materials that would otherwise be discarded. Additionally, future research can explore the combination of these by-products to enhance their utilization. The study highlighted the growing application of xanthan in agriculture, bridging theory and practice. While the scientometric analysis revealed the progression of research, the experimental tests indicated the potential of these substrates for its production. This reinforces the importance of integrating both approaches to advance sustainable solutions.

Keywords: biopolymer; fermentation; agribusiness; sustainable production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura primária da goma xantana	18
Figura 2 - Bactéria <i>Xanthomonas Campestris</i>	19
Figura 3 - Fluxograma das etapas da produção da goma xantana	20
Figura 4 - Mercado da Goma Xantana: 2023	25
Figura 5 - Fluxograma produção do queijo	27
Figura 6 - Fluxograma do processo de moagem do milho por via úmida	29
Figura 7 - Aplicações da goma xantana	32
Figura 8 - Fluxo de obtenção dos dados para análise cienciométrica	39
Figura 9 - Principais autores organizados em clusters de palavras-chave	49
Figura 10 - Principais redes de cooperação e colaboração entre países	52
Figura 11 - Co-ocorrência de palavras-chave organizadas em clusters de palavras-chave	54
Figura 12 - Explosões de citações relacionadas às palavras-chave	59
Figura 13 - Linha do tempo das palavras-chave	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Publicações e Citações na Web of Science (WoS) de 1994 a 2024 ..	43
Gráfico 2 - Tendência de publicações ao longo de 10 anos	44
Gráfico 3 - Tendência de citações ao longo de 10 anos	45
Gráfico 4 - Total de publicações, total de citações e índice-H dos 15 autores que mais publicaram sobre a temática	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Gomas Microbianas	16
Quadro 2 - Produção da goma xantana a partir de resíduos diferentes.....	23
Quadro 3 - Aplicações da goma no setor alimentício	31
Quadro 4 - Critérios de seleção e indicadores estruturais globais de rede.....	41
Quadro 5 - Artigos de 1982 a 1993.....	42
Quadro 6 - Descrição dos clusters de palavras-chave	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do soro de leite	28
Tabela 2 - Composição da milhocina	30
Tabela 3 - Caracterização soro de leite doce	66
Tabela 4 - Caracterização do soro de leite doce com dados de outros autores	67
Tabela 5 - Caracterização da milhocina	68
Tabela 6 - Caracterização da milhocina com dados de outros autores	69
Tabela 7 - Média e desvio padrão de parâmetros dos resíduos.....	70
Tabela 8 - Comparação das médias dos parâmetros dos resíduos.....	71
Tabela 9 - Sugestão de meio de cultivo para produção da goma xantana.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	CAPÍTULO I: REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Polissacarídeos microbianos	14
3.1.1	Exopolissacarídeo	14
3.2	Gomas Microbianas	15
3.3	Goma Xantana	16
3.3.1	Estrutura e química	17
3.4	Produção da goma xantana.....	18
3.4.1	Necessidade nutricionais.....	20
3.4.2	Parâmetros físicos que afetam a produção da goma xantana	22
3.4.2.1	Temperatura e pH	24
3.4.2.2	Velocidade de agitação e aeração	24
3.4.2.3	Modo de operação.....	25
3.5	Mercado da Goma Xantana	25
3.6	Resíduos da agroindústria	26
3.6.1	Soro de leite	27
3.6.2	Milhocina	28
3.7	Aplicações	31
3.7.1	Aplicação na agricultura	32
4	CAPÍTULO II: GOMA XANTANA NA AGRICULTURA: EVOLUÇÃO, APLICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE – UMA REVISÃO CIENTÍFICA	34
4.1	Resumo	34
4.2	Introdução.....	35
4.3	Aquisição de dados e métodos.....	37
4.3.1	Coleta e tratamento de dados	37
4.3.2	Método de análise científica	39
4.4	Resultados e Discussão	41
4.5	Conclusão	60
5	CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NUTRICIONAL DA MILHOCINA E SORO DE LEITE DOCE.....	62
5.1	Resumo	62

5.2	Introdução	62
5.3	Material e métodos	64
5.3.1	Caracterização físico-química dos substratos	64
5.3.1.1	pH.....	64
5.3.1.2	Açúcares redutores totais	64
5.3.1.3	Carbono e Nitrogênio	64
5.3.1.4	Proteínas	65
5.3.1.5	Demanda química de oxigênio	65
5.3.2	Análise estatística.....	65
5.4	Resultados e discussão.....	66
5.4.1	Análises físico-química.....	66
5.4.1.1	Soro de leite	66
5.4.1.2	Milhocina	68
5.4.2	Análise comparativa de parâmetros estatísticos dos substratos	70
5.4.3	Sugestão de meio.....	72
5.5	Conclusão	73
6	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

A goma xantana é um exopolissacarídeo, produzido pelas bactérias *Xanthomonas* spp. durante a fermentação aeróbica (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000). A bactéria mais utilizada para a sua produção é a *Xanthomonas campestris*, esta bactéria é gram-negativa, possui morfologia de bastonetes e móveis por um flagelo único.

A xantana é um biopolímero com alto peso molecular, possui aparência de um pó branco ou amarelo claro, e é considerada um fluido não newtoniano, com propriedades pseudoplásticas, possuindo baixa viscosidade em altas taxas de cisalhamento e vice-versa, ela também é biocompatível, biodegradável, termicamente estável, solúvel em água e atóxica (Kumar *et al.*, 2018; Nasrabadi *et al.*, 2016). Devido a essas propriedades a sua demanda vem crescendo progressivamente, com uma produção anual estimada a 30.000-40.000 toneladas por ano. Além disso o tamanho do mercado da goma em 2024 é estimado em 750 milhões de dólares e deverá apresentar uma taxa de crescimento anual de 5,7% entre 2024 a 2029 (Ahuja; Bayas, 2022; Mordor Intelligence, 2024).

Todavia, um grande obstáculo encontrado na produção da goma é o seu elevado custo, pois a glicose e sacarose são as fontes preferenciais de carbono para a produção do biopolímero custando cerca de 400-600 dólares por tonelada, e o meio de cultura integra 20-30% do custo total da produção (Gunasekar *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2016). Desta forma, além do elevado custo do substrato e meio de cultivo, o mercado da goma xantana vem crescendo bastante, sendo necessário alternativas para minimizar os custos, como também ajudar no crescente mercado do biopolímero. Diante disso uma alternativa é o uso de substratos produzidos na agroindústria, eles possuem um baixo custo, como também são gerados em grandes quantidades, e se descartados de forma incorreta acarretam vários problemas ambientais (Wani *et al.*, 2021). Alguns substratos alternativos que são sugeridos em processos fermentativos, são resíduos cítricos, resíduo de suco maçã, amido de milho, bagaço de cana-de-açúcar, águas residuais, resíduos de polpa de beterraba, soro de leite, milhocina, sobras vegetais e entre outras (Santos *et al.*, 2016).

Além disso, as aplicações da goma xantana vêm se expandindo, abrangendo áreas como cosmética e farmacêutica, onde é utilizada na formulação de cremes, pastas de dentes e sistemas de liberação de medicamentos; petroquímica, para recuperação e produção de petróleo; indústria alimentícia, como emulsificante e

estabilizante; e agricultura, em formulações de pesticidas (Bhat *et al.*, 2022; Nasrabadi *et al.*, 2016;).

Nesse contexto, a goma xantana surge como uma aliada para melhorar a produtividade e a sustentabilidade na agricultura, com potencial de aplicação em solo, cultivos, sementes e no controle de pragas (Berninger *et al.*, 2021). Podendo ser utilizada para como melhorar a fluidez de pesticidas e fertilizantes (Deangelis, 2012), melhorar as características físicas e a retenção de água do solo (Sorze *et al.*, 2023), auxilia no controle de pragas e doenças em plantas e no encapsulamento de sementes (Nangong *et al.*, 2021; Viajayalakshmi *et al.*, 2024).

A agricultura global enfrenta o desafio de garantir a segurança alimentar, com estimativas apontando a necessidade de aumentar a produção em 70% até 2050 (Massruhá *et al.*, 2020). No Brasil, o setor agropecuário, uma das principais fontes de renda, cresceu 15,1% entre 2022 e 2023. Apesar de sua economia forte no agronegócio e da abundância de solos férteis e plantações, o Brasil ainda enfrenta desafios relacionados à melhoria da produtividade (IBGE, 2024). Além disso, a agroindústria gera uma grande quantidade de resíduos, que, em sua maioria, não são reaproveitados, representando uma oportunidade de utilizar eles para maior sustentabilidade no setor. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise cienciométrica do potencial da goma xantana na agricultura e o uso de resíduos agroindustriais em sua produção, com o objetivo de fomentar a sustentabilidade e aumentar a produtividade agrícola. E também, foram analisados resíduos regionais do agronegócio brasileiro quanto ao seu potencial nutricional, visando agregar valor e reduzir o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise cienciométrica do potencial da goma xantana na agricultura e do uso de resíduos agroindustriais em sua produção, com o intuito de promover a sustentabilidade e aumentar a produtividade agrícola. Além disso, analisar resíduos regionais do agronegócio brasileiro, para determinar seu potencial nutricional como substratos para essa produção.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o número de publicações e citações sobre o uso da goma xantana no setor agrícola;
- Identificar os principais países e autores envolvidos nas pesquisas sobre goma xantana e resíduos agroindustriais;
- Analisar as principais palavras-chave, periódicos e relações de coautoria, para compreender as colaborações científicas e áreas de aplicação da goma xantana;
- Avaliar o potencial nutricional dos resíduos agroindustriais como substratos para a produção da goma xantana, buscando substituição de insumos convencionais e redução de custos;
- Caracterizar físico-quimicamente o soro de leite e a milhocina quanto ao: pH, concentração de açúcares redutores totais, teores de carbono orgânico total, teor de nitrogênio total, proteínas e demanda química de oxigênio;
- Comparar os resultados obtidos com dados da literatura e estatisticamente para validar a qualidade dos resíduos estudados.

3 CAPÍTULO I: REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Polissacarídeos microbianos

Os carboidratos podem ser classificados de acordo com o tamanho da cadeia podendo ser, monossacarídeos, são os compostos mais simples, formados apenas uma unidade de monômero e não podem ser hidrolisados, como por exemplo, glicose e frutose, já os oligossacarídeos que são formados pela união de dois a 10 monossacarídeos, como principais exemplos, a maltose, lactose e sacarose, e por fim, os polissacarídeos que são formados por 10 ou mais monossacarídeos, como por exemplo, amido e celulose (Oliveira, 2005).

Quando é composto por um único resíduo de açúcar é chamado de homopolissacarídeo, por exemplo, a celulose, e quando é composto por 2 ou mais tipos de açúcares são chamados de heteropolissacarídeo, por exemplo, goma xantana (Matos, 2020).

Uma característica importante sobre os polissacarídeos é a sua afinidade pela água, sendo que sua facilidade de se dissolver não depende somente da sua estrutura primária, mas também da conformação da cadeia polimérica no solvente considerado (Lopes, 1996). A sequência de açúcares que estão dispostos na molécula, a presença de resíduos iônicos e a forma como as cadeias se entrelaçam influenciam nas características físico-químicas dele (Penna *et al.*, 2010).

Eles podem ser utilizados para diversas funções, como, estabilizar suspensões, floculação de partículas, escoamento de fluídos, produção de emulsões, encapsulamento de materiais, recuperação de óleo e entre outros (Matos, 2020). Desta forma, são uma alternativa para serem utilizados em diversas aplicações pois possuem propriedades parecidas com os produtos tradicionais, e também podem ser até mais vantajosos por possuírem propriedades únicas que podem ser benéficas para o desenvolvimento de novos produtos (Maugeri Filho; Goldbeck, 2019).

Os microrganismos podem produzir pelo menos três tipos de polissacarídeos estruturais, como alguns constituintes da parede celular, intracelular de reserva e os extracelulares, este é conhecido como exopolissacarídeo (Oliveira, 2005).

3.1.1 Exopolissacarídeo

Os exopolissacarídeos (EPS) são conhecidos como polissacarídeos extracelulares, encontrados ligados a superfície das células, sendo sintetizados e

excretados por fungos e bactérias (Seesuriyachan *et al.*, 2012), são polímeros de alto peso molecular e foram descobertos no ano de 1950 (Borges *et al.*, 2008).

Como os EPS cobrem a superfície celular, eles possuem várias funções biológicas, tais como, adesão, prevenção de infecção, resistência a dessecação, resposta imune e agentes de transferência de informações (Palaniraj; Jayaraman, 2011). Eles protegem as células microbianas de fatores ambientais externos como calor, pH e choques (Luviélmo *et al.*, 2016). Além disso, podem também ajudar na sobrevivência de plantas, principalmente em situações de estresses ambientais, como por exemplo, estresse salino, hídrico e variações de temperatura (Liu *et al.*, 2013).

Esses biopolímeros possuem aplicações em vários setores industriais como, agroindustrial, farmacêutico, alimentício e entre outros, pelo fato de alterarem as propriedades físicas do meio onde se encontram, pois criam redes intermoleculares coesivas ou conferem alta viscosidade as soluções. Diante disto dois exopolissacarídeos são altamente comercializados, a goma dextrana e xantana (Poli *et al.*, 2011).

3.2 Gomas Microbianas

As gomas microbianas são consideradas polissacarídeos com natureza hidrofílica e possuem propriedades de ligação com materiais orgânicos e inorgânicos (Petri, 2015). Sendo o primeiro polissacarídeo microbiano produzido por volta de 1940 foi a dextrana na Suécia, seguido da Inglaterra, sendo sintetizado principalmente por *Leuconostoc mesenteroides* (Bhavani; Nisha, 2010). A goma xantana e a dextrana são os polissacarídeos microbianos mais comercializados em larga escala devido as suas diversas propriedades (Maugeri Filho; Goldbeck, 2019).

As gomas microbianas vêm ganhando mais espaço no mercado, pois elas não dependem de condições climáticas, contaminações em colheitas ou contaminações marinhas que são fatores que prejudicam muito a produção das gomas tradicionais, e além disso há menos chances de ocorrer variabilidade na sua qualidade, pois a sua produção pode ser controlada, como pH, temperatura, entre outros fatores (Maugeri Filho; Goldbeck, 2019). Desta forma, possui várias gomas microbianas sendo produzidas a partir de diferentes micro-organismos, com diversas aplicações como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Gomas Microbianas

Gomas	Microrganismo	Composição	Aplicação	Referência
Xantana	<i>Xanthomonas campestris</i>	β -D-glicose, manose e ácido glucurônico	Extração de petróleo; agente espessante; agente de suspensão; agente gelificante, emulsificante e estabilizante em alimentos; hidrogéis; aditivo em ração animal, pesticida e formulações	Kuppuswami, 2014; Petri, 2015
Dextrana	<i>Acetobacter sp.</i> ; <i>Leuconostoc mesenteroides</i> ; <i>Streptococcus mutans</i>	α -D-glicose	Filme de proteção de sementes; inibidor da cristalização; agente gelificante, espessante e estabilizante de alimentos; expansor de plasma sanguíneo	Alsop, 1983; Khan <i>et al.</i> , 2007
Gelana	<i>Sphingomonas elodea</i>	D-glicose, ramnose e ácido glucurônico	Agente gelificante de alimentos e produtos farmacêuticos	Alvarez-Lorenzo <i>et al.</i> , 2013; Osmalek <i>et al.</i> , 2014
Alginato	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; <i>Azotobacter vinelandii</i>	Ácidos D-manurônico e L-gulurônico	Agente gelificante, emulsificante e estabilizante de alimentos; agente de encapsulação; agente de formação de filmes e de fibras sintéticas	Muller <i>et al.</i> , 2011
Curdiana	<i>Alcaligenes faecalis</i>	β -D-glicose	Agente gelificante e espessante em alimentos; agente de formação de filmes	Yukihiro, 1997
Pululana	<i>Aureobasidium pullulans</i>	β -D-glicose e maltotriose	Agente estabilizante e espessante; agente de revestimento e fabricação de filmes	Khan <i>et al.</i> , 2007; Picton <i>et al.</i> , 1995

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3 Goma Xantana

A goma xantana foi descoberta no início dos anos 1960, pela pesquisadora química americana Allene Rosalind Jeanes (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000), a xantana possui aparência de um pó branco ou amarelo claro, ela tem uma textura suave, inodora, atóxica, solúvel em água, biocompatível e biodegradável (Kumar *et al.*, 2018).

As principais aplicações da goma xantana estão associadas às suas características marcantes, ela é considerada um fluido não newtoniano, ou seja, sua

tensão de cisalhamento não é diretamente proporcional a taxa de deformação, possuindo assim propriedades pseudoplásticas, ou seja, baixa viscosidade em altas taxas de cisalhamento e vice-versa (Nasrabadi *et al.*, 2016), além disso, ela possui comportamento viscoelástico, resistência ao poder da degradação enzimática, alta estabilidade em uma ampla faixa de pH, temperatura e soluções salinas, alta solubilidade em água quente e fria, e sinergismo com outros polímeros (Faria *et al.*, 2011; Hublik, 2012).

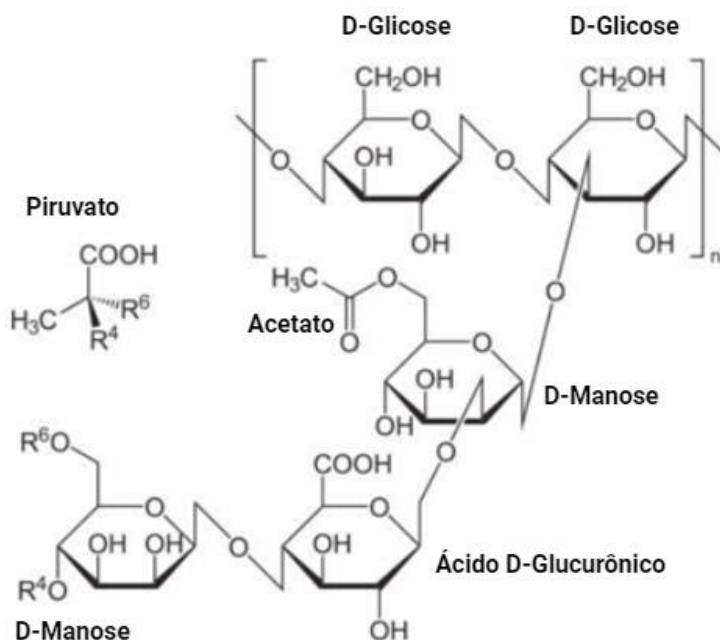
Já para a formação da xantana, as principais rotas envolvidas são a via Entner-Doudoroff que nesta cataboliza cerca de 80% da glicose disponível até o piruvato, então vai para o ciclo do ácido tricarboxílico e via das pentoses-fosfato que irá metabolizar a glicose restante (Rosalam; England, 2006).

O mecanismo de biossíntese da xantana é mais complexo quando comparado com outros biopolímeros, e segue os seguintes passos: (1) a partir da conversão de açúcares simples tem a síntese de precursores UDP-glicose, UDP-ácido glicurônico e GDP-manose; (2) para formar a unidade pentassacarídica repetitiva, ocorre a transferência de monossacarídeos, a partir do nucleotídeo correspondente para o lipídeo carregador localizado na membrana da célula; (3) desta forma ocorre a adição dos grupos acetil e piruvato, que são obtidos a partir de acetil-coA e fosfoenolpiruvato, respectivamente e (4) por fim ocorre a polimerização e a secreção do polissacarídeo (Vorholter *et al.*, 2008).

3.3.1 Estrutura e química

A goma xantana possui uma longa cadeia de unidades repetidas de glicose, manose e ácido glucurônico na proporção 2:2:1, como mostra na Figura 1, e tem um resíduo de ácido pirúvico ligado a unidade terminal D-manose, e um grupo acetil ligado a unidade D-manose na cadeia principal (Rosalam *et al.*, 2008). Devido a esses grupos ela possui uma estabilidade de natureza aniônica, sendo que esta estabilidade pode ser afetada pela sua estrutura primária da cadeia e o tipo de grupo funcional na unidade externa de manose (Wani *et al.*, 2021).

Figura 1 - Estrutura primária da goma xantana



Fonte: Adaptado de Sarmah et al. (2019)

Apesar de que a estrutura básica da goma xantana esteja definida, as condições de cultura e a variedade de *X. campestris* utilizada, podem variar a composição do polímero, isso dificulta manter um padrão de qualidade na produção da goma (Woiciechowski, 2001).

A concentração de acetil e ácido pirúvico dependem da linhagem microbiana, componentes do meio, mudanças conformacionais e condições de operação (Kool et al., 2013). Se o meio de cultura for suplementado com ácido cítrico terá uma maior proporção de ácido pirúvico, ele influencia na viscosidade das soluções, logo uma alta concentração de ácido pirúvico terá uma alta viscosidade a solução e vice-versa (Petri, 2015).

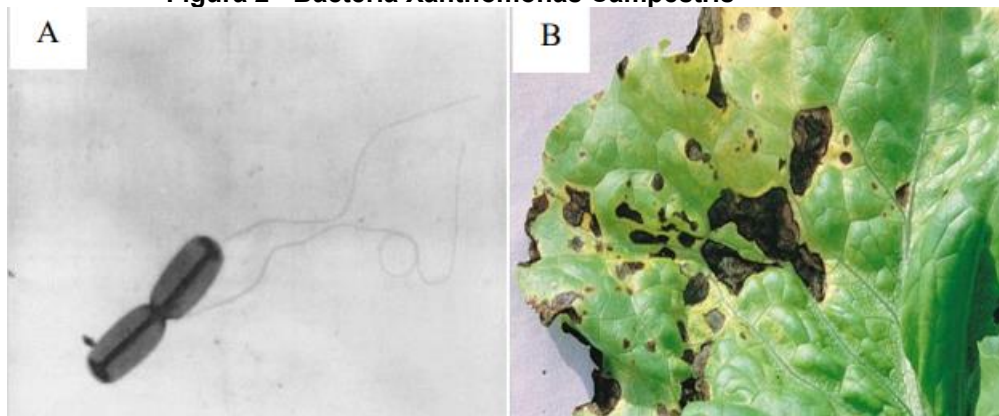
Também é evidenciado que com o tratamento térmico das soluções, a estrutura primária da xantana muda para uma conformação desordenada. Com o resfriamento ela recupera parcialmente sua estrutura, porém sua recuperação não é completa, pois o pareamento exato não é totalmente restaurado (Wani et al., 2021).

3.4 Produção da goma xantana

A goma xantana é produzida pela bactéria *Xanthomonas spp.* dentre as espécies, a *Xanthomonas campestris* é a mais utilizada comercialmente para a

produção e é amplamente estudada, esta bactéria é gram-negativa, possui morfologia de bastonetes, e é um patógeno de plantas, infectando culturas como alfafa, feijão e repolho, como mostra a Figura 2 (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).

Figura 2 - Bactéria *Xanthomonas Campestris*



(A) Imagem microscópica da bactéria *Xanthomonas Campestris*; (B) Folha infectada pela bactéria.

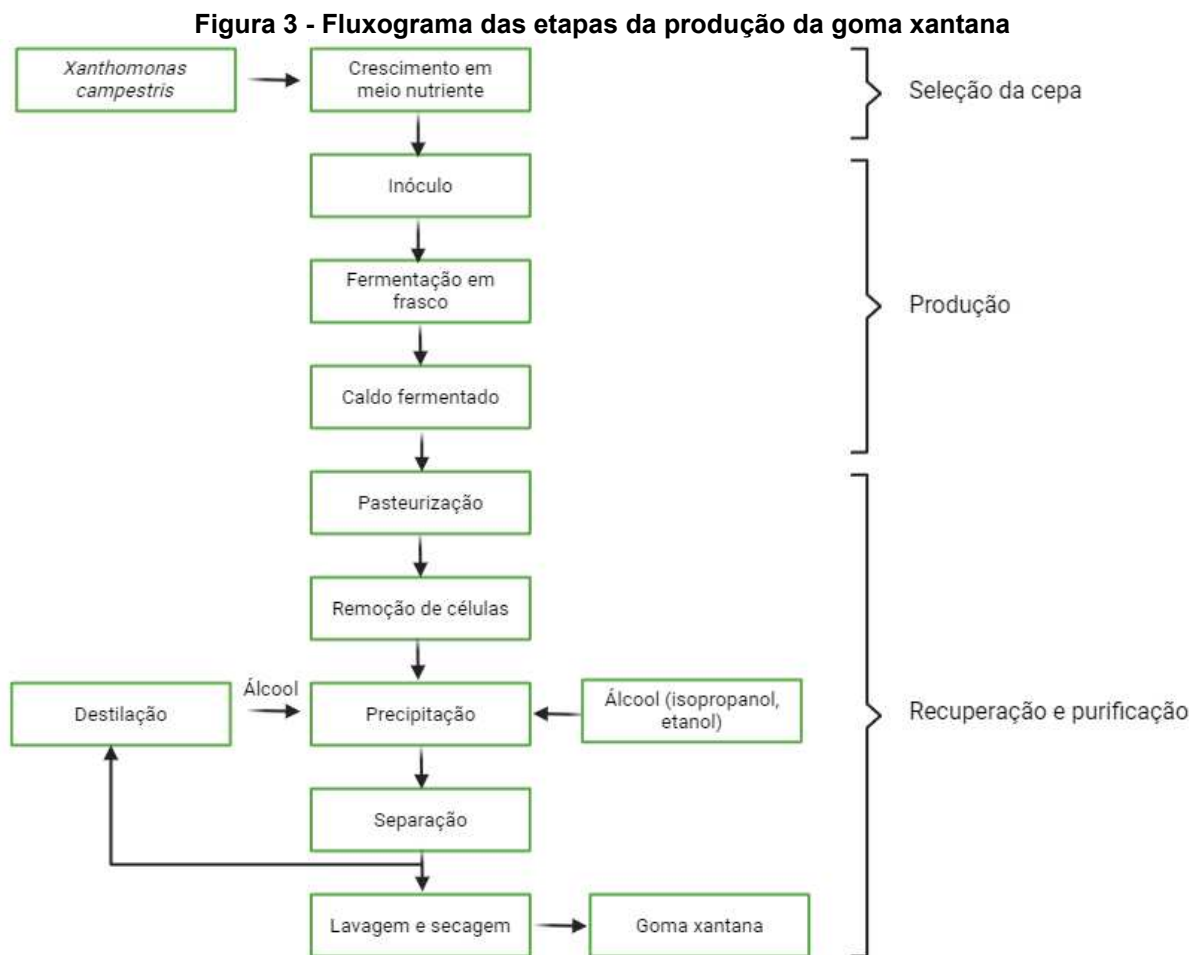
Fonte: Garcia-Ochoa *et al.* (2000)

A *Xanthomonas campestris* é cultivada em um fermentador com aeração e agitação. O meio deve ter uma fonte de carbono, nitrogênio e sais nutrientes, sendo que o rendimento da goma xantana e a sua estrutura dependem das condições operacionais e ambientais (Rosalam *et al.*, 2008).

Na Figura 3 representa um fluxograma com as três etapas da produção da goma xantana pela bactéria *Xanthomonas campestris*, iniciando pela seleção da linhagem; seguido da etapa de produção que é feita inicialmente com o inóculo e cultivos em frascos agitados, seguida de aumento de escala com cultivos em biorreatores, e por fim a etapa de recuperação e purificação da goma, (Wani *et al.*, 2021).

Quando completa o processo de fermentação, o meio de produção contém a goma xantana produzida, resíduos microbianos e outros agentes químicos, portanto é necessário a etapa de purificação e recuperação. Primeiramente é realizada a pasteurização, depois a remoção das células, seja por tratamento térmico ou por outros métodos, como centrifugação ou filtração, e a próxima etapa é a precipitação usando solventes orgânicos como etanol, isopropanol e acetona; então é feita a separação, também sendo realizada a destilação para reaproveitar o solvente

orgânico utilizado, podendo ser novamente utilizado na precipitação, logo o produto é seco e embalado (Wani *et al.*, 2021).



Fonte: Adaptado de Bhat *et al.* (2022)

3.4.1 Necessidade nutricionais

Para a bioconversão de um substrato em um produto é de suma importância conhecer o microrganismo que está sendo utilizado, ou seja, sua via metabólica, temperaturas e pH ótimos, como também suas necessidades nutricionais (Pereira *et al.*, 2018).

Os elementos que são essenciais as células e usados em grandes quantidades normalmente são, carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre. Tem outros macronutrientes que podem ser necessários as células, e que são usados em menores quantidades como, magnésio, cálcio, ferro, zinco, potássio, sódio, entre outros (Chan, 2003). Isso depende de cada microrganismo, tem alguns microrganismos precisam de compostos orgânicos complexos, já outros poucas

substâncias inorgânicas, isso mostra a grande diversidade microbiana (Pereira *et al.*, 2018)

O carbono está presente em toda estrutura de macromoléculas, visto que cerca de 50% do peso seco de uma célula bacteriana é composta de carbono, sendo obtido de ácidos graxos, aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos, bases nitrogenadas, entre outros. Sendo uma fonte de energia essencial a célula. Já o nitrogênio compõe 13% de uma célula bacteriana, sendo essencial para a síntese de proteínas ácidos nucleicos e outros compostos. Já o oxigênio compõe cerca de 17% da célula bacteriana sendo essencial para respiração celular, e hidrogênio compõe cerca de 8,2%, sendo essencial para síntese de compostos e participação de ciclos (Liu, 2017; Madigan, 2016).

Já alguns elementos encontram-se em menos compostos, porém também possuem uma grande importância celular (Liu, 2017). O fósforo é utilizado para a síntese de ácidos nucleicos e fosfolipídeos. O enxofre se encontra nos aminoácidos cisteína e metionina, e em algumas vitaminas, e está envolvido nas reações de transporte dos elétrons. O potássio é importante para atividade das enzimas. E o magnésio ajuda na estabilização dos ribossomos, membranas e ácidos nucleicos, ajudando também nas atividades de algumas enzimas. Já o ferro ajuda na respiração celular, envolvido nas reações de transporte de elétrons (Madigan, 2016).

As fontes de carbono mais comuns são sacarose e glicose, já as fontes de nitrogênio mais comuns são sais de amônia, nitrato, peptona e extrato de levedura, o hidrogênio e oxigênio são fornecidos por compostos orgânicos, para o fósforo são mais utilizados os sais, fosfato monopotássico e fosfato dipotássico e os sais de fosfato como, sulfato de amônio são a fonte de enxofre mais comum (Pereira *et al.*, 2018; Chan, 2003).

Outro ponto que influencia na necessidade nutricional, é a forma que o microrganismo obtém a energia, tem organismos que utilizam a luz (principalmente o sol) como fonte de energia, conhecidos como fototróficos, já outros a energia vem de reações oxidativas de compostos químicos, chamados de quimiotróficos, esses são os principais grupos microbianos nos processos fermentativos (Pereira *et al.*, 2018).

Para a bactéria *Xanthomonas campestris* as fontes de carbono e de nitrogênio são os nutrientes principais para o seu crescimento e produção da goma xantana, além destes, é necessária uma fonte de fósforo, e outros nutrientes que podem ajudar

no seu metabolismo são, cálcio, ferro, sódio, magnésio, potássio e alguns aminoácidos (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).

Como fonte de carbono, uma concentração mais baixa ou mais alta pode levar a inibição do crescimento, portanto a concentração ideal dele é de 2-4% (Niknezhad *et al.*, 2015), sendo a sacarose e a glicose os mais utilizados para produção da xantana (Murad *et al.*, 2019). A fonte de nitrogênio, pode ser orgânica, como a peptona e extrato de levedura, ou inorgânico, como sais de amônio e nitrato (NORDIN *et al.*, 2020). Altas concentrações de nitrogênio resultam em alto rendimento de biomassa (Rosalam *et al.*, 2008), porém a concentração alta de nitrogênio não favorece a produção da xantana (Moshaf *et al.*, 2014).

Já foi descrito que para ter uma maior produção da goma, a razão carbono para nitrogênio deve ser controlado na fase de crescimento celular, sendo que alto teor de carbono e baixo teor de nitrogênio favorece o acúmulo do polímero sintetizado (Rosalam *et al.*, 2008).

3.4.2 Parâmetros físicos que afetam a produção da goma xantana

Alguns parâmetros devem ser controlados durante a produção da goma para que se tenha um bom rendimento do produto, no Quadro 2 mostra a produção da goma a partir de alguns resíduos e as condições utilizadas para a mesma.

Quadro 2 - Produção da goma xantana a partir de resíduos diferentes

Microrganismo	Substrato	Condições da fermentação	Concentração da goma xantana (g/L)	Concentração celular (g/L)	Referência
<i>Xanthomonas campestris</i> NCIM 2961	Pó de semente de jaca	Inóculo: 5%; Taxa de agitação: 120 rpm; Tempo: 72 horas; Temperatura: 37°C; pH: 7; Batelada.	51,62	-	Felicia <i>et al</i> , 2017
<i>Xanthomonas campestris</i> NRRL B-1459	Suco de tâmara	Inóculo: 5%; Taxa de agitação: 180 rpm; Tempo: 48 horas; Temperatura: 28°C; pH: 7; Batelada.	24,5	0,26	Salah <i>et al</i> , 2011
<i>Xanthomonas campestris</i> PTCC1473	Soro de queijo	Inóculo: 5%; Taxa de agitação: 250 rpm; Tempo: 48 horas; Temperatura: 28°C; pH: 7; Batelada.	16,4	-	Niknezhad <i>et al</i> , 2015
<i>Xanthomonas campestris</i> ATCC 13951	Efluentes de vinícolas	Inóculo: 10%; Taxa de agitação: 475,50 rpm; Tempo: 96 horas; Temperatura: 29°C; pH: 6,5-7,5; Batelada.	23,85	-	Roncevic <i>et al</i> , 2019
<i>Xanthomonas campestris</i> (BeNa culture collection, China)	Cascas de laranja	Inóculo: 10%; Taxa de aeração: 1 vvm; Taxa de agitação: 300 rpm; Tempo: 72 horas; Temperatura: 30,4°C; pH: 7; Batelada.	30,19	2,88	Mohsin <i>et al</i> , 2018

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4.2.1 Temperatura e pH

A temperatura é muito importante na produção da goma xantana. A sua variação durante o crescimento do microrganismo pode afetar a produção da goma e alterar sua viscosidade (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000). Estudos mostram que a temperatura ótima para o crescimento do microrganismo é na faixa de 25-28 °C, enquanto que para a produção da goma é de 25-30 °C (Murad *et al.*, 2019).

Outro parâmetro importante é o pH, ele pode afetar na densidade de carga da goma, podendo assim alterar a associação molecular entre as moléculas, resultando assim em diferentes propriedades da viscosidade da goma (Murad *et al.*, 2019). O pH ótimo para o crescimento do microrganismo varia de 6-7,5 e para a produção da xantana varia de 7-8 (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).

Em pH básico acima de 9, a goma xantana perde o grupo acetil, já um pH ácido abaixo de 3 perde-se o grupo acetil e ácido pirúvico, alterando as propriedades da goma e diminuindo seu rendimento (Luvielmo *et al.*, 2016).

3.4.2.2 Velocidade de agitação e aeração

Xanthomonas compestris é um microrganismo aeróbico, desse modo a velocidade de agitação e a vazão de aeração são muito importantes na produção da goma xantana. A concentração de oxigênio dissolvido é diretamente proporcional à produção de goma xantana (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000).

É necessária uma alta concentração de oxigênio no meio devido à natureza aeróbica de *Xanthomonas*, para que assim seja eficiente a atividade dos microrganismos e, portanto, a melhora da produção da goma. Logo, para não afetar a produção dela é necessário verificar a vazão de ar e a velocidade do agitador (Borges *et al.*, 2008), pois altas velocidades de agitação podem resultar em danos as células, enquanto que baixas velocidades de agitação limitam o nível de oxigênio dissolvido no meio, sendo ambos os casos resultando em baixa produção da goma xantana, desta forma a velocidade de agitação ótima fica entre 150 a 250 rpm, podendo variar para cada experimento (Lopes *et al.*, 2015), alguns exemplos de valores de agitação já foram apresentados no Quadro 2.

3.4.2.3 Modo de operação

Tanto a fermentação em batelada quanto a contínua podem ser aplicadas para a produção de xantana. A fermentação em batelada fornece uma eficiência de 75-80% da conversão do substrato em goma, porém o tempo necessário é superior a 2 dias. Esse tempo pode interferir na viscosidade do produto, causar distúrbios no nível de oxigênio e acessibilidade de nutrientes (Rosalam e England, 2006). Já na fermentação contínua, a taxa de conversão de substrato para goma é de 60-70%, sendo o maior risco a contaminação que pode custar a perda de grande volume de produto (Prasertsan et al., 2008). Como mostra no Quadro 2 normalmente é utilizado a fermentação em batelada devido a sua praticidade e eficiência.

3.5 Mercado da Goma Xantana

A demanda pela goma xantana vem crescendo progressivamente devido as suas aplicações. O tamanho do mercado foi estimado em aproximadamente 750 milhões de dólares em 2024, com projeção de atingir cerca de 996 milhões de dólares até 2029, apresentando uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 5,71% entre 2024 e 2029. A produção anual de goma xantana é estimada entre 30.000 e 40.000 toneladas, com a Ásia-Pacífico dominando o mercado, sendo um dos maiores produtores como mostra a Figura 4 (Ahuja e Bayas, 2022; *Mordor Intelligence*, 2024).

Figura 4 - Mercado da Goma Xantana: 2023



Fonte: Mordor Intelligence (2024)

Um dos fatores que contribuem com o aumento da produção da goma xantana no mercado, é o aumento do consumo de produtos sem glúten, principalmente para pessoas que são celíacas, sendo que uma das únicas maneiras de controlar o sintoma dessa doença é consumir uma dieta sem glúten, com isso impulsiona a demanda de produtos sem este componente, beneficiando assim produtos associados, como a goma xantana (*Mordor Intelligence*, 2024). Outro fator é, em 2020 foram produzidos 23,5 milhões de barris de petróleo por dia na América do norte, já em 2021 foram 23,9 milhões de barris, este aumento gradual na produção do petróleo aumentará a necessidade de produzir mais xantana (Ahuja; Bayas, 2022).

Com a crescente procura da goma xantana, e aumento do mercado, busca-se formas de minimizar os custos de sua produção, pois um obstáculo na sua produção é o seu custo, principalmente em relação ao substrato e ao meio de cultura (Wani *et al.*, 2021). A glicose e sacarose são as fontes preferenciais de carbono para a produção da xantana, estas representam um alto custo no processo, custando cerca de 400-600 dólares por tonelada, além deste a fonte de nitrogênio encarece também o meio utilizado, sendo que o meio de cultura integra 20-30% do custo total da produção (Gunasekar *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2016). Desta forma, o uso de substratos alternativos de baixo custo, como resíduos da indústria de alimentos e resíduos agrícolas, torna-se uma alternativa para a diminuição de custos (Wani *et al.*, 2021).

3.6 Resíduos da agroindústria

Os resíduos são sobras de processos derivados da atividade humana, animal e processos produtivos como lixo doméstico, matéria orgânica, efluentes industriais e gases liberados em processos industriais ou motores (Mazzer; Cavalcanti, 2004).

O Brasil tem uma economia muito ligada à agricultura, gerando grandes quantidades de resíduos agroindustriais, estes são subprodutos gerados no processamento industrial de produtos agrícolas, animais e também de processos obtidos de atividades agrícolas (Santos *et al.*, 2018). No Brasil é gerado aproximadamente 970 mil toneladas por ano destes resíduos (Abib, 2022), com o aumento significativo destes, gera uma grande preocupação, pois tem elevado custo para os seus tratamentos, e muitos são descartados incorretamente gerando efeitos nocivos ao meio ambiente principalmente (Silva *et al.*, 2018).

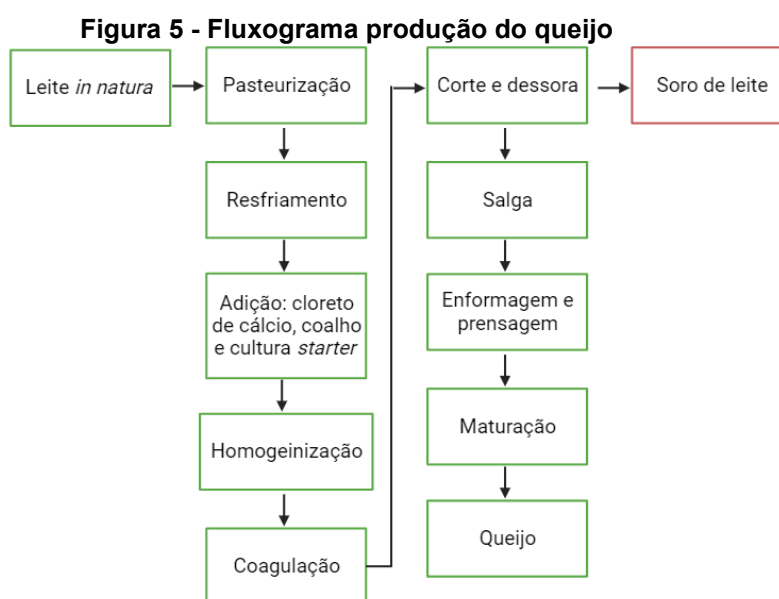
Contudo proteínas, açúcares, minerais e fibras são encontrados nas composições desses resíduos, fazendo com que eles se tornem fontes alternativas de

carbono e nitrogênio, substituindo fontes sintéticas em bioprocessos, podendo ser utilizados em processos fermentativos, reduzindo os custos de produção e auxiliando na destinação desses resíduos (Panesar *et al.*, 2016).

Desta forma, alguns substratos alternativos têm sido sugeridos, tais como, resíduos cítricos, resíduo de suco maçã, amido de milho, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de polpa de beterraba, soro de leite, milhocina, sobras vegetais e entre outras (Santos *et al.*, 2016).

3.6.1 Soro de leite

O soro do leite é um líquido opaco, da cor amarelo-esverdeado, sendo subproduto que é gerado pela precipitação de gorduras e caseína do leite durante a produção de queijos como mostra a Figura 5 (Soares, 2014). Ele pode ser doce, este obtido quando se realiza coagulação enzimática, por exemplo, queijo tipo muçarela, prato, cheddar e entre outros, e pode ser ácido, este vem da coagulação por adição direta do ácido, obtendo, *Cream Cheese*, *Cottage* e entre outros (Paula, 2005).



Fonte: Adaptado de Silva *et al* (2021)

Para a produção de um quilograma de queijo utiliza-se aproximadamente 10 litros de leite, sendo que 90% do volume do leite utilizado corresponde ao subproduto, o soro do leite (Steffens *et al.*, 2020). O soro possui cerca de 55% dos nutrientes do leite, como, proteínas solúveis, vitaminas, lactose, gordura e minerais, como fósforo,

sódio, potássio, cálcio e ferro (Alves *et al.*, 2014), além disso, ele fornece uma quantidade necessária de nitrogênio, como mostra a Tabela 1 (Fonseca *et al.*, 2009).

Tabela 1 - Composição do soro de leite

Componentes (%)	Quantidades
Proteína	0,78
Lactose	4,90
Nitrogênio	0,25
Fósforo	0,10
Potássio	0,14
Sódio	0,13
Cálcio	0,12

Fonte: Adaptado de Franco (1982) e Mesomo (2007)

O soro de leite possui uma alta demanda química de oxigênio (DQO), com valores de 50.000 a 80.000 mg/L (Frigon *et al.*, 2009), em muitos laticínios este subproduto é descartado, acarretando assim problemas ambientais, tais como, a eutrofização (Souza *et al.*, 2019). Estima-se que é descartado aproximadamente 40% do soro do leite sem nenhum tratamento nos rios (Henriques *et al.*, 2020).

Este subproduto passou a ser mais aproveitado, com isolamento de proteínas para utilizar como suplemento alimentar, como ingredientes em bebidas lácteas e interesse científico para o estudo de seus componentes (Minj; Anand, 2020). Além disso, como o soro do leite apresenta inúmeros nutrientes e pelo volume que é produzido, ele acabou tornando-se atrativo e economicamente viável em processos fermentativos, sendo um dos resíduos que pode vir a substituir fonte de carbono e nitrogênio (Costa *et al.*, 2015).

Bonett *et al.* (2020), isolou microalgas de água doce e realizou cultivos utilizando soro de leite como fonte de carbono, e apresentou bons resultados principalmente para microalga *Desmodesmus spinosus* que produziu 9,97 g/L de biomassa, 0,50 µg/mL de carotenoides, 0,42 µg/mL de clorofila a, 1,22 µg/mL de clorofila b, 2,20 µg/mL carboidratos e 2,37 µg/mL de lipídios, mostrando que o soro pode ser utilizado como substrato alternativo de baixo custo.

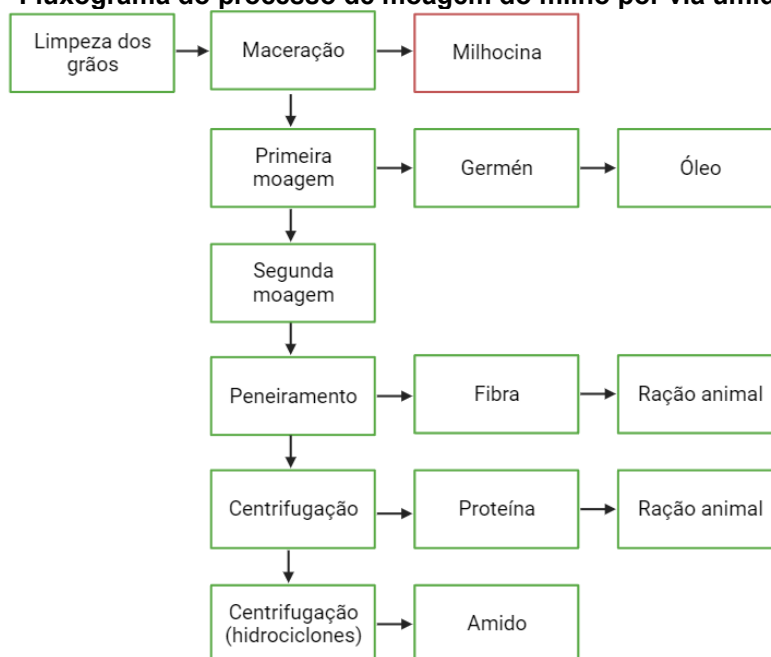
3.6.2 Milhocina

O milho é o cereal mais produzido mundialmente, sendo o Brasil o terceiro maior produtor. A produção brasileira na safra 2022/2023 foi de 131,9 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Desta forma, o milho é industrializado por duas vias, a

moagem seca e a moagem úmida, que a partir delas se obtém os subprodutos (Mussolini, 2009). A moagem por via seca é a qual não se utiliza água, sendo mais simples e menos eficiente, o grão seco e limpo passa por moinhos e peneiras, e assim gera vários produtos com base no seu tamanho, sendo estes, farinha, gritz, sêmolas e fubá (Rausch; Eckhoff, 2016), ou pode passar por um pré-cozimento, sem ser moído e obter flocos de milho pré-cozido e o gérmen passa por um processo de extração para obtenção de óleo (Mussolini, 2009).

A moagem pela via úmida é um processo mais complexo e de maior custo, sendo muito utilizado em grandes indústrias, pois a separação dos componentes do milho tem uma elevada pureza, logo origina produtos com maior valor agregado (Rausch; Eckhoff, 2016). Neste processamento, se obtém farinha proteica, floco, óleo, amido, dextrinas, xaropes de glucose, maltose, dextrose, etc. (Abimilho, 2019). Primeiramente é realizado a limpeza e seleção dos grãos de milho, pois os grãos quebrados impactam na qualidade e na eficiência da circulação da água (Singh e Johnston, 2004). Em seguida é realizada a maceração, que é a primeira moagem que se obtém o gérmen, e com ele se produz o óleo; segunda moagem; peneiramento, que este obtém a fibra; centrifugação, para obter proteína; e então outra centrifugação com hidrociclones para obtenção do amido, como mostra a Figura 6 (Peixoto, 2017).

Figura 6 - Fluxograma do processo de moagem do milho por via úmida



Fonte: Adaptado de Jackson; Shandera (1995)

A etapa mais importante no processo de moagem úmida do milho é a maceração, cujo objetivo é amaciar o grão do milho para que tenha uma adequada moagem e então a separação dos seus componentes. Desta forma, esta etapa consiste em depositar os grãos em tanques com recirculação de água, com a temperatura controla, pH controlado e adição constante de dióxido de enxofre (SO₂) (Rausch; Belyea, 2006). Nas primeiras 8 horas desta a etapa acontece o crescimento do *Lactobacillus sp.*, produzindo assim o ácido láctico, pois ocorre a conversão de açúcares do grão. Isso permite a difusão da água e do ácido no interior do grão, e então ocorre a liberação do amido e outros componentes do milho (Manzoni, 2000).

Na etapa de maceração fica como resíduo agroindustrial a água de maceração de milho, mais conhecida como milhocina ou *corn steep liquor*, sendo um líquido da cor amarelo escuro/ marrom. Sua composição é rica em carboidrato, nitrogênio, aminoácidos e sais minerais, como, fósforo, potássio, sódio, enxofre, cálcio, magnésio, ferro e zinco, como mostra a Tabela 2 (Xi *et al*, 2013).

Tabela 2 - Composição da milhocina

Componentes (%)	Quantidades
Proteína	20,50
Carboidrato	13,00
Nitrogênio	0,37
Fósforo	1,80
Potássio	2,80
Sódio	0,10
Enxofre	0,60
Cálcio	0,14
Magnésio	0,60
Ferro	0,10

Fonte: Adaptado de Chiani *et al.* (2010); Menegassi (2007), Valduga *et al.* (2007)

Apresenta alta DQO, com valores de 14.000 a 30.000 mg/L e demanda biológica de oxigênio (DBO) de 11.000 a 20.000 mg/L. Desta forma seu descarte feito de forma incorreta pode causar danos ambientais (Loss *et al.*, 2009). A milhocina pode ser utilizada na suplementação alimentícia animal, produção de isca para insetos e fonte de nutriente para processos biotecnológicos, como a fermentação que pode substituir a fonte de carbono e nitrogênio (Filipovic *et al.*, 2001). Ela possui cerca de 25% de proteína, como fonte de nitrogênio essencial podendo substituir o extrato de levedura ou sulfato de amônio (Moraes *et al.*, 2001; Silveira *et al.*, 2001).

Barros *et al.* (2020), produziram enzima fibrinolítica pela bactéria *Arthrospira platensis* a partir do meio Schlösser sem sua fonte de nitrogênio suplementado com milhocina e avaliaram que o nitrogênio da própria milhocina já foi suficiente para o crescimento da bactéria e produção da enzima, a produção máxima da enzima foi 268,14 U/mg utilizando 0,2% de milhocina após o 10° dia de cultivo.

3.7 Aplicações

Devido a suas variadas propriedades, ela foi aprovada pela *Food and Drug Administration* (FDA) dos EUA em 1969 para uso alimentar sem limite de aplicação, sendo a indústria alimentícia o setor que possui mais aplicações com a goma xantana, como mostra a Quadro 3 (Xin *et al.*, 2015).

Quadro 3 - Aplicações da goma no setor alimentício

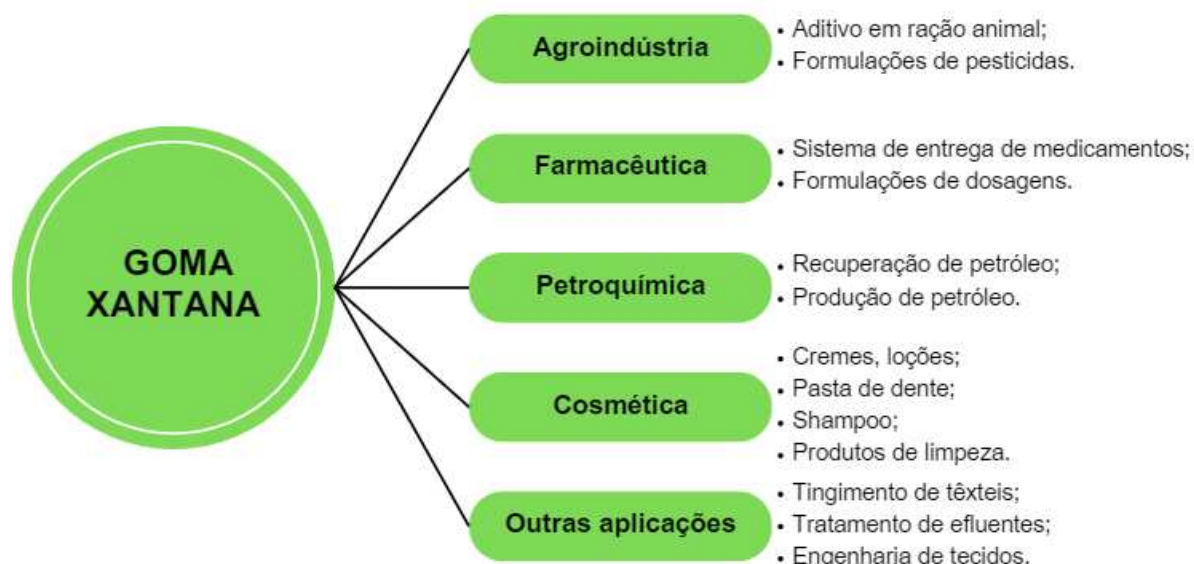
Função	Aplicação
Inibidor de cristalização	Xaropes, alimentos congelados
Agente de suspensão	Suco de frutas, achocolatado
Emulsificante	Molhos
Estabilizador de espuma	Cerveja
Agente de inchamento	Alimentos dietéticos
Estabilizador	Maionese, sorvete, molhos
Agente gelificante	Pudins, sobremesas
Inibidor de sinérese	Queijos, alimentos congelados
Agente espessante	Geleias, molhos

Fonte: Adaptado de Sutherland (1990)

Como mostra a Figura 7, além da indústria alimentícia, ela possui outras aplicações, nas indústrias de cosméticos, como espessante e emulsificante em cremes e outros produtos; farmacêuticas, pela sua natureza biocompatível com o sistema biológico e sinergismo com outros polímeros; petroquímicas, devido a estabilização da suspensão sob condições extremas de temperatura, auxiliando assim na extração do petróleo; agroindustriais, onde o comportamento do fluxo de pesticidas foi melhorada pela adição da xantana para suspender uniformemente os componentes

sólidos nas formulações, entre outras aplicações (Deangelis, 2012; Nasrabadi *et al.*, 2016).

Figura 7 - Aplicações da goma xantana



Fonte: Adaptado de Bhat *et al.* (2022)

3.7.1 Aplicação na agricultura

A agricultura tem se expandido globalmente, enfrentando o desafio central de assegurar a segurança alimentar por meio do fornecimento de alimentos. Estimativas baseadas no aumento populacional e nos hábitos de consumo indicam que será necessário ampliar a produção agrícola em pelo menos 70% até 2050 para atender às futuras demandas (Massruhá *et al.*, 2020). No Brasil, a agricultura é um setor em crescimento, consolidando-se como uma das principais fontes de renda do país (Brasil, 2023). Entre 2022 e 2023, o setor agropecuário registrou um aumento de 15,1%, com expectativas de expansão contínua nos próximos anos (IBGE, 2024). Apesar de sua economia forte no agronegócio e da abundância de solos férteis e plantações, o Brasil ainda enfrenta desafios relacionados à melhoria da produtividade, e busca novas formas para o seu melhoramento.

A maior aplicação agrícola com a goma xantana é para o melhoramento das propriedades reológicas e fluidez em formulações de fertilizantes, herbicidas, fungicidas e inseticidas, facilitando a mistura uniforme dos componentes sólidos das formulações (Deangelis, 2012), controlando assim a flutuação do *spray* e adesão, aumentando o tempo de contato e a aderência entre o pesticida e a cultura (Rosalam;

England, 2006). Como mostra o trabalho realizado por Zhang *et al.* (2023), que utilizou a goma xantana para melhorar a estabilidade e eficácia das misturas de formulações de pesticidas, que demonstrou que a xantana diminuiu o índice de estabilidade da mistura de 1,44 para 0,71, melhorando a estabilidade da formulação.

Outra aplicação é para a melhora das características físicas e a retenção de água do solo (Yang; Antonietti, 2020). Sorze *et al.* (2024) produziu hidrogéis a base de goma xantana e fibras de madeira para coberturas de solos em aplicações agrícolas e florestais. Neste estudo demonstrou que a absorção de água e a resistência do hidrogel foi o dobro comparado com o comercial, possuindo assim propriedades superiores de regulação de água.

Também pode auxiliar no controle de pragas e doenças em plantas, através do encapsulamento de microrganismos de controle biológico, como mostra Nangong *et al.* (2021) que utilizou o nematoide *Steinernema carpocapsae* encapsulado com goma xantana e alginato de sódio contra pragas em plantações. Resultado taxa de sobrevivência dos nematoides de 75,68 +/- 0,48%, e os nematoides causaram 82,33 +/- 1,45% de mortalidade nas larvas *Galleria mellonella* e 90,48 +/- 6,35% em larvas de *Agrotis ipsilon* Hufnagel, concluindo que as capsulas foram estáveis e eficiente ao controle dessas pragas.

E por fim, o encapsulamento de sementes, para otimizar o desempenho e o estabelecimento das plantas, Vijayalakshmi *et al.* (2024), realizou estudo de germinação comparando sementes de painço revestidas de goma xantana e semente não tratadas. Os resultados mostraram que os valores máximos para germinação de semente revestidas foram de 87%, comprimento de muda 26,23 cm, produção de matéria seca 12,74 mg, índice de vigor I 2282 e índice de vigor II 1084, todos com valores acima das sementes não tratadas, demonstrando que o revestimento com goma xantana melhoraram a germinação da semente e o vigor da muda.

4 CAPÍTULO II: GOMA XANTANA NA AGRICULTURA: EVOLUÇÃO, APLICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE – UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA

4.1 Resumo

A agricultura brasileira, importante fonte de renda, enfrenta desafios para aumentar sua produtividade e sustentabilidade. Uma solução promissora é a goma xantana, um polissacarídeo natural produzido por bactérias do gênero *Xanthomonas*, utilizada para melhorar a fluidez de fertilizantes e pesticidas, assim como no melhoramento do solo e controle de pragas. Além disso, sua produção a partir de resíduos agroindustriais promove a sustentabilidade ao reduzir os impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado desses materiais. Este estudo compreende a análise cienciométrica do potencial de utilização da goma xantana na agricultura e a utilização de resíduos agroindustriais para sua produção, com o objetivo de promover a sustentabilidade e melhorar a produtividade agrícola. Utilizando a base de dados da plataforma *Web of Science*TM, foram realizadas três buscas principais com as seguintes combinações de palavras-chave e operadores booleanos: TS= (*xanthan gum* AND *agriculture*), TS= (*xanthan gum* AND (*biodegrad** OR *sustain**) AND *environment* AND (*agro-industrial residue* OR *agro-industrial waste*)), e TS= (*xanthan gum* AND *production* AND *xanthomonas campestris*). Como resultado, foram selecionados 205 documentos publicados entre 1982 e setembro de 2024, correspondendo ao período de disponibilidade dos registros encontrados. Os resultados obtidos do *Web of Science* foram analisados, e os programas *CiteSpace*[®] e *Microsoft Excel*[®] foram utilizados para criar gráficos e figuras, identificando as palavras-chave, autores e países envolvidos nos estudos sobre o assunto abordado. Os resultados deste estudo mostram um crescimento significativo a partir de 2016, com mais de 15 publicações anuais até 2023, refletindo o crescente interesse em aplicações agrícolas e sustentáveis do biopolímero. O Brasil se destacou nesse cenário, figurando entre os países com mais publicações, ficando atrás apenas da Índia e da China, sendo um dos líderes na produção científica sobre goma xantana e sustentabilidade. A pesquisadora brasileira Janice Izabel Druzian foi uma das mais produtivas, realizando estudos sobre a produção de goma xantana a partir de resíduos agroindustriais, evidenciando o alinhamento das pesquisas brasileiras com as demandas globais sustentáveis. A análise das palavras-chave revelou uma evolução

nas tendências de pesquisa, com destaque para termos como *xanthan gum*, *fermentation*, *recovery* e *waste*, relacionados à produção sustentável e ao reaproveitamento de resíduos. Inicialmente, as pesquisas focavam na obtenção da goma e na otimização do processo produtivo, mas, nos estudos mais recentes, o direcionamento foi voltado para aplicações práticas, como na recuperação de águas e no aproveitamento de resíduos agroindustriais. Essas conclusões reforçam que iniciativas baseadas em biopolímeros, como a goma xantana, são um caminho viável para transformar resíduos em soluções práticas que contribuem para um futuro mais sustentável e inovador, além de potencializar a produção agrícola.

Palavras-chave: *xanthomonas campestris*; biodegradável; biopolímero; resíduos agroindustriais; eficiência agrícola.

4.2 Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores agrícolas do mundo, destacando-se como o principal produtor e exportador de soja (Brasil, 2023). O setor agropecuário cresceu 15,1% de 2022 para 2023 e continua com uma tendência de crescimento nos próximos anos (IBGE, 2024). Assim, a agricultura se estabelece como uma das principais fontes de renda do país (Brasil, 2023).

Dessa forma, a pesquisa científica tem buscado maneiras de aumentar a produtividade agrícola e melhorar a relação entre a agricultura e o meio ambiente, uma vez que o setor agroindustrial gera muitos resíduos, como o, bagaço de cana, farelo de arroz, casca de soja, espiga de milho, milhocina, soro de leite, cascas e polpas de frutas, entre outros (Moreira, 2003; Panesar *et al.*, 2016). Para isso, procura-se desenvolver novos materiais que possam ser aplicados de forma benéfica aos solos, lavouras, sementes e ao controle de pragas, visando maior eficiência na agricultura (Berninger *et al.*, 2021), como também novas formas de aproveitar o uso dos resíduos agroindustriais, visando promover a sustentabilidade.

Uma alternativa ao aumento do rendimento dos cultivares e reaproveitamento de subprodutos da agroindústria é a produção e uso de polissacarídeos naturais, que são biodegradáveis e ecologicamente corretos (Saha *et al.*, 2020). Esses polissacarídeos podem ser obtidos a partir de diferentes fontes, como plantas (por exemplo, goma guar e pectina), plantas marinhas (como o alginato), microrganismos (como a goma xantana e a dextrana) ou animais (como a quitosana) (Nobre *et al.*, 2015).

A goma xantana é um polissacarídeo microbiano produzido principalmente pelas bactérias *Xanthomonas* spp. durante a fermentação aeróbica (Garcia-Ochoa *et al.*, 2000). Esse biopolímero, com alto peso molecular, possui aparência de pó branco ou amarelo claro e é considerado um fluido não newtoniano com propriedades pseudoplásticas, apresentando baixa viscosidade em altas taxas de cisalhamento e vice-versa (Nasrabadi *et al.*, 2016). Além disso, a goma xantana é biocompatível, biodegradável, termicamente estável, solúvel em água e atóxica (Kumar *et al.*, 2018).

Devido a estas várias propriedades, este biopolímero possui aplicações nas áreas de cosméticos para produção de cremes, pastas de dentes e entre outros; alimentícias, como emulsificante e estabilizador nos alimentos; farmacêuticas, com sistema de entrega de medicamentos; petroquímicas, para recuperação e produção do petróleo (Bhat *et al.*, 2022; Nasrabadi *et al.*, 2016).

Além dessas áreas, a xantana pode ser utilizada na agricultura para diversas aplicações, como melhorar a fluidez de fertilizantes, herbicidas, fungicidas e inseticidas, facilitando a mistura uniforme dos componentes sólidos das formulações (Deangelis, 2012; Zhang *et al.*, 2023) e também aumenta o tempo de contato e a aderência entre o pesticida e a cultura, devido às suas propriedades reológicas (Rosalam; England, 2006); melhora as características físicas e a retenção de água do solo (Sorze *et al.*, 2023; Yang; Antonietti, 2020); auxilia no controle de pragas e doenças em plantas, através do encapsulamento de microrganismos de controle biológico (Nangong *et al.*, 2021); e no encapsulamento de sementes, para otimizar o desempenho e o estabelecimento das plantas (Viajayalakshmi *et al.*, 2024).

Assim como o biopolímero pode ser utilizado para aprimorar as propriedades de pesticidas, fertilizantes, solo, sementes e controle de pragas, a goma xantana também pode ser obtida a partir de resíduos agroindustriais, que servem como fontes de carbono e nitrogênio durante sua produção. Os resíduos agroindustriais possuem um baixo custo, visto que são gerados em grandes quantidades; além disso, devido à sua elevada carga orgânica, possuem um poder poluente capaz de causar diversos problemas ambientais, caso sejam descartados de maneira inadequada (Wani *et al.*, 2021). Alguns substratos alternativos que são comuns aos processos fermentativos, são resíduos cítricos, resíduo de suco maçã, amido de milho, bagaço de cana-de-açúcar, casca de mandioca, resíduos de polpa de beterraba, soro de leite, milhocina, sobras vegetais e entre outras (Santos *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão cienciométrica sobre o uso da goma xantana no setor agrícola, além de investigar a viabilidade da utilização de resíduos agroindustriais em sua produção, visando promover alternativas mais sustentáveis à agricultura. Esta revisão foca especificamente nos números de publicações e citações dos trabalhos que abordam o assunto. Ademais, as relações de cooperação entre os países, palavras-chave e autores associadas a essa temática, também são avaliados.

A análise cienciométrica desempenha um papel fundamental ao evidenciar os avanços científicos em diferentes áreas temáticas e ao identificar as tendências ao longo do tempo. Isso ajuda pesquisadores, editores e cientistas a identificar estudos já realizados e a explorar possibilidades futuras, como para aprimorar a aplicação da goma xantana na agricultura, além de permitir investigar a viabilidade de otimizar o uso de resíduos agroindustriais em sua produção, visando obter produtos mais sustentáveis.

4.3 Aquisição de dados e métodos

4.3.1 Coleta e tratamento de dados

Três grandes buscas foram realizadas na base de dados *Clarivate Analytics - Web of Science™ - Core Collection* (WoSCC) para garantir a realização de uma revisão abrangente de todos os documentos relacionados à temática. O WoSCC é amplamente utilizado em diversas áreas científicas e é conhecido pelo grande número de citações que abriga (Zhu; Liu, 2020).

A primeira busca utilizou as palavras-chave e operadores booleanos: TS= (*xanthan gum AND agriculture*), de onde obteve-se 1251 resultados; a segunda pesquisa TS= (*xanthan gum AND (biodegrad* OR sustain*) AND environment AND (agro-industrial residue OR agro-industrial waste)*) com 3795 resultados; e a terceira TS= (*xanthan gum AND production AND xanthomonas campestris*), com 302 resultados.

O termo “*xanthan gum*” foi pesquisado em títulos, palavras-chave e resumos, enquanto os outros termos foram pesquisados em todos os campos. Os documentos foram incluídos ou excluídos do escopo do trabalho conforme os critérios de seleção estabelecidos: Foram excluídos I) os artigos de revisão, II) os trabalhos que não utilizavam a goma xantana e III) aqueles que não se encaixavam nas áreas de aplicação da agricultura IV) ou sustentabilidade, como os de produção de alimentos

com goma xantana ou microbiologia. Além disso, os documentos foram duplamente refinados pelos autores e incluídos com base na aplicação da goma xantana na agricultura e sustentabilidade, seja pela utilização de resíduos agroindustriais à sua produção ou através da sua aplicação ou relação com o ambiente.

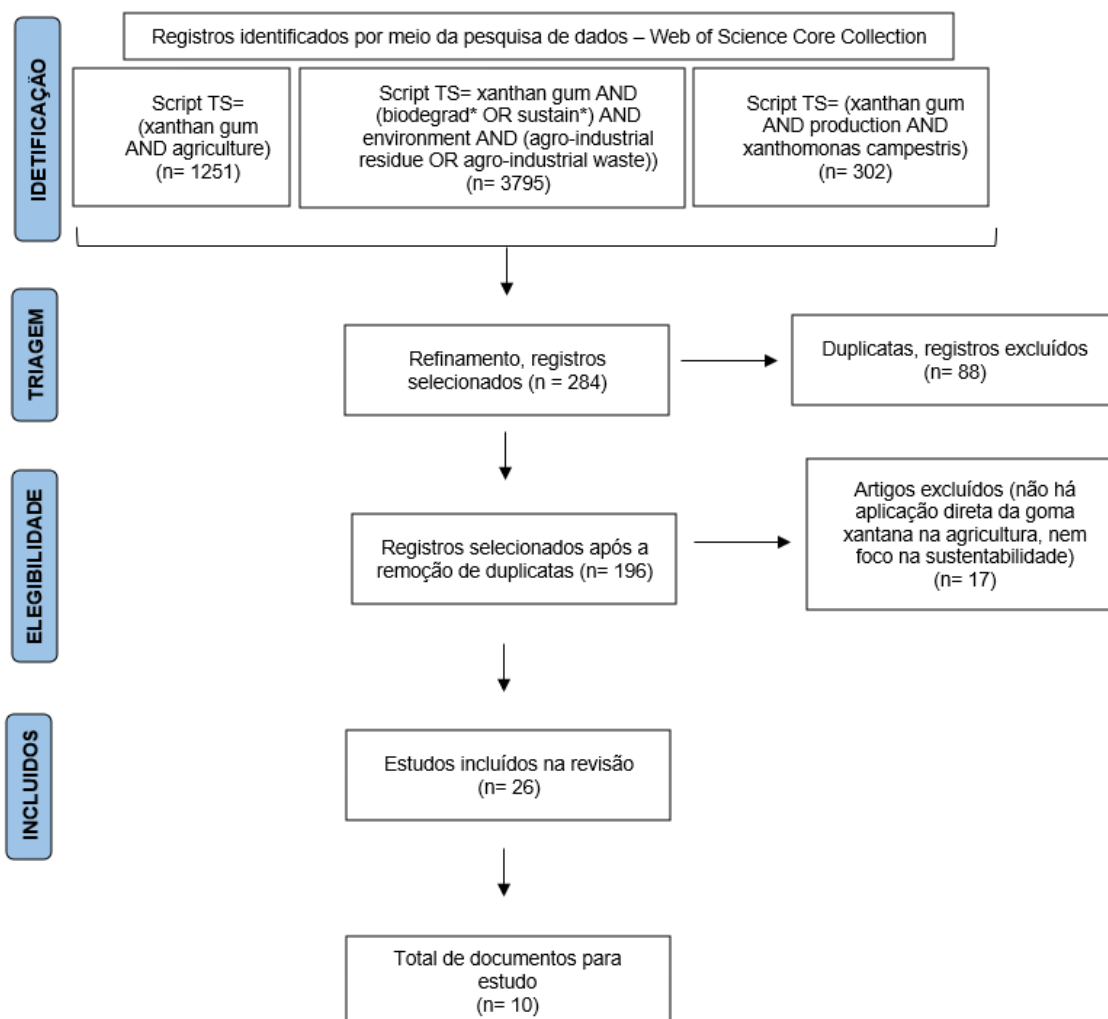
Na primeira pesquisa, foram inicialmente identificados 1251 documentos. Após o refinamento, esse número foi reduzido a 119 publicações, que incluíam estudos sobre a aplicação da goma xantana no revestimento de sementes e sua aplicação na formulação de pesticidas. Para ampliar essa busca, mais duas pesquisas foram realizadas e adicionadas à pesquisa original de 1251 documentos. A primeira nova pesquisa utilizou a equação de busca TS= (*xanthan gum AND (agriculture OR cultivation) AND pesticide AND emulsion AND formulation*), que gerou 1252 documentos (sem incluir artigos de revisão). Após o refinamento, restaram 45 estudos relevantes. A segunda nova pesquisa usou a equação TS= (*xanthan gum AND (agriculture OR cultivation) AND (seed coating OR seed encapsulation) AND germination*), resultando inicialmente em 1895 documentos, que foram reduzidos a 14.

A segunda pesquisa iniciou com 3795 resultados. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 51 estudos foram selecionados. Já na terceira pesquisa, começou com 302 resultados, dos quais, após o refinamento, 55 estudos foram considerados adequados.

Somando os resultados de todas as pesquisas, obtiveram-se 284 documentos. No entanto, 88 eram duplicados, resultando em 196 documentos.

Também, pesquisas complementares e avulsas relacionadas à temática foram conduzidas, das quais 26 trabalhos foram recuperados. Contudo, após a aplicação dos critérios de seleção, apenas 9 documentos foram considerados relevantes e incluídos no corpus geral da pesquisa. Assim, ao final de todo o processo, 205 documentos, publicados entre os anos de 1982 a setembro de 2024, foram selecionados como base para a análise. A sequência de obtenção dos resultados e seleção dos documentos, segundo os critérios de exclusão pré-estabelecidos, está detalhada na Figura 8.

Figura 8 - Fluxo de obtenção dos dados para análise cienciométrica



Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.2 Método de análise cienciométrica

Após o refinamento, os dados foram exportados do WoSCC e analisados utilizando os *softwares* *CiteSpace*® e *Microsoft Excel*®, que possibilitaram a obtenção e avaliação dos resultados apresentados por meio de figuras, gráficos e quadros.

O *Microsoft Excel*® gera gráficos a partir de tabelas com dados numéricos, facilitando a visualização e interpretação das informações. Com este software, foram criados gráficos do número de publicações e citações em função do tempo, tendência das publicações e citações ao longo dos anos e índice H (um indicador de produtividade e impacto das pesquisas por autor).

O *CiteSpace*®, desenvolvido pelo Dr. Chaomei Chen, é um software muito popular de visualização científica, baseado em *Java*®, que permite a criação, visualização e exploração de mapas baseados em dados de redes (Chen, 2006).

No *CiteSpace*®, a criação do mapa gera nós, que representam itens como palavras-chave, autores, instituições, referências e periódicos, e links que descrevem a co-citação ou co-ocorrência entre os nós (Xie, 2015). Além disso, os nós são formados por anéis concêntricos de cores diferentes, que indicam a ordem da co-ocorrência dos itens, desde o mais antigo (cores frias) até o mais recente (cores quentes) (Liu *et al.*, 2015). Além disso, os nós variam em tamanho conforme a frequência (os maiores indicam maior frequência) e a centralidade de intermediação (destacados pelo halo rosa), sobressaindo na rede de informações visualizadas. Dessa forma, a importância de cada nó em uma rede de co-citação pode ser parcialmente avaliada pela sua centralidade de intermediação (Liu *et al.*, 2015).

O software também apresenta o conceito de “explosão de citação”, conhecido como *Burst*, que indica quando artigos publicados recebem um número significativo de citações em um determinado período, esses nós estão representados pela cor vermelha (Chen, 2014).

O *CiteSpace* possibilitou tanto a geração de imagens quanto a interpretação dos padrões de rede, a partir do mapeamento dos autores com as produções mais importantes e relevantes sobre o assunto, da identificação dos principais países e análises de co-ocorrência das palavras-chave agrupadas em clusters de palavras-chave relacionadas.

Além disso, a geração de mapas no *CiteSpace* foi possível através da configuração de critérios de seleção de dados necessários à formação das redes de citação e co-ocorrência, conforme o Quadro 4.

Os critérios de seleção possibilitam verificar, por meio de indicadores estruturais globais como a Modularidade (Q) e a Silhueta (S), a força de divisão de uma rede em *clusters* e a qualidade da clusterização ocorrida, respectivamente. Elevados valores de Q indicam que há muitas conexões dentro dos *clusters* e poucas entre eles, evidenciando que os agrupamentos foram bem definidos (Chen, 2014; Chen, 2016).

O coeficiente S, que varia de 1 a -1, mede o quão semelhantes os nós formadores do agrupamento são ao seu próprio cluster em comparação com os demais. Valores de S próximos a 1 apontam clusters bem definidos, aqueles próximos a 0, indicam itens distribuídos próximos das bordas dos clusters e valores negativos, revelam itens acoplados a clusters errados. No entanto, um alto valor de S, deve ser considerado consistente apenas se os demais clusters formadores da rede tiverem

tamanhos semelhantes, assim se estabelece um parâmetro de comparação de homogeneidade de um agrupamento (Chen, 2014; Chen, 2016).

Quadro 4 - Critérios de seleção e indicadores estruturais globais de rede

Identificação gráfica	Intervalo de tempo (comprimento da fatia de tempo)	Critérios de seleção				Indicadores estruturais de rede		
		Top N	LRF	L/N	LBV	Q	S	Média Harmônica (Q, S)
Autores - Figura 4	1994-2024 (12 anos)	10	2.5	10	5	0.9528	1	0.9758
Países - Figura 5	1994-2024 (1 ano)	50	2.5	10	5	0.5903	0.874	0.7047
<i>Clusters</i> de palavras-chave - Figura 6	1995-2024 (5 anos)	10%*	2.5	10	5	0.7092	0.8845	0.7872
<i>Bursts</i> de citações - Figura 7	1995-2024 (5 anos)	15	2.5	10	5	0.8342	0.9682	0.8962
Timeline das palavras-chave - Figura 8	1995-2024 (5 anos)	15	2.5	10	5	0.8342	0.9682	0.8962

Fonte: Autoria própria (2025)

Esses indicadores estruturais, idealmente, sugerem uma boa consistência de clusterização quando avaliados em conjunto e a correlação entre eles pode ajudar a confirmar a robustez da análise. Contudo, Q e S podem ser sensíveis às configurações dos critérios de seleção, tais critérios atuam diretamente sobre a quantidade de dados processados na versão gratuita do *software* e são incisivamente pontuados durante sua avaliação.

A avaliação do conjunto de dados selecionados, contribui para identificar grupos dentro das redes, que podem representar temas e tópicos relacionados. Além disso, permite compreender as tendências e lacunas de conhecimento sobre a temática, fornecendo *insights* sobre a organização, estrutura e entendimento dos dados. Isso possibilita o avanço nas pesquisas voltadas à sustentabilidade e à melhoria da produtividade na agricultura, por meio do uso de um biopolímero.

4.4 Resultados e Discussão

Obteve-se 205 documentos, no entanto, 10 documentos não puderam ser inseridos no *CiteSpace*, pois a versão gratuita do software permite apenas o processamento de documentos publicados a partir de 1994. Assim, o Quadro 5 apresenta informações sobre os artigos publicados entre 1982 e 1993 (12 anos).

Entre 1982 e 1993, todos os trabalhos publicados foram artigos. Os anos com o maior número de publicações foram 1987 e 1993, ambos com 2 artigos.

Quadro 5 - Artigos de 1982 a 1993

Título	Ano	Nº de citações	País	Instituição de ensino	Autor
Rhizobacteria of sugar-beets - effects of seed application and root colonization on yield	1982	231	EUA	University of California	Schroth, M. N.; Suslow, T. V.;
Soybean weed-control by chloramben granules coated with haloxyfop-methyl	1985	1	EUA	U. S. Department of Agriculture	Dale, J. E.
The use of fungicidal paints and gels to treat existing apple cankers	1985	3	Reino Unido	Division of Plant Pathology Research	Cooke, L. R.; Mccracken, A. R.
Gel formulations for the treatment of pruning wounds .2. Results with differing gel and fungicide components and comparison with sealant compositions	1987	3	Reino Unido	University of Bristol	Clifford, D. R.; Gendle, P.; Holgate, M. E.
Comparison of paint and gel formulations for the treatment of nectria cankers on apple-trees	1987	5	Reino Unido	University of Bristol	Clifford, D. R. et al.
A biopolymer-based pesticide delivery system for insect suppression in stored grains	1989	3	EUA	Kansas State University	Fan, L. T.; Sing, S. K.
Construction of lactose utilizing xanthomonas campestris and production of xanthan gum from whey	1990	90	República Popular da China	National Chung Hsing University	Fu, J. F.; Tseng, Y. H.
Effect of conditioning, betaine, and sucrose on survival of rhizobacteria in powder formulations	1991	24	EUA	New York State Agricultural Experiment Station	Burr, T. J.; Caesar, A. J.
Effect of corn steep liquor on xanthan production by xanthomonas-campestris	1993	10	Argentina	Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia	Fitzsimons, R; Molina, O; Perotti, N.
Xanthan gum produced from whey by a mutant strain of xanthomonas-campestris	1993	4	República Tcheca	Institute of Microbiology	Konicek, J.; Lasík, J.; Safar, H.

Fonte: Autoria própria (2024)

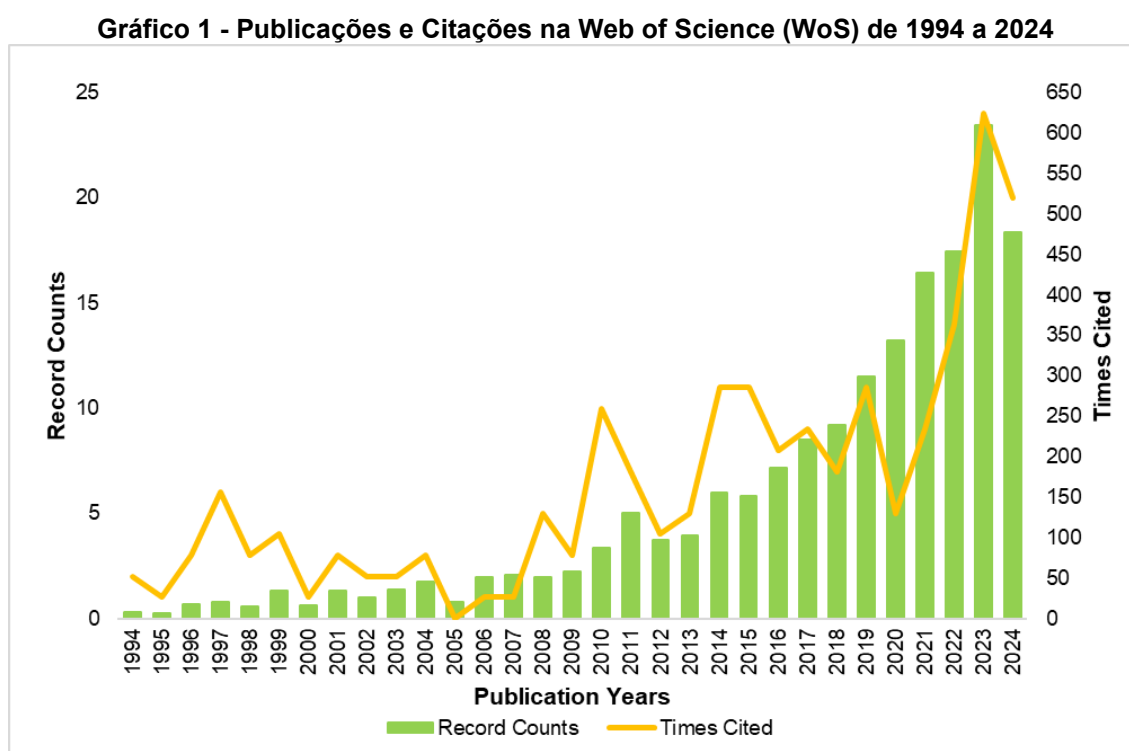
O artigo mais citado, com 231 citações, é "*Rhizobacteria of sugar-beets: effects of seed application and root colonization on yield*" (Suslow; Schroth, 1982). Este trabalho trata do revestimento de sementes com goma xantana e apresenta os primeiros indícios do uso desse biopolímero na agricultura, sendo o artigo mais antigo encontrado sobre o tema. O segundo artigo mais citado é "*Construction of lactose-utilizing Xanthomonas campestris and production of xanthan gum from whey*" (Fu e

Tseng, 1990), com 90 citações, que trata da modificação da bactéria *Xanthomonas campestris* para utilizar lactose na produção de goma xantana a partir de soro de leite.

De modo geral, os dez artigos são voltados à produção de goma xantana a partir de resíduos agroindustriais (Fu; Tseng, 1990; Konicek; Lasík; Safar, 1993; Molina; Fitzsimons; Perotti, 1993) e para a aplicação da goma no controle de pragas (Dale, 1985; Mccracken; Cooke, 1985), no revestimento de sementes (Suslow; Schroth, 1982, formulações de pesticidas (Clifford; Gendle; Holgate, 1987; Clifford *et al.*, 1987; Sing; Fan, 1989) e formulação de biofertilizantes (Caesar; Burr, 1991).

Assim, os demais 195 documentos foram utilizados para gerar os gráficos e figuras apresentados a seguir. Destes documentos, 186 são artigos, 12 são artigos de procedimento, 2 são de acesso antecipado e 1 é uma observação. Em relação à língua em que foram publicados, 189 estão em inglês e 6 em português.

Após o refinamento e seleção dos resultados na base de dados *Web of Science*TM, o número de publicações e citações dos documentos publicados entre os anos de 1994 e outubro de 2024 foi reportado, conforme ilustrado no Gráfico 1.



Fonte: WoS - Citation Report, autor (2024)

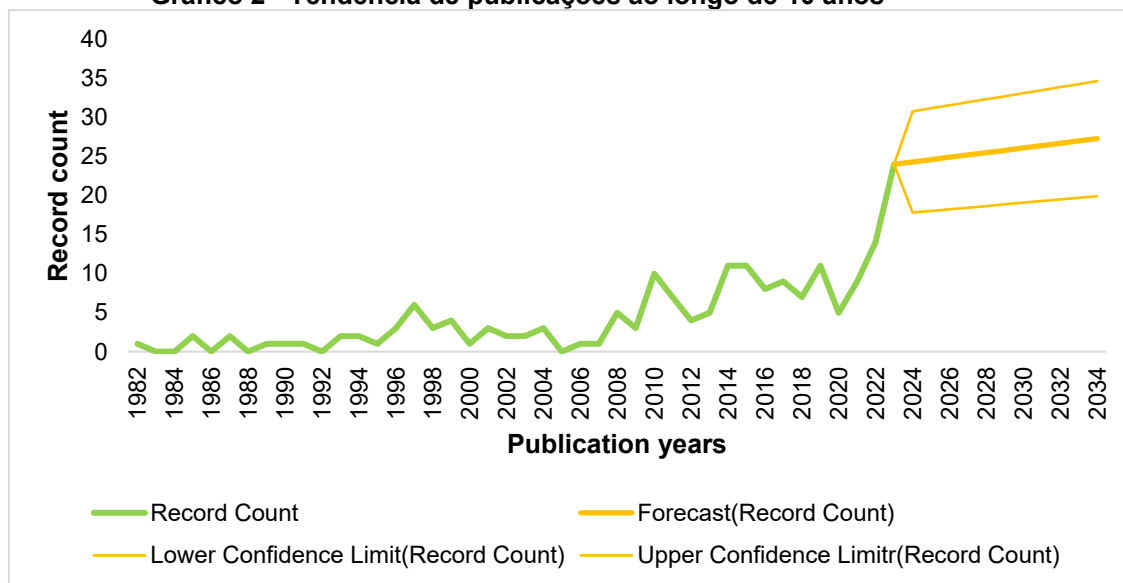
De 1994 até aproximadamente 2009, o número de publicações foi relativamente baixo, variando entre 0 e 5 por ano. Os artigos trataram principalmente

do uso de resíduos agroindustriais para a produção de goma xantana, mas também abordaram o tratamento de solo com goma xantana e formulações de pesticidas.

A partir de 2010, há um crescimento mais consistente no número de publicações, com aumento expressivo após 2016. Em 2021, esse número aumenta significativamente, alcançando mais de 15 publicações por ano, e esse crescimento continua até 2023, indicando maior relevância e interesse por estudos relacionados ao uso da goma xantana na agricultura e na utilização de resíduos para sua produção.

Embora os dados completos de 2024 ainda não estejam disponíveis, observa-se que, até setembro, o número de publicações permanece elevado, com potencial para superar o total registrado em 2023. Essa tendência reforça a estabilidade do crescimento observado nos anos anteriores, conforme mostrado no Gráfico 2, que apresenta a evolução das publicações relacionadas ao tema nos últimos 10 anos. Com base nesse histórico, foi possível projetar um aumento contínuo no número de publicações, consolidando o padrão de crescimento estável e indicando um ano promissor em termos de produtividade acadêmica.

Gráfico 2 - Tendência de publicações ao longo de 10 anos

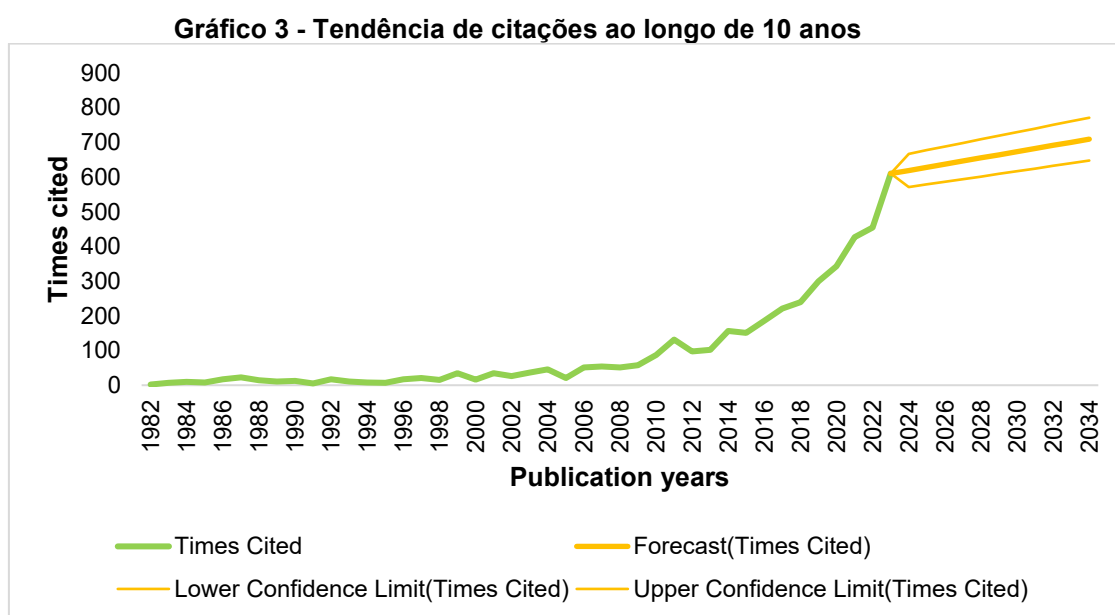


Fonte: WoS - Excel, autor (2024)

Em relação ao número de citações, entre 1994 e 2013, o número de citações oscilou significativamente, com picos e quedas, sem apresentar um crescimento consistente, mantendo-se em níveis relativamente baixos. A partir de 2014, observa-se um aumento mais estável, que se intensifica entre 2021 e 2023, culminando em mais de 600 citações em 2023.

Já em 2020, houve uma queda no número de citações, que pode estar relacionada à pandemia de COVID-19. O foco de muitas pesquisas foi redirecionado para os desafios impostos pela crise sanitária, o que possivelmente resultou em uma diminuição no volume de citações em áreas não relacionadas à pandemia. Outros fatores, como o ciclo de vida de artigos, mudanças nas áreas de interesse, ou até atrasos na revisão e publicação de trabalhos, também podem ter contribuído para essa diminuição.

Em 2024, mesmo com dados ainda parciais, o número de citações já ultrapassa 500, sugerindo a possibilidade de alcançar ou superar os valores do ano anterior, conforme ilustrado no Gráfico 3. Esse crescimento expressivo nos anos recentes reflete o impacto e a qualidade das pesquisas publicadas, consolidando o tema como uma área de relevância científica crescente, capaz de atrair maior atenção da comunidade acadêmica e fomentar colaborações internacionais.



Fonte: Fonte: WoS - Excel, autor (2024)

Entretanto, o *Web of Science Core Collection* possui um vasto acervo, compreendendo em seu banco de dados 22.000 periódicos, 149.000 livros e 308.000 atas de conferências, que vêm crescendo recentemente com o aumento significativo no número de publicações globais (Clarivate, 2024).

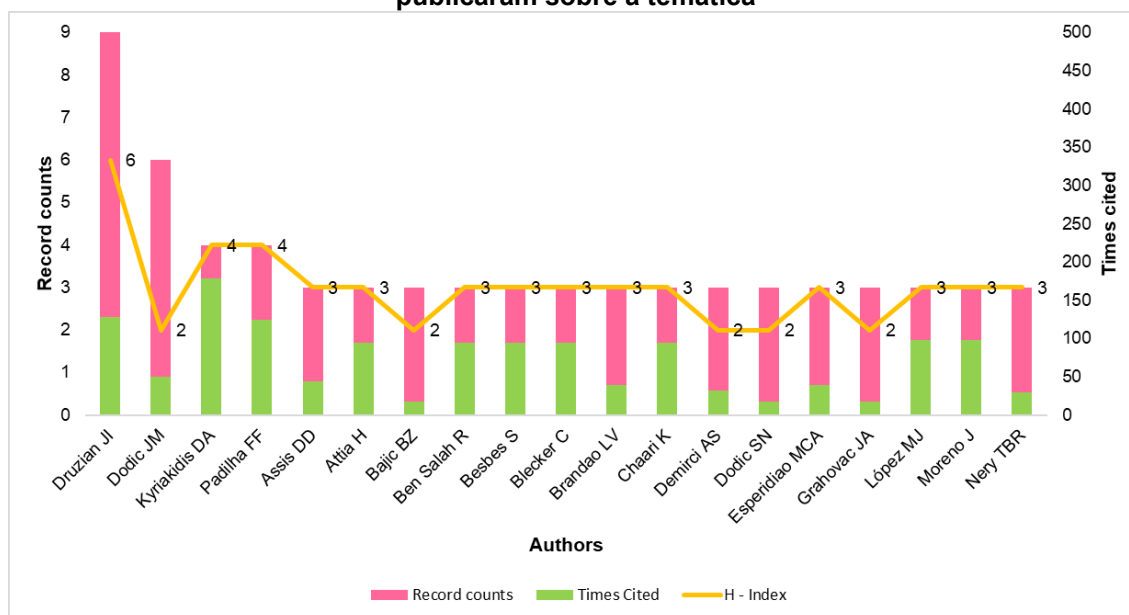
Os países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) desempenharam um papel importante nesse contexto, aumentando sua produção de pesquisas de 24,2% em 2014 para 40% em 2023. No caso do Brasil, embora o número

total de publicações de acesso aberto tenha se mantido estável entre 2019 e 2023, o percentual de publicações de acesso aberto ou seja cresceu de 36% para 41% (Clarivate, 2024).

Além disso, quando comparado aos demais países do BRICS, o Brasil se destaca em alguns aspectos, uma vez que prioriza enfatizar e atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, alinhados às pesquisas deste trabalho, como Fome Zero (Brasil 9,3%; BRICS 5,9%), Saúde e Bem-Estar (Brasil 60,8%; BRICS 56,2%) e Vida na Água (Brasil 7,8%; BRICS 5,4%). A agricultura, sendo um dos principais alicerces no combate à fome, também desempenha um papel central na busca por abordagens mais sustentáveis, impactando diretamente os demais ODS mencionados (Clarivate, 2024).

O Gráfico 4, por sua vez, apresenta os autores que mais publicaram sobre a temática ao longo desses 30 anos, relacionando cada um à quantidade de publicações, ao total de citações e aos seus respectivos índices-H. A produtividade e o impacto das publicações dos autores são representados pelo índice-H, que é calculado com base no número, N , de artigos publicados e indexados em uma base de dados específica, onde esses artigos receberam N ou mais citações em cada um, ou seja, um autor tem índice-H de N se publicou N artigos que foram citados pelo menos N vezes cada um. Ao avaliar esses valores, é importante considerar que o índice-H é dependente das citações, sendo influenciado por fatores como o tempo desde a publicação, a área de estudo e o volume de publicações, que podem variar significativamente entre diferentes áreas temáticas e períodos de tempo (Clarivate, 2022).

Gráfico 4 - Total de publicações, total de citações e índice-H dos 15 autores que mais publicaram sobre a temática



Fonte: WoS - Excel, autor (2024)

Os autores com mais publicações são a brasileira Janice Izabel Druzian, com 9 artigos, e a sérvia Jelema Dodic, com 6 artigos. Dimitrios Kyriakidis e Francine Padilha possuem 4 artigos cada, enquanto os demais autores publicaram 3 documentos. Os trabalhos de Druzian JI focam na produção da goma a partir de resíduos agroindustriais, enquanto Dodic JM concentra suas publicações na produção de goma xantana a partir de águas residuais de vinícolas.

Com publicações entre 2007 e 2018, Druzian JI possui um índice-H de 6 e um total de 128 citações, o que demonstra a consistência e impacto de seus trabalhos ao longo desses 11 anos, tornando-o o segundo mais citado na área. Entre seus estudos, destaca-se uma pesquisa com 35 citações, que avalia a fermentação de resíduos lignocelulósicos agroindustriais por diferentes linhagens de *Xanthomonas campestris*. Outros trabalhos também se sobressaem, como os estudos sobre a fermentação de soro de mandioca, soro de leite e casca de cacau (15 citações), a fermentação de soro de leite (16 citações) e o uso de resíduos de suco de maçã (24 citações). Seus demais trabalhos, que possuem entre 5 e 8 citações cada, mantêm-se na mesma linha de pesquisa, focando na fermentação de biomassas de segunda geração. Isso reforça o fato de que o Brasil é um grande contribuinte para as pesquisas científicas, pois, em um panorama geral, está entre os países com maior produção de publicações, ocupando a 13ª posição no ranking geral (Clarivate, 2024).

Dodic JM possui um índice-H de 2 e um total de 50 citações. Quatro dos seis artigos, que tratam da fermentação de águas residuais de vinícolas para a produção de goma xantana, foram publicados em 2017, 2019, 2022 e 2024, e receberam, respectivamente, 11, 29, 3 e 0 citações, indicando que a biomassa continua sendo alvo de pesquisas atuais. Os dois artigos restantes, publicados em 2017 e 2018, abordam a fermentação de águas residuais de indústrias de óleos vegetais, e receberam 7 e 0 citações, respectivamente. Embora o índice-H (2) de Dodic J. M. não seja elevado em relação ao número de publicações, o fato de muitos desses artigos serem recentes pode justificar o impacto ainda limitado de suas pesquisas, que podem levar mais tempo para ganhar maior visibilidade na comunidade científica.

Os autores Dimitrios Kyriakidis e Francine Padilha publicaram quatro artigos entre 1997-2003 e 2009-2023, com 178 e 124 citações, respectivamente. Kyriakidis se destaca como o autor com o maior número de citações, sugerindo um impacto significativo no período de suas publicações. Ele também foi um dos pioneiros no estudo da produção de goma xantana a partir de melaço de beterraba e soro de leite. Os artigos de Padilha, por serem mais recentes, indicam que ainda há tempo para um aumento nas citações, à medida que seus trabalhos sejam mais utilizados por outros pesquisadores. Embora não sejam autores particularmente prolíficos, suas publicações alcançaram ampla divulgação.

Os autores López, M. J. e Moreno, J. possuem 3 artigos publicados entre 1998 e 2004, com 98 citações e índice-H 3. Já os autores Attia H, Ben SR, Besbes S, Blecker C e Chaari K também têm 3 artigos, publicados em 2010 e 2011, com 95 citações e o mesmo índice-H 3. Embora os artigos de Attia e colaboradores sejam mais recentes, acumularam praticamente o mesmo número de citações em um período mais curto, indicando uma maior relevância.

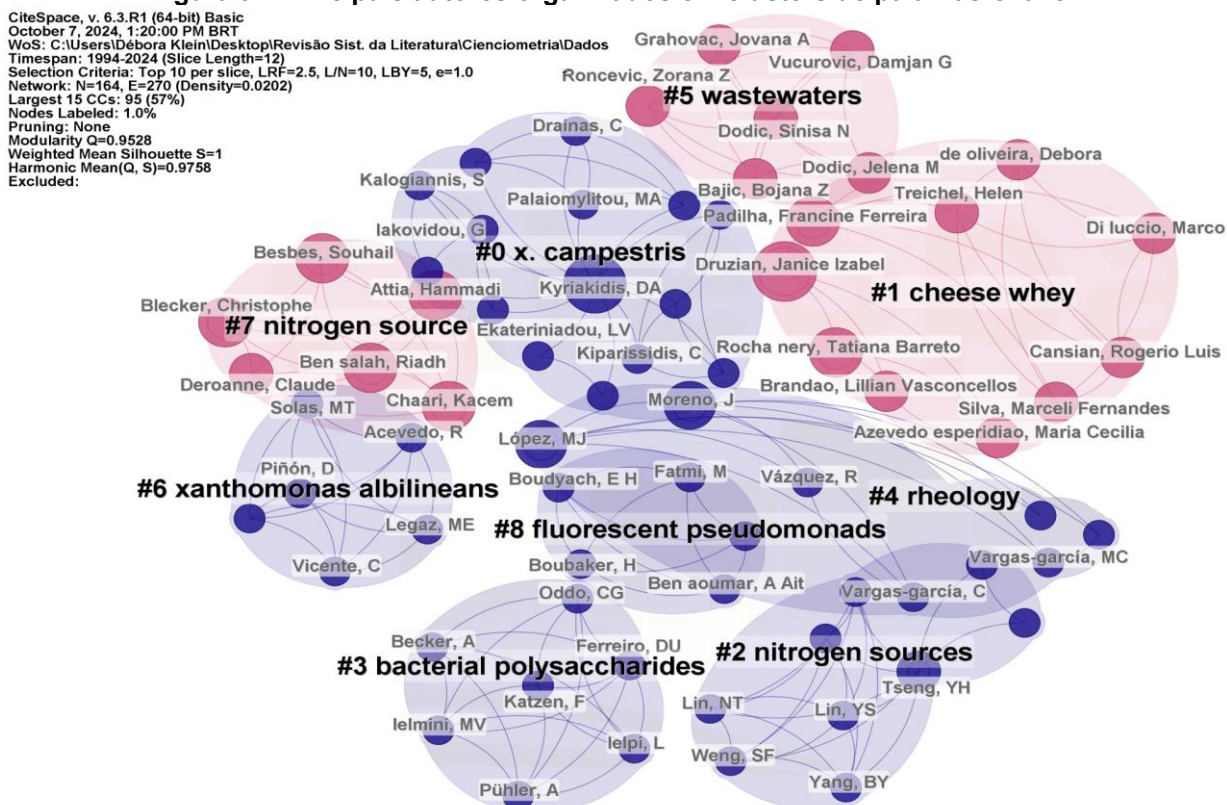
Os autores Assis, D. D. e Demirci, A. têm 3 artigos publicados entre 2009 e 2023 e entre 2010 e 2023, com 44 e 32 citações, respectivamente, e índices-H de 3 e 2. Apesar do menor número de citações, esses autores possuem artigos mais recentes, especialmente Demirci, com publicações em 2022 e 2023, o que pode justificar seu índice-H 2.

Por fim, os autores Dodic, S. N., Grahovac, J. A. e Bajic, B. Z. possuem 3 artigos com 18 citações e índice-H de 2. Dodic publicou entre 2010 e 2011, enquanto Grahovac e Bajic publicaram entre 2017 e 2018. O menor número de citações e o

índice-H mais baixo indicam que os trabalhos desses autores não atingiram o mesmo impacto dos demais discutidos.

Já na Figura 9 a seguir, é possível visualizar um resumo dos principais autores, separados em *clusters* de palavras-chave, e a frequência de suas publicações ao longo dos anos avaliados.

Figura 9 - Principais autores organizados em clusters de palavras-chave



Fonte: WoS - CiteSpace, autor (2024)

As linhas que conectam os nós indicam a colaboração entre os autores, permitindo identificar grupos de pesquisadores que publicaram juntos ou colaboraram em seus estudos. Além disso, os nós, identificados pelo nome dos autores, apresentam círculos concêntricos com espectro de cores que variam de mais frias para mais quentes, conforme legenda, e destacam a distribuição e evolução temporal das publicações de cada autor.

Em relação ao número de publicações, os autores mais relevantes podem ser identificados pelo tamanho dos nós. Assim, Druzian J. I., Kyriakidis D. A. e Padilha F. F., se consolidam como os autores que mais publicam na temática. O nó que representa Dodic J. M., por sua vez, não expressa a frequência (6) de suas publicações, durante o período estudado. Isso ocorre porque o CiteSpace® não

reconhece as variações (como Jelena Docid e Jelena M. Dodic.) de seu nome em cada trabalho, classificando-o como autores diferentes, o que evidencia uma limitação do software na identificação e organização de dados autorais.

Os links que conectam esses autores indicam colaboração entre eles, o que é confirmado ao analisarmos o foco de suas pesquisas. Suas investigações são centradas na produção de goma a partir de resíduos agroindustriais, como soro de leite, sabugo de milho, águas residuais de vinícolas, óleos vegetais, resíduos lignocelulósicos, bagaço de cana, soro de mandioca, coco verde e suco de maçã, o que justifica a colaboração entre eles.

Observa-se que, entre os quatro autores mais representativos, Kyriakidis D. A. está associado ao maior cluster, "*#0 X. campestris*", devido ao seu trabalho com a modificação genética de *Xanthomonas campestris* para a produção de goma xantana. Os outros três autores — Druzian J. I., Padilha F. F. e Dodic J. M. — estão vinculados ao segundo maior cluster, "*#1 cheese whey*". Embora nem todos os estudos desses autores utilizem o soro de queijo como substrato, todos exploram a produção de xantana a partir de algum tipo de resíduo. Por ser um dos substratos mais comuns, o soro de queijo serve como referência para novas pesquisas, o que se reflete no cluster "*cheese whey*".

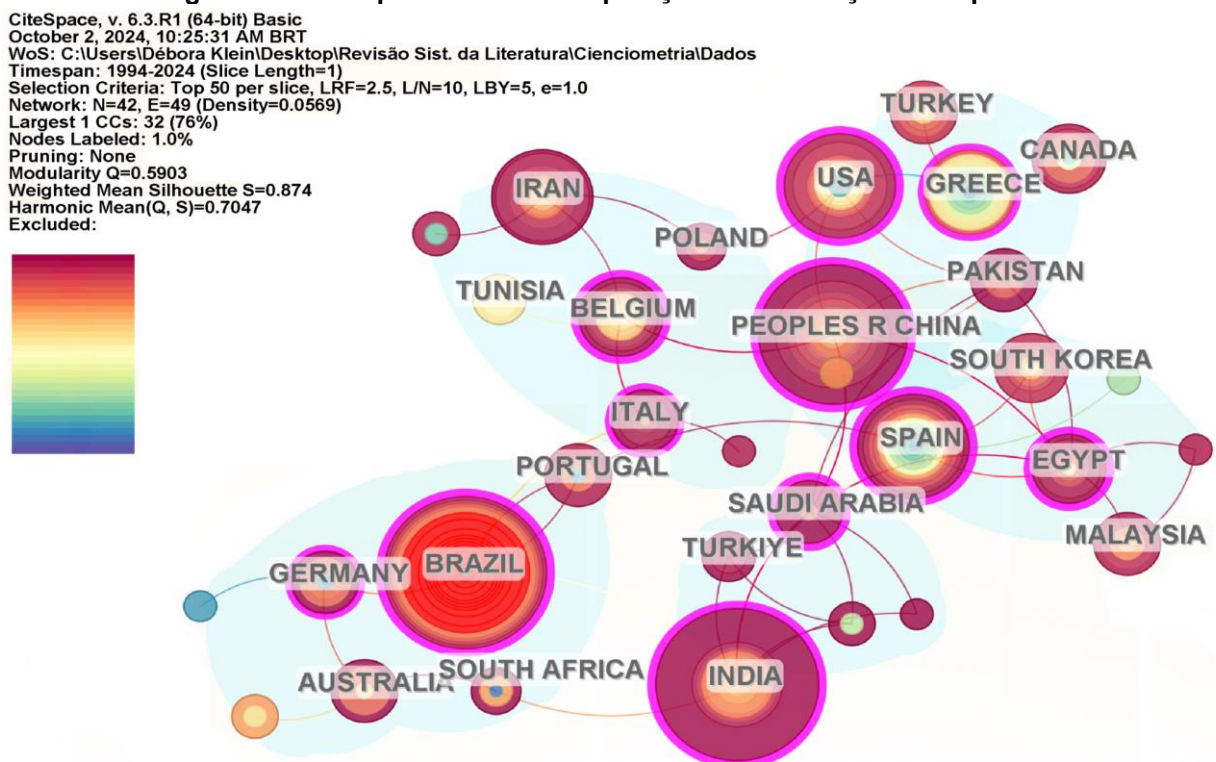
A Figura 10 ilustra o cenário mundial de cooperação e colaboração entre os países nesta temática. Os continentes mais representados são Europa e Ásia, enquanto, nas Américas, apenas o Brasil se destaca. O tamanho dos nós pode refletir a relevância e influência do assunto, assim, para países como o Brasil, Índia e China, a frequência e o número de publicações permite ressaltar essa importância.

A Índia lidera com 32 artigos, dos quais 10 foram publicados em 2024, evidenciando interesse atual na goma xantana, especialmente para revestimentos de sementes e frutas, além da remoção de metais pesados devido ao uso de agrotóxicos (Bajaj *et al.*, 2024; Kashaudhan *et al.*, 2024). A República Popular da China segue com 30 artigos, com a maior parte das publicações ocorrendo em 2023 e 2024, focando no uso da goma xantana para melhorar a estabilidade e eficácia de formulações de pesticidas (Zhang *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2024). Tanto a Índia quanto a China se destacam na produção agrícola. A Índia, o segundo maior produtor agrícola e o país mais populoso do mundo, enfrenta o grande desafio de atender às necessidades alimentares de mais de um bilhão de habitantes. A China, maior produtora de alimentos do planeta, enfrenta um desafio semelhante, sendo o segundo

país mais populoso (FAO, 2024; Pereira e Castro, 2022). Esse cenário explica o crescente número de estudos na Índia e na China voltados para o melhoramento agrícola e o uso de biotecnologias como a goma xantana. Ambos os países, com suas enormes populações e grandes desafios na produção de alimentos, buscam soluções inovadoras para aumentar a eficiência agrícola, melhorar a qualidade dos produtos e mitigar os impactos ambientais do uso de agrotóxicos.

O Brasil, por sua vez, totaliza 24 artigos, distribuídos entre 1997 e 2023, com ênfase na sustentabilidade e no uso de resíduos agroindustriais para a produção da goma xantana (Jesus *et al.*, 2023; Mesomo *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2018). Isso evidencia a relevância e o incentivo às pesquisas realizadas no Brasil. Em 2024, o Governo Federal investiu R\$ 3,1 bilhões em ciência e inovação, impulsionando o desenvolvimento tecnológico no país. Esse apoio se concretiza por meio de editais que distribuem recursos para pesquisadores, fortalecendo a produção científica nacional (Brasil, 2024). Em 2023, o Brasil publicou 158.800 artigos, ocupando a décima posição entre os países com maior produção científica no ano (Brasil, 2023). Além disso, apenas o Brasil apresenta um *burst* elevado de citações (5.22), evidenciado pelo círculo vermelho no interior do nó, que ocorreu entre 2004 e 2016, período em que houve um crescimento súbito na frequência de citações de trabalhos brasileiros. Durante esse *burst*, o estudo de Silva M. F. (2009), que utilizou soro de queijo para produzir goma xantana a partir de *X. campestris*, foi o mais citado, com 51 citações, de um total de 94.

Figura 10 - Principais redes de cooperação e colaboração entre países



Fonte: WoS - CiteSpace, autor (2024)

Outros trabalhos também se sobressaíram no mesmo período, utilizando diferentes resíduos agroindustriais, como suco de maçã, bagaço de mandioca, casca de cacau e, principalmente, soro de leite e bagaço de cana-de-açúcar. No contexto brasileiro, a pesquisa sobre esses resíduos é relevante, visto que, somente em 2023, o país produziu 782 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, gerando aproximadamente 218 milhões de toneladas de bagaço de cana (IBGE, 2023; Silva *et al.*, 2019). Da mesma forma, o queijo é muito produzido e consumido no Brasil, gerando uma grande quantidade de resíduo, o soro de leite, já que para produzir um quilograma de queijo são necessários aproximadamente 10 litros de leite, sendo que 90% desse volume corresponde a esse subproduto (Steffens *et al.*, 2020).

Segundo Chen, C. (2014) *The CiteSpace Manual* e CiteSpace (2024), nós com alta centralidade de intermediação (e.g., acima de 0.1 e 0.2, a depender do tamanho da rede e da distribuição das conexões), geralmente, ligam dois ou mais grandes grupos dentro de uma rede e são considerados cruciais para conectar e entender diferentes áreas do conhecimento holisticamente. Nesse sentido, países com alta centralidade, representados por nós com halo rosa externo, incluem: Arábia Saudita (0.29), Estados Unidos (0.29), Brasil (0.27), República Popular da China com

(0.25), Bélgica (0.25), Egito (0.24), Índia (0.23), Espanha (0.20), Itália (0.16) e Grécia (0.14).

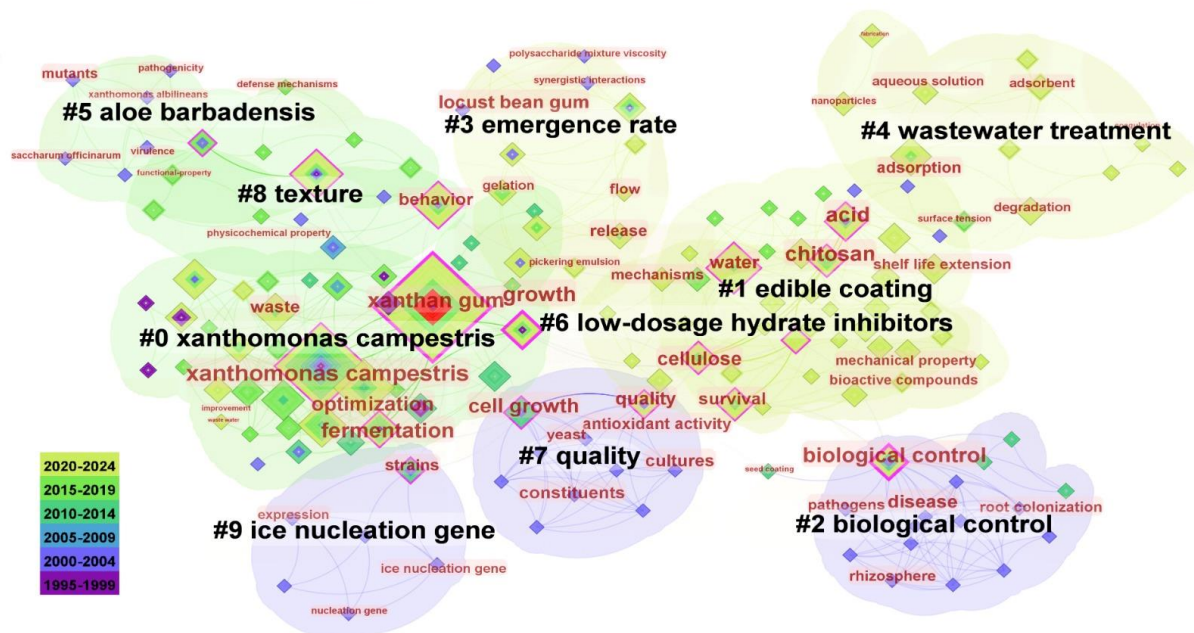
As linhas de colaboração, com cores que variam de frias (parcerias mais antigas) para quentes (colaboração mais recente), possibilitam avaliar o período de colaboração; assim, como identificar clusters de países que colaboram mais intensamente entre si; tais colaborações refletem áreas de pesquisa em comum e/ou específicas. O Brasil mantém colaborações com países europeus como Portugal, Alemanha e Itália, assim como com os países da Europa, que também estabelecem parcerias com nações asiáticas, como Arábia Saudita, Coreia do Sul, Irã, Paquistão e Índia, além de colaborações com a América do Norte, incluindo Estados Unidos e Canadá.

Embora países africanos como África do Sul e Egito estejam presentes, eles não colaboram entre si, preferindo parcerias com nações da Ásia, Europa e Oceania. Em suma, observa-se uma maior colaboração entre países europeus e asiáticos, com escassas interações envolvendo países da América do Sul e do Norte. No Brasil, as colaborações com outros países se intensificaram significativamente, evidenciadas pelo aumento de artigos brasileiros com co-autores internacionais, que passou de 28% em 2014 para 38% em 2023 (Clarivate, 2024).

A Figura 11 apresenta a co-ocorrência das palavras-chave separadas em Clusters de palavras-chave, indo do maior *Cluster* (#0) ao menor (#9). As cores dos losangos e agrupamentos, que variam do roxo (mais antigo) ao verde lima (mais recente), indicam a frequência de uso dessas palavras ao longo dos anos.

As 10 palavras-chave com maior co-ocorrência são: *xanthan gum* (81), *xanthomonas campestris* (41), *optimization* (20), *gum* (15), *fermentation* (13), *recovery* (11), *gum production* e *water* (10), *biosynthesis* e *behavior* (9). Além disso, alguns nós de palavras-chave apresentam um halo rosa externo, representando a centralidade de intermediação, o que indica a importância significativa dessas palavras para a temática. As palavras-chave de maior centralidade são *fermentation* (0.2), *xanthan gum* (0.15), *recovery* (0.14), *xanthomonas campestris* (0.14), *biosynthesis* (0.13), *whey* (0.13) e *gum* (0.09).

Figura 11 - Co-ocorrência de palavras-chave organizadas em clusters de palavras-chave



Fonte: WoS - CiteSpace, autor (2025)

O maior *Cluster*, identificado pela palavra-chave *Xanthomonas campestris*, acompanhado dos seguintes termos relacionados: *Xanthomonas campestris*, otimização, crescimento, fermentação, goma xantana e resíduos. Os artigos formadores deste cluster se referem a utilização da bactéria *Xanthomonas* para a produção de goma xantana a partir de resíduos (Li *et al.*, 2022); a remoção de poluentes com o auxílio da goma xantana (Kaur; Sud, 2023) e investigam mutantes da bactéria *Xanthomonas*, analisando seus efeitos na produção de xantana e na virulência em plantas (Katzen *et al.*, 1998), entre outros. Tais palavras-chave refletem o uso dessa bactéria para produção da goma xantana, abordando seu crescimento, fermentação e otimização do processo, além do uso de resíduos, como também o estudo da mutação da bactéria e sua virulência em plantas.

O segundo maior Cluster, denominado Revestimento Comestível, foi gerado pelas palavras-chave, quitosana, água, extensão da vida útil, ácido e mecanismos. Os artigos que representam esse *cluster* estudam a utilização da goma xantana como revestimento de diferentes tipos de frutas (Gautam *et al.*, 2024; Soppelsa *et al.*, 2023) e sementes (Swaminathan *et al.*, 2016) com intuito de prolongar a vida útil. Esses artigos exploram os mecanismos de formulação dos revestimentos usando goma xantana, que pode ser combinada com outros polímeros, com a intenção de aumentar o tempo de prateleira dos produtos.

O Quadro 6 apresenta os *clusters* de palavras-chave e as principais palavras responsáveis por sua identificação, além de uma breve descrição dos trabalhos utilizados para a formação de cada *cluster*.

Quadro 6 - Descrição dos clusters de palavras-chave

(continua)

Cluster	Nº de documentos	Palavras-chave	Descrição	Referências
#0 Xanthomonas Campestris	133	Xanthomonas campestris; otimização; fermentação; goma xantana; crescimento; resíduos	Produção de goma xantana com foco no crescimento bacteriano, fermentação e otimização do processo e uso de resíduos, além do estudo da mutação da bactéria e sua virulência nas plantas	Li et al., 2022; Katzen <i>et al.</i> , 1998; Kaur; Sud, 2023
#1 Revestimento Comestível	37	Quitosana; água; extensão da vida útil; ácido; mecanismos	Mecanismos de produção de revestimentos utilizando biopolímeros, ácidos e água, visando aumentar a vida útil do produto	Gautam <i>et al.</i> , 2024; Soppelsa <i>et al.</i> , 2023; Swaminathan <i>et al.</i> , 2016
#2 Controle Biológico	7	Controle biológico; doença; patógenos; colonização de raízes; rizosfera	O uso de nematoides revestidos com goma xantana para o controle biológico de patógenos que infectam plantas, muitos patógenos fazem colonização das raízes, os controles biológicos são eficazes na rizosfera e no solo	Beck et al., 2013; Beck et al., 2014; Schoina <i>et al.</i> , 2011
#3 Taxa de emergência	21	Fluxo; liberação; goma de alfarroba; interações sinérgicas; viscosidade da mistura de polissacarídeos	A taxa de emergência das sementes pode ser otimizada por meio de interações sinérgicas entre polissacarídeos, que influenciam a viscosidade e o fluxo de água e nutrientes. A liberação controlada de biofertilizantes e a retenção de umidade criam um ambiente favorável à germinação, promovendo uma emergência mais rápida e eficiente	Casas <i>et al.</i> , 2000; Gauthier <i>et al.</i> , 2019; Sukriti <i>et al.</i> , 2017
#4 Tratamento de efluentes	18	Adsorção; adsorvente; solução aquosa; degradação; nanopartículas	A adsorção de poluentes em soluções aquosas utilizando adsorventes como goma xantana e seus bionanocompósitos, incluindo nanopartículas magnéticas e funcionalizadas, para a degradação de contaminantes provenientes da agricultura	Hassanzadeh-Afruzi <i>et al.</i> , 2023; Mirza; Ahmad, 2018; Wang <i>et al.</i> , 2018

Quadro 6 – Descrição dos clusters de palavras-chave

(continua)

Cluster	Nº de documentos	Palavras-chave	Descrição	Referências
#5 Aloe Vera	19	Mutantes; patogenicidade; mecanismo de defesa; virulência; <i>Xanthomonas albilineans</i> ; cana-de-açúcar	Bactérias como <i>Xanthomonas albilineans</i> causam doenças em plantações de cana-de-açúcar, sendo a combinação de goma xantana com compostos como <i>Aloe vera</i> uma estratégia promissora no controle dessa infecção. O uso desses polissacarídeos pode induzir mecanismos de defesa nas plantas, reduzir a virulência dos patógenos e até promover mutações que alteram a resistência das culturas	Luiz <i>et al.</i> , 2015; Luiz <i>et al.</i> , 2016; Solas <i>et al.</i> , 2003
#6 Inibidores de hidratos de baixa dosagem	19	Celulose; sobrevivência; propriedade mecânica; compostos bioativos	A utilização de inibidores de hidrato, como compostos ecologicamente corretos e de baixa dosagem, tem mostrado um impacto significativo na modificação das propriedades de materiais como a celulose e goma xantana, melhorando as propriedades mecânicas e a sobrevivência de compósitos, além de influenciar o crescimento de plantas em ambientes controlados, como mostrado em estudos com soja e aplicações em condicionamento de solo.	Das <i>et al.</i> , 2022; Elsayed <i>et al.</i> , 2023; Sorze <i>et al.</i> , 2023
#7 Qualidade	8	Crescimento celular; qualidade; atividade antioxidante; levedura; culturas; constituintes	A qualidade da goma xantana produzida a partir de diferentes fontes de resíduos é fundamental para otimizar processos em diversas indústrias, como a remoção de resíduos de pesticidas em frutas e vegetais, a melhoria do crescimento celular, a atividade antioxidante e o aprimoramento das propriedades dos constituintes bioativos em culturas e matrizes alimentícias	Kalogiannis <i>et al.</i> , 2003; Rezaee; Aider, 2023; Wasilewski <i>et al.</i> , 2022

Quadro 6 – Descrição dos clusters de palavras-chave

(conclusão)

Cluster	Nº de documentos	Palavras-chave	Descrição	Referências
#8 Textura	15	Comportamento; propriedade físico-química; propriedade funcional	A goma xantana, apresenta um comportamento único em relação à sua textura, suas propriedades físico-químicas e funcionais desempenham um papel crucial em diversas aplicações industriais e biotecnológicas	Khalid <i>et al.</i> , 2020; López <i>et al.</i> , 2004; Nedjhioui <i>et al.</i> , 2015
#9 Gene de nucleação de gelo	3	Cepas; expressão; gene de nucleação de gelo; gene de nucleação	A bactéria <i>Xanthomonas campestris</i> pode ser manipulada geneticamente, e a expressão do gene de nucleação de gelo em suas cepas pode modificar a produção de goma xantana, possibilitando aplicações em biotecnologia, controle de temperatura, preservação de alimentos e agricultura	Afendra <i>et al.</i> , 2002; Ben-Salah <i>et al.</i> , 2011 Gumus <i>et al.</i> , 2010

Fonte: Autoria própria (2025)

A plataforma do *CiteSpace* passa por atualizações anuais e a versão gratuita do *software* permite avaliar um conjunto de dados publicados nos últimos 20 anos, desta maneira, as Figuras 9 e 10, geradas no ano de 2024, compreendem artigos publicados entre o período de 1994 e 2024, já as Figuras 11, 12 e 13, geradas em 2025, foram avaliadas a partir do ano de 1995 (vide Quadro 4). Assim, os 2 artigos publicados em 1994, e que não foram incluídos na clusterização e nos *bursts* de citação de palavras-chave, foram individualmente discutidos neste trabalho.

O primeiro artigo de 1994, intitulado “*Bioconversion of sugarcane molasse into xanthan gum*” (Elsalam; Fadel; Murad, 1994), aborda o uso do resíduo de melaço de cana-de-açúcar na produção de xantana. Suas palavras-chave são: goma xantana, *Xanthomonas campestris*, melado de cana-de-açúcar e bioconversão, segundo essas palavras esse artigo poderia ser acoplado ao maior *Cluster* devido ao foco na produção da goma. Já o segundo artigo, intitulado “*Genetic construction of Xanthomonas campestris xanthan gum production from whey*” (Papoutsopoulou; Ekateriniadou; Kyriakidis, 1994), também aborda a produção de xantana, porém com

foco na construção genética da bactéria. Isso fica evidente em suas palavras-chave: serina protease, expressão, clonagem e variedade, o que o encaixa no último *Cluster* (#9), relacionado à manipulação genética e expressão gênica.

Esses *clusters* evidenciam a importância da goma xantana na agricultura e na sustentabilidade, destacando aspectos como a manipulação genética de *Xanthomonas campestris* para aprimorar sua produção, a otimização do processo de fabricação, o uso de resíduos na sua produção, a qualidade da goma xantana e suas características reológicas, além da combinação com outros polímeros. Também são abordadas suas aplicações na agricultura, que vão desde o melhoramento do plantio até o tratamento de efluentes gerados em atividades agrícolas.

Além disso, no Quadro 6 apresenta o tamanho dos *clusters* gerados segundo as palavras-chave dos documentos processados, sendo possível observar que a distribuição dos dados não seguiu um padrão crescente conforme a separação dos *clusters* ocorria, ou seja, apesar dos *clusters* #0 e #1 serem realmente os maiores agrupamentos, com 133 e 37 trabalhos, respectivamente, os demais módulos (e.g. #2 (7), #3 (21), #4 (18), #5 (19), #6 (19), #7 (8), #8 (15) e #9 (3)) possuem tamanhos desiguais.

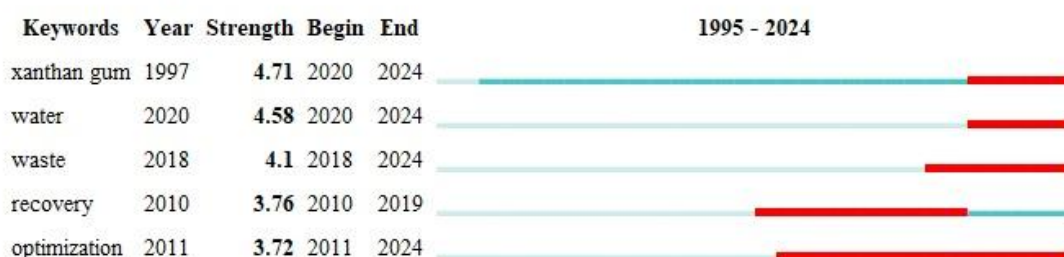
Existem algumas razões pelas quais os tamanhos dos agrupamentos podem não seguir uma ordem crescente. A distribuição dos dados, onde palavras-chave muito mais frequentes (e.g. *Xanthomonas campestris* e goma xantana) que outras (e.g. adsorção, propriedade mecânica/físico-química), podem resultar em *clusters* de tamanhos diferentes (Chen, 2016; Koseoglu; Rahimi, 2020). Além disso, cada trabalho pode contribuir para a formação de um ou mais agrupamentos, “*Facile removal of emerging pollutants using mesoporous TiO₂ nanoparticles synthesized via xanthan gum templated greener protocol*” (Kaur; Sud, 2024), contribuiu para a formação dos *clusters* #0, #4 e #6.

Além disso, algoritmos de agrupamento específicos (e.g. grafos) nem sempre formam módulos de tamanhos uniformes, especialmente tratando-se de dados complexos. Os parâmetros de configuração, assim como os filtros e critérios de seleção também devem ser estabelecidos coerentemente para se obter limites de corte e forças de ligação adequados ao tamanho do conjunto de dados e às ponderações requeridas pelo software. Caso contrário, a geração das redes de colaboração e citação pode variar, resultando na formação de *clusters* distintos, como exemplificado nas Figuras 11 e 13, onde a variação nos critérios de seleção

influenciou a organização das redes (Chen, 2016; Chen; Song, 2019; Hou; Zhang, 2018; Koseoglu; Rahimi, 2020).

Outro aspecto importante são os *bursts* de citação de palavras-chave, representados com seus respectivos valores de força, ano de publicação do trabalho e início e fim do período de *burst*, conforme Figura 12. Sendo a palavra-chave com maior é *burst xanthan gum* (4.71), seguida por *water* (4.58), *waste* (4.10), *recovery* (3.76) e *optimization* (3.72).

Figura 12 - Explosões de citações relacionadas às palavras-chave
Top 5 Keywords with the Strongest Citation Bursts



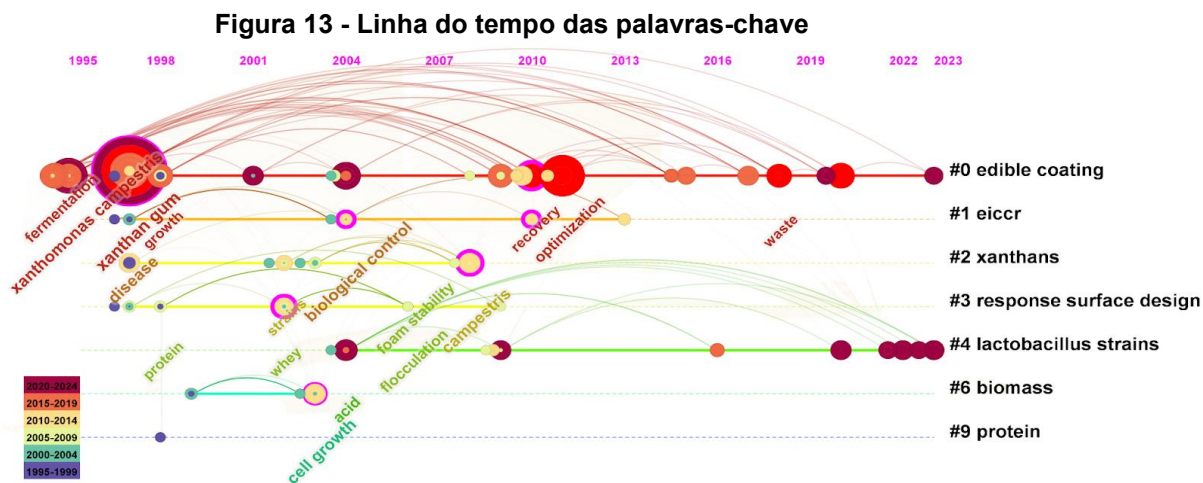
Fonte: WoS - CiteSpace, autor (2025)

Com isso, verifica-se que algumas palavras-chave são bastante representativas nesta temática, apresentando uma expressão significativa segundo a frequência, centralidade e *bursts* de citação, como mostram as Figuras 11 e 12, respectivamente. Por exemplo, *xanthan gum* apresenta alta frequência e centralidade, além de um *burst* de citação entre 2020 e 2024, indicando que, apesar de amplamente estudada ao longo dos anos, há atualmente um grande interesse não apenas em sua produção, mas, principalmente, em novas aplicações.

As palavras-chave *Xanthomonas campestris* e *fermentation*, embora não apresentem *bursts* de citação, possuem alta frequência e centralidade, sendo diretamente associadas à produção de goma xantana. Já as palavras *optimization* e *recovery* mostram *bursts* de citação nos períodos de 2011 a 2024 e de 2010 a 2019, respectivamente, refletindo o interesse em aprimorar a produção e/ou propriedades da goma e a utilizar em processos de recuperação de solo e águas.

Por fim, *waste* e *water* apresentam *bursts* em períodos semelhantes, de 2018 a 2024 e de 2020 a 2024, evidenciando uma tendência nas pesquisas para o desenvolvimento de aplicações da goma xantana na recuperação de águas, tratamento de efluentes e aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Assim, a Figura 13 ilustra a linha do tempo associada às palavras-chaves, com seus respectivos *bursts* de citação já apresentados.



Fonte: WoS - CiteSpace, autor (2025)

Esses dados traçam um caminho do desenvolvimento da goma xantana. Inicialmente, a ênfase estava em melhorar os processos de produção e recuperação, como indicam os *bursts* de *optimization* e *recovery* entre 2010 e 2024. Isso reflete o esforço inicial da comunidade científica em compreender e estabelecer a base teórica e prática do tema, que até hoje se mostra relevante.

Em seguida, o interesse se expandiu para aplicações práticas e sustentáveis, como a recuperação de águas e o aproveitamento de resíduos, demonstrado pelos *bursts* de *waste* e *water* entre 2018 e 2024. Essa mudança sugere uma transição no foco das pesquisas, de uma abordagem técnica para uma perspectiva mais ampla e aplicada, que considere os impactos ambientais e econômicos.

4.5 Conclusão

Esta pesquisa proporcionou uma visão abrangente sobre o uso da goma xantana na agricultura, destacando sua relevância como biopolímero sustentável. A análise cienciométrica indicou um crescimento notável nas publicações sobre o assunto a partir de 2016, com um aumento recente em áreas como aprimorar a fluidez de fertilizantes, encapsulamento de sementes e controle biológico de pragas. Além disso, o uso de resíduos agroindustriais, tais como soro de leite e bagaço de cana, na fabricação de goma xantana, evidencia a possibilidade de uma agricultura mais

sustentável, ao converter subprodutos em insumos para práticas agrícolas inovadoras.

A avaliação das redes colaboração indica esforços globais sob a liderança do Brasil, Índia e China, destacando a o papel estratégico dessas nações no estudo da goma xantana. O Brasil, como país emergente, destacou-se como um dos líderes na produção científica voltada à sustentabilidade, alinhando suas pesquisas às necessidades mundiais por práticas agrícolas mais eficazes e ecologicamente corretas. Isso ajudou a lidar com desafios atuais como a segurança alimentar, a preservação do meio ambiente e o avanço de tecnologias agrícolas sustentáveis.

Pelas palavras-chave os dados indicam que, após um começo voltado para a melhoria dos processos de produção e recuperação da goma, ocorreu uma mudança progressiva para o desenvolvimento de aplicações práticas e sustentáveis, que incluem o tratamento de água e a valorização de resíduos da agroindústria.

É importante destacar que a análise cienciométrica foi realizada com o auxílio do software *CiteSpace*®, que, embora seja uma ferramenta eficaz para o mapeamento de redes, possui algumas restrições que podem afetar a interpretação dos dados e restringir o alcance do trabalho. Para minimizar esses efeitos, os critérios de seleção foram ajustados para garantir a coerência na criação das redes de colaboração e citação, auxiliando em uma análise mais consistente.

Em resumo, a trajetória da goma xantana evidencia seu potencial como um biopolímero sustentável, impulsionado pela valorização de resíduos e pela procura por tecnologias agrícolas sustentáveis. Essas tendências destacam a importância de continuar explorando métodos inovadores para o uso de subprodutos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e tecnológico da agricultura global. O fortalecimento de colaborações internacionais e a ampliação dos estudos são essenciais para reforçar ainda mais a importância da goma xantana como uma solução eficaz e transformadora no setor agroindustrial.

5 CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NUTRICIONAL DA MILHOCINA E SORO DE LEITE DOCE

5.1 Resumo

No Brasil, a agroindústria gera um grande volume de resíduos, como o soro de leite e milhocina, que representam desafios ambientais devido ao descarte inadequado. Esses resíduos, ricos em carbono e nitrogênio, são alternativas promissoras em processos biotecnológicos, podendo substituir insumos sintéticos em bioprocessos fermentativos e reduzir custos. O objetivo deste estudo é caracterizar o soro de leite doce e a milhocina quanto ao seu potencial nutricional para uso em bioprocessos fermentativos, com foco em sua viabilidade como substratos para a produção de goma xantana, promovendo práticas mais sustentáveis na agroindústria. Foram realizadas análises físico-químicas dos resíduos, determinando parâmetros como pH, açúcares redutores totais (ART), carbono total, nitrogênio total, proteínas, e demanda química de oxigênio (DQO), seguindo metodologias padronizadas, além disso, foram realizadas análises estatísticas para comparar os resultados dos dois resíduos. O soro de leite apresentou carbono total de 8,95%, nitrogênio de 0,31%, proteína de 1,95%, ART 4,95% e DQO de 91.765 mgO₂/L, alinhando-se a valores de estudos anteriores. A milhocina, por sua vez, mostrou carbono total de 31%, nitrogênio de 6,84%, proteína de 42,75%, ART 4,07% e DQO de 30.523 mgO₂/L, também consistentes com a literatura, indicando seu potencial para uso em processos fermentativos. Os resíduos analisados possuem propriedades que os tornam adequados para a produção de biopolímeros, como a goma xantana. A reutilização do soro de leite e milhocina representa uma abordagem sustentável, podendo reduzir o impacto ambiental da agroindústria.

Palavras-chaves: sustentabilidade; resíduos agroindustriais; impacto ambiental.

5.2 Introdução

Os resíduos são materiais remanescentes de processos humanos, animais e produtivos (Mazzer; Cavalcanti, 2004). No Brasil, onde a agricultura tem forte presença econômica, a produção agroindustrial gera grandes volumes de resíduos, subprodutos resultantes do processamento de produtos agrícolas e animais, assim como de práticas agrícolas (Santos *et al.*, 2018). Estima-se que o Brasil produza cerca de 970 mil toneladas anuais desses resíduos (ABIB, 2022). E que sua perda ocorra

em várias etapas da cadeia produtiva, cerca de 10% é gerado de resíduos na colheita, 50% com transportes e industrialização e 10% no preparo de alimentos, estimando que o aproveitamento da matéria-prima não passe de 85%, e os resíduos sejam de 30 a 40% (Roriz, 2012).

Esse volume crescente traz preocupações ambientais, pois o custo elevado para seu tratamento leva a descartes inadequados, que impactam negativamente o meio ambiente (Silva *et al.*, 2018). Uma forma de contornar este problema é a reutilização destes resíduos em processos com uma produção sustentável (Landim *et al.*, 2016).

Entre as várias formas de reutilização de resíduos industriais, o processamento biotecnológico se destaca, pois permite o reaproveitamento desses subprodutos para a obtenção de uma ampla gama de produtos valiosos, como combustíveis, rações, produtos farmacêuticos e biopolímeros (Nigam; Pandey, 2009). Esses resíduos contêm proteínas, açúcares, minerais e fibras, tornando-se fontes alternativas de carbono e nitrogênio que podem substituir insumos sintéticos em bioprocessos. Essa composição permite seu uso em processos fermentativos, o que não apenas reduz os custos de produção, mas também contribui para o manejo adequado desses resíduos (Panesar *et al.*, 2016).

O soro de leite se caracteriza por um líquido opaco, da cor amarelo-esverdeado, sendo subproduto da precipitação de gorduras e caseína do leite durante a produção de queijos (Soares, 2014). A produção de um quilograma de queijo requer aproximadamente 10 litros de leite, dos quais 90% resultam no subproduto, o soro de leite (Steffens *et al.*, 2020). Estima-se que é descartado aproximadamente 40% deste resíduo sem nenhum tratamento nos rios (Henriques *et al.*, 2020). Porém, ele possui cerca de 55% dos nutrientes do leite, como, proteínas solúveis, vitaminas, lactose, minerais, nitrogênio e gordura (Alves *et al.*, 2014). Em função do alto teor de carbono presente no soro, ele tem se tornado atrativo e economicamente viável em processos fermentativos, podendo substituir a glicose e a sacarose nos meios de cultivo (Costa *et al.*, 2015), além disso fornece uma quantidade necessária de nitrogênio para o crescimento microbiano (Fonseca *et al.*, 2009).

O Brasil produz milho em grande quantidade, sendo o terceiro maior produtor mundial. Na safra de 2022/2023, a produção brasileira alcançou 131,9 milhões de toneladas (CONAB, 2023). O milho é processado industrialmente por dois métodos: moagem seca e moagem úmida, cada um resultando em diferentes subprodutos

(MUSSOLINI, 2009). A água de maceração de milho, conhecida como milhocina, é um resíduo da moagem úmida do milho, é um líquido da cor amarelo escuro/ marrom, rica em carboidratos, sais minerais, fosfato e aminoácidos (XI *et al*, 2013), podendo ser usada como fonte de nitrogênio em processos fermentativos, como também pode ser utilizada como fonte de carbono (Filipovic *et al.*, 2001; Silveira *et al.*, 2001).

Desta forma objetivo deste estudo é avaliação nutricional de dois resíduos agroindústrias regionais, soro de leite e milhocina, verificando se possuem nutrientes necessários para produção da goma xantana.

5.3 Material e métodos

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Biotecnologia Ambiental e Alimentos (LABIA), com parceria do Laboratório Multiusuários Central de Análises (LabCA), e demais laboratórios localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Dois Vizinhos. Os substratos utilizados, milhocina e soro de leite doce, foram obtidos, respectivamente, de uma indústria no município de Balsa Nova/PR e de um laticínio no município de Verê/PR.

5.3.1 Caracterização físico-química dos substratos

Foi utilizada uma amostra de cada resíduo, com as análises realizadas em triplicata e os resultados expressos em % (p/v). A demanda química de oxigênio (DQO) foi apresentada em mgO₂/L.

5.3.1.1 pH

O pH foi determinado utilizando um pHmetro digital, calibrado com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0 com leituras diretas da amostra (IAL, 2008).

5.3.1.2 Açúcares redutores totais

A concentração de açúcares redutores totais (ART) presentes nas amostras, foi determinada pelo método DNS, utilizando a metodologia adaptada de Miller (1959).

5.3.1.3 Carbono e Nitrogênio

Os teores de carbono total e de nitrogênio total foram determinados em Analisador de Carbono Orgânico Total (TOC-LCSH e CSN, Shimadzu®), seguindo a metodologia de Shimadzu (2018).

5.3.1.4 Proteínas

As proteínas foram quantificadas pelo método Kjeldahl. Nas amostras de alimentos em geral, a proteína é expressa pelo fator 6,25, considerando que o teor de nitrogênio dos diferentes tipos de proteínas é aproximadamente o mesmo, 16%. Desta forma, para sua determinação foi utilizada a Equação 1 (Silva e Queiroz, 1990).

$$P (\%) = N_T.F \quad (1)$$

Em que, N_T é o nitrogênio total e F é o fator geral de proteínas.

5.3.1.5 Demanda química de oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada de acordo com a metodologia da American Public Health Association (APHA, 2023) por espectrofotometria com uma faixa de alta concentração para ambos os substratos.

5.3.2 Análise estatística

Para avaliar o potencial dos resíduos agroindustriais (soro de leite e milhocina) como substratos para a produção de goma xantana, foram realizadas análises estatísticas. Os parâmetros (variáveis dependentes) analisados foram: carbono total, nitrogênio total, proteína total, ART, DQO e pH, de dois grupos soro de leite e milhocina. Os dados foram avaliados por meio de estatística descritiva, com a obtenção de médias e desvios padrão. Em seguida, os parâmetros com variâncias homogêneas foram analisados pelo teste T de Student (5% de probabilidade) para a comparação dos pares de médias dos resíduos, utilizando o Software *Rbio*. As médias dos parâmetros que apresentaram variâncias heterogêneas foram avaliados pelo teste T de Welch (5% de probabilidade) no Software *Jasp*. Esse teste também compara médias, ajustando os graus de liberdade de acordo com as variâncias dos grupos, permitindo uma análise mais robusta quando as variâncias são heterogêneas.

Os intervalos de confiança de 95% e os valores de p ($<0,05$) foram utilizados para interpretar os resultados.

5.4 Resultados e discussão

5.4.1 Análises físico-química

5.4.1.1 Soro de leite

Os resultados da caracterização físico-química do soro de leite doce estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização soro de leite doce

Parâmetros	Soro de leite
Carbono total (%)	8,95
Nitrogênio total (%)	0,31
Proteína (%)	1,97
ART (%)	4,93
DQO (mgO ² /L)	91.765
pH*	6,18

*Adimensional

Fonte: Autoria própria (2024)

A composição do soro pode variar de acordo com a qualidade do leite, tipo do queijo produzido e seu processamento (Smithers, 2008). Ele é composto por aproximadamente 0,60 a 0,90% de proteína e 4,50 a 5,00% de açúcar (lactose) (Revillion *et al.*, 2000). Na Tabela 4 são apresentados os valores obtidos por outros autores.

Tabela 4 - Caracterização do soro de leite doce com dados de outros autores

	pH*	ART %	Nitrogênio %	Proteína %	DQO (mgO ² /L)	Referência
	5,70	4,85	0,14	0,86	97.590	Farias, 2015
	6,26	4,48	-	0,80	-	Mesomo, 2007
	6,90	3,59	-	0,94	-	Valduga <i>et al.</i> , 2006
Soro de leite	-	5,76	-	0,75	66.200	Murari <i>et al.</i> , 2013
	6,30	4,76	-	0,83	77.586	Bach, 2012
	6,54	4,54	-	1,08	-	Ferraz <i>et al.</i> , 2021
	-	3,44	-	2,24	-	Nery; Brandão, 2008

*Adimensional

Fonte: Autoria própria (2024)

O resultado obtido para o açúcar redutor foi de 4,93% isso mostra que não ocorreu diminuição da concentração de lactose devido ao consumo de microrganismos, indicando o bom estado de conservação do soro, o valor ficou bem próximo aos valores obtidos por outros autores apresentados na Tabela 4, que variam de 3,44 até 5,76%, da mesma forma o pH ficou bem próximo aos outros trabalhos, com um valor de 6,18.

Os valores do nitrogênio e proteína apresentados por Farias (2005) são respectivamente 0,14% e 0,86%, no presente trabalho foram 0,31% e 1,97%, o valor do nitrogênio depende principalmente do valor obtido de proteínas e vice-versa, quanto mais alto o valor do nitrogênio, maior será o valor da proteína. Os trabalhos de Ferraz *et al.* (2021) e Nery; Brandão (2008), obtiveram valores mais próximos de proteínas com este trabalho, com valores de 1,08% e 2,24% respectivamente, de acordo com Ribeiro (2001) a concentração de proteína pode variar principalmente com o processo de obtenção do queijo, quando ocorre a coagulação da proteína do leite (caseína) para a formação do queijo.

Já o valor da DQO de 91.765 mgO²/L ficou bem próximo do trabalho de Farias (2015), com valor de 97.590 mgO²/L como apresentado na Tabela 4, de acordo com Frigon *et al.* (2009) os valores da DQO ficam em torno de 50.000 a 80.000 (mg/L).

5.4.1.2 Milhocina

Os resultados da caracterização físico-química da milhocina estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização da milhocina

Parâmetros	Milhocina
Carbono total (%)	31
Nitrogênio total (%)	6,84
Proteína (%)	42,75
ART (%)	4,07
DQO (mgO ² /L)	30.522
pH*	3,97

*Adimensional

Fonte: Autoria própria (2024)

Sua composição pode variar bastante, como mostra a Tabela 6, podendo ser uma desvantagem econômica, pois sempre depende da condição e qualidade do grão do milho (Domingos, 2009). Ligger; Koffler (1998) mostraram em seus estudos que a composição da milhocina pode variar, como o pH de 3,9 a 4,1, concentração de proteína 3,8 a 40,5% e teores de açúcares (principalmente glicose e frutose) também podem variar bastante, e normalmente não ultrapassam de 5%.

Tabela 6 - Caracterização da milhocina com dados de outros autores

	pH*	ART %	Nitrogênio %	Proteína %	DQO (mgO ² /L)	Referência
	4,30	0,07	0,18	1,14	25.990	Farias, 2015
	4,20	2,16	-	-	-	Pereira, 2014
	4,43	-	0,41	-	28.610,11	Tomas, 2016
Milhocina	-	-	0,37	-	-	Valduga <i>et al.</i> , 2007
	3,90	12,80	-	40,80	-	Akhtar, 1998
	3,70	-	-	-	3.670	Zanotto, 2011
	4,50	1,00	1,03	-	14.670	Loss <i>et al.</i> , 2009
	4,00	-	-	20,5	-	Chiani <i>et al.</i> , 2010

*Adimensional

Fonte: Autoria própria (2024)

Comparado com os resultados obtidos, pode-se observar que tem uma grade variação no açúcar que pode chegar de 0,07% à 12,80%, como citado anteriormente normalmente o açúcar não ultrapassa de 5%, e neste presente trabalho o valor está dentro dos parâmetros com o valor de 4,07%. Outro parâmetro que pode variar bastante é a proteína, como podemos ver na tabela acima com valores de 1,14%, 20,5% e 40,8%, este último possuindo um valor bem próximo ao encontrado neste trabalho, vale ressaltar que os elevados teores de proteínas e açúcares são uns dos responsáveis pela alta carga poluente do resíduo (Guimarães *et al.*, 2010). Da mesma forma que o soro de leite, o nitrogênio foi analisado, comparado com os outros trabalhos apresentados na Tabela 6, o valor do nitrogênio foi mais elevado, isso pode ser explicado pelo alto valor de proteínas, isso pode ser um indicativo que ele poderá ser utilizado como fonte de nitrogênio, sendo bom para crescimento microbiano, porém em excesso não favorece a produção da goma (Moshaf *et al.*, 2014).

Já o baixo pH da milhocina deve-se a adição do SO₂ que reagindo com a água forma o ácido sulfuroso, e também pelo ácido láctico formado pelos microrganismos (Choi *et al.*, 2013), o valor do pH foi de 3,97, ficando dentro do esperado.

De acordo com Loss *et al.* (2009) o valor da DQO fica entre 14.000 a 30.000 mg/L, neste presente trabalho com valor de 30.522 mgO₂/L, ficando próximo ao trabalho de Tomas (2016) como mostra a Tabela 6, sendo que o valor da DQO pode variar dependendo da matéria orgânica presente no resíduo.

5.4.2 Análise comparativa de parâmetros estatísticos dos substratos

Na Tabela 7, apresenta-se a estatística descritiva dos dois resíduos.

Tabela 7 - Média e desvio padrão de parâmetros dos resíduos

Parâmetros	Resíduo	N	Média (g/L) e Desvio padrão	Erro Padrão	Coefficiente de Variação
Açúcares Redutores Totais	Milhocina	3	40,7 ± 0,05	0,03	0,00
	Soro	3	49,37 ± 0,42	0,24	0,01
pH	Milhocina	3	3,97 ± 0,01	0,00	0,00
	Soro	3	6,18 ± 0,02	0,01	0,00
Carbono Total	Milhocina	3	310,00 ± 1,00	0,58	0,00
	Soro	3	89,58 ± 0,88	0,51	0,01
Nitrogênio Total	Milhocina	3	68,40 ± 0,80	0,46	0,01
	Soro	3	3,16 ± 0,09	0,05	0,03
Proteína Total	Milhocina	3	427,50 ± 5,00	2,89	0,01
	Soro	3	19,77 ± 0,58	0,33	0,03
DQO	Milhocina	3	30,52 ± 0,00	0,00	0,00
	Soro	3	91,76 ± 0,00	0,00	0,00

Fonte: Rbio, autor (2025)

Além disso, a Tabela 8 apresenta a comparação das médias entre os parâmetros do soro de leite e da milhocina, incluindo os resultados do teste T de *Student* e do teste T de *Welch*, considerando a heterogeneidade de variâncias observada nas análises de ART, nitrogênio e proteína, além de apresentar os graus de liberdade e os valores de p.

Tabela 8 - Comparação das médias dos parâmetros dos resíduos

Parâmetros	Teste	T	Graus de Liberdade (dF)	p
Açúcares Redutores Totais	Student	-35,80	4	< ,001
	Welch	-35,80	2,058	< ,001
pH	Student	-176,66	4	< ,001
	Welch	-176,66	2,306	< ,001
Carbono Total	Student	286,89	4	< ,001
	Welch	286,89	3,934	< ,001
Nitrogênio Total	Student	140,30	4	< ,001
	Welch	140,30	2,054	< ,001
Proteína Total	Student	140,31	4	< ,001
	Welch	140,31	2,053	< ,001
DQO	Student	-34721,71	4	< ,001
	Welch	-34721,71	3,548	< ,001

Fonte: Jasp, autor (2025)

Como visto na Tabela 8, todas as médias dos parâmetros avaliados dos dois grupos comparados apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$), visto que o valor de p para todos deu $<0,001$, isso confirma que há diferença dos dois grupos, podendo indicar que um dos substratos é mais adequado para o processo.

Os teores de nitrogênio e proteína foram significativamente maiores na milhocina, indicando maior disponibilidade de nutrientes essenciais para a produção de biopolímeros. Esses nutrientes são cruciais para o crescimento e metabolismo das bactérias, uma vez que a goma xantana, um exopolissacarídeo produzido pela *Xanthomonas campestris*, requer esse crescimento microbiano para ser sintetizada.

A concentração de carbono total foi significativamente maior na milhocina, o que é essencial para a produção de goma xantana. Além disso, a milhocina contém um dos principais monossacarídeos utilizados na produção de goma xantana, a glicose, enquanto o soro de leite possui lactose. Embora já existam estudos utilizando o soro de leite como substrato para a produção de goma xantana, um desafio nessa produção é a baixa capacidade da *Xanthomonas* de utilizar a lactose, devido à baixa afinidade da enzima β -galactosidase da bactéria por esse açúcar (Frank e Somkuti, 1979). Em relação aos açúcares redutores, o soro de leite apresentou uma concentração maior. Embora a milhocina contenha glicose e frutose, ela também possui polissacarídeos mais complexos, como celulose e hemicelulose, que são mais difíceis de degradar, o que pode explicar a maior quantidade de carbono estrutural. Já

o soro de leite, com lactose, é mais facilmente degradado, tornando-se prontamente disponível para fermentação.

A análise de DQO mostrou que o soro de leite apresentou uma concentração maior, o que pode ser explicado pela presença de uma alta proporção de compostos orgânicos facilmente oxidáveis, como açúcares (lactose) e ácidos orgânicos, que são rapidamente decompostos e contribuem diretamente para a DQO. Embora a milhocina tenha maior teor de carbono total, grande parte desse carbono está em formas menos reativas ou mais complexas, como fibras, celulose, hemicelulose ou lignina, que são menos oxidáveis quimicamente e, portanto, contribuem menos para a DQO. Isso ocorre porque a DQO mede o potencial de oxidação química da matéria orgânica, mas não necessariamente reflete o teor absoluto de carbono no substrato, permitindo que compostos simples no soro de leite elevem proporcionalmente a DQO, mesmo com menor carbono total.

Em relação ao pH, o soro de leite apresentou um valor mais neutro, enquanto a milhocina apresentou uma acidez mais elevada. Para a produção de goma xantana, é necessário um pH neutro, o que pode ser facilmente ajustado com o uso de solução tampão e a verificação constante do pH ao longo do processo.

5.4.3 Sugestão de meio

Uma sugestão de meio para a produção da goma, é o de Farias (2009) que possui componentes básicos e essências para o crescimento microbiano e da produção da goma xantana, possuindo sacarose como fonte de carbono, nitrato de amônio e extrato de levedura como fonte de nitrogênio, e fosfato dissódico e fosfato monopotássico, que possui fontes de fósforo, potássio e sódio, como mostra a Tabela 9. Com os resultados obtidos do soro de leite e milhocina, pode-se formular um meio baseado com o meio padrão. Os valores de soro de leite e milhocina sugeridos são, 13% e 4% respectivamente, estes foram estabelecidos a partir da concentração de carbono e nitrogênio encontrados neles e baseados na concentração máxima de carbono e nitrogênio do meio padrão.

Tabela 9 - Sugestão de meio de cultivo para produção da goma xantana

	Meio Padrão	Meio I	Meio II
Componente	Concentração		
Milhocina (mL)	-	-	4
Soro de leite (mL)	-	13	-
Sacarose (g/L)	27,0	-	-
Nitrato de amônio (g/L)	0,8	-	-
Extrato de levedura (g/L)	1,8	-	-
Fosfato dissódico (g/L)	2,5	2,5	2,5
Fosfato monopotássico (g/L)	2,5	2,5	2,5

Fonte: Adaptado de Faria (2009)

Como já foi mostrado, tanto o soro de leite quanto a milhocina contêm fósforo, potássio e sódio em suas composições, embora em quantidades menores quando comparados ao carbono e ao nitrogênio. Como todos esses componentes são essenciais para o crescimento microbiano e a produção de goma, é importante manter a adição desses elementos ao meio, pois eles auxiliam na nutrição microbiana, na regulamentação celular, na síntese de diversos componentes essenciais para a célula, além de participarem de ciclos metabólicos importantes.

5.5 Conclusão

A análise mostrou que o soro de leite e a milhocina possuem características físico-químicas que indicam seu potencial nutricional para utilização em processos fermentativos, como fontes de carbono e nitrogênio. Os resultados obtidos de DQO, ART e proteínas estão em concordância com valores da literatura, sugerindo que esses resíduos são alternativas viáveis para a produção de biopolímeros e para a redução do impacto ambiental dos descartes.

A análise estatística evidenciou diferenças significativas entre os dois resíduos agroindustriais em todos os parâmetros analisados. A milhocina mostrou-se superior em relação ao carbono total, nitrogênio e proteína, sugerindo maior potencial como substrato para a produção de goma xantana. No entanto, o soro de leite apresentou vantagem em relação ao pH e à concentração de açúcares redutores, também relevantes para o processo. Ambos os resíduos possuem características complementares e promissoras, e estudos futuros podem explorar combinações ou ajustes nas condições de fermentação para maximizar a produção de goma xantana. Dessa forma, a reutilização desses subprodutos demonstra-se promissora na transição para práticas mais sustentáveis na agroindústria.

A formulação de um meio baseado no meio padrão, com a adição de soro de leite e milhocina, pode ser uma alternativa viável, considerando que as concentrações ideais desses resíduos foram ajustadas de acordo com os valores necessários de carbono e nitrogênio. No entanto, a viabilidade desses meios utilizando esses substratos não foi avaliada neste estudo, sendo necessários experimentos futuros para confirmar sua eficácia.

6 CONCLUSÃO

Este estudo destacou a goma xantana como um biopolímero promissor e sustentável, com várias aplicações inovadoras na agricultura, como a melhoria de fertilizantes, encapsulação de sementes e controle biológico de pragas. A reutilização de resíduos agroindustriais, como soro de leite e bagaço de cana, demonstra o potencial de transformar subprodutos em matérias-primas valiosas para práticas agrícolas mais sustentáveis.

Brasil, Índia e China têm liderado os esforços nessa área, com o Brasil se destacando ao alinhar suas pesquisas às demandas por sustentabilidade, utilizando subprodutos regionais para desenvolver novos produtos. As palavras-chave analisadas revelaram uma transição importante das pesquisas para aplicações práticas, como tratamento de água e valorização de resíduos, mostrando como a goma xantana pode se tornar uma solução transformadora e sustentável no setor agrícola.

A análise dos subprodutos regionais, como soro de leite doce e milhocina, indicou características físico-químicas que apontam para seu potencial nutricional como fontes de carbono e nitrogênio em processos fermentativos. Resultados de DQO, ART e proteínas foram compatíveis com a literatura, e as análises estatísticas revelaram diferenças significativas entre os dois resíduos. A milhocina se destacou em teor de carbono total, nitrogênio e proteína, enquanto o soro de leite apresentou vantagens no pH e na concentração de açúcares redutores. Esses resíduos possuem características complementares e, no futuro, combinações ou ajustes nas condições de fermentação podem otimizar a produção de goma xantana.

Esses resíduos surgem como alternativas promissoras para a produção de biopolímeros, ajudando a reduzir o impacto ambiental do descarte e contribuindo para práticas mais sustentáveis na agroindústria. No entanto, a eficácia de um meio composto por esses substratos não foi analisada neste estudo, sendo necessários mais estudos para confirmar sua efetividade.

Por fim, este estudo evidenciou a crescente relevância da goma xantana na agricultura sustentável, tanto do ponto de vista cienciométrico quanto experimental. A análise cienciométrica demonstrou a transição das pesquisas de aspectos fundamentais para aplicações práticas, como a valorização de resíduos e o desenvolvimento de soluções ambientais inovadoras. Paralelamente, a avaliação do soro de leite e da milhocina destacou seu potencial como fontes alternativas de

carbono e nitrogênio para a produção de goma xantana, promovendo a reutilização de subprodutos e reduzindo impactos ambientais. A relação entre essas abordagens mostra que a ciência aplicada avança quando há uma integração entre análise bibliométrica e experimentação. Esse equilíbrio ajuda a otimizar processos e direcionar pesquisas futuras para preencher lacunas ainda existentes.

REFERÊNCIAS

- ABIB BRASIL BIOMASSA. **Brasil biomassa consultoria mapeamento tipos de biomassa projetos engenharia e tecnologia industrial**. 2022. Disponível em: <https://www.abibbrasil.com.br/c%C3%B3pia-mapeamento-agroindustrial-sucr>. Acesso em: 28/01/2024.
- ABIMILHO. Associação Brasileira das Indústrias Moageiras de Milho. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- AFENDRA, A. S. *et al.* Co-production of ice nuclei and xanthan gum by transformed *Xanthomonas campestris* grown in sugar beet molasses. **Biotechnology letters**, v. 24, n. 7, p. 579–583, 2002.
- AHUJA, K.; BAYAS, S. **Xanthan Gum Market – By Application (Food and Beverage, Oil and Gas, Pharmaceutical, Cosmetics and Others) and Forecast, 2022-2030**. Global Market Insights, 2022. Disponível em: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/xanthan-gum-market>. Acesso em: 17 jan. 2024.
- AKHTAR, M. An overview of biomechanical pulping research. In: RAYMOND, A. YOUNG.; AKHTAR, M. **Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry**. New York: John Wiley and Sons, 1998.
- ALSOP, R. M. Industrial Production of Dextrans. **Progress in Industrial Microbiology**, v. 18, p. 1-44, 1983.
- ALVES, M. P. *et al.* Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; ASSOCIATION, A. W. W.; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th. ed. Washington, DC: APHA, 2023.
- BACH, F. **Avaliação das condições de produção de fermentado acético de soro de leite**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, PR, 2012.
- BAJAJ, K. *et al.* Xanthan gum coatings augmented with lemongrass oil preserve postharvest quality and antioxidant defense system of Kinnow fruit under low-temperature storage. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 262, p. 129776, 2024.
- BARROS, P. D. S. de *et al.* Fibrinolytic enzyme from *Arthrospira platensis* cultivated in medium culture supplemented with corn steep liquor. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 3446-3453, 2020.

BECK, B. *et al.* Improving foliar applications of entomopathogenic nematodes by selecting adjuvants and spray nozzles. **Biocontrol science and technology**, v. 23, n. 5, p. 507–520, 2013.

BECK, B. *et al.* Improving the biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against *Mamestra brassicae*: effect of spray application technique, adjuvants and an attractant. **Pest management science**, v. 70, n. 1, p. 103–112, 2014.

BECKER, A. Challenges and perspectives in combinatorial assembly of novel exopolysaccharide biosynthesis pathways. **Frontiers in Microbiology**, v.6, p.1-8, 2015.

BEN-SALAH, R. *et al.* Production of xanthan gum from *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 by fermentation of date juice palm by-products (*Phoenix dactylifera* L.). **Journal of food process engineering**, v. 34, n. 2, p. 457–474, 2011.

BERNINGER, T. *et al.* Water-soluble polymers in agriculture: xanthan gum as eco-friendly alternative to synthetics. **Microbial Biotechnology**, v. 14, n. 5, p. 1881-1896, 2021.

BHAT, I. M. *et al.* Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 42, p. 102328, 2022.

BHAVANI, A. L.; NISHA, J. Dextran - The Polysaccharide With Versatile Uses. **International Journal Of Pharma And Bio Sciences**, v. 4, 2010.

BONETT, J. E. A. *et al.* Isolation of freshwater microalgae and outdoor cultivation using cheese whey as substrate. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, 2020.

BORGES, C.D. *et al.* Influence of agitation and aeration in xanthan production by *Xanthomonas campestris* pv *pruni* strain 101. **Revista Argentina de Microbiología**, v.40, n.3, p.81–85, 2008.

BRASIL. Agência gov. **Governo Federal investe R\$ 3,1 bilhões para incentivo à ciência e à inovação no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202410/governo-federal-investe-r-3-1-bi-para-incentivo-a-ciencia-e-a-inovacao-no-brasil>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. Gov.br. **Brasil publicou quase 157 mil artigos em 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/brasil-publicou-quase-157-mil-artigos-em-2023>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33**. Secretária de Política Agrícola. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegcio20232033.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CAESAR, A. J.; BURR, T. J. Effect of Conditioning, Betaine, and Sucrose on Survival of Rhizobacteria in Powder Formulations. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, n. 1, p. 168–172, 1991.

CASAS, J. A.; MOHEDANO, A. F.; GARCÍA-OCHOA, F. Viscosity of guar gum and xanthan/guar gum mixture solutions. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 80, n. 12, p. 1722–1727, 2000.

CHAN, E. C. S. Microbial nutrition and basic metabolism. In: MARA, D; HORAN, N. **Water and wastewater microbiology**. UK: Elsevier, 2003, p. 3-36.

CHEN, C. M. Citespace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 359-377, 2006.

CHEN, C. **The CiteSpace Manual**. 2014. Disponível em: <http://cluster.cis.drexel.edu/~cchen/citespace/>. Acesso em: 15 set. 2024.

CHEN, C. **CiteSpace: A Practical Guide for Mapping Scientific Literature**. Nova Iorque: Nova Science Publishers, 2016.

CHEN, C.; SONG, M. Visualizing a Field of Research: A Methodology of Systematic Scientometric Reviews. **Plos One**, v. 14, n. 11, 2019.

CHIANI, M. *et al.* Production of Desferrioxamine B (Desferal) using Corn Steep Liquor in *Streptomyces pilosus*. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 13, n. 23, p. 1151-1155, 2010.

CHOI, J. D. R. *et al.* Characterization and evaluation of corn steep liquid in acetone-butanol-ethanol production by *Clostridium acetobutylicum*. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 18, n. 2, p. 266-271, 2013.

CITESPACE. **CiteSpace: The Website**. Disponível em: <https://citespace.podia.com/>. Acesso em: 24 out. 2024.

CLARIVATE. **Web of Science: h-index information**. 2022. Disponível em: https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Web-of-Science-h-index-information?language=en_US. Acesso em: 20 set. 2024.

CLARIVATE. **Panorama das Mudanças na Pesquisa no Brasil**. 2024. Disponível em: https://www.abcd.usp.br/wp-content/uploads/2024/08/Relatorio_panorama_da_pesquisa_brasil_clarivate-capes-agosto-2024.pdf. Acesso em: 23 dez. 2024.

CLIFFORD, D. R. *et al.* Comparison of paint and gel formulations for the treatment of Nectria cankers on apple trees. **Annals of Applied Biology**, v. 110, n. 3, p. 471–487, 1987.

CLIFFORD, D. R.; GENDLE, P.; HOLGATE, M. E. Gel formulations for the treatment of pruning wounds. **Annals of Applied Biology**, v. 110, n. 3, p. 501–514, 1987.

COSTA, M. R. M. F. da *et al.* Produção de goma xantana a partir de soro de leite. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v.1, p. 1319-1326, 2015.

DALE, J. Soybean Weed-Control by Chloramben Granules Coated with Haloxyfop-Methyl. **Weed Research**, v. 25, n. 3, p. 231–238, 1985.

DAS, S. *et al.* Experimental evaluation of Sarcosine as an eco-friendly green hydrate inhibitor for the drilling of gas hydrate bearing formations. **Journal of petroleum science and engineering**, v. 208, p. 109764, 2022.

DE VUYST, L.; VERMEIRE, A. Use of industrial medium components for xanthan production by *Xanthomonas campestris*. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.42, p.187-191, 1994.

DEANGELIS, P.L. Glycosaminoglycan polysaccharide biosynthesis and production: today and tomorrow. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 94, p. 295-305, 2012.

DOMINGOS, M. **Estudo do crescimento de *Ceriporiopsis subvermispota* em culturas submersas para a produção de inóculos destinados ao processo de biopolpação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, SP, 2009.

DRUZIAN, J. I.; PAGLIARINI, A. P. Produção de goma xantana por fermentação do resíduo de suco de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 26-31, 2007.

ELSALAM, M.; FADEL, M.; MURAD, H. Bioconversion of Sugarcane Molasses into Xanthan Gum. **Journal of biotechnology**, v. 33, n. 1, p. 103–106, 1994.

ELSAYED, A. E. *et al.* Formulation, characterization and impact of an ionically crosslinked hydrogel HPMC and Xanthan gum on growth traits of soybean (*Glycine max* L.) under irrigation levels. **Egyptian journal of chemistry**, v. 66, n. 13, p. 1163–1180, 2023.

FAO. FAOSTAT. **Production Indices**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>. Acesso em: 19 dez. 2024.

FARIA, S. *et al.* Characterization of xanthan gum produced from sugar cane broth. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p. 469–476, 2011.

FARIA, S. **Otimização da produção e caracterização de goma xantana empregando caldo de cana**. 2009. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2009.

- FARIAS, F. O. **Produção de etanol de segunda geração a partir de soro de leite e água de maceração de milho**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2015.
- FELICIA, R. K. *et al.* Xanthan gum production using jackfruit-seed-powder-based medium: optimization and characterization. **Biotech**, v. 248, n. 7, p. 1-10, 2017.
- FERRAZ, F. S. *et al.* Produção de goma xantana por cepa selvagem de *Xanthomonas spp.* usando soro de leite como substrato na fermentação. **Scientia Plena**, v. 17, n. 8, p. 1-9, 2021.
- FILIPOVIC, S.S. *et al.* Techonology of Corn Steep Application in Animal Mashs and their Quality. **Roumanian Biothecnology Letters**, v.7, p.705-710, 2001.
- FONSECA, V. D. C. da *et al.* Estabilidade e comportamento reológico de molho para salada obtido com soro de leite e diferentes combinações de estabilizantes. **International Journal of Food Science & Technology**, v.44, p.777-783, 2009.
- FORNARI, R. C. G. **Aproveitamento de soro de queijo para a produção de goma xantana**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós- Graduação Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, RS, 2006.
- FRANCO, G. **Nutrição – Texto básico e tabela de composição química dos alimentos**. 6ª ed. São Paulo: Atheneu, p. 227, 1982.
- FRANK, J. F.; SOMKUTI, G.A. General properties of betagalactosidase of *Xanthomonas campestris*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 38, n. 3, p. 554-556, 1979.
- FRIGON, J. C. *et al.* The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4156-4163, 2009.
- FU, J. F.; TSENG, Y. H. Construction of lactose-utilizing *Xanthomonas campestris* and production of xanthan gum from whey. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 919–923, 1990.
- GARCÍA-OCHOA, F. *et al.* Oxygen transfer and uptake rates during xanthan gum production. **Enzyme and Microbial Technology**, v.27, p.680–690, 2000.
- GAUTAM, A. *et al.* Composite coating of xanthan gum with sodium nitroprusside alleviates the quality deterioration in strawberry fruit. **Food Hydrocolloids**, v. 155, p. 110208, 2024.
- GAUTHIER, P. *et al.* Technical feasibility of spraying trichogramma ostriniaepupae to control the european corn borer in sweet corn crops. **Applied engineering in agriculture**, v. 35, n. 2, p. 185–192, 2019.

GILANI, S.L. *et al.* Kinetic models for xanthan gum production using *Xanthomonas campestris* from molasses. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, v.17, p.179–187, 2011.

GUIMARÃES, P. M. R. *et al.* Fermentation of lactose to bioethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2010.

GUMUS, T. *et al.* Xanthan Gum Production of *Xanthomonas* spp. Isolated from Different Plants. **Food science and biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 201–206, 2010.

GUNASEKAR, V. *et al.* Xanthan from sulphuric acid treated tapioca pulp: influence of acid concentration on xanthan fermentation. **Carbohydrate Polymers**, v.102, p.669–673, 2014.

HASSANZADEH-AFRUZI, F. *et al.* Thiocalix[4]arene-functionalized magnetic xanthan gum (TC4As-XG@Fe₃O₄) as a hydrogel adsorbent for removal of dye and pesticide from water medium. **Separation and purification technology**, v. 306, p. 122700, 2023.

HENRIQUES, M. H. F. *et al.* Liquid whey protein concentrates as primary raw material for acid dairy gels. **Food Science and Technology**, v. 40, n.2, p. 361-369, 2020.

HOU, J.; ZHANG, Y. The Evolutionary Features of Academic Research in China Based on CiteSpace. **Scientific Data**, v. 5, 2018.

HUBLIK, G. Xanthan. In: **Polymer Science - A Comprehensive Reference**. Elsevier, vol. 10, p. 221–229, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Com alta recorde da Agropecuária, PIB fecha 2023 em 2,9%**. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39306-com-alta-recorde-da-agropecuaria-pib-fecha-2023-em-2-9#:~:text=A%20atividade%20Agropecu%C3%A1ria%20cresceu%2015,2%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202022>. Acesso em: 20 jul. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de cana-de-açúcar**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>. Acesso em: 23 out. 2024.

INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de Alimentos**. 4ª ed. 1ª ed. digital. São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf?attach=true. Acesso em: 29 mai. 23.

JACKSON, D. S.; SHANDERA, D. L. Corn Wet Milling: Separation chemistry and technology. **Journal of Advances in Food and Nutrition Research**, v. 38, p. 271-300, 1995.

JESUS, M. *et al.* Corncob as Carbon Source in the Production of Xanthan Gum in Different Strains *Xanthomonas sp.* **Sustainability**, v. 15, p. 2287, 2023.

KALOGIANNIS, S. *et al.* Optimization of xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* grown in molasses. **Process biochemistry**, v. 39, n. 2, p. 249–256, 2003.

KASHAUDHAN, K. *et al.* Synthesis and characterization of Xanthan Gum Xanthates and their application for toxic metal ion removal from synthetic wastewater. **Journal of Dispersion Science and Technology**, 2024.

KATZEN, F. *et al.* *Xanthomonas campestris pv. campestris* gum mutants: Effects on xanthan biosynthesis and plant virulence. **Journal of bacteriology**, v. 180, n. 7, p. 1607–1617, 1998.

KAUR, A.; SUD, D. Facile removal of emerging pollutants using mesoporous TiO₂ nanoparticles synthesized via xanthan gum templated greener protocol. **International journal of environmental science and technology**, v. 21, n. 5, p. 5127–5148, 2024.

KHALID, N. *et al.* Rheological characterization and microstructural depiction of xanthan gum and its hydrolysates. **Pakistan journal of agricultural sciences**, v. 57, p. 561–571, 2020.

KHAN, T. *et al.* Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 5, p. 816-826, 2007.

KONÍČEK, J.; LASÍK, J.; ŠAFÁŘ, H. Xanthan gum produced from whey by a mutant strain of *Xanthomonas campestris*. **Folia Microbiologica**, v. 38, n. 5, p. 403–405, 1993.

KOOL, M.M. *et al.* The influence of the six constituent xanthan repeating units on the order-disorder transition of xanthan. **Carbohydrate Polymers**, v.104, p.94–100, 2014.

KOSEOGLU, M. A.; RAHIMI, R. A Systematic Review of Key Conceptual Domains in CiteSpace. **Journal of Data and Information Science**, vol. 5, n. 1, p. 103-128, 2020.

KUMAR, A. *et al.* Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 180, p. 128-144, 2018.

KUPPUSWAMI, G.M. Fermentation (industrial): production of xanthan gum. **Encyclopedia of Food Microbiology**, p. 816–821, 2014.

LANDIM, A. P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82-92, 2016.

LI, P. *et al.* Biosynthesis of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* LRELP-1 using kitchen waste as the sole substrate. **Carbohydrate Polymers**, v.151, p.684-91, 2016.

LI, Z.X. *et al.* Effect of downstream processing on the structure and rheological properties of xanthan gum generated by fermentation of *Melaleuca alternifolia* residue hydrolysate. **Food hydrocolloids**, v. 132, p. 107838, 2022.

LIU, S. *et al.* Structure and ecological roles of a novel exopolysaccharide from the arctic sea ice bacterium *pseudolateromonas* sp. Strain SM20310. **Applied and Environmental Microbiology**, v.1, p.224, 2013.

LIU, Z.G. *et al.* Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: a bibliometric analysis. **Journal Scientometrics**, v. 103, n. 1, p. 135–158, 2015.

LOPES, B. M. *et al.* Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. **Journal of Food and Nutrition Research**, v.54, p.185–194, 2015.

LOPES, L. M. A. **Influência da presença de agregados sobre propriedades em solução da goma welana.** 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Instituto de Macromoléculas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

LÓPEZ, M. J. *et al.* Properties of xanthan obtained from agricultural wastes acid hydrolysates. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 1, p. 111–115, 2004.

LOSS, E. *et al.* Use of maize wastewater for the cultivation of the *Pleurotus* spp. Mushroom and optimization of its biological efficiency. **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, n. 2, p.1522-1525, 2009.

LUIZ, C. *et al.* Mechanisms of action of aloe polysaccharides and xanthan gum for control of black rot in cauliflower. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 170–177, 2016.

LUIZ, C.; ROCHA NETO, A. C.; DI PIERO, R. M. Resistance to *Xanthomonas gardneri* in tomato leaves induced by polysaccharides from plant or microbial origin. **Journal of plant pathology**, v. 97, n. 1, p. 119–127, 2015.

LUVIELMO, M. M. *et al.* Structure of xanthan gum and cell ultrastructure at different times of alkali stress. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.47, p.102–109, 2016.

MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock.** 14^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MANZONI, M. S. J. **Influência da temperatura, níveis de dióxido de enxofre e ácido láctico durante maceração dinâmica e moagem intermitente para obtenção de subprodutos do milho.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP, 2000.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. *et al.* **A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente.** Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

MATOS, J. A. de. **Filmes e revestimentos comestíveis a base do polissacarídeo sulfato da alga vermelha (*Hypnea musciformis*) incorporados de ácido cafeico para aplicação em pescado.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2020.

MAUGERI FILHO, F.; GOLDBECK, R. Produção de Polissacarídeos. In: LIMA, U. A. **Biotecnologia Industrial Volume 3: Processos Fermentativos e Enzimáticos.** São Paulo: Blucher, 2019. p. 219-249.

MAZZER, C; CAVALCANTI, O. A. Introdução a gestão ambiental de resíduos. **Infarma**, v. 16, n. 11-12, p. 67-77, 2004.

MCCRACKEN, A. R.; COOKE, L. R. The use of fungicidal paints and gels to treat existing apple cankers. **Annals of Applied Biology**, v. 107, n. 3, p. 417–428, 1985.

MENEGASSI, B. Extrusão de farinha de mandioca-salsa: efeito da temperatura, rotação e umidade nas características físicas dos extrusados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, n.4, p. 252-258, 2007.

MESOMO, M. C. **Produção de goma xantana em biorreator utilizando meio à base de soro de queijo.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, RS, 2007.

MESOMO, M. *et al.* Xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* from cheese whey: production optimization and rheological characterisation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 2440-2445, 2009.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v. 31, p. 426, 1959.

MINJ, S; ANAND, S. Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. **Dairy**, v.1, n.3, p. 233-258, 2020.

MIRZA, A.; AHMAD, R. Novel recyclable (Xanthan gum/montmorillonite) bionanocomposite for the removal of Pb (II) from synthetic and industrial wastewater. **Environmental technology & innovation**, v. 11, p. 241–252, 2018.

MOHSIN, A. *et al.* Optimized biosynthesis of xanthan via effective valorization of orange peels using response surface methodology: A kinetic model approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 793-800, 2018.

MOLINA, O.; FITZSIMONS, R.; PEROTTI, N. Effect of corn steep liquor on xanthan production by *Xanthomonas campestris*. **Biotechnology Letters**, v. 15, n. 5, p. 495–498, 1993.

MORAES, I. O. *et al.* Produção de bioinseticidas. In: LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. 3^a ed. Porto Alegre: Edgar Blucher, p. 245-265, 2001.

MOREIRA, I. C. Brazilian Science at a Crossroads. **Science**, v. 301, n. 5630, p. 141, 2003.

MORDOR INTELLIGENCE. **Xanthan Gum Market Size and Share Analysis – Growth Trends and Forecasts (2024 – 2029)**. 2024. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/xanthan-gum-market>. Acesso em: 09 nov. 2024.

MOSHAF, S. *et al.* Statistical optimization of xanthan gum production and influence of airflow rates in lab-scale fermentor. **Applied Food Biotechnology**, v.1, p.17–24, 2014.

MULLER, J. M. *et al.* Produção de Alginato por Microrganismos. **Polímeros**, v. 21, n. 4, p. 305-310, 2011.

MURAD, H. A. *et al.* Production of Xanthan Gum from Nontraditional Substrates with Perspective of the Unique Properties and Wide Industrial Applications. **JSMC Microbiology**, v.1, n.6, p. 6, 2019.

MURARI, C. S. *et al.* Avaliação da redução na poluição dos laticínios, a partir da fermentação do soro de leite em etanol pela levedura *Kluyveromyces marxianus* 229. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 42-50, 2013.

NANGONG, Z. *et al.* Capsule-C: an improved *Steinernema carpocapsae* capsule formulation for controlling *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, p. 148, 2021.

NASRABADI, M. N. *et al.* Stability assessment of conjugated linoleic acid (CLA) oil-in-water beverage emulsion formulated with acacia and xanthan gums. **Food Chemistry**, v.199, p.258–264, 2016.

NASRABADI, M. N. *et al.* Stability assessment of conjugated linoleic acid (CLA) oil-in-water beverage emulsion formulated with acacia and xanthan gums. **Food Chemistry**, v.199, p.258–264, 2016.

NEDJHIOUI, M.; MOULAI-MOSTEFA, N.; TIR, M. Effect of some physical and chemical properties on the interactions between biopolymers and anionic surfactants. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, n. 13, p. 3704–3712, 2015.

NERY, T. B. R. *et al.* Biossíntese de goma xantana a partir da fermentação de soro de leite: rendimento e viscosidade. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 1937-1941, 2008.

NIGAM, P. S.; PANDEY, A. **Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation**. Dordrecht: Springer Science, 2009.

NIKNEZHAD, S. V. *et al.* Optimization of xanthan gum production using cheese whey and response surface methodology. **Food Science and Biotechnology**, v.24, p.453–460, 2015.

NOBRE C. *et al.* Production and extraction of polysaccharides and oligosaccharides and their use as new food additives. In: PANDEY, A. *et al.* **In Industrial Biorefineries and White Biotechnology**. Amsterdam: Elsevier, p. 653-679, 2015.

NORDIN, N. Z. *et al.* Xanthan biopolymer in pharmaceutical and cosmeceutical applications: Critical review. **Bioscience Research**, v.17, p. 205-220, 2020.

OLIVEIRA, S. H. de. **Produção de goma xantana a partir de soro de leite por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* LFR-4**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2005.

OSMALEK, T. *et al.* Application of gellan gum in pharmacy and medicine. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 466, n. 1-2, p. 328-340, 2014.

PALANIRAJ, A., JAYARAMAN, V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. **Journal of Food Engineering**, v.106, p.1-12, 2011.

PANESAR, P. S. *et al.* Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: progress and prospects. **Applied Food Biotechnology**, v. 3, n. 4, p. 208-227, 2016.

PAPOUTSOPOULOU, S.; EKATERINIADOU, L.; KYRIAKIDIS, D. Genetic Construction of *Xanthomonas Campestris* Xanthan Gum Production from Whey. **Biotechnology Letters**, v. 16, n. 12, p. 1235–1240, 1994.

PEIXOTO, E. C. **Avaliação do uso industrial de enzimas na diminuição do tempo de maceração na moagem do milho por via úmida**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica) – Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.

PENNA, A. L. B. *et al.* Propriedades reológicas e efeito da adição de sal na viscosidade de exopolissacarídeos produzidos por bactérias do gênero *Rhizobium*. **Química Nova**, v.33, n.4, p.895-899, 2010.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. D. Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, p. 1–72, 2022.

PEREIRA, B. **Produção de lignina peroxidase com a utilização de subprodutos industriais**. 2014. Dissertação (TCC) – Graduação do Curso de Engenharia Industrial Química, Universidade de São Paulo, SP, 2014.

PEREIRA, V. M. *et al.* Microbial Metabolic Pathways in the Production of Valued-added Products. In: BRAR, S. K. *et al.* **Microbial Sensing in Fermentation**. 1^a ed. New Jersey: Blackwell Publ, v. 1, p. 137-167, 2018.

PETRI, D.F.S. Xanthan gum: a versatile biopolymer for biomedical and technological applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v.132, p.1-13, 2015.

PICTON, L. *et al.* Chemically modified exopolysaccharide pullulans: physico-chemical characteristics of ionic derivatives. **Carbohydrate Polymers**, v. 28, p. 131-136, 1995.

POLI, A. *et al.* Synthesis, production, and biotechnological applications of exopolysaccharides and polyhydroxyalkanoates by Archaea. **Archaea**, v.11, p.1-13, 2011.

PRASERTSAN, P. *et al.* Optimization for biopolymer production by *Enterobacter cloacae* WD7. **Carbohydrate Polymers**, v.71, p.468–475, 2008.

RAUSCH, K. D.; BELYEA, R. L. The future of coproducts from corn processing. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.128, n. 1, p. 47-86, 2006.

RAUSCH, K. D.; ECKHOFF, S. R. **Encyclopedia of Food Grains**. 2^a ed. San Diego: Academic Press, p. 1-15, 2016.

RAUSCH, K. D.; ECKHOFF, S. R. **Encyclopedia of Food Grains**. 2^a ed. San Diego: Academic Press, p. 458-464, 2016.

REVILLION, J. P. *et al.* Produção de extratos de leveduras de uso alimentar a partir do soro de queijo: abordagem de elementos técnicos e mercadológicos relevantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 246-249, 2000.

REZAEI, M.; AIDER, M. Study of the effect of canola proteins-xanthan based Pickering emulsion as animal fat replacer in a food matrix produced from mechanically separated meat. **Meat Science**, v. 204, p. 109283, 2023.

RIBEIRO, P. R. Queijos. In: AQUARONE, E. *et al.* **Biotecnologia Industrial**. São Paulo: Edgar Blucher, v. 4, p. 225-253, 2001

RONCEVIC, Z. *et al.* Utilisation of winery wastewater for xanthan production in stirred tank bioreactor: Bioprocess modelling and optimisation. **Food and Bioprocess Processing**, v. 117, p. 113-125, 2019.

RORIZ, R. F. C. **Aproveitamento dos Resíduos Alimentícios Obtidos das Centrais de Abastecimento do Estado de Goiás S/A para Alimentação Humana**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia, GO, Brasil, 2012.

ROSALAM S; ENGLAND, R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, p. 197–207, 2006.

ROSALAM, S. *et al.* Cell free xanthan gum production using continuous recycled packed fibrous-bed bioreactor-membrane. **Malaysian Journal of Microbiology**, v.4, p.1–5, 2008.

SAHA, I. *et al.* Exploring the Role of Bacterial Extracellular Polymeric Substances for Sustainable Development in Agriculture. **Current Microbiology**, v. 77, p. 3224-3239, 2020.

SALAH, R. B. *et al.* Production of xanthan gum from *Xanthomonas Campestris* NRRL B-1459 by fermentation of date juice palm by-products (*Phoenix Dactylifera* L.). **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, p. 457-474, 2011.

SANTOS, F. P. dos *et al.* Bioconversion of Agro-industrial Wastes into Xanthan Gum. **Chemical Engineering Transactions**, v.49, p.145-450, 2016.

SANTOS, P. S. *et al.* Fermentação em estado sólido em resíduos agroindustriais para a produção de enzimas: uma revisão sistemática. **JCEC**, v. 4, n. 2, 2018.

SARMAH, S. *et al.* Formulation of a combined low saline water and polymer flooding for enhanced oil recovery. **International Journal of Ambient Energy**, v. 23, p. 1-9, 2019.

SCHMIDELL, W. *et al.* **Biotecnologia Industrial**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

SCHOINA, C. *et al.* Evaluation of application methods and biocontrol efficacy of *Paenibacillus alvei* strain K-165, against the cotton black root rot pathogen *Thielaviopsis basicola*. **Biological control**, v. 58, n. 1, p. 68–73, 2011.

SEESURIYACHAN, P. *et al.* Optimization of Exopolysaccharide Overproduction by *Lactobacillus confusus* in solid State Fermentation under High Salinity Stress. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.76, n.5, p. 912-917, 2012.

SHIMADZU. **Manual do usuário TOC-L CSH/CSN Total Organic Carbon Analyzer**. Dezembro, 2018.

SILVA, D. B. T. V. *et al.* Avaliação termodinâmica na cogeração de energia nas indústrias sucroalcooleiras. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 03, p. 01-06, 2019.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2ª ed. Viçosa: UFV, p. 165, 1990.

SILVA, D. S. *et al.* Rendimento em queijo coalho tradicional elaborado com coagulantes comerciais. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnológica (SNCT) do IFS**, v. 1, n. 1, 2021.

SILVA, J. A. *et al.* Xanthan Gum Production by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* IBSBF 1866 and 1867 from Lignocellulosic Agroindustrial Wastes. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 186, p. 750-763, 2018.

SILVEIRA, M.M. *et al.* Production of glucose-fructose oxidoreductase and ethanol by *Zymomonas mobilis* ATCC 29191 in medium containing corn steep liquor as a source of vitamins. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 55, p. 442-445, 2001.

SINGH, S. K.; FAN, L. T. A biopolymer-based pesticide delivery system for insect suppression in stored grains. **Pesticide Science**, v. 25, n. 3, p. 273–288, 1989.

SINGH, V.; JOHNSTON, D. An Enzymatic Process for Corn Wet Milling. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 48, p. 151-171, 2004.

SOARES, C. D. M. **Avaliação do leite de cabra cru, cru congelado, queijo minas frescal e do soro por diferentes períodos de tempo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

SOBENES, J. G.; ALEGRE, R. M. Produção de goma xantana por *X. Campestris* ATCC 13951 utilizando soro de queijo desproteinado. **Revista ION**, v. 28, n. 2, p. 69-77, 2015.

SOLAS, M. T. *et al.* Ultrastructural changes and production of a xanthan-like polysaccharide associated with scald of sugarcane leaves caused by *Xanthomonas albilineans*. **European journal of plant pathology**, v. 109, n. 4, p. 351–359, 2003.

SOPPELSA, S. *et al.* Essential Oils and Chitosan Applications to Protect Apples against Postharvest Diseases and to Extend Shelf Life. **Agronomy-basel**, v. 13, n. 3, p. 822, 2023.

SORZE, A. *et al.* Effect of different cellulose fillers on the properties of xanthan-based composites for soil conditioning applications. **Materials**, v. 16, n. 23, p. 7285, 2023.

SORZE, A. *et al.* Multifunctional xanthan gum/wood fibers based hydrogels as novel topsoil covers for forestry and agricultural applications. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 7, p. 100520, 2024.

SOUZA, R. S. C. D. *et al.* Avaliação do potencial antioxidante de proteínas do soro de leite concentradas por ultrafiltração e hidrolisadas por diferentes proteases comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p.201-215, 2019.

STEFFENS, J. *et al.* Hidrólise de soro de leite ovino difiltrado pela enzima corolase H-pH e avaliação da geração de peptídeos bioativos. **Revista Tecnológica**, v. 29, n.1, p.168-183, 2020.

SUSLOW, T. V. Rhizobacteria of Sugar Beets: Effects of Seed Application and Root Colonization on Yield. **Phytopathology**, v. 72, n. 2, p. 199, 1982.

SUKRITI, S.; KAITH, B. S.; JINDAL, R. Controlled biofertilizer release kinetics and moisture retention in gum xanthan-based IPN-Web of Science Core Collection. **Iranian Polymer Journal**, v. 26, p. 563–577, 2017.

SUTHERLAND, I. W. Biotechnology of microbial exopolysaccharides. **Cambridge**, p. 163, 1990.

SWAMINATHAN, J. *et al.* Formulations for delivering *Trichoderma atroviridae* spores as seed coatings, effects of temperature and relative humidity on storage stability. **Journal of applied microbiology**, v. 120, n. 2, p. 425–431, 2016.

TOMAS, C. **Cultivo de *Scenedesmus acuminatus* em água de maceração do milho e extração e quantificação de lipídeos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR, 2016.

TRINDADE, R. A. *et al.* Caracterização da goma xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv. *Mangiferaeindicae* IBSBF 1230 utilizando diferentes fontes de carbono. In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, SC, 2014.

VALDUGA, E. *et al.* Aplicação do soro de leite em pó na panificação. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 4, p. 393-400, 2006.

VALDUGA, E. *et al.* Pré-tratamentos de melaço de cana-de-açúcar e água de maceração de milho para a bioprodução de carotenóides. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 1860-1866, 2007.

VIJAYALAKSHMI, V. *et al.* Effect of Xanthan gum seed coating on seed germination and seedling vigour of finger millet (*Eleusine coracana* L.). **Environment Conservation Journal**, v. 25, n. 1, p. 206-210, 2024.

VORHOLTER, F. J. *et al.* The genome of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* B100 and its use for the reconstruction of metabolic pathways involved in xanthan biosynthesis. **Journal of Biotechnology**, v. 134, p. 33-45, 2008.

WANG, S. *et al.* Effects of xanthan gum on atomization and deposition characteristics in water and Silwet 408 aqueous solution. **International journal of agricultural and biological engineering**, v. 11, n. 3, p. 29–34, 2018.

WANI, S.M. *et al.* Advances in pullulan production from agro-based wastes by *Aureobasidium pullulans* and its applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.74, p.1-12, 2021.

WASILEWSKI, T. *et al.* Effect of Talc Particle Size in Detergents for Fruits and Vegetables on the Ability to Remove Pesticide Residues. **Acs omega**, v. 7, n. 29, p. 25046–25054, 2022.

XI, Y. I. *et al.* Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* NJ113 using corn steep liquor powder as nitrogen source. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 775–779, 2013.

XIE, P. Study of international anticancer research trends via co-word and document co-citation visualization analysis. **Journal Scientometrics**, v. 105, n. 1, p. 611–622, 2015.

XIN, J. *et al.* Mechanism insights into enhanced trichloroethylene removal using xanthan gum-modified microscale zero-valent iron particles. **Journal of Environmental Management**, v.150, p.420–426, 2015.

YANG, F.; ANTONIETTI, M. The sleeping giant: a polymer view on humic matter in synthesis and applications. **Progress in Polymer Science**, v. 100, p. 101182, 2020.

YU, X. *et al.* Role of bioengineering and laborers in integration of farmland resources toward to improve dimension of sustainable agriculture in China. **Bioengineered**, v. 11, n. 1, p. 559–571, 2020.

YUKIHIRO, N. Properties and food applications of curdlan. **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 56, p. 769-772, 1997.

ZANOTTO, C. **Caracterização de resíduo da indústria de beneficiamento de milho**. 2011. Dissertação (TCC) – Graduação do Curso de Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, 2011.

ZHANG, S. *et al.* Enhancing the Stability and Effectivity of Multiple Pesticide Formulation Mixtures by Adding an Eco-Friendly Adjuvant. **ACS Sustainable Chemistry e Engineering**, v.11, p. 15385–15396, 2023.

ZHANG, S. *et al.* Enhancing the Stability and odor control of water-based foam for pesticide site restoration using xanthan gum. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 185, p. 660-669, 2024.

ZHANG, Z.; CHEN, H. Fermentation performance and structure characteristics of xanthan produced by *Xanthomonas campestris* with a glucose/xylose mixture. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 160, p. 1653–1663, 2010.

ZHU, J.; LIU, W. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. **Scientometrics**, v. 123, p. 321-335, 2020.