

# BIOPROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DE GOMA XANTANA UTILIZANDO RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO MATÉRIAS- PRIMAS

Erlon Lopes PEREIRA<sup>1</sup>

Aline Teixeira FERRAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química. Setor de Engenharia Química. Universidade Federal de Viçosa. Campus: Viçosa-MG. CEP: 36570-900. e-mail: erlon.pereira@ufv.br/erlonlopes@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Química. alinee.t.ferraz@gmail.com.

**Recebido em: 14/07/2016 - Aprovado em: 15/09/2016 - Disponibilizado em: 18/12/2016**

## RESUMO:

A goma xantana é um heteropolissacarídeo hidrossolúvel, produzida industrialmente por fermentação da sacarose por *Xanthomonas campestris*. Suas excelentes propriedades reológicas, como a alta viscosidade das soluções e solubilidade em água têm assegurado importantes aplicações para a goma na indústria de alimentos, cosméticos, farmacêutica e de petróleo, onde é habitualmente usada em processo de perfurações para recuperação de óleo. A grande versatilidade nutricional de *Xanthomonas campestris* é um dos fatores que torna a produção do biopolímero de grande interesse industrial. Contudo, em função dos elevados custos de produção e do substrato, grande parte da goma xantana utilizada no país é importada. O Brasil produz uma grande quantidade de substratos, no entanto ainda são resíduos descartados pelas agroindústrias, tornando-se agentes poluidores do meio ambiente ou utilizados em pequena escala para a alimentação de animais. Muitos trabalhos têm usado resíduos e subprodutos como fonte de carbono alternativas para a produção de xantana, como por exemplo, bagaço de mandioca, soro de leite, suco de maçã, farelo de soja e bagaço de cana. Esta utilização de substratos alternativos também poderia auxiliar a produção da goma no país, ajudando a eliminar os problemas ambientais como o descarte de efluentes, permitindo a valorização econômica destes resíduos. Tendo em vista esse cenário, selecionar variedades de microrganismos que produzam polissacarídeos em grande quantidade e economicamente interessantes, é um desafio que vem sendo enfrentado pelos pesquisadores, a fim de promover o suprimento brasileiro da demanda de goma xantana com maior competitividade no preço final.

**Palavras-chave:** Biotecnologia; Fermentação; Polissacarídeo; *Xanthomonas*; Sustentabilidade.

## ABSTRACT:

The xanthan gum is a hydrosoluble heteropolyssacharide, produced industrially through the fermentation of sucrose by *Xanthomonas campestris*. Its excellent rheological properties, like high viscosity for its resulting solutions and solubility in water, have been assuring important applications for the gum in food, cosmetic, pharmaceutical and oil industries, being commonly used in the latter in the process of drilling for oil recovery. The great versatility of *Xanthomonas campestris* is one of the main causes of the high industrial interest in the production of the biopolymer. However, because of the high costs for producing the gum and obtaining its substrate, a huge part of the xanthan gum used in the country is imported. Even though Brazil produces a big amount of substrates, these are residues discarded by agro-industries, becoming hazardous to the environment, or used in smaller proportions for animal feeding. Many studies have been using residues and subproducts as an alternative carbon source for xanthan production like, for example, manioc or sugarcane bagasse, whey, apple juice, and soybean meal. This usage of alternative substrates could also help increase the gum production in the country, while reducing some environmental problems caused by effluent disposal, and allowing the economic appreciation of such residues. With this scenario in mind, selecting microorganisms that produce big amounts of economically interesting polyssacharides is a challenge that has been faced by researchers, willing to meet the demand for xanthan gum in Brazil with higher competitiveness in the final price.

**Keywords:** Biotechnology; Fermentation; Polyssacharide; *Xanthomonas*; Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

A biotecnologia vem se destacando como um promissor campo de atuação

acadêmica e industrial. Nos últimos anos, a busca por microrganismos com potencial biotecnológico tem crescido. Tal fato é

devido ao reconhecimento da utilidade de produtos sintetizados e extraídos a partir formas vivas que possuem aplicabilidade em vários setores atuais (Assis et al., 2010). O avanço nas pesquisas permitiu a descoberta de novas moléculas, como os biopolímeros, que assumem grande importância devido ao extenso potencial de aplicação nos mais diversos campos da indústria, cuja característica mais importante, sob o ponto de vista tecnológico, é sua capacidade de determinar ou modificar a estrutura de um alimento (Ernandes e Garcia-Cruz, 2005; Sampaio, 2014).

De acordo com Luvielmo e Scamparini (2009) os biopolímeros, também denominados de gomas, hidrocolóides ou polissacarídeos, podem ser de origem vegetal, marinha ou microbiana. A grande diversidade de estruturas químicas capaz de ser elaborada pelos microrganismos possibilita a obtenção de polímeros hidrossolúveis com diferentes propriedades além de proporcionar uma aplicação vasta em produtos.

Ernandes e Garcia-Cruz (2005), Canuto (2006) e Borges e Vendruscolo (2008), explicam que a grande utilização destes biopolímeros na indústria é devido às suas propriedades e características específicas, tais como: aumento da viscosidade mesmo quando usados em baixas concentrações; estáveis em relação ao calor resistindo a altas temperaturas durante o processamento; excelente solubilidade e estabilidade em meio

ácido e na presença de sais (principalmente cloreto de sódio); eficientes como estabilizadores de emulsões evitando a separação da gordura nos sistemas óleo/ água; natureza altamente pseudoplástica diminuindo o arraste durante o escoamento.

Luvielmo e Scamparini (2009) mencionam que a produção desses polímeros a partir de microrganismos, em condições controladas de fermentação, garante um material de qualidade e fornecimento constante não influenciado por variações climáticas. Dentre suas principais vantagens, inclui-se a biodegradabilidade, alta regularidade estrutural, abundância na natureza, maior rapidez na obtenção do produto acabado e necessidade de menor espaço físico das instalações fabris e versatilidade de uso em diversas áreas como engenharia, biotecnologia e medicina, além de muitas vezes se tratar de um composto atóxico.

Menezes et al (2012) e Sampaio (2014) destacam que entre os biopolímeros mais utilizados, a goma xantana produzida pela linhagem de *Xanthomonas campestris* como a mais estudada, tendo seu uso em alimentos foi permitido pelo *Food and Drug Administration* (FDA) desde julho de 1969. Lima et al. (2001) descrevem que no Brasil, a adição de goma xantana em alimentos é permitida desde 1965, pelo Decreto Lei nº55871, da Legislação Brasileira de Alimentos como estabilizante e espessante.

Oliveira (2009) afirma que a grande versatilidade nutricional de *Xanthomonas campestris* é um dos fatores que torna a produção de goma xantana de grande interesse industrial. Os autores destacaram que no ano da publicação do trabalho, essa produção representava 90% do volume mundial de vendas dos polissacarídeos bacterianos devido às suas extraordinárias propriedades, que são bem exploradas nas indústrias de alimentos, agrícola, têxtil e na recuperação de óleos.

Em função dos elevados custos de produção e do substrato, grande parte da goma xantana utilizada no Brasil é importada. Os resíduos gerados nos processos agroindustriais representam perdas econômicas no processo produtivo e se não receberem destinação adequada, poderão proporcionar problemas ambientais, colocando em evidência a necessidade da instalação de sistemas de produção sustentáveis (Pelizer et al., 2007). Nesse sentido, Menezes et al. (2012) mencionam que a otimização dos processos biotecnológicos para a produção de goma xantana, a partir de resíduos agroindustriais, tornam mais viáveis sua produção no Brasil e no mundo.

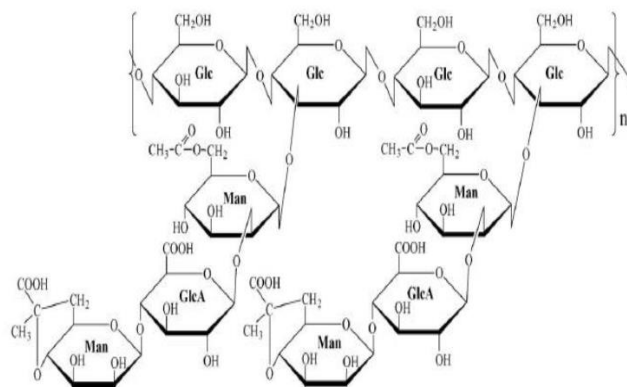
Tendo em vista a importância no desenvolvimento de processos biotecnológicos para a produção de polissacarídeos a partir de microrganismos, esse trabalho teve como objetivo apresentar

uma revisão sobre o processo de produção da goma xantana e sua potencial aplicação industrial utilizando resíduos e subprodutos agroindustriais, de forma a incentivar sua produção no Brasil.

## 2. GOMA XANTANA: CARACTERÍSTICAS E ASPECTOS DA PRODUÇÃO

A goma xantana (GX) é um heteropolissacarídeo hidrossolúvel, produzida industrialmente por fermentação da sacarose por *Xanthomonas campestris* (Druzian e Pagliarini, 2007). A sua estrutura ramificada e o alto peso molecular conferem à GX uma alta viscosidade, mesmo em baixas concentrações (Figura 1).

**Figura 1** - Estrutura da goma xantana produzida por *X. campestris*.



Fonte: Sampaio (2014)

Como pode ser observado na Figura 1 a GX é composta por glicose, manose, ácido glicurônico, ácido pirúvico e grupos acetila. Suas excelentes propriedades reológicas, como a alta viscosidade das soluções e a solubilidade em água do biopolímero têm

assegurado importantes aplicações para a goma xantana na indústria de alimentos, cosméticos, farmacêutica, e de petróleo, onde é habitualmente usada em processo de perfurações para recuperação de óleo. A rede tridimensional formada por associações de cadeias de GX tem eficiente estabilidade para suspensões e emulsões (Mesomo, 2007; Oliveira, 2009; Luvielmo e Scamparini, 2009).

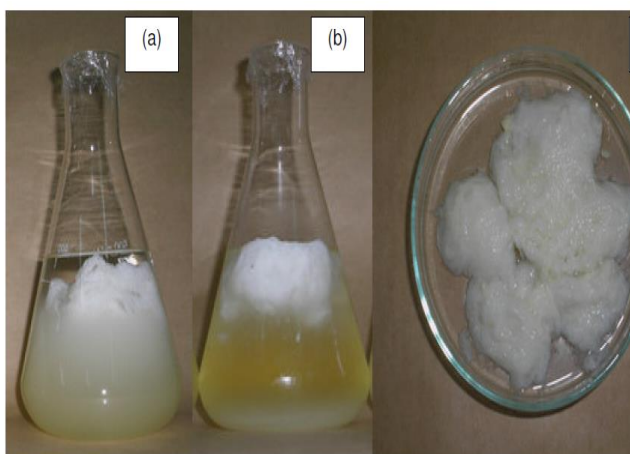
Luvielmo e Scamparini (2009) descrevem o processo de fermentação para a produção em escala piloto da GX nas seguintes etapas:

- I. Primeiramente, a cepa microbiana selecionada é preservada para possível estocagem por longo prazo através de métodos que mantenham suas propriedades desejadas. Para a produção, culturas de *X. campestris* puras são cultivadas usando fermentação aeróbica submersa (Sutherland, 1999).
- II. O meio composto por uma fonte de carboidratos, nitrogênio e sais minerais é esterilizado via calor úmido. Segundo os autores, as concentrações de glicose entre 30 g - 40 g kg<sup>-1</sup> de meio consiste na necessária para precipitar o polímero é reduzida pela metade quando 0,1% de Cloreto de sódio é empregado.

melhor faixa de concentrações para a produção de GX. A possibilidade da adição intermitente de glicose de forma a manter seu teor no meio entre 30-40 g kg<sup>-1</sup>, preveniu a inibição do crescimento celular e da produção de goma. Através dessa alimentação estratégica de glicose, a concentração de GX tende a aumentar.

- III. Após esterilizado o meio de cultura é inoculado com cultura selecionada. Em função da goma atuar como uma espécie de cápsula bacteriana, sua produção está associada ao crescimento celular. Durante o período de inoculação, ocorre um aumento da concentração celular, mas diminui a produção de GX, uma vez que ela, ao redor da célula, impede o transporte de nutrientes e estende a fase lag de crescimento.
- IV. Após produzida GX é precipitada em solvente (isopropanol, etanol ou acetona), posteriormente é separada, secada, moída, peneirada, e então embalada (Figura 2). O volume de etanol utilizado na precipitação é reduzido quando sais monovalentes são utilizados. Segundo Garcia-Ochoa (2000), a quantidade de etanol

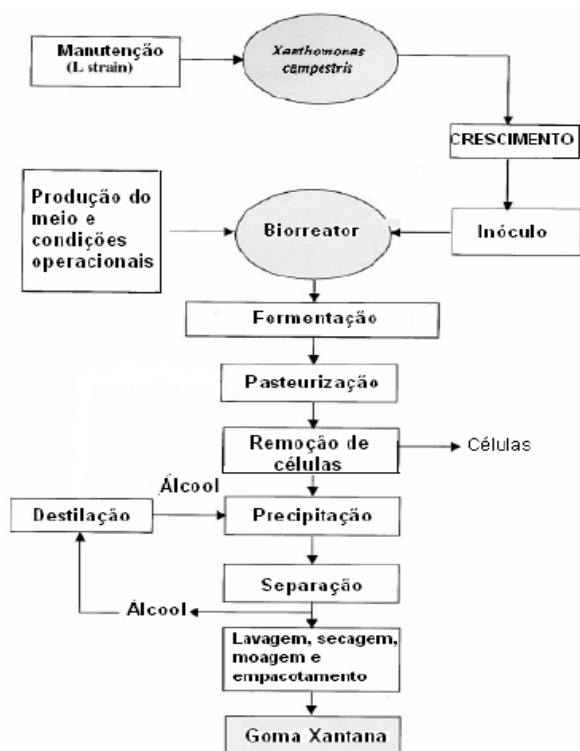
**Figura 2** - Aspecto da goma xantana precipitada, logo após a adição de álcool (a), após 24 horas de repouso (b) e o biopolímero separado do sobrenadante (c).



Fonte: Sampaio (2014)

O fluxograma que descreve a produção industrial da GX está apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de produção e recuperação da



Fonte: Oliveira (2009).

Em relação a produtividade da GX em processos fermentativos, Nitschke et al. (2001) e, anos depois, Oliveira (2009), estudaram a influência da composição do meio de cultura na produção da GX. O meio

de cultura consiste geralmente de glicose ou sacarose como fonte de carbono, extrato de levedura ou peptona como fonte de nitrogênio e ainda fósforo e traços de outros minerais. Os autores concluíram que a proporção de carbono e nitrogênio (razão C/N) no meio de cultura influencia a produção de goma xantana, sendo que a razão C/N normalmente utilizada para a produção é menor que aquela usada durante o crescimento. Em suma, o meio de cultura apresenta geralmente de 2 a 4% de glicose ou sacarose como fonte de carbono e 0,05 a 1% de nitrogênio.

Oliveira (2009) também descreve que a temperatura e a viscosidade são importantes variáveis que afetam a produção de GX. Para a temperatura os valores podem variar de 25°C a 35°C. Para a viscosidade do meio o crescimento microbiano cessava quando se alcançava valores de 2000 cp no meio fermentativo.

Em relação a estabilidade da GX produzida Mesomo (2007) e Vieira (2008), por meio de diferentes bioprocessos, avaliaram o efeito de sua concentração no meio fermentado e concluíram que esta possui estabilidade depende de sua concentração sendo que, quanto maior a concentração e goma na solução, maior a estabilidade da goma. Já, Luvielmo e Scamparini (2009) avaliando o efeito do valor de pH do meio de cultivo na estabilidade da goma xantana, concluiu que sua estabilidade está também

dependente do valor de pH, sendo afetada apenas com valores de pH >11 e pH < 2,5.

Oliveira (2009) descreve que as condições ótimas para o crescimento celular e a produção de GX podem não ser as mesmas. A quantidade e a qualidade de GX produzida por uma cultura de microrganismos variam com a composição e condições do meio, e com os parâmetros operacionais do processo fermentativo. De acordo com Souza (2005) e Sampaio (2014), como a GX é parcialmente associada ao aparecimento de metabólitos, a produção de goma xantana é baixa quando o crescimento e a concentração de biomassa também estão baixos. Vandame et al (1996), Flores e Deckwer (1999), Oliveira (2009) e Reis et al (2010) citam que maiores rendimentos de GX podem ser obtidos com fermentações realizadas em temperaturas mais altas.

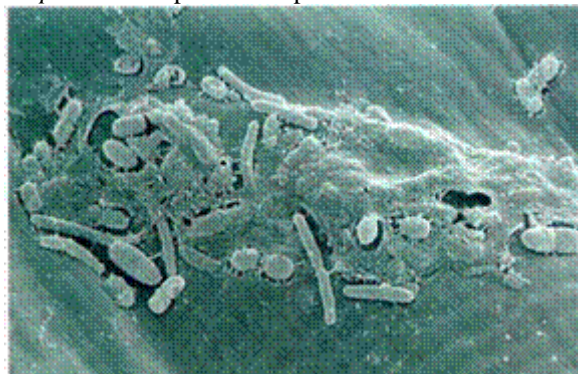
## 2.1. Microrganismos

As bactérias do gênero *Xanthomonas* pertencem à família *Pseudomonaceae* e com exceção da *Xanthomonas maltophilia* todas são fitopatogênicas. São bactérias que apresentam morfologia de bastonetes delgados, são gram-negativas, catalase positiva, oxidase negativa e móveis por flagelo único. Estes microrganismos são quimiorganotróficos, capazes de usar uma capacidade de carboidratos, sais e ácidos orgânicos como fonte de carbono, estritamente aeróbios, com um tipo de

metabolismo respiratório que requer oxigênio como aceptor final de elétrons. (Sutherland 1999; García-Ochoa, 2000; Oliveira, 2009).

Theodoro e Maringoni, (2002) e Ferreira (2009) citam que estas bactérias estão amplamente distribuídas e infectam algumas plantas de interesse agrícola causando imenso prejuízo às lavouras, como, por exemplo, o escurecimento dos vasos condutores em plantações de mandioca ou lesões nos frutos, folhas e ramos de plantações de laranja. Segundo Oliveira (2009), a patogenicidade deste gênero de bactérias está diretamente relacionada com a produção de GX pelas mesmas. Algumas cepas de *Xanthomonas campestris* (Figura 4), têm sido amplamente estudadas e usadas para a produção industrial de GX.

**Figura 4** – Biofilme formado por *Xanthomonas campestris* na superfície da planta.



**Fonte:** Sutherland (1999)

Segundo Druzian e Pagliarini (2007), as bactérias do gênero *Xanthomonas* são fáceis de serem cultivadas em laboratório, uma vez que são aeróbicas e também microaerofílicas, com temperatura ótima de crescimento entre 25-30°C. São

caracterizadas como de rápido crescimento, produzindo turbidez em meio líquido com 2-3 dias de fermentação.

As conduções osmóticas e a composição do meio de cultivo influenciam também a síntese do produto polimérico, como mostra Yang et al (2002), Vieira (2008) e Sampaio (2014). Os autores também descrevem que os exopolissacarídeos produzidos pelo gênero *Xanthomonas* podem ser obtidos por fermentação em diferentes meios de cultivos e substratos, com os mais variados rendimentos em relação ao volume e composição do meio utilizado.

As linhagens utilizadas para a produção de GX são selecionadas e cultivadas por muitos métodos convencionais. Todavia, Rosalam e England (2006) enfatizam que a modificação genética pode levar a melhorias nas propriedades requeridas para aplicações de recuperação da cepa ou suplementação do meio, ou ainda aumentar a produção, reduzindo o tempo de fermentação e simplificando a recuperação e purificação do produto no processo.

A seleção contínua de microrganismos que produzam polissacarídeos em grande quantidade e economicamente interessantes, é um desafio que vem sendo enfrentado pelas indústrias e pesquisadores. Entretanto, não foram encontradas na literatura publicações de novos gêneros de bactérias para a produção de GX, sendo as últimas pesquisas sobre microrganismos realizadas em 2014.

## 2.2. Importância comercial

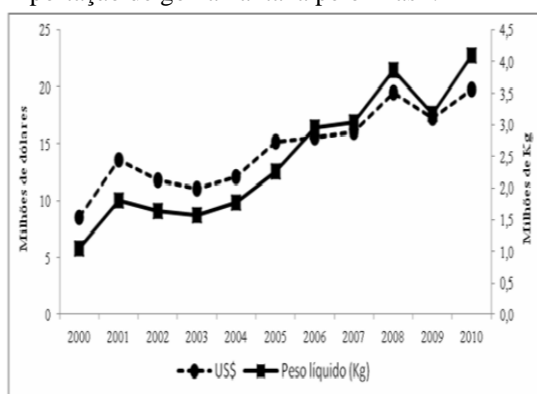
Apesar das amplas possibilidades do uso de polímeros microbianos em alimentos, Scamparini et al (2000), Rosalam e England (2006), Borges e Vendruscolo (2008), Assis et al (2010) e Menezes et al (2012) afirmam que o mercado mais importante de consumo são as indústrias de petróleo, mineração, têxtil, termoquímica, tintas, papel, cosmética, farmacêutica e de produtos agropecuários nas quais, desde o final do século XX, são empregados como formadores de gel (Stredansky et al., 1999), espessantes e agentes de suspensão (Vandame et al., 1996), devido as suas propriedades flocculantes, adesivas, lubrificantes e redutoras de fricção.

De acordo com dados obtidos por Rosalam e England (2006), dentre as empresas mais expressivas no mercado de produção de GX, salientam-se a Merck, Cargill e Kelco (Estados Unidos), Danisco (Dinamarca) e Jungbunzlauer (Austria). Segundo Borges e Vendruscolo (2008), do volume total de GX produzido no mundo, 65% é utilizado na indústria de alimentos, 15% na indústria de petróleo e ao redor de 20% em aplicações diversas. Os autores afirmam que a demanda mundial continua aumentando e estima-se um crescimento anual de 5-10%.

Como pode ser notado, a GX é um polissacarídeo que desperta grande interesse industrial em diversos ramos, contudo,

Menezes et al (2012) mencionam que em função dos elevados custos de produção e do substrato, grande parte da GX utilizada no país é importada. O Brasil, segundo dados do Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (Alice, 2010), gastou 15 milhões de dólares para importar 2.200 toneladas de goma xantana em 2005, atingindo 20 milhões de dólares em 2010. Com uma taxa de crescimento médio de 12% no quinquênio, a estimativa é que em 2020 sejam necessários aproximadamente 40 milhões de dólares para importar 7.200 toneladas de goma xantana (Figura 5).

**Figura 5** – Custos e volumes anuais relacionados à importação de goma xantana pelo Brasil.



Fonte: Alice (2010)

Apesar da indústria incipiente no país, Menezes et al (2012) afirmam que o Brasil tem um elevado potencial econômico para a implantação da indústria de GX, uma vez que possui matérias-primas básicas de menor custo para a produção e recuperação da goma (resíduos agroindustriais e álcool proveniente do setor sucroalcooleiro), colocando-o numa

posição favorável e competitiva pelo fato do custo do meio de fermentação ser um fator crítico sob o aspecto comercial na produção do polissacarídeo.

### 2.3. Matérias-primas

Druzian e Pagliarini (2007) citam que o Brasil produz uma grande quantidade de substratos, mas que na realidade ainda são resíduos descartados pelas agroindústrias, tornando-se agentes poluidores do meio ambiente ou utilizados em pequena escala para a alimentação de animais. Todavia, Stredansky et al. (1999) mencionam que já na década de 90 muitos trabalhos têm usado resíduos e subprodutos agroindustriais como fonte de carbono alternativas para a produção de GX.

Canuto (2006) analisou o potencial de alguns resíduos agroindustriais como meio fermentativos para a produção de GX por *Xanthomonas campestris*. Em seus estudos, variados tipos de matérias-primas apresentaram rendimentos satisfatórios, como por exemplo o bagaço de cana, farelo de soja, melaço de soja e bagaço de mandioca:

- I. O bagaço de cana é considerado um dos maiores resíduos da agroindústria brasileira e representa aproximadamente 30% da cana integral moída. Estima-se que, a cada ano, sobrem de 5 a 12 milhões de toneladas deste material, de forma que as próprias usinas utilizam de 60% a 90% deste material



como fonte energética (Lima, 2001).

- II. O farelo de soja representa 70% da massa sólida do grão de soja, sendo que 51% correspondem às proteínas, 43% aos carboidratos e 6% às cinzas (Paraíso, 2001). Com base em Canuto (2006), o farelo de soja é uma das fontes mais utilizadas de proteína vegetal. É amplamente disponível e comercializado de forma ativa.
- III. O melaço de soja é o resíduo gerado pelo processo de obtenção do extrato proteico de soja. Canuto (2006) cita que este é um substrato complexo que possui carboidratos de peso molecular elevado, além de carboidratos ligados a outras moléculas.
- IV. O bagaço de mandioca é o resíduo sólido composto pelo material fibroso da raiz, contendo a parte da fécula que não foi possível extrair no processamento. A

mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país, em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção. Em 2010, a produção nacional foi de 26,54 milhões de toneladas (Groxko, 2011).

Atualmente ainda são utilizados soro de mandioca (Brandão, Espiridião e Druzian, 2010), soro de leite (Canuto 2006; Fornari 2006; Nery et al., 2008; Mesomo et al., 2009; Diniz, Druzian e Audibert, 2012), soro de queijo (Silva et al., 2009), resíduo do suco de maçã (Druzian e Pagliarini, 2007) e bagaço de cana (Faria et al., 2011).

Menezes et al. (2012) fizeram uma revisão de trabalhos que estabeleceram um largo espectro de fontes de carbono passíveis de serem fermentados pela bactéria *Xanthomonas campestris*, dados pelo Quadro 1:

**Quadro 1** – Resíduos agroindustriais utilizados como substrato fermentescível para a produção de goma xantana.

Fontes de carbono	Cepa	GX (g L-1)	Referência
Soro de queijo	<i>X. campestris</i> pv. <i>manihotis</i> 1182	26,42	Silva et al., 2009
	<i>X. campestris</i> pv. <i>mangiferae indicae</i> 1230	25,42	
	<i>X. campestris</i> pv. <i>mangiferae indicae</i> 1230	36,89	Mesomo et al., 2009
Soro de leite	<i>X. campestris</i> <i>campestris</i> 1866	12,36	Nery et al., 2008
	<i>X. campestris</i> <i>mangiferae indicae</i> 2103	21,91	
	<i>X. campestris</i> pv. <i>mangiferae indicae</i> 1230	16,80	Fornari, 2006
	<i>X. campestris</i> pv. <i>manihotis</i> 1182	23,81	
	<i>X. campestris</i> pv. <i>manihotis</i> 1182	12,01	
Casca de cacau	<i>X. campestris</i> pv. <i>manihotis</i> 1182	7,34	Diniz, 2011
	<i>X. campestris</i> pv. <i>campestris</i> 472	0,65	
	<i>X. campestris</i> pv. <i>arracaciae</i> 1198	1,15	
	<i>X. campestris</i> pv. <i>malvacearum</i> 1779	3,45	

Soro de mandioca	<i>X. campestris pv. mangiferae indicae</i> 2103	13,83	Brandão, Espiridião e Druzian, 2010
	<i>X. campestris pv. manihotis</i> 1182	11,72	
	<i>X. campestris campestris</i> 1866	6,79	
Resíduo do suco de maçã	<i>X. campestris pv. manihotis</i> 280	45,00	Druzian e Pagliarini, 2007
Casca de coco	<i>X. campestris pv. manihotis</i> 1182	4,72	Gomes, 2008
	<i>X. campestris campestris</i> 1866	5,35	
	<i>X. campestris pv. campestris</i> 2149	5,16	
	<i>X. campestris pv. mangiferae indicae</i> 2103	6,70	
Glicerina do biodiesel	<i>X. campestris pv. mangiferae indicae</i> 2103	7,23	Brandão, Nery e Druzian, 2009
	<i>X. sp C1</i>	0,15	Reis et al., 2010
	<i>X. sp C9</i>	0,18	

Fonte: Menezes et al. (2012)

Em relação ao Quadro 1, a suplementação do meio fermentativo e as condições de produção utilizadas por Fornari (2006) e Silva et al. (2009) foram  $1 \text{ g L}^{-1}$   $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $20 \text{ g L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , agitador orbital a  $28^\circ\text{C}$ , 180 rpm, por 72h, respectivamente. Já Nery et al. (2008), Gomes (2008), Brandão, Nery e Druzian (2009), Brandão, Espiridião e Druzian (2010) e Diniz (2011) utilizaram  $0,1 \text{ g L}^{-1}$  ureia;  $1 \text{ g L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{HPO}_4$  para a suplementação do meio e agitador orbital a  $28^\circ\text{C}$ , 250 rpm, por 120h, como condições de operação. Druzian e Pagliarini (2007) adotaram como suplementos  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  ureia;  $5 \text{ g L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{HPO}_4$  nas condições de 150 rpm por 96h, em agitador orbital a  $28^\circ\text{C}$ . Mesomo et al. (2009) suplementaram com  $1 \text{ g L}^{-1}$   $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $20 \text{ g L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{HPO}_4$  em biofermentador a  $28^\circ\text{C}$ , 390 rpm, 1,5 vvm, por 72h e Reis et al. (2010), por sua vez, utilizaram como suplemento do meio fermentativo  $2,5 \text{ g L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ;  $5 \text{ g L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ;  $0,006 \text{ g L}^{-1}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $2 \text{ g L}^{-1}$

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;  $0,0024 \text{ g L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$ ;  $0,002 \text{ g L}^{-1}$   $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $0,002 \text{ g L}^{-1}$   $\text{ZnSO}_4$  em agitador orbital a  $28^\circ\text{C}$ , a 180 rpm, por 96h.

Ainda com base em Menezes (2012) e no Quadro 1, pode-se notar que as menores produções de GX ( $0,15$  e  $0,18 \text{ g L}^{-1}$ ) foram obtidas por Reis et al. (2010) utilizando a glicerina de biodiesel como fonte de carbono, realizadas em agitador orbital com 180 rpm sob  $28^\circ\text{C}$  por 72 e 96 horas, respectivamente.

O maior valor de produção de GX ( $45,00 \text{ g L}^{-1}$ ) foi obtido por Druzian e Pagliarini (2007), os quais estabeleceram condições de produção de GX por meio da fermentação aeróbia de *Xanthomonas campestris pv. manihotis*, usando resíduo descartado pela indústria de suco de maçã fugi como substrato. A fermentação aeróbica em batelada ( $28^\circ\text{C}$ , 150 rpm por 96 horas) do resíduo de maçã resultante do processamento do suco, juntamente com  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  de ureia e  $5 \text{ g L}^{-1}$  de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  apresentou produção máxima de goma xantana de  $45 \text{ g.L}^{-1}$ .

Segundo os autores, a GX obtida era composta de 44,53% de manose, 34,76% de glicose e 20,71% de ácido glucurônico, mostrando que a bioconversão é viável por utilizar um substrato suplementar e por apresentar rendimento de goma até 10 vezes maior do que o obtido com sacarose como fonte de carbono.

De acordo com o MAPA (2013), a produção anual de maçã no Brasil em 2011, último dado consolidado pelo IBGE, foi em torno de 1,3 milhão de toneladas/ano, gerando de 20-35% de resíduos. O desenvolvimento de um processo adequado e economicamente viável para a obtenção de novos produtos a partir destes resíduos pode permitir ao setor frutícola diversificar a produção e aumentar a receita.

A fonte de carbono advinda do soro de queijo também apresentou resultados interessantes, com a segunda maior produção de GX (36,89 g L<sup>-1</sup>) obtida por Mesomo et al. (2009), o que mostra o grande potencial dos subprodutos das indústrias de laticínios para processos fermentativos. No processo foi utilizado um biofermentador a 28°C, 390 rpm e 1,5 vvm, por 72 horas. Com base em Farro e Viotto (2003), a produção de leite bovino no país apresenta uma taxa anual de aumento de produção na faixa de 4%, onde cerca de 35% da produção é destinada à fabricação de queijos. O soro de queijo, um resíduo industrial, possui proteínas de alto valor

biológico, e, além disso, possui alto teor de lactose (4,5%) e sais minerais (0,6%) constituindo um substrato rico e de fácil obtenção para a produção de polissacarídeos.

#### **2.4. Processos fermentativos**

Os processos fermentativos podem ocorrer por meio de fermentação submersa ou semi-sólida. Os processos de fermentação em meio líquido submersos são aqueles em que o microrganismo produtor se desenvolve no interior do meio de fermentação, geralmente agitado. No caso de fermentações aeróbicas, Sampaio (2014) diz que o oxigênio necessário à população em desenvolvimento é suprido, na maioria dos casos, através de um compressor, por borbulhamento de ar. Já a fermentação em estado semi-sólido (FESS) pode ser definida com uma técnica de crescimento de microrganismos sobre e no interior de partículas porosas úmidas (suporte ou matriz sólida), onde, de acordo com Rosalam e England (2006), a quantidade de líquido contida nesta matriz deve ser mantido a um nível correspondente à atividade de água.

O Quadro 2 mostra um comparativo entre as vantagens e desvantagens entre a FESS e a fermentação submersa:

**Quadro 2** – Comparativos entre fermentação no estado sólido e fermentação submersa.

<b>FERMENTAÇÃO NO ESTADO SEMI-SÓLIDO</b>	<b>FERMENTAÇÃO SUBMERSA</b>
Meio de cultura não flui livremente	Meio de cultura sempre flui livremente
Profundidade do meio limitada	Profundidade do meio variável com o biorreator
Consumo limitado de água	Grandes quantidades de água consumida
Baixa capacidade de transferência de calor	Fácil controle de temperatura
Fácil aeração e grande área de contato ar/substrato	Aeração requer fluxo elevado
Substrato tampão	Fácil controle de pH
Necessidade de projetos para o <i>design</i> de novos equipamentos	Equipamentos industriais disponíveis
Risco de contaminação por fungos de crescimento lento	Risco de contaminação por uma única célula bacteriana
Baixo consumo de energia	Elevado consumo energético
Pequenos volumes e baixos custos de equipamentos	Grandes volumes e elevado custo de equipamento

Fonte: Rodrigues (2006)

Em relação ao modo de operação, a produção de GX podem ocorrer de forma descontínua ou contínua. No processo descontínuo, uma dada quantidade de meio de cultura é fermentada através de passos unitários, de forma que cada passo seja completado antes de se iniciar o próximo carregamento do reator. Por sua vez, um processo é dito contínuo quando a matéria-prima entra em um lado do sistema e o produto final sai do outro, continuamente.

Entre os processos fermentativos de produção de GX, destacam-se o processo descontínuo, descontínuo alimentado e

contínuo para fermentação submersa e o processo descontínuo para a fermentação semi-sólida.

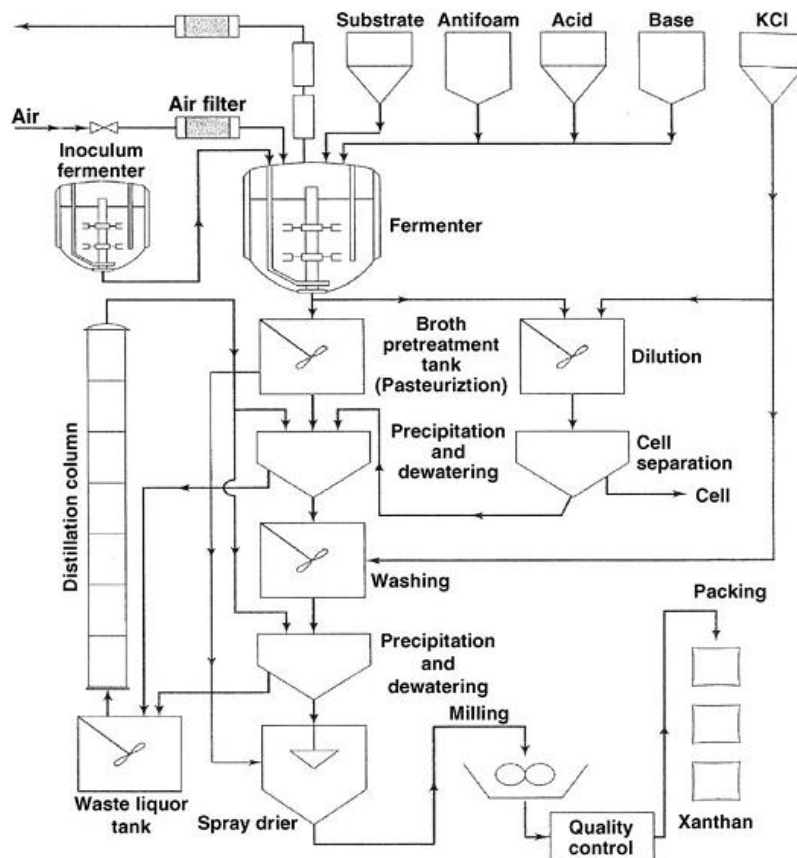
#### **2.4.1. Processo descontínuo para fermentação submersa**

Segundo Flores e Deckwer (1999), desde a metade do século XX a produção industrial de GX é feita por processo descontínuo, com duração média de 100h, utilizando a linhagem *Xanthomonas campestris* cultivada em reator de mistura em temperatura entre 28-30°C, pH neutro e aeração acima de 0,3 vvm. O preparo do

inoculo é cultivado em reatores de 10 litros até se chegar aos fermentadores (100 m<sup>3</sup>), e, com base nos autores, rendimentos de 50%

são típicos neste processo por batelada. A Figura 6 mostra um fluxograma geral do processo.

**Figura 6** – Fluxograma geral da produção de GX.



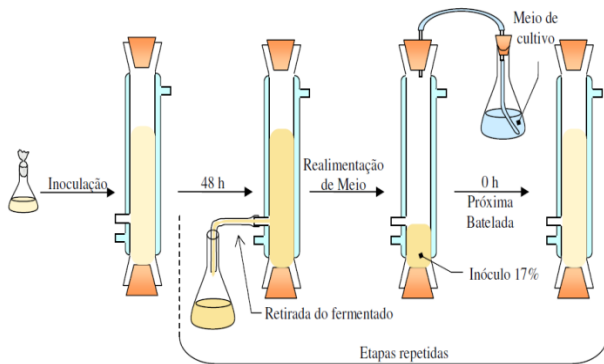
**Fonte:** Flores e Deckwer (1999)

Outras formas descontínuas de produção de GX foram desenvolvidas no decorrer dos anos a fim de otimizar o rendimento total do processo. Estudo de perfis de mistura em culturas microbianas altamente viscosas mostraram que o reator de

coluna de bolha exibe melhor homogeneidade que o reator de mistura. Nesse sentido, a viabilidade de produção de GX em reator de coluna de bolha foi avaliada por Vieira (2008) utilizando processo de batelada repetida (Figura 7).

**Figura 7** – Esquema dos ensaios de batelada repetida em reator de coluna de bolha

Fonte: Vieira (2008)



Foram utilizadas 2 linhagens de *Xanthomonas campestris*: ATCC 13951 e ATCC 55298 e meio de fermentação composto de 25 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 5 g L<sup>-1</sup> de fosfato de potássio dibásico, 0,2 g L<sup>-1</sup> de sulfato de magnésio heptahidratado, 2 g L<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, 2 g L<sup>-1</sup> de ácido cítrico, 0,006 g L<sup>-1</sup> de ácido bórico, 0,006 g L<sup>-1</sup> de óxido de zinco, 0,02 g L<sup>-1</sup> de cloreto de ferro hexahidratado e 0,02 g L<sup>-1</sup> de carbonato de cálcio. Ácido hipoclorito e hidróxido de sódio também foram utilizados para o ajuste do pH.

Vieira (2008) mostrou em seus ensaios de validação que ambas as linhagens apontaram que a concentração inicial de sacarose em 20 g L<sup>-1</sup>, temperatura de 31°C, pH neutro e aeração de 1,5 vvm maximizam o rendimento e a concentração final de GX. Todavia, a maior concentração de GX (11,1 ± 1,6 g.L<sup>-1</sup>) foi obtida pela linhagem ATCC 55298, com rendimento de 50,5 ± 11,7%. Segundo o autor, a redução do rendimento em GX com o tempo foi verificada com este tipo de reator, estando correlacionada a uma queda

simultânea do oxigênio dissolvido durante a síntese de GX.

#### 2.4.2. Processo descontínuo alimentado para fermentação submersa

De acordo com Oliveira (2009), Reis et al. (2010) e Menezes et al. (2012), a síntese do biopolímero pode ocorrer em variadas condições, no entanto a qualidade da goma produzida também muda. Embora a batelada simples seja comercialmente preferida, tendo poucos parâmetros a serem controlados e compreendidos, uma possível limitação deste processo é que o crescimento celular muda ao longo do “ciclo de crescimento” gerando condições adversas, tais como produtos tóxicos, pH extremo ou exaustão de nutrientes. Dessa forma, alguns trabalhos sugerem que a produção de GX por processo descontínuo alimentado pode resultar num desempenho melhor em concentração de goma, rendimento e produtividade quando comparado ao processo descontínuo.

O processo descontínuo alimentado baseia-se na alimentação de um nutriente limitante do crescimento microbiano para a cultura. Oliveira (2009) afirma que a estratégia é normalmente utilizada em bioprocessos industriais para o alcance de uma elevada densidade de células no fermentador, ou também para evitar a inibição por substrato. A solução de alimentação é altamente concentrada e a adição controlada do nutriente afeta diretamente a taxa de

crescimento da cultura.

Em pesquisas anteriores, Zhao et al. (1991) mostrou que 18 g L<sup>-1</sup> de GX puderam ser obtidas a partir de 24 g L<sup>-1</sup> de glicose em batelada simples por mais de 100 horas. Altas concentrações de goma (mais de 27 g L<sup>-1</sup>) foram obtidas usando adição de glicose em 2 passos (24 g L<sup>-1</sup> adicionados inicialmente seguido por 5 g L<sup>-1</sup> depois que a glicose caiu para 5 g L<sup>-1</sup>).

Visando aumentar ainda mais a eficiência do processo, Oliveira (2009) estudou diferentes alimentações para otimizar a produção de GX. Para a produção do biopolímero, o meio de fermentação utilizado continha 0,5% de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,02% de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,2% de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,2% de citrato de sódio, 0,002% de CaCO<sub>3</sub>, 0,0006% de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0,006% de ZnO, 0,00024% de FeCl<sub>3</sub> e diferentes dosagens de sacarose (2% ou 4%), dadas pela Tabela 1.

**Tabela 1** – Estratégias de alimentação de sacarose durante a fase de produção de goma xantana.

Tratamento	Condição	Sacarose ofertada ao longo da produção (% em 0h, 24h e 48h)	Sacarose total ofertada (%)
1	2% Batelada simples	2	2
2	4% Batelada simples	4	4
3	4% Batelada alimentada	2 + 1 + 1	4
4	4% Batelada alimentada	1 + 2 + 1	4

Fonte: Oliveira (2009)

De acordo com Oliveira (2009), a velocidade de agitação da turbina foi mantida em 500 rpm no início da fermentação, e, quando a concentração de oxigênio chegou a níveis críticos, a velocidade de agitação foi aumentada para 800 rpm. O nível de espuma foi controlado por sensor condutivo, utilizando-se o antiespumante industrial Aratrop.

Verificou-se que o processo de produção em batelada alimentada apresenta rendimentos estatisticamente iguais aos produzidos em batelada simples com mesma concentração de sacarose. Foi confirmado que

em incubadora com agitação orbital a qualidade de GX produzida a 25°C foram mais interessantes. Em fermentador (7,5 litros), a produção de GX a 30°C em meio contendo 2% de sacarose pode ter seu tempo reduzido sem que isso afete a viscosidade da goma obtida e, além disso, Oliveira (2009) observou que a concentração de gomz e o rendimento Y<sub>p/s</sub> foram superiores quando comparados às mesmas condições de fermentação em agitador orbital. A produtividade e concentração de GX obtidos estão entre os encontrados na literatura (0,34 g xantana.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> e 24 g L<sup>-1</sup>).

### 2.4.3. Processo contínuo para fermentação submersa

A maioria dos estudos envolvendo o processo de produção de GX utiliza reator de mistura e processo descontínuo. O uso de processo contínuo foi avaliado por alguns pesquisadores no intuito de aumentar a produtividade. Todavia, Rosalam e England (2006) explicam que, apesar da cultura contínua não possibilitar a ocorrência de condições extremas pelo fato do meio ser continuamente diluído e removido do vaso de reação, por outro lado, o processo contínuo pode ocasionar maiores problemas de contaminação, degradação da linhagem e mutação genética, comprometendo a produção de GX. Nesse sentido, no período de 2000 a 2015 não foram encontradas novas pesquisas acerca do processo contínuo para fermentação submersa.

### 2.4.4. Processo descontínuo para fermentação semi-sólida

Canuto (2006) desenvolveu um bioprocesso para a produção de goma xantana por fermentação no estado sólido (FES), a partir de resíduos e subprodutos agroindustriais. Este tipo de fermentação tem sido sugerido como uma alternativa adequada à fermentação submersa como maneira de prevenir problemas ligados ao aumento de viscosidade no meio durante a produção, uma vez que este fator gera custos muito mais onerosos de produção já que a agitação de um

meio mais viscoso requer muito mais energia, gerando assim um desgaste do equipamento quando comparado a um meio menos viscoso.

Em seus estudos, Canuto (2006) impregnou o bagaço de cana (suporte) com resíduos/subprodutos como substrato líquido em diferentes concentrações. Os mesmos foram também testados em sua forma *in natura* e também combinados com o bagaço de cana a fim de se determinar o melhor modelo de bioprocesso. O reator utilizado é dado pela Figura 7.

**Figura 8** – Fermentações realizadas em reator do tipo coluna de Raimbault.



Fonte: Canuto (2006)

Os efeitos mais satisfatórios foram obtidos utilizando a cepa de *Xanthomonas campestris* designada como LPB01, por meio dos substratos de farelo de soja e o bagaço de mandioca combinados com o bagaço de cana, na proporção de 1:1 (95,23 g/kg e 104 g/kg de goma na base seca, respectivamente), fixando-se o valor de umidade em 85% e taxa



de inoculação de 10% (v/v) em relação à fase líquida. O melhor resultado (218,23 g/kg de goma na base seca) foi alcançado com 90% de bagaço de mandioca e 10% de bagaço de cana, com taxa de inoculação de 10%. Este foi alcançado após 120 horas de fermentação. Canuto (2006) demonstrou que a produção de goma xantana por FES utilizando matérias-primas de baixo custo são uma alternativa viável à produção do biopolímero.

### 3. NOVAS PERSPECTIVAS

Os resultados apresentados mostram a viabilidade do bioprocesso em batelada para a produção de GX utilizando tanto a fermentação submersa quanto a fermentação em estado sólido. Dentre os principais pontos que ainda podem ser explorados, Canuto (2006), Vieira (2008), Oliveira (2009) e Sampaio (2014) destacam:

- I. Obtenção de linhagens mais eficientes na produção de GX com características requeridas pelo mercado, testando a influência de outras concentrações e idade do inóculo;
- II. Utilização de outros materiais alternativos como fonte de carbono, dando preferência aos resíduos agroindustriais, tais como: farelo de trigo, farelo de arroz, entre outros;
- III. Testar a influência de diferentes sais na

produção e recuperação da GX;

- IV. Estudos de diferentes valores de umidade inicial para fermentação no estado sólido a fim de se verificar sua influência sobre a produção da GX;
- V. Testar novas condições operacionais, como a aplicação de um aumento gradual de temperatura para favorecer a formação de biomassa;
- VI. Testar outros tipos de reatores, tanto para a fermentação submersa quanto para a fermentação no estado sólido, a fim de se otimizar o processo.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a área de processos fermentativos tenha avançado muito nos últimos anos, é fato reconhecido que poucos microrganismos foram estudados dentre a vasta gama de microrganismos produtores de biopolímeros, especialmente a goma xantana. Não foram encontradas na literatura publicações de novos gêneros de bactérias para a produção da goma, sendo as últimas pesquisas realizadas em 2014. Todavia, é necessário que haja uma seleção contínua de microrganismos que produzam polissacarídeos em grande quantidade e economicamente interessantes.

Em relação às matérias primas para a produção de meios fermentativos, os resíduos

agroindustriais apresentaram alto potencial de utilização, sendo o resíduo do suco de maçã e o soro de queijo os subprodutos que proporcionaram as maiores produções de goma xantana. Isto se deve principalmente ao fato da maior concentração de sacarose/glicose disponível nestes substratos.

Sobre a produção, os processos descontínuos obtiveram maior destaque frente os processos contínuos tanto para a fermentação submersa quanto para a fermentação semi-sólida devido aos seus menores índices de contaminação e maior facilidade de controle do processo biológico.

Nesse sentido, o desenvolvimento de pesquisas em otimização de processos descontínuos juntamente com a utilização de substratos alternativos, além de poder auxiliar a produção de goma xantana no país, ajuda também a eliminar os problemas ambientais como o descarte de efluentes, permitindo a valorização econômica destes resíduos assim como a promoção do suprimento brasileiro da demanda de goma xantana.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALICE. **Sistema de Análise das Informações do Comércio Exterior**. 2010.
- ASSIS, S. A.; VALASQUES JR, G. L.; SANTIAGO, M. A. Obtenção de proteases e polissacarídeos de interesse industrial a partir de fungos isolados do semiárido nordestino. 4p. **Universidade Estadual de Feira de Santana**, 2010.
- BORGES, C. D.; VENDRUSCOLO, C. T. Goma xantana: características e condições operacionais de produção. v. 26, n. 2, p.171-188. **Semina: Ciências biológicas e da saúde**. Londrina: PR, 2008.
- BRANDÃO, L. V.; NERY, T. B. R.; DRUZIAN, J. I. **Produção de polissacarídeo tipo goma xantana por *Xanthomonas* em meio fermentativo com glicerol ou glicerina**. BR n. PI 0705950-7, 2009.
- BRANDÃO, L. V.; ESPIRIDIANO, M. C. A.; DRUZIAN, J. I. Utilização do soro de mandioca como substrato fermentativo para a biossíntese de goma xantana: viscosidade aparente e produção. **Polímeros (São Carlos. Impreso)**, v.20, p.175-180, 2010.
- CANUTO, A. P. **Desenvolvimento de bioprocessos para a produção de goma xantana por fermentação no estado sólido a partir de resíduos e subprodutos agroindustriais**. 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.
- DINIZ, D. M.; DRUZIAN, J. I.; AUDIBERT, S. Produção de goma xantana por cepas nativas de *Xanthomonas campestris* a partir de casca de cacau ou soro de leite. **Polímeros (São Carlos. Impreso)**, v.1, 2012.
- DRUZIAN, J. I.; PAGLIARINI, A. P. Produção de goma xantana por fermentação do resíduo do suco de maçã. 27(1): 26-31. **Ciência e tecnologia de alimentos**. Campinas, SP, 2007.
- ERNANDES, F. M. P. G.; GARCIA-CRUZ, C. H. Levana bacteriana: aspectos tecnológicos, características e produção. v.26. n.1. p. 71-82. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina: PR, 2005.
- FARRO, A. P. C.; VIOTTO, L. A. Redução do teor de gordura do soro de queijo pré-tratado por ultrafiltração. **4º Congresso ibero-americano em ciência e tecnologia de**

**membranas. CITEM.** Florianópolis, SC, 2003.

FERREIRA, C. B. **Caracterização fenotípica e funcional de mutantes da bactéria fitopatogênica *Xanthomonas citri*.** 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal. Jaboticabal, SP, 2009.

FLORES, J. L. C.; DECKWER, W. Xanthan gum. In.: **The Encyclopedia of Bioprocess Technology: Fermentation, Biocatalysis em Bioseparation.** v 5, p. 2695-2711, 1999.

FORNARI, R. C. G. **Aproveitamento de soro de queijo para a produção de goma xantana.** 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Agrárias. Uri: Campos Erechim, 2006.

GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASAS, J. A.; GÓMES, E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. **Biotechnology Advances.** v 18, p.549-579, 2000.

GOMES, G. V. P. **Otimização da conversão de biomassa de levedura e casca de coco a goma xantana usando a metodologia de superfície de resposta.** 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2008.

GROXKO, M. **Análise da conjuntura agropecuária: Safra 2011/2012 Mandiocultura.** Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, Paraná, 2011.

LIMA, U. A.; AQUARONI, E.; BORZANI, W.; SCMIDELL, W. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos.** São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, v 3, p.125-154, 2001.

LUVIELMO. M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. **Estudos**

**tecnológicos,** ISSN 1808-7310. v.5. n.1. p.50-67, 2009.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de política agrícola. **Cenário da cadeia produtiva da maçã.** Informativo n°54, v.54, 2013.

MENEZES, J. D. S.; DRUZIAN, J. I.; PADILHA, F. F.; SOUZA, R. R. Produção biotecnológica de goma xantana em alguns resíduos agroindustriais, caracterização e aplicações. v(8), n 8, p. 1761-1776. **Revista Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** UFSM, 2012.

MESOMO, M. C. **Produção de goma xantana em biorreator utilizando meio à base de soro de queijo.** 2007. p.20-40. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), URI, Erechim, RS, 2007.

MESOMO, M. C.; SILVA, M. F.; BONI, G.; PADILHA, F. F.; MAZUTTI, M.; MOSSI, A.; OLIVEIRA, D.; CANSIAN, R. L.; LUCCIO, M. D.; TREICHEL, H. Xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* from cheese whey: production, optimisation and rheological characterization. **Journal of the science of food and agriculture,** n.89, p.2440-2445, 2009.

NERY, T.B.; BRANDÃO, L. V.; ESPIRIDIANO, M. C. A.; DRUZIAN, J. I. Biossíntese de goma xantana a partir da fermentação do soro de leite: rendimento e viscosidade. **Química Nova,** v.31, n.8, p. 1937-1941, 2008.

NITSCHKE, M.; RODRIGUES, V.; SCHINATTO, L. F. Formulação de meios de cultivo à base de soro de leite para a produção de goma xantana por *X. campestris*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** v 21, n 1, p. 83-85, 2001.

OLIVEIRA, K. S. M. **Diferentes parâmetros de produção e extração de goma xantana pela fermentação de *Xanthomonas campestris* pv *campestris*.** 2009. p.40-62.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2009.

PARAÍSO, P. R. **Modelagem e análise do processo de obtenção do óleo de soja.** 2001. 200 p. Tese (Doutorado). Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP, 2001.

PELIZER, H. L.; PONTIERI, H. M.; MORAES, O. I. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation.** v 2, 2007.

REIS, E. C. A.; ALMEIDA, M.; CARDOSO, J. C.; PEREIRA, M. A.; OLIVEIRA, C. B. Z.; VENCESLAU, E.; DRUZIAN, J. I.; MARIANO, R. L. R.; PADILHA, F. F. Biopolymer synthesized by strains of *Xanthomonas* sp isolate from Brazil using biodiesel – waste. **Macromolecular Symposia.** v 296, p.347-356, 2010.

RODRIGUES, C. **Desenvolvimento de um bioprocesso para a produção de ácido cítrico por fermentação no estado sólido utilizando polpa cítrica.** 2006. 100 p. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos). UFPR, Curitiba, PR, 2006.

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.

SAMPAIO, M. G. V. **Produção e caracterização de um polissacarídeo bacteriano com vistas a seu potencial biotecnológico.** 2014. p.10-50. Dissertação (Mestrado - Biotecnologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2014.

SCAMPARINI, A. R. P.; VENDRUSCULO, C.; MALDONADE, I.; DRUZIAN, J. I.; MARIUZO, D. In: Nishinari, K. **New biopolymers produced by nitrogen fixing microorganism for use in foods. Hydrocolloids: Part 1. Physical Chemistry**

**Industrial Application of gels polysaccharides, and proteins.** p. 169-178. Osaka, Japan: Osaka City University [s. n], 2000.

SILVA, M. F.; FORNARI, R. C. G.; MAZUTTI, M. A.; OLIVEIRA, D.; PADILHA, F. F.; CICHOSKI, A. J.; CANSIAN, R. L.; DILUCIO, M.; TREICHEL, H. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. **Journal of Food Engineering.** v. 90, p.119-124, 2009.

SOUZA, D. M. **Estudo de parâmetros de fermentação na produção de biopolímeros por bactérias isoladas do solo e caracterização química dos grupamentos acetila e piruvato nos biopolímeros obtidos.** 2005. p.2-35. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP, 2005.

STREDANSKY, M.; CONTI, E.; NAVARINI, L.; BERTOCCHI, C. Production of bacterial exopolysaccharides by solid substrate fermentation. **Process Biochemistry.** v 34, n 1, p.11-16, 1999.

SUTHERLAND, I. W. Polysaccharases for microbial exopolysaccharides. **Carbohydrate Polymers.** v 8, n 4, p. 319-328, 1999.

THEODORO, G. F.; MARINGONI, A. C. Sobrevivência de *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* em maniveira sob condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v 37, n 7, 2002.

VANDAME, E. J.; BRUGGEMAN, G.; BAETS, S.; VANHOOREN, P.T. Useful polymers of microbial origin. **Agro Food Industry Hi-Tech.** v 7, n 5, p.21-25, 1996.

VIEIRA, E. D. **Produção de goma xantana em reator de coluna de bolha utilizando processo de batelada repetida.** 2008. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

YANG, T. C.; WU, G. H.; TSENG, Y. H.;  
Isolation of a *Xanthomonas campestris* strain  
with elevated beta-galactosidase activity for  
direct use of lactose in xanthan gum  
production. **Letters in Applied Microbiology.**  
v 35, n 5, p375-379, 2002.

ZHAO, X.; NIENOW, A. W.; CHATWIN, S.;  
KENT, C. A.; GALINDO, E. Improving  
xanthan fermentation performance by  
changing agitators. In.: **Proceedings of the**

**7<sup>th</sup> European Conference on Mixing,**  
Brugge, Belgium, p. 277-283, 1991.