



## Produção de goma xantana por *X. Campestris* ATCC 13951 utilizando soro de queijo desproteinado

## Xanthan gum production by *X. Campestris* ATCC 13951 using deproteinized cheese whey

## Producción de goma xantana por *X. Campestris* ATCC 13951 utilizando suero de queso desproteinado

Jenny Sobenes G.\*; Ranulfo M. Alegre

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Cidade Universitaria “Zeferino Vaz”, Rua Monteiro Lobato, 80, Zip Codigo:13083-862, Campinas, SP, Brasil.

\*jennysobenes@gmail.com

Fecha Recepción: 07 de diciembre de 2014

Fecha Aceptación: 22 de junio de 2015

### Resumo

A goma xantana é um biopolímero microbiano produzido pela bactéria *Xanthomonas*. O presente trabalho teve como objetivo estudar a produção de goma xantana por processo fermentativo utilizando a linhagem *X. campestris* ATCC 13951 e como fonte de carbono: soro de queijo desproteinado suplementado com extrato de levedura e sulfato de amônia como fontes de nitrogênio; soro de queijo desproteinado suplementado só com extrato de levedura como fonte de nitrogênio e só soro de queijo desproteinado sem suplementos, tempo de fermentação de 72h para os três meios. Dos meios em análise aquele constituído apenas por soro de queijo desproteinado, atingiu o maior rendimento com valor de 58% e a melhor qualidade de goma.

**Palabras clave:** goma xantana, soro de leite, *xanthomonas campestris*.

### Abstract

Xanthan gum is a biopolymer produced by bacteria from the generous *Xanthomonas*. The objective of this work was to study the xanthan gum production using the *X. campestris* ATCC 13951 and deproteinized cheese whey, deproteinized cheese whey supplemented with yeast extract and deproteinized cheese whey supplemente with yeast extract and ammonium sulphate as nitrogen source during 72 hours of fermentation. The best result was found when the medium was not supplemented, reaching yield of 58% and good quality of the gum.

**Keywords:** xanthan gum, milk whey, *xanthomonas campestris*.

### Resumen

La goma xantana es un biopolímero microbiano producido por la bacteria *Xanthomonas*. El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la producción de goma xantana por proceso fermentativo utilizando linaje *X. campestris* ATCC 13951 y como fuente de carbono: suero de queso desproteinado adicionado de extracto de levadura y sulfato de amonio como fuentes de nitrógeno; suero de queso desproteinado adicionado solo con extracto de levadura como fuente de nitrógeno y como tercer medio el propio suero de queso desproteinado; tiempo de fermentación de 72h para los tres medios. De los medios

avaliados aquele constituído unicamente por el propio suero de queso desproteinizado, alcanzó el mayor rendimiento con un valor de 58% y la mejor calidad de goma.

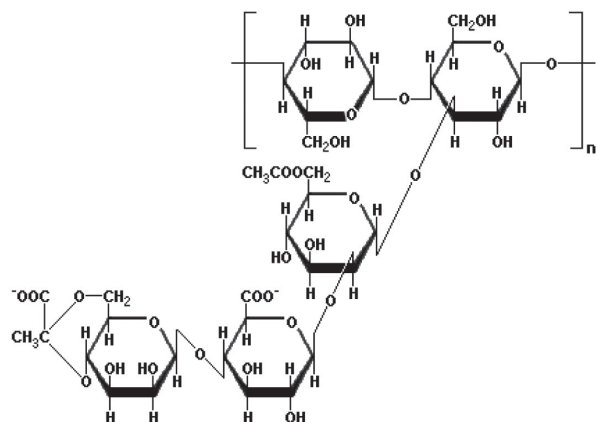
**Palabras-chave:** goma xantana, suero de leche, *xanthomonas campestris*.

## Introdução

Os biopolímeros são macromoléculas formadas por monossacarídeos e derivados ácidos, podendo ser sintetizados por bactérias, fungos e leveduras e devido as suas características reológicas, encontram ampla aplicabilidade em processos industriais.

A goma xantana é um biopolímero produzido em processos fermentativos por micro-organismos do gênero *Xanthomonas* espécie *X. campestris*, sua estrutura consiste em uma cadeia principal de (1,4)  $\beta$ -D-glicose com estrutura muito parecida a da celulose [13].

A esta cadeia principal de glucano, correntes laterais de trissacarídeos estão ligados alternadamente, através de O-3 (D-glicose da cadeia principal) ao C1 do primeiro resíduo  $\beta$ -d-manose. Um grupo de piruvato está ligado às posições 4 e 6 desta unidade de manose terminal, a presença de ácido pirúvico representa aproximadamente 60% da molécula, conferindo a goma muitas das suas propriedades únicas de viscosidade, extraordinária resistência a hidrólise e propriedades de uniformidade física e química. A presença da cadeia lateral na estrutura deste polissacarídeo permite a completa hidratação dele em água [4,6].



**Figura 1.** Estrutura química da Goma Xantana  
Fonte: Nussinovitch A. [6]. (Reproduzida com autorização da NutraSweet Kelco Co.)

Aproximadamente 50000Ton de goma xantana são produzidas anualmente das quais aproximadamente 40% é utilizado pela indústria de alimentos como estabilizante pelas diversas características e vantagens reológicas que apresenta [6,17], ganhando quase um quarto do mercado Norte Americano [10,16].

Na atualidade a xantana é um dos biopolímeros de maior produção comercial, seus custos de produção são conduzidos pelo rendimento do polímero em relação a quantidade de fonte de carbono necessário, bem como por exigências de processamento [9,10,16,18].

Estudos de otimização do rendimento e produtividade dos processos fermentativos para produção deste polissacarídeo representam na atualidade um constante desafio.

Geralmente a produção de goma xantana é maior quando as bactérias se desenvolvem num meio simples constituído de glicose, sais, fontes de nitrogênio, e melhorada com a adição de pequenas quantidades de ácidos orgânicos [2,15]. Mas atualmente a produção da goma xantana em escala industrial, tenta utilizar fontes de carbono alternativas visto que o uso de glicose e sacarose fazem com que o custo de produção seja elevado. O soro de leite é um dos meios alternativos que apresenta resultados satisfatórios na produção deste polissacarídeo, uma vez que contém elevada quantidade de lactose e quantidades adequadas de nitrogênio, entre outros fatores propícios para produção de goma xantana por processo fermentativo com *X. campestris*.

O presente trabalho teve como objetivos estudar o processo de produção de goma xantana por linhagem *X. campestris* ATCC 13951, utilizando soro de queijo desproteinado como meio de cultivo, estudando o efeito da concentração de lactose, extrato de levedura e sulfato de amônio na produção de goma xantana.

## Parte experimental

### Micro-organismo

O microorganismo utilizado foi a linhagem de *X. campestris* ATCC 13951, obtida da Coleção de

Culturas da Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia André Tosello, Campinas – São Paulo.

#### Meio para manutenção do micro-organismo

Para o processo de repicagem foi utilizado meio Agar Nutriente do qual após diluição foram adicionados 10 mL em tubos, os quais foram esterilizados (121°C/15min). Os tubos inoculados posteriormente em meio aséptico com o micro-organismo *X. campestris* ATCC 13951 foram mantidos em estufa por 72h, a temperatura de 30°C e conservados posteriormente em refrigeração a 4°C.

#### Inóculo

No preparo do inóculo, frascos de Erlenmeyer de 500mL contendo 100mL de meio previamente

esterilizados (121°C/15min) foram inoculados com alça de cultura do micro-organismo em meio semi sólido e incubados em condições de 29°C/180rpm/24h.

#### Meio de cultura e reagentes

O meio de cultura utilizado foi soro de queijo, este foi adquirido em pó da empresa Alibra cuja composição é mostrada na Tabela 1, foi reconstituído a diferentes concentrações, e acrescentado de extrato de levedura e sulfato de amônio como fontes de nitrogênio.

O soro a ser utilizado foi desproteinado (pH 4,3 a 93°C) e hidrolisado, acrescentado de extrato de levedura - 3g/L, (NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub> - 1,5g/L, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (20g/L), MgSO<sub>4</sub> (6g/L), ZnSO<sub>4</sub> (2g/L) pH corrigido a 7,0 com NaOH 2N.

**Tabela 1.** Composição do meio de cultura utilizado.

Meio de cultura	
Soro de Queijo	Valores médios
Aspecto	Pó uniforme sem grumos
Cor	Branco a amarelado
Sabor	Sabor lácteo, levemente salgado
Umidade (%)	Máx. 3,0
Gordura (%)	Máx. 1,5
Proteínas (%)	Min. 10
Acidez (% Ác. Láctico)	Máx. 2,5
pH (solução 10%)	6,0 a 7,0
Teor de cinzas (%)	Máx. 8,0
Bolores e leveduras	< 50
Contagem de mesófilos (UFC/g)	< 50000
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	< 100
Coliformes totais (UFC/g)	< 10
Coliformes Termotolerantes (UFC/g)	< 10
<i>Salmonella</i> SP	Ausente em 25g

Fonte: Alibra 2012.

#### Produção de goma xantana

Frascos de Erlenmeyer de 500mL contendo 90mL de meio foram hidrolisados, inoculados com 10mL do pré-inóculo, pH do meio corrigido a pH 7. A fermentação dos frascos foi feita em Shaker (TECNAL mod TE 421) 29°C/180rpm/72h.

Do meio de fermentação foram retirados 20mL de amostra a cada 24h para determinação de pH, produção de goma xantana, produção de biomassa e lactose consumida.

#### Otimização da produção de goma xantana através de Delineamento central composicional rotacional (DCCR)

Para o estudo da influência das variáveis foi utilizado um planejamento experimental 23 completo, com tres pontos centrais (nível 0) e seis pontos axiais (níveis ± a) totalizando 17 ensaios, onde as variáveis independentes foram: concentração de lactose, concentração de extrato de levedura e concentração de sulfato de amônio.

As respostas estudadas foram: goma xantana produzida (g/L), produção de biomassa (g/L) e lactose consumida (g/L). Para comprovar o melhor resultado obtido do planejamento, foram feitos

ensaios com três repetições.

A Tabela 2 apresenta os valores utilizados para cada uma das variáveis no planejamento.

**Tabela 2.** Valores utilizados no DCCR para três fatores.

Variáveis (g/L)	Código	-1,68	-1	0	1	1,68
Lactose	X <sub>1</sub>	44,00	62,00	89,00	116,00	133,00
Ext. Levedura	X <sub>2</sub>	3,00	3,81	5,00	6,19	7,00
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>	0,625	1,00	1,50	2,00	2,375

### Recuperação da goma xantana do meio fermentado

A goma produzida foi precipitada com etanol 99,5°GL [3], a massa celular foi separada por centrifugação 6.000rpm (2.300g) e a secagem foi feita em estufa a vácuo a 110mmHg e 60°C, até peso constante.

### Resultados e Discussão

#### Produção de goma xantana através de Delineamento composto central rotacional em meio constituído de soro de queijo desproteinado, extrato de levedura e sulfato de amônio

Na Tabela 3 são mostrados os resultados de produção de goma após 72h de fermentação,

utilizando sulfato de amônio como fonte adicional de nitrogênio, assim também os resultados de produção de biomassa, os valores de lactose consumida e os valores de pH.

Em uma análise geral dos dados da Tabela 3 em quanto a produção de goma após 72h, observa-se que para aqueles ensaios com baixas concentração das fontes de nitrogênio (sulfato de amônio e extrato de levedura) obteve-se maiores valores de produção de goma, ao redor de 18±1 (g/L). A goma obtida nestes ensaios apresentou ademais maior textura, foi mais consistente e muito, mas elástica.

Segundo Souw e Demain [14] quando o carbono e o fósforo são nutrientes limitantes, a produção de goma xantana aumenta.

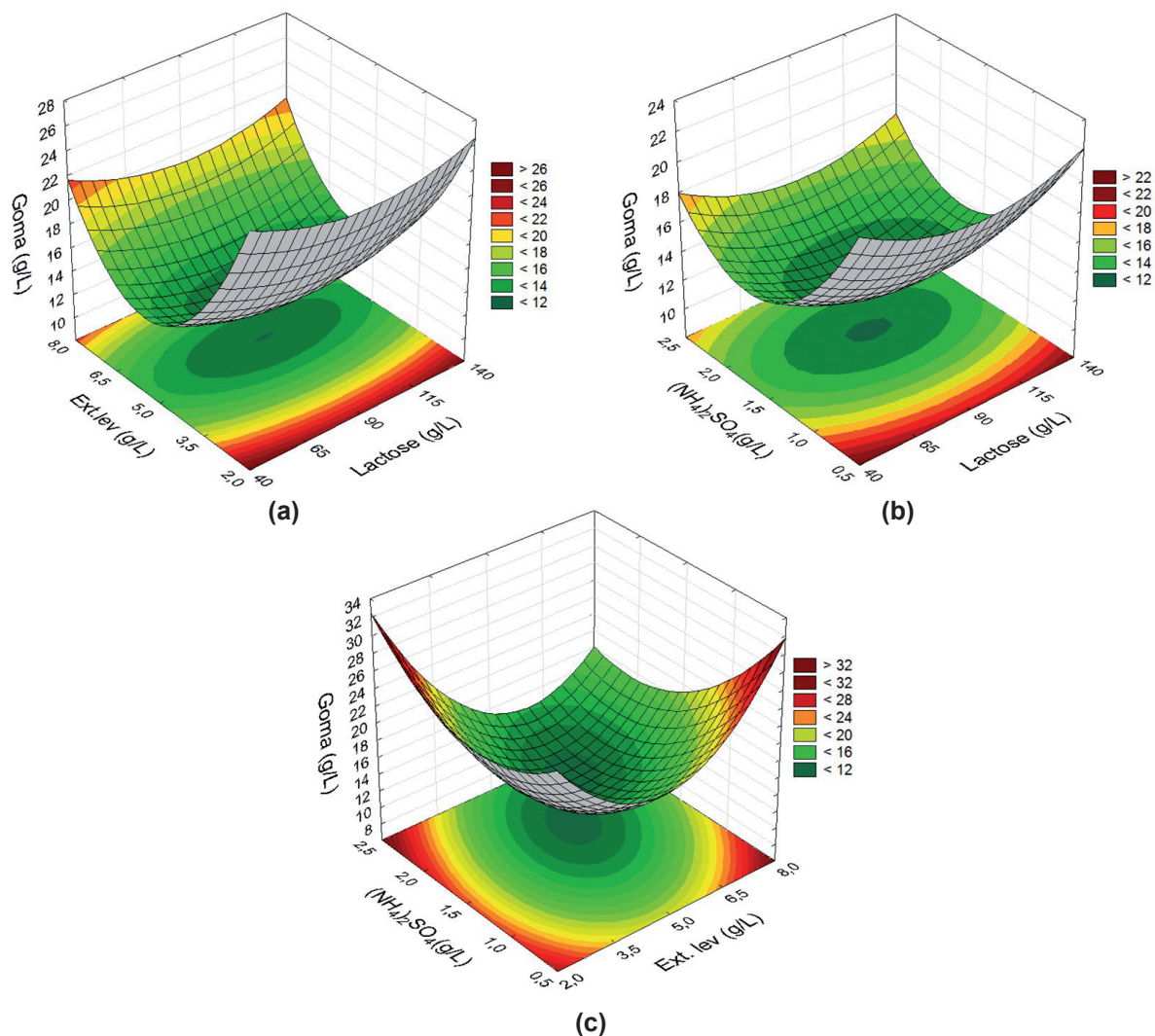
**Tabela 3.** Produção de goma xantana por *X. campestris* utilizando soro de queijo desproteinado suplementado com sulfato de amônio; biomassa produzida e lactose consumida (g/L).

Ensaio	Lactose (g/L)	Ext. Lev. (g/L)	Meio com Sulfato de Amônio 72h*				
			Sulfato (g/L)	Goma (g/L)	Biomassa (g/L)	Lact. consumida (g/L)	pH
1	62	3,81	1,00	17,580	5,260	47,759	6,49
2	116	3,81	1,00	18,480	6,100	73,166	7,35
3	62	6,19	1,00	18,240	5,060	47,591	6,53
4	116	6,19	1,00	18,000	7,860	71,652	7,28
5	62	3,81	2,00	17,700	2,420	51,460	6,69
6	116	3,81	2,00	17,220	7,220	68,400	7,25
7	62	6,19	2,00	13,800	6,400	47,012	6,94
8	116	6,19	2,00	13,980	7,700	65,653	7,27
9	44	5,00	1,50	13,680	4,260	40,150	6,20
10	133	5,00	1,50	11,340	7,680	78,280	7,36
11	89	3,00	1,50	17,640	5,600	59,846	6,73
12	89	7,00	1,5	12,720	8,920	50,819	7,29
13	89	5,00	0,625	17,700	6,200	62,986	6,83
14	89	5,00	2,38	12,900	8,080	53,454	7,22
15	89	5,00	1,50	12,360	7,740	49,754	7,28
16	89	5,00	1,50	12,480	8,000	53,286	7,28
17	89	5,00	1,50	12,240	7,580	52,838	7,24

\*Tempo de fermentação.

Após análise estatística do planejamento experimental (DCCR), e segundo o observado na Figura 2 das superfícies de resposta, observase que para os três componentes do meio de cultura pode-

se utilizar concentrações mínimas ou máximas para obter boa produção de goma xantana, pelo qual optou-se por utilizar baixas concentrações a fim de reduzir custos de processamento.



**Figura 2.** Superfícies de resposta para produção de goma xantana (g/L) em função da concentração de lactose e de extrato de levedura (a), da concentração de lactose e de sulfato de amônio (b) e da concentração de extrato de levedura e de sulfato de amônio (c).

Considerou-se então que a melhor composição do meio para produção de goma, seria o ensaio denominado apartir de agora como A, com as concentrações mais baixas de lactose e extrato de levedura e concentração intermediária das fontes de nitrogênio (44,3 e 1,5g/L). Alguns artigos sobre produção de goma xantana coincidem em sinalar uso de concentrações de entre 40 – 43g/Kg para a fonte de carbono [1,2,11].

Foram feitas análises da produção de goma xantana, biomassa e lactose consumida a cada

24h como mostrado na Tabela 4.

Após 72h de fermentação, a produção de goma no meio com sulfato de amônio apresentou valor de 20,28g/L, rendimento de 50% e produtividade de 0,28gL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>.

A concentração da fonte de carbono afeta a eficiência da conversão em polissacarídeos, sendo relatado na literatura que concentrações entre 1 – 5%, dão o melhor rendimento, enquanto que em concentrações mais altas, o rendimento do produto decresce [8].



**Tabela 4.** Concentração de goma xantana, concentração de biomassa e lactose consumida (g/L) em meio constituído por soro desproteínado, extrato de levedura e sulfato de amônio.

Tempo (h)	Meio: Soro, Extrato de Levedura e Sulfato de amônio		
	Goma (g/L)	Biomassa (g/L)	Lact. Consumida (g/L)
24	5,22	2,60	15,66
48	13,44	4,36	29,86
72	20,28	2,64	40,47

#### Produção de goma xantana excluindo do meio de cultivo as fontes adicionais de nitrogênio

Baseados nos resultados dos ensaios anteriores onde se obteve boa produção de goma, a baixas concentrações das fontes de nitrogênio, foram realizados testes com meios não suplementados com sulfato de amônio nem extrato de levedura.

A Tabela 5, mostra os resultados de produção de goma xantana, produção de biomassa, assim como os valores de lactose consumida e lactose

remanescente após 72h de fermentação para o meio contendo soro desproteínado suplementado com extrato de levedura. Os ensaios 4 e 5 tiveram os maiores resultados de produção de goma, com 23,28g/L, rendimentos de 29% e 27%, respectivamente, e produtividade de 0,32gL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, no entanto, a quantidade de lactose remanescente no meio foi bastante alto. O ensaio 1 pela sua vez, reportou produção de goma de 18,72g/L, rendimento de 46% e elevado consumo de lactose no meio, o qual deixa um resíduo menos poluidor.

**Tabela 5.** Produção de goma, produção de biomassa e lactose consumida (g/L) por *X. campestris* utilizando como meio soro desproteínado suplementado com extrato de levedura.

Ensaio	Lact. (g/L)	Ext. Lev. (g/L)	72h*			
			Goma (g/L)	Biom. (g/L)	Lact. Cons. (g/L)	Lact. Rem. (g/L)
1	44	3	18,72	0,30	40,36	3,64
2	62	3	18,84	0,72	49,96	12,04
3	89	3	22,56	1,68	62,80	26,20
4	116	3	23,28	3,60	80,50	35,50
5	133	3	23,28	5,70	86,21	46,79

\*Tempo de fermentação.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos utilizando meio constituído apenas por soro de queijo desproteínado, observa-se que independente da concentração de lactose utilizada para produção de goma, foram obtidas cerca de 20g/L após 72h de fermentação valor próximo aos obtidos nos meios suplementados (Tabela 4). A produtividade obtida foi de 0,27gL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Em termos de rendimento o ensaio 1 obteve maior valor 58%. Pode-se concluir

que a suplementação do soro é desnecessária, não havendo também a necessidade de concentrar o soro, uma vez que em concentrações altas de lactose não se obteve maiores produções de goma e a lactose remanescente no meio também é alta. Assim, a utilização de baixa concentração de lactose, além dos benefícios econômicos, traz também o benefício ao meio ambiente, visto ser o efluente menos poluidor.

**Tabela 6.** Produção de goma, produção de biomassa e lactose consumida (g/L) por *X. campestris* meio constituído apenas por soro de queijo desproteinado.

Ensaio	Lact. (g/L)	72h*			
		Goma (g/L)	Biomass. (g/L)	Lact. Cons. (g/L)	Lact. Rem. (g/L)
1	44	19,68	0,18	33,89	10,11
2	62	19,80	0,18	47,10	14,90
3	89	19,68	0,66	61,61	27,39
4	116	19,68	1,86	80,80	35,20
5	133	19,44	3,78	86,46	46,54

\*Tempo de fermentação.

A Tabela 7 resume os resultados de produção de goma, produção de biomassa e lactose consumida, obtidos nos ensaios A (soro de queijo desproteinado suplementado com extrato de levedura e sulfato de amônio), B (soro de queijo desproteinado suplementado com extrato de levedura) e C (soro de queijo desproteinado sem suplementação), a produção de goma em 72h de fermentação para cada ensaio foi de 20,28g/L, 18,72g/L e 19,68g/L respectivamente, com produtividades de 0,28g<sup>L</sup>-<sup>1</sup>h<sup>-1</sup>, 0,26g<sup>L</sup>-<sup>1</sup>h<sup>-1</sup> e 0,27g<sup>L</sup>-<sup>1</sup>h<sup>-1</sup>.

A concentração do ensaio A foi superior em 1,56g/L à obtida no ensaio B após 72h, sendo este o melhor resultado obtido, o que não se esperava

visto que o meio A teve suplementação de fontes de nitrogênio. Baixo teor de nitrogênio no meio é favorável na produção de polissacarídeos [7].

Nos ensaios B e C a produção de biomassa foi muito baixa mesmo nas diluições feitas no meio. Enquanto ao consumo de lactose o ensaio C apresentou o menor valor após 72h, mas a produção de goma teve o maior rendimento atingindo valor de 58%, sendo o maior rendimento de entre os três ensaios em análise. Este mesmo ensaio após 48h de fermentação, já tinha produzido cerca de 3g/L de goma mais que os outros, como pode-se observar na Tabela 7 e na Figura 3, e além disso apresentou boa qualidade de goma com rendimento de 55%.

**Tabela 7.** Produção de goma, produção de biomassa e lactose consumida (g/L) por *X. campestris* em soro de queijo desproteinado suplementado com extrato de levedura e sulfato de amônio, soro de queijo desproteinado suplementado com extrato de levedura e soro de queijo desproteinado sem suplementação.

Ensaio	24h			48h			72h		
	Goma (g/L)	Biomass. (g/L)	Lact. Cons. (g/L)	Goma (g/L)	Biomass. (g/L)	Lact. Cons. (g/L)	Goma (g/L)	Biomass. (g/L)	Lact. Cons. (g/L)
A	5,22	2,60	15,66	13,44	4,36	29,86	20,28	2,64	40,47
B	4,20	0,78	14,99	14,04	0,90	30,03	18,72	0,30	40,36
C	6,48	0,48	16,66	17,88	0,96	32,66	19,68	0,18	33,89

Ensaio A = soro desproteinado (lactose 44g/L), extrato de levedura (3g/L) e sulfato de amônio (1,5g/L);

Ensaio B = soro desproteinado (lactose 44g/L) e extrato de levedura (3g/L);

Ensaio C = soro desproteinado (lactose 44g/L).

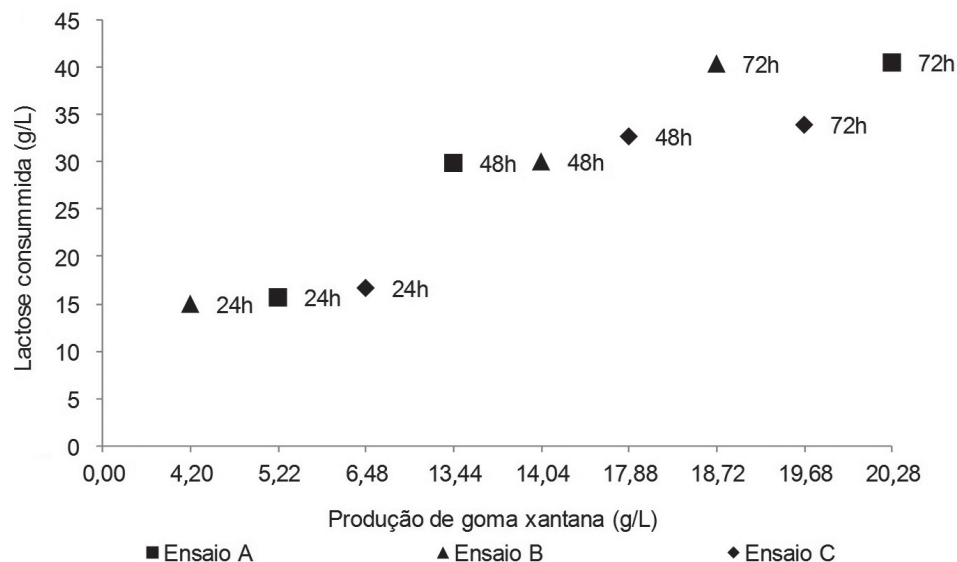
A Figura 4 relaciona a produção de goma xantana com o tempo de fermentação, mostrando que para os três ensaios em análise, não houve grandes diferenças na produção da goma após 72h de fermentação.

No ensaio A a produção de goma em 48h de fermentação atingiu 90% da concentração atingida em 72h e ao redor de 3,5g/L a mais de goma que nos outros ensaios, mas mesmo assim, não foi

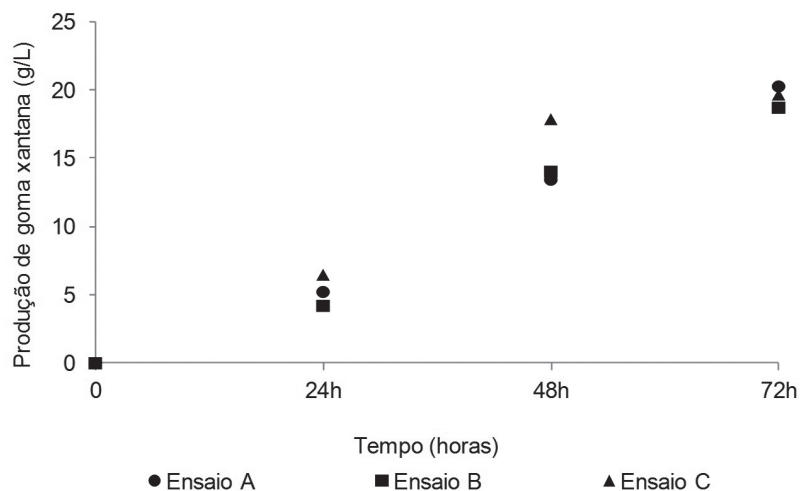
o melhor meio em termos de custos pois ele foi suplementado com fontes adicionais de nitrogênio. O ensaio C não teve suplementação nenhuma e mesmo assim em 48h de fermentação foram obtidos bons resultados, após 72h este ensaio atingiu produção de goma de 19,68 (g/L) o maior rendimento com 58% e produtividade de 0,27g<sup>L</sup>-<sup>1</sup>h<sup>-1</sup>, além de boa qualidade de goma. Nitschke *et al.* [5]; no seu estudo utilizando soro de leite para produção de

biopolímeros pela cepa *Xanthomonas campestris* C<sub>7</sub>L obteve produção de 14,70g/L de goma xantana a 200rpm/28°C/72h; entanto que Silva e

Treichel [12], obtiveram produção de 25,40g/L de goma xantana pela cepa *Xanthomonas campestris* 1230, a 180rpm/28°C/72h.



**Figura 3.** Lactose consumida (g/L) vs Produção de goma xantana (g/L) nos meios soro desproteinado suplementado com extrato de levedura e sulfato de amônio (A); soro desproteinado suplementado com extrato de levedura (B) e soro desproteinado (C).



**Figura 4.** Produção de goma xantana por *X. campestris* nos meios soro desproteinado suplementado com extrato de levedura e sulfato de amônio (A); soro desproteinado suplementado com extrato de levedura (B) e soro desproteinado (C).



## Conclusões

A produção de goma xantana por *X. campestris* ATCC 13951, utilizando soro de queijo desproteinado e hidrolisado, não necessitou de suplementos de extrato de levedura e sulfato de amônio, porque o próprio soro supriu todos os nutrientes necessários à bactéria, inclusive nitrogênio.

A utilização de soro de queijo concentrado como meio, não aumentou a produção de goma xantana, pelo contrário gerou na maioria dos casos, valores baixos de produção de goma, diminuição pouco acentuada do pH e elevadas quantidades de lactose no meio ao final do processo.

Embora a concentração de goma xantana obtida a partir de soro de queijo não seja tão alta quanto às gomas obtidas utilizando fontes de carbono convencionais, este processo torna-se atraente porque o soro de queijo é um subproduto de baixo valor agregado e a goma xantana tem larga aplicação industrial em alimentos.

## Referências bibliográficas

- [1] De Vuyst L, Vermeire A. Use of industrial medium components for xanthan production by *Xanthomonas campestris* NRRL-B-1459. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1994;42(2/3):187-91.
- [2] Funahashi H, Yoshida T, Taguchi H. Effect of glucose concentrations on xanthan gum production by *xanthomonas campestris*. *J. Ferment. Technol.* 1987;65(5):603-6.
- [3] García Ochoa F, Santos VE, Casas JA, Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances.* 2000;18(7):549-79.
- [4] Jansson PE, Kenne L, Lindberg B. Structure of the extracellular polysaccharide from *xanthomonas campestris*. *Carbohydr Res.* 1975;45(1):275-82.
- [5] Nitschke M, Rodrigues V, Schinatto LF. Formulação de meios de cultivo a base de soro de leite para a produção de goma xantana por *X. campestris* C7L1. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 2001;21(1):82-5.
- [6] Nussinovitch A. Hydrocolloid applications: gum technology in the food and other industries. U.S.A: Blackie Academic & Professional; 1997.
- [7] Palaniraj A, Jayaraman V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *J. Food Eng.* 2011;106(1):1-12.
- [8] Papagianni M, Psomas SK, Batsilas L, Paras SV, Kyriakidis DA, Liakopoulou-Kyriakides M. Xanthan production by *Xanthomonas campestris* in batch cultures. *Process Biochemistry.* 2001;37(1):73-80.
- [9] Rehm BHA. Bacterial polymers: biosynthesis, modifications and applications. *Nature Reviews Microbiology.* 2010;8(8):578-92.
- [10] Rosalam S, England R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. *Enzyme and Microbial Technology.* 2006;39(2):197-207.
- [11] Savvides AL, Katsifas EA, Hatzinikolaou DG. Xanthan production using whey permeate medium. *World J Microbiol Biotechnol.* 2012;28:2759-64.
- [12] Silva MF, Treichel H. Aproveitamento de soro de leite para produção de polissacarídeos. *Vivências – Erechim.* 2006;1(3):1-4.
- [13] Sloneker JH, Jeanes A. Exocellular bacterial polysaccharide from *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459: Part I. Constitution. *Can. J. Chem.* 2013;40(11):2066-71.
- [14] Sow P, Demain AL. Nutritional Studies on Xanthan Production by *Xanthomonas campestris* NRRL B1459. *Applied and Environmental Microbiology.* 1979;37(6):1186-92.
- [15] Sutherland IW. Biotechnology of Microbial Polysaccharides in Food. In: *Food Biotechnology.* Shetty K, Paliyath G, Pometto A, Levin RE. Editores. CRC Press; 2005.
- [16] Waites MJ. *Industrial microbiology: an introduction.* U.S.A: Blackwell Science; 2001.
- [17] Whistler RL, Bemiller JN. *Industrial gums: polysaccharides and their derivatives.* 3rd ed. U.S.A: Academic Press; 1993.
- [18] Wyatt NB, Liberatore MW. Rheology and viscosity scaling of the polyelectrolyte xanthan gum. *J Appl Polym Sci.* 2009;114(6):4076-84.