

Goma Curdlana: Propriedades e aplicações

Um polímero bacteriano com propriedades peculiares

Mário Antônio Alves da Cunha

Químico Industrial, Ms. em Ciência de Alimentos,
Doutorando em Biotecnologia Industrial. Faculdade
de Engenharia Química de Lorena
mariocunha@debiq.faequil.br

Júlio César dos Santos

Engenheiro Industrial Químico, Doutorando em
Biotecnologia Industrial. Faculdade de Engenharia
Química de Lorena
jsant100@ig.com.br

Raúl Jorge H. C. Gómez

Professor Titular. Departamento de Tecnologia de
Alimentos e Medicamentos. Universidade Estadual de
Londrina
rcastrog@yahoo.com

Silvio Silvério da Silva

Professor-pesquisador. Departamento de
Biotecnologia. Faculdade de Engenharia Química de
Lorena
silvio@debiq.faequil.br

1. Introdução

As gomas podem ser definidas como moléculas de elevada massa molecular, com características hidrofílicas ou hidrofóbicas, que usualmente têm propriedades coloidais e a capacidade de produzir géis ao combinarem-se com o solvente apropriado. É comum o termo goma ser aplicado a polissacarídeos, ou seus derivados, obtidos de plantas ou por processo microbiológico, que ao se dispersar em água fria ou quente produzem soluções ou misturas viscosas.

A indústria de alimentos é uma das principais usuárias das gomas, onde elas desempenham funções de espessante, gelificante, emulsificante, floculante, estabilizante e como formadoras de filmes para revestir inúmeros alimentos. Dependendo de sua natureza, podem apresentar propriedades adesivas e ainda potencial farmacológico, principalmente quando modificadas quimicamente.

Atualmente existe uma grande tendência na utilização de biopolímeros em áreas tradicionalmente dominadas por polímeros sintéticos, em função

da importância do uso de materiais oriundos de fontes renováveis. Neste contexto, as gomas obtidas por processos microbiológicos vêm se destacando no mercado mundial. Entre elas, a goma curdlana, um polímero de D-glicose com ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 3), que é o terceiro polissacarídeo produzido industrialmente por fermentação, depois das gomas xantana e gelana.

A goma curdlana possui a propriedade única de formar dois tipos de géis por aquecimento. Um gel termo-reversível que é formado quando suspensões deste biopolímero são aquecidas em temperaturas entre 50°C e 60°C e resfriadas a temperaturas inferiores a 40°C e outro gel, termo-irreversível, que é formado quando as suspensões são aquecidas a 80°C ou mais. Este biopolímero tem enorme potencial como aditivo alimentar, podendo ser utilizado em inúmeros produtos além de propriedades farmacológicas quando modificada quimicamente, possuindo atividade antivirótica, anticoagulante e antitrombótica.

2. Hidrocolóides / Gomas

De maneira geral, os termos hidrocolóide, colóide hidrofílico ou goma têm sido usados como sinônimos. Também é observado o termo mucilagem, embora este seja mais empregado para materiais que formam com a água massas viscosas, como é o caso das pectinas (CUNHA, 2002). Segundo Zohuriaam & Shokrolahi (2004), o termo goma mais

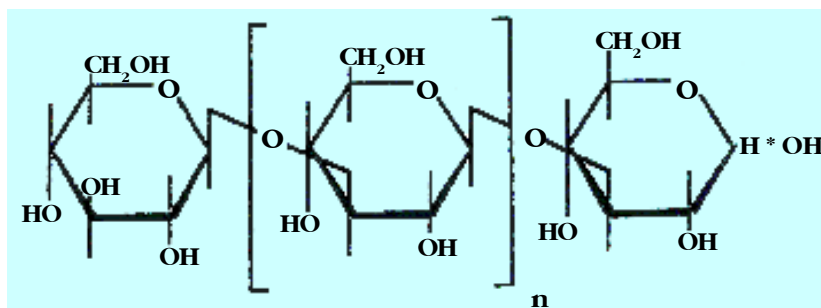


FIGURA 1. Estrutura química da curdlana (FUNAMI et al., 1999b)



FIGURA 2. Células de *Agrobacterium radiobacter* var. k 84 com grande secreção gomosa (goma curdlana).



FIGURA 3. Microscopia de luz polarizada do grânulo de curdlana (CHEESEMAN & BROWN JR., 1995).

especificamente denota um grupo de polissacarídeos de uso industrial ou seus derivados que hidratados em água quente ou fria, em baixas concentrações, formam dispersões ou soluções viscosas.

Os hidrocolóides são substâncias altamente hidrofílicas solúveis ou que se dispersam em água, aumentando a viscosidade do sistema. Do ponto de vista químico são polissacarídeos (goma arábica, goma guar, goma carragenana, carboximetilcelulose, amido, pectinas) ou proteínas como a gelatina (IBAÑES & FERRERO, 2003). O termo “hidrocolóide” engloba todos os polissacarídeos que são obtidos de plantas, algas marinhas e de fonte microbiana, bem como as gomas obtidas de exsudados de plantas e biopolímeros modificados produzidos pelo tratamento químico ou enzimático do amido e da celulose. Além da gelatina que é a única proteína que tem sido aceita nesse grupo por seu caráter altamente hidrofílico e polidisperso (DICKINSON, 2003).

As gomas são classificadas como naturais e modificadas. O grupo das

naturais inclui os extratos de algas marinhas (alginatos), exsudados de plantas (goma arábica e tragacanta), gomas obtidas de sementes ou raízes (amido de batata) e as gomas obtidas por fermentação (goma xantana). Dentro do grupo das modificadas têm-se principalmente as gomas derivadas do amido e da celulose (Zohuriaam & Shokrolahi (2004).

Devido à elevada capacidade de retenção de água, os hidrocolóides conferem estabilidade aos produtos que sofrem ciclos de congelamento-descongelamento e demonstram boas propriedades como mimetizadores de gordura (GUARDA et al. 2004).

O uso de hidrocolóides (gomas) na indústria de alimentos baseia-se principalmente no aproveitamento de suas propriedades funcionais, que estão relacionadas à capacidade de espessar, de manter partículas em suspensão e de reter água (SANDESON, 1981). São usados em concentrações baixas, que variam de 0,5% a 5%, e usualmente não contribuem para o aroma, paladar ou valor nutritivo do produto. Exercem, no entanto, papel importante no controle da textura e na estabilidade de muitos alimentos industrializados, prevenindo ou retardando uma série de fenômenos físicos como a sedimentação de partículas sólidas suspensas no meio; a cristalização da água ou do açúcar; a agregação ou desagregação de partículas dispersas e a sinérese de sistemas gelificados (FREITAS et al., 1996).

3. Goma curdlana: características e propriedades

A goma curdlana (FIGURA 1) é um polissacarídeo microbiano extracelular composto exclusivamente de resíduos de D-glicose ligados por ligações glicosídicas β (1→3) (FIGURA 2) e produzida através de fermentação por cepas não-tóxicas e não-patogênicas de *Alcaligenes faecalis* var. *mixogenes* (hoje, identificada como *Agrobacterium biovar 1*) e *Agrobacterium radiobacter* (CUNHA, 2002; LEE & PARK, 2001; NAKAO, 1997; SAUDAGAR & SINGHAL, 2004).

Este biopolímero foi descoberto em 1966 por Tokuya Harada, então professor da Universidade de Osaka,

Japão e recebeu a denominação de curdlana por sua habilidade de coagulação (“curdle”), quando aquecida em solução (PSZCZOLA, 1997). Possui a capacidade de ligação com a água e de gelificação por aquecimento, propriedades de interesse da indústria de alimentos. Além de fazer parte da família das β-glucanas que são bem conhecidas da comunidade científica por seus benefícios a saúde (JEZEQUEL, 1998).

As β-glucanas são consideradas como fibras, não sendo digeridas devido à ausência no organismo humano de enzimas capazes de hidrolisar as ligações β-glicosídicas. As fibras insolúveis não sendo metabolizadas pelo trato digestivo, não contribuem com valor calórico, podendo ser utilizadas em produtos com teor calórico reduzido (LIVESEY, 1990); podem auxiliar na prevenção do câncer intestinal e na redução dos níveis de LDL como de colesterol total (JEZEQUEL, 1998).

Em estado natural é pobremente cristalina e é encontrada como um grânulo (FIGURA 3) semelhante ao amido. O grânulo é insolúvel em água destilada, porém dissolve-se facilmente em solução alcalina diluída, devido à ionização de pontes de hidrogênio intermolecular e intramolecular (CHEESEMAN & BROWN JR., 1995). Apresenta massa molecular de aproximadamente 74000 e é produzida industrialmente por uma empresa Japonesa, através de processo fermentativo com a *Alcaligenes faecalis* variedade *mixogenes* (FUNAMI et al., 1999a).

3.1 Obtenção do gel de curdlana

Em suspensão aquosa, a curdlana é capaz de formar gel por aquecimento e de acordo com a temperatura de aquecimento, há formação de dois tipos de géis. O gel denominado “low-set”, que é formado quando a suspensão aquosa de curdlana é aquecida a 50°C - 60°C e então resfriada a temperaturas inferiores a 40°C. É um gel termoreversível similar ao agar-agar e à gelatina. E o gel “high-set”, que é formado quando a suspensão aquosa de curdlana é aquecida à temperatura de 80°C ou superior, sendo um gel termo-irreversível, bastante estável a uma ampla faixa de temperatura de

TABELA 1. Aplicações da goma Curdlana em Alimentos

ALIMENTOS	FUNÇÃO
Carnes processadas	Modificação de textura, retenção de água
Alimentos liofilizados	Modificação de textura, auxiliar de rehidratação
Molhos	Aumento de viscosidade, auxiliar de rendimento
Alimentos pré-cozidos	Modificação de textura
Macarrão	Modificação de textura
Geléias	Agente gelificante
Alimentos processados	Agente gelificante (resistindo aos efeitos de aquecimento e congelamento)
Filmes comestíveis	Formação de filme
Alimentos com baixas calorias	Fibra dietética (indigerível)
Lingüiças, presuntos e hamburguês	Texturizante, auxiliar na retenção de água e na maciez
Queijos	Mimetizador da gordura
logurtes	Melhora a viscosidade e inibe sinérese
Sobremesas geladas	Inibe sinérese
Sorvetes	Evita a cristalização da água

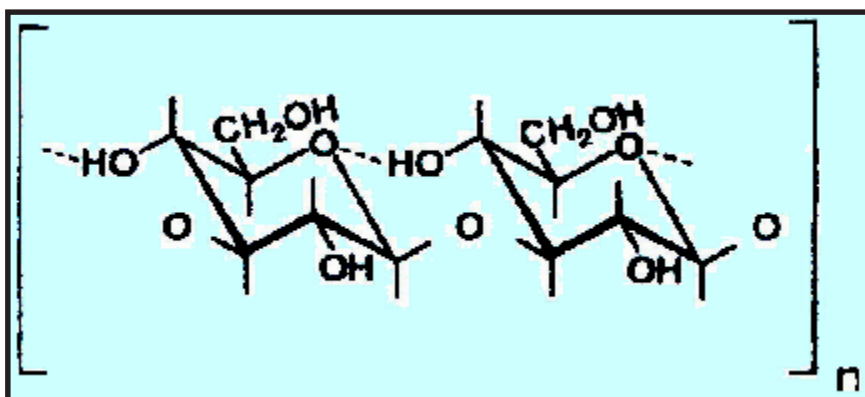


FIGURA 4. Esquema do possível modo de estruturação das pontes de hidrogênio intramolecular.

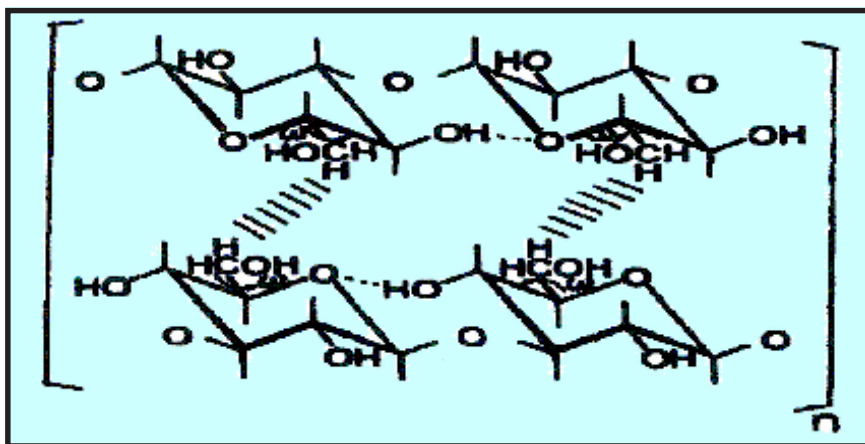


FIGURA 5. Esquema do possível modo de estruturação das interações hidrofóbicas

congelamento (FUNAMI et al., 1998) e frente a tratamentos com altas temperaturas, permanecendo insípido, inodoro e incolor (NAKAO et al, 1991).

A goma curdlana também forma gel termo-irreversível em sistemas alimentares, mesmo quando processados em temperaturas inferiores a 80°C devido ao aumento de componentes funcionais. Além disso, quando a concentração de curdlana é aumentada no sistema a temperatura necessária para a gelificação termo-irreversível é reduzida, pois há uma alteração no ponto de transição do gel “low-set” para o “high-set” (FUNAMI et al., 1999b) em função do aumento das interações hidrofóbicas entre micelas de curdlana (FUNAMI et al., 1998).

Funami et al., (1999c) estudaram algumas propriedades viscoelásticas de géis de curdlana preparados com várias concentrações do polímero e em várias temperaturas e observaram que a temperatura (temperatura de transição) em que o gel torna-se irreversível depende da concentração do polímero e sugerem que com o aumento da temperatura de aquecimento, interações entre moléculas de curdlana, formando uma rede tridimensional, tornam o gel mais forte e mais elástico.

O mecanismo molecular de formação dos géis “high set” e “low-set”, é diferente. No gel “high-set” as ligações cruzadas entre micelas de curdlana, formadas por moléculas com cadeias em hélice tríplice ou hélice múltipla, são mantidas com interações hidrofóbicas; enquanto no gel “low-set” as micelas, que são formadas por moléculas com cadeias em hélice simples, são mantidas por pontes de hidrogênio (FUNAMI et al., 1999c).

Nas figuras 4 e 5 estão representados os possíveis modos de formação das pontes de hidrogênio intramolecular, no gel “low-set”, e das interações hidrofóbicas entre moléculas de curdlana, no gel “high-set”, descritos por Tako & Hanashiro, (1997).

A microscopia eletrônica de transmissão de baixa resolução mostra que o gel de curdlana formado a temperaturas mais baixas é composto de microfibras entrelaçadas (FIGURA 6), enquanto que o gel formado a temperaturas mais elevadas é composto por

microfibras associadas (FIGURA 7) (CHEESEMAN & BROWN Jr., 1995).

Há também formação de gel de curdlana quando em solução alcalina em presença de cátions bivalentes como Ca^{++} e Mg^{++} ou quando neutralizada por solução ácida sem aquecimento (NAKAO, 1997; SPICER; GOLDENTHAL & IKEDA, 1999).

A estrutura linear da goma curdlana a torna mais resistente ao aquecimento e a outras forças externas incluindo o pH (KANKE et al., 1995). Podendo formar gel sob uma ampla faixa de pH (pH 2 a pH 10), sendo isto uma vantagem em relação a outros agentes gelificantes. Outra propriedade única do gel de curdlana é sua alta estabilidade a processos de congelamento-descongelamento (NAKAO, 1997).

3.2 Produção e bio-síntese da goma curdlana

A goma curdlana é bio-sintetizada por *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes* e *Agrobacterium radiobacter* sob condições de limitação de nitrogênio e sua produção tem atraído considerável interesse devido a suas propriedades únicas de gelificação (KIM et al., 2000). Industrialmente é produzida por processo fermentativo pela *Agrobacterium radiobacter biovar 1* (FUNAMI et al., 1999a).

Seu processo de produção (FIGURA 8) a partir da *A. radiobacter biovar 1* é patenteado e envolve fermentação aeróbica de um meio de cultivo contendo glicose, uma fonte de nitrogênio e quantidades traços de minerais. O polímero formado no meio é dissolvido com álcali, separado da biomassa e então purificado (JEZEQUEL, 1998).

O produto final do processo contém 90% de β (1 \rightarrow 3) D-glucana e 10% de umidade.

Lee (2003) esquematizou a via metabólica para a síntese da curdlana a partir da glicose (FIGURA 9).

Este esquema metabólico mostra a biosíntese da goma curdlana, a partir do substrato glicose ocorrendo em três etapas. Primeiramente ocorre a absorção do substrato pela célula, seguida da formação intracelular do polissacarídeo e finalmente excreção deste para fora da célula.

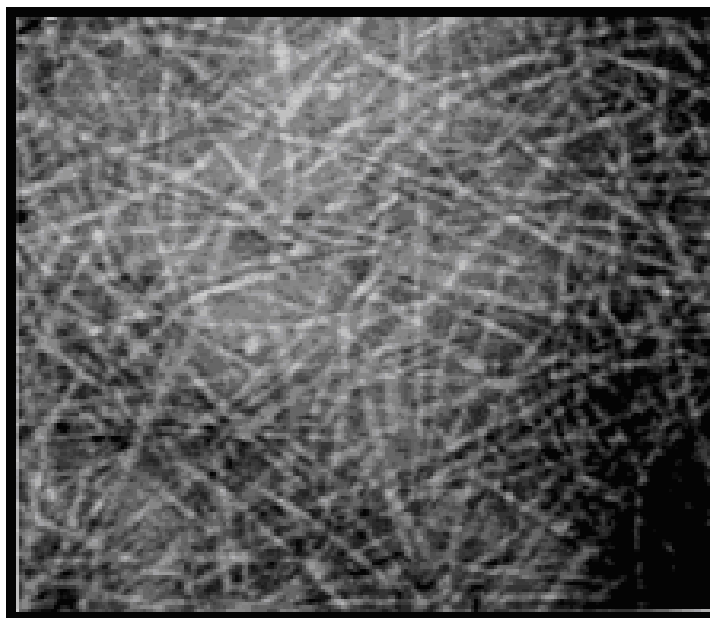


FIGURA 6. Microfibras não associadas no gel de curdlana preparado a 65°C (CHEESEMAN & BROWN Jr., 1995)

De acordo com Lee (2003) o substrato entra na célula por transporte ativo e translocação de grupo. O substrato é então direcionado ao longo da cadeia catabólica ou é direcionado à síntese do polissacarídeo. No processo de formação do polímero UDP-glicose, um precursor-chave é sintetizado pela ação da enzima UDP-glicose pirofosforilase sobre a glicose-1-P. Subseqüentemente a construção da molécula de curdlana ocorre junto com a transferência de monossacarídeo (glicose) da UDP-glicose para um lipídeo carreador, ocorrendo então a formação do polissacarídeo e excreção para fora da célula.

KAI et al., (1993) reportaram um estudo da biosíntese de curdlana por *Agrobacterium* sp (ATCC 31749) usando como substrato glicose com carbono marcado. Neste trabalho os autores sugerem que seu processo de biosíntese pode ocorrer por várias rotas: por síntese direta a partir da glicose; por recombinação de trioses a glicose; a partir da frutose-6-fosfato formada no ciclo das pentoses e neogênese de glicose a partir de fragmentos produzidos em outras vias catabólicas, com subseqüente polimerização. Sendo, portanto, um biopolímero produzido intracelularmente e excretado posteriormente para o meio.

Apesar das várias rotas possíveis de biosíntese, estes autores relatam

que mais de 60% da goma são sintetizados por polimerização direta da glicose e que a degradação da glicose ocorre principalmente via ciclo das pentoses e via Entner-Doudoroff mais do que a via Enbden Meyhorf-Parmas.

3.3 Aplicações da goma curdlana

A) Alimentos

A goma curdlana foi aprovada como aditivo alimentar e comercializada inicialmente no mercado asiático, mais especificamente no Japão, em Taiwan e na Korea em 1989 e em 16 de dezembro de 1996 foi aprovada pelo Food and Drug Administration (FDA) para uso como aditivo alimentar nos Estados Unidos.

Este biopolímero foi introduzida no mercado japonês para melhorar a textura e a capacidade de retenção de água de alimentos processados e para o desenvolvimento de novos alimentos (FUNAMI et al., 1999b). Hoje é amplamente usada no Japão como ingrediente essencial em vários tipos de alimentos processados, especialmente em produtos à base de carne onde é usada para a modificação de textura e melhoria na capacidade de retenção de água (FUNAMI, YADA & NAKAO, 1998), além de alimentos como tofu, geléia de feijão e pastas de peixe (SUTHERLAND, 1998).

Como aditivo alimentar é usada em quantidades relativamente pequenas (0,1% a 1,0%), sendo utilizada para modificar ou estabilizar propriedades físicas do produto e normalmente envolve pouca ou nenhuma técnica especial de processamento, podendo ser adicionada juntamente com outros ingredientes alimentares na forma de pó (NAKAO, 1997). Pode ser usada como um modificador de textura, melhorando a retenção de água em lingüiças e presuntos; em queijos, como substituinte de gordura e em iogurtes para prevenção de sinérese. Quando utilizada em concentrações de 0,2% a 1% em bife de hambúrguer promove elevada suculência, maciez e textura após cozimento (PSZCZOLA, 1997).

Usada isoladamente ou em conjunto com outros hidrocolóides tem notável potencial como sistema mimetizador de gordura (FUNAMI; YADA & NAKAO, 1998), podendo desta forma contribuir para a redução do teor de gordura do alimento, o que é muitas vezes desejado.

A Tabela 1 apresenta de forma resumida possíveis aplicações da goma curdlana na área de alimentos.

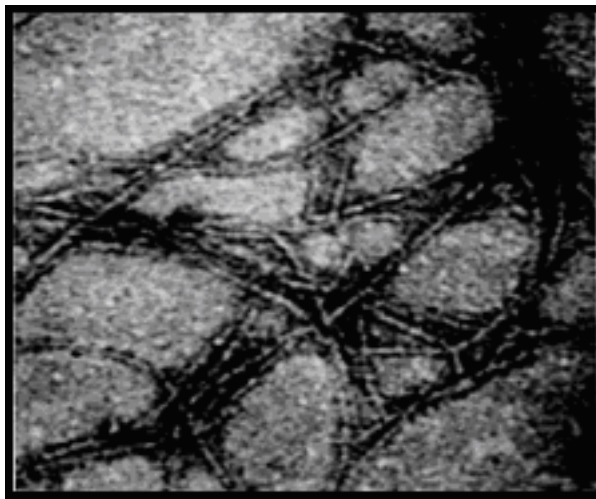


FIGURA 7. Microfibras associadas no gel de curdlana preparado a 95°C (CHEESEMAN & BROWN Jr. 1995).

B) Imobilização de enzimas

De acordo com Saudagar & SINGHAL, (2004) a molécula de curdlana apresenta potencial como matriz para imobilização enzimática, uma vez que contém grande número de grupos hidroxil e a reação destes grupos com epícloridrina resulta em grupos epóxi ativados que podem ligar-se covalentemente com grupos sulfidril, hidroxil e amino de enzimas, consequentemente imobilizando-as.

C) Área biomédica

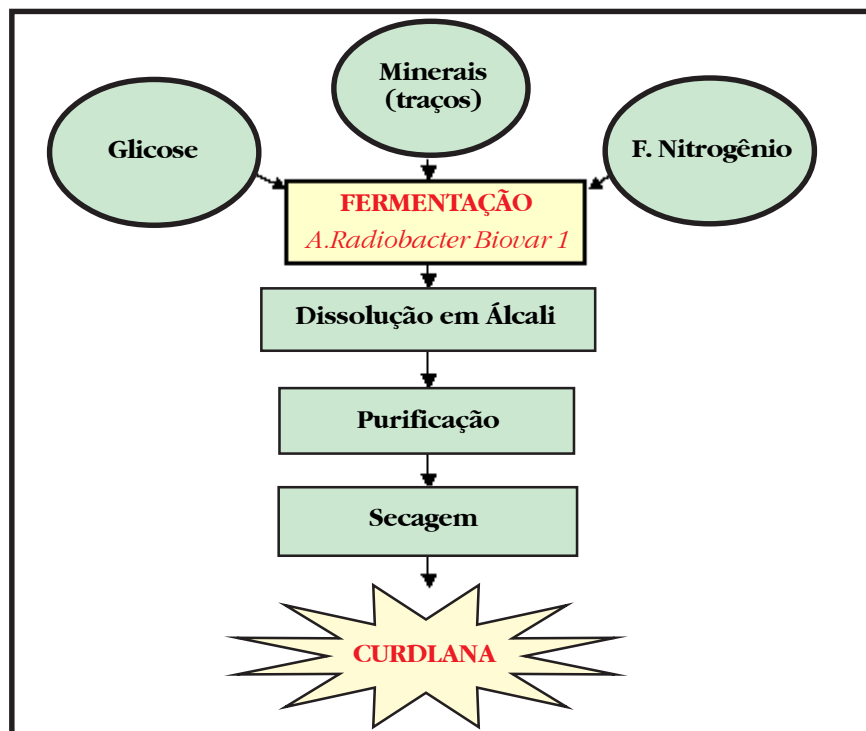


Figura 8. Esquema simplificado do processo de produção da goma curdlana.

As áreas médica e farmacêutica são campos bastante promissores e novos com relação ao uso de polissacarídeos microbianos com atividade biológica (CHENGHUA et al., 2000; SUTHERLAND, 2001). Desta forma, estas são áreas de imenso potencial para uso da goma curdlana, sendo observados na literatura diversos trabalhos que relatam este potencial.

Jagodzinski et al (1994) e TOSHIO et al., (1998) constataram o efeito inibitório da molécula de curdlana sulfatada (sulfato de curdlana) sobre a infecção com o vírus da imunodeficiência adquirida tipo 1 (HIV-1) “*in vitro*”.

Igarashi et al. (1998) verificaram ação inibitória da molécula de curdlana sulfatada, em testes “*in vitro*” e “*in vivo*” sobre o desenvolvimento de *Babesia bigemina*, um protozoário parasita causador da babesiose bovina, doença conhecida como “tristeza parasitária bovina” que é responsável por grandes prejuízos principalmente em países tropicais e subtropicais.

Alban et al. (1995) observaram em ensaios biológicos com coelhos e ratos a ação anticoagulante e antitrombótica da curdlana sulfatada (CurS). Em um trabalho mais recente de ALBAN & FRANZ (2000) a ação anticoagulante do sulfato de curdlana foi caracterizada, ficando demonstrado que a estrutura da CurS inibe o processo de coagulação em vários sítios, inibindo a formação da trombina.

A possibilidade de usar géis de curdlana como um novo material para liberação controlada de drogas também é observado na literatura. Kim et al., (2000) relatam que o gel de curdlana foi hábil para o aprisionamento e liberação controlada de Soro Albumina Bovina (BSA) por um período de até 100 horas.

Flieber et al., (2003), reportam que o campo mais novo de aplicação da curdlana é a produção de plásticos biodegradáveis para aplicações médicas.

D) Outros campos de aplicação

Outros campos de aplicação que

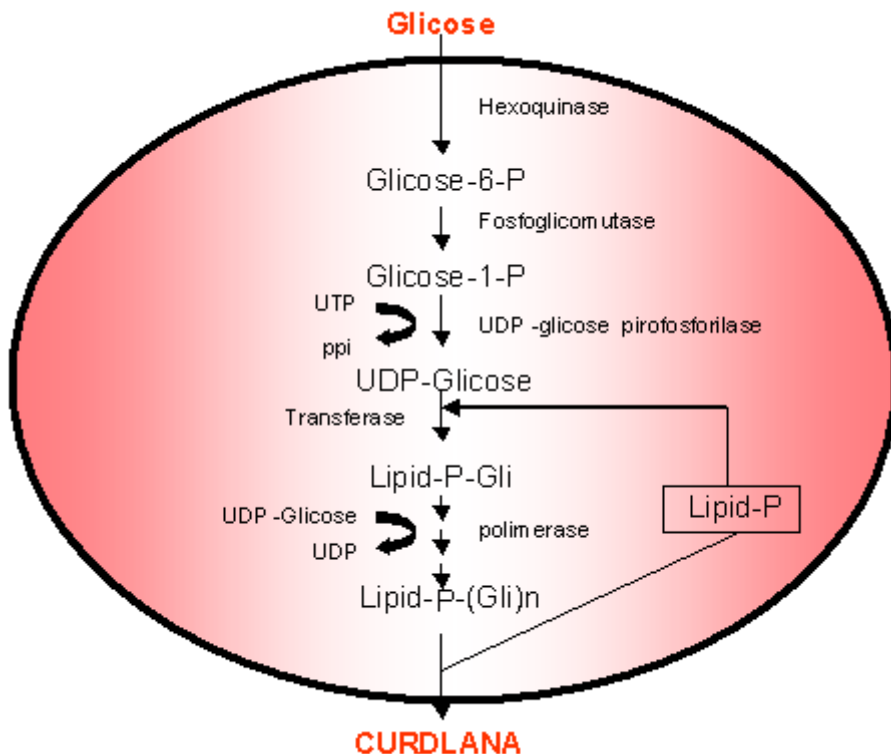


FIGURA 9. Via metabólica para a síntese de curdlana a partir da glicose.

são relatados na literatura incluem o uso como aditivo de concreto, sendo utilizada para aumentar a fluidez dele (LEE & PARK, 2001) e o seu uso combinado com carvão ativado em processo de remoção de metais pesados (Cu^{++} , Mn^{++} , PB^{++} e Cd^{++}) de soluções aquosas (MOON & LEE, 2004).

4. Considerações finais

A goma curdlana é um polímero bacteriano com propriedades peculiares que o tornam um material de grande interesse para a indústria. É uma goma que vem aos poucos conquistando mercado, inicialmente o asiático e mais recentemente o norte-americano e tem amplo potencial de uso na indústria de alimentos, farmacêutica entre outras.

A área farmacêutica é um dos campos mais inovadores e propícios para o desenvolvimento de novos produtos de elevado valor agregado com este biopolímero, tanto no desenvolvimento de medicamentos antiviróticos, antiparasitários, anticoagulantes e antitrombóticos, como na elaboração de materiais eficazes para a liberação controlada de drogas, bastante almejados pela indús-

tria.

Além de poder ser utilizada como suporte inerte para imobilização de enzimas, no preparo de plásticos biodegradáveis para fins biomédicos e em processos de adsorção de metais pesados.

Referências bibliográficas

- ALBAN, S.; FRANS, G.. Characterization of the anticoagulant actions of a semi synthetic curdlan sulfate. *Thrombosis Research*. v. 99, p. 377-388, 2000.
- ALBAN, S.; JESKE, W.; WELZEL, D.; FRANZ, G.; FAREED, J.. Anticoagulant and antithrombotic actions of a semi synthetic b-1,3-glucan sulfate. *Thrombosis Research*. v. 78, n. 3, p. 201-210, 1995.
- AOKI, T.; KANEKO, Y.; NGUYEN, T.; STEFANSKI, M. S.; TING, R. C. M.; MANAK, M. M.. Curdlan sulfate and HIV-1:II. *In vitro* long-term treatment of HIV-1 infection with curdlan sulfate. *AIDS Research and Human Retroviruses*. v. 8, p. 605-612, 1992.

BABA, M.; SCHOLS, D.; PAUWELS, R.; NAKASHIMA, H.; CLERCQ, E.. Sulfated polysaccharides as potent inhibitors of HIV-induced syncytium formation: A new strategy towards AIDS chemotherapy. *Journal of AIDS*. v. 3, p. 493-499, 1990.

BAGASRA, O.; LISCHNER, H. W.. Activity of dextran sulfate and other polyanionic polysaccharides against human immunodeficiency virus. *Journal of Infection Disease*. v. 158, p. 1084-1088, 1988.

CHENGHUA, D.; XIANGLIANG, Y.; XIAOMAN, G.; YAN, W.; JINGYAN, Z.; HUIBI, XU.. A b-d-glucan from the sclerotia of pleurotus tuberregium (Fr.) sing. *Carbohydrate Research*, v. 328, p. 629-633, 2000.

CHEESEMAN, I. M.; BROWN, M.. Microscopy of curdlan structure. Austin, 1995. Disponível em: www.botany.utexas.edu. Acesso em: 15 JAN. 2002.

CUNHA, M. A. A.. Produção de goma curdlana pela *Agrobacterium radiobacter* variedade *radiobacter* k84. 2002. 76p. Dissertação de Mestrado (Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

DICKINSON, E.. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*. v. 17, p. 25-39, 2003.

FLIEBER, M.; KANTOROVÁ, M.; PRELL, A.; VOTRUBA, J.. Biodegradable plastics from renewable sources. *Folia Microbiologica*. v. 48, n. 1, p. 27-44, 2003.

FREITAS, L. C.; MONTE, A. D. M. O.; CAVALCANTE, T. A.; ANDRADE, C. T.. Mercado de Hidrocolóides no Brasil. *Revista de Química Industrial*. n. 708/709, p. 13-18, 1996.

FUNAMI, T.; YOTSUZUKA, F.; YADA, H.; NAKAO, Y.. Thermoirreversible characteristics of curdlan gels in a

- model reduced fat pork sausage. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 4, p. 575-579 1998.
- FUNAMI, T.; YADA, H.; NAKAO, Y.. Curdlan properties in fat mimetics for meat products. *Journal of Food Science*. v. 63, n. 2, p. 283-287, 1998.
- FUNAMI, T.; FUNAMI, M.; YADA, H.; NAKAO, Y.. Gelation mechanism of curdlan by dynamic viscoelasticity measurements. *Journal of Food Science*. v. 64, n. 1, p. 129-132, 1999a.
- FUNAMI, T.; FUNAMI, M.; TAWADA, T.; NAKAO, Y.. Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of Food Science*, v. 64, n. 5, p. 883-888, 1999b
- FUNAMI, T.; FUNAMI, M.; YADA, H.; NAKAO, Y.. Rheological and thermal studies on gelling characteristics of curdlan. *Food Hydrocolloids*. v. 13, p. 317-324, 1999c.
- GUARDA, A.; ROSELL, C. M.; BENEDITO, C.; GALOTTO, M. J.. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*. v. 18, p. 241-247, 2004.
- IBAÑES, M. C.; FERRERO, C.. Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. *Food Research International*. v. 36, p. 455-460, 2003.
- IGARASHI, I.; NJONGE, K. F.; KANEKO, Y.; NAKAMURA, Y.. *Babesia bigemina*: in vitro and in vivo effects of curdlan sulfate on growth of parasites. *Research Brief*. v. 90, p. 290-293, 1998.
- JAGODZINSKI, P. P.; WIADERKIEWICZ, R.; KURZAWSKI, G.; KLOCZEWIAK, M.; NAKASHIMA, H.; HYJEK, E.; YAMAMOTO, N.; URYUS, T.; KANEKO, Y.; POSNER, M. R.; KOZBOR, D.. Mechanism of the inhibitory effect of curdlan sulfate on HIV-1 infection *in vitro*. *Virology*. v. 202, p. 735-745, 1994.
- JEZEKEL, V.. Curdlan: a new functional b-glucan. *Cereal Foods World*. v. 43, n. 5, p. 361-364, 1998.
- KAI, A.; ISHINO, T.; ARASHIDA, T.; HATANAKA, K.; AKAIKE, T.; MATSUZAKI, K.; KANEKO, Y.; MIMURA, T.. Biosynthesis of curdlan from culture media containing ¹³C-labeled glucose as the carbon source. *Carbohydrate Research*. v. 240, p. 153-159, 1993.
- KANKE, M.; TANABE, E.; KATAYAMA, H.; KODA, Y.; YOSHITOMI, H.. Application of curdlan to controlled drug delivery. III. Drug release from sustained release suppositories *in vitro*. *Biology and Pharmaceutical Bulletin*. v. 18, p. 1154-1158, 1995.
- KIM, M. K.; LEE, I. Y.; LEE, J. H.; KIM, K. T.; RHEE, Y. H.; PARK, Y. H.. Residual phosphate concentration under nitrogen-limiting conditions regulates curdlan production in *Agrobacterium* species. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. v. 25, p. 180-183, 2000.
- LEE, J-H.; PARK, Y-H.. Optimal production of curdlan by *Agrobacterium* sp. With feedback inferential control of optimal pH profile. *Biotechnology Letters*. v. 23, p. 525-530, 2001.
- LEE, I. Y.. Curdlan. In Alexander Steinbüchel (Editor), *Biopolymers*. Weinheim: Wiley-VCH ED., 1ª edição, 2003. p. 136-154.
- LIVSEY, G.. Energy values of unavailable carbohydrates and diets: an inquiry and analysis. *Journal of Clinical Nutrition*. v. 51, p. 617-621, 1990.
- MOON, C-J.; LEE, J-H.. Use of curdlan and activated carbon composed adsorbents for heavy metal removal. *Process Biochemistry*. 2004 (in press).
- NAKAO, Y.. Properties and food applications of curdlan. *Agro-Food-Industry Hi-Tech*. Jan/Feb, p. 12-15, 1997.
- NAKAO, Y.; KONNO, A.; TAGUCHI, T.; TAWADA, T.; KASAI, H.; TODA, J.; TERASAKI, M.. Curdlan: properties and application to foods. *Journal of Food Science*. v. 56, n. 3, p. 769-776, 1991.
- PSZCZOLA, D. E.. Curdlan differs from others gelling agents. *Food Technology*. v. 51, n. 4, 1997.
- SANDERSON, G. R.. Polysaccharides in foods. *Food Technology*, v. 35, n. 5, p. 50-57, 1981.
- SAUDAGAR, P. S.; SINGHAL, R. S.. Curdlan as a support matrix for immobilization of enzyme. *Carbohydrate Polymers*. v. 56, p. 483-488, 2004.
- SPICER, E. J. F.; GOLDENTHAL, E. I.; IKEDA, T.. A toxicological assessment of curdlan. *Food and Chemical Toxicology*, v. 37, p. 455-479, 1999.
- SUTHERLAND, I. W.. Novel and established applications of microbial polysaccharides. *Trends in Biotechnology*. v. 16, p. 1-25, 1998.
- SUTHERLAND, I. W.. Microbial polysaccharides from gram-negative bacteria. *International Dairy Journal*. v. 11, p. 663-674, 2001.
- TAKO, M.; HANASHIRO, I.. Evidence for a conformational transition in curdlan. *Polymer Gels and Networks*. v. 5, p. 241-250, 1997.
- TOSHIO, N.; NANAKO, T. H.; HIROSHI, K.; IWAO, S.. Role of curdlan sulfate in the production of beta-chemokines and interleukin-16. *Medical Microbiology and Immunology*, v. 187, n. 1, p. 43-48, 1998.
- ZOHURIAAM, M. J.; SHOKROLAHI, F.. Thermal studies on natural and modified gums. *Polymer Testing*. v. 23, p. 575-579, 2004.