

PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA EM CULTURA ESTÁTICA UTILIZANDO DIFERENTES FONTES DE CARBONO

Production of Bacterial Cellulose in a Static Culture using Different Carbon Sources

Marielle de Oliveira¹

Claudimir A. Carminatti²

RESUMO

A celulose bacteriana é um material polimérico com uma vasta aplicabilidade por ser biodegradável, inerte e por sua alta capacidade de absorção de líquidos. Suas características proporcionam variadas aplicações nas indústrias de alimentos, têxtil e biomédica, bem como em diferentes áreas da engenharia, envolvendo a acústica e a ótica. Todavia, é de fundamental importância desenvolver métodos de obtenção deste material de forma otimizada. Atualmente, é de interesse comum a produção da celulose bacteriana utilizando resíduos industriais como fonte de carbono. O objetivo deste trabalho foi produzir celulose bacteriana em cultura estática pela bactéria *Komagataeibacter hansenii* utilizando três diferentes fontes de carbono (manitol, glicose e glicerol). Os resultados demonstraram que a maior produção de celulose bacteriana foi obtida com 27 dias de cultivo utilizando-se manitol como fonte de carbono e um meio de cultivo de 40 mL a 30°C e pH 7, obtendo-se uma massa de celulose bacteriana de (4,89 g·L⁻¹). Entretanto, o glicerol (2,33 g·L⁻¹), apresentou um grande potencial para ser utilizado na produção de celulose bacteriana por ser uma fonte de carbono de baixo custo quando comparada ao manitol e à glicose. A diminuição do custo de produção permitirá o desenvolvimento de uma maior aplicabilidade para este biopolímero nas mais diversas áreas do cotidiano.

Palavras-chave: Celulose bacteriana. Fontes de carbono. Material polimérico.

¹ Acadêmica da 6ª fase do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville. marielledeoliveira@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Química. Docente da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville. Orientador. c.carminatti@ufsc.br.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existe grande interesse na substituição de polímeros sintéticos por materiais provenientes de fontes renováveis. Diferentes polímeros são estudados com o objetivo de se obter um desenvolvimento sustentável. A celulose bacteriana é um biopolímero produzido por alguns micro-organismos, e possui características semelhantes a materiais poliméricos, podendo ser utilizada para o desenvolvimento de novos produtos em diferentes áreas.

1.1 Celulose

A celulose é o polímero orgânico mais abundante na natureza, sendo encontrado em todas as substâncias vegetais. É relatado que aproximadamente 10^{12} toneladas de celulose são produzidas anualmente, constituindo uma das principais frações da biomassa total produzida (KLEMM et al., 2006). Materiais à base de celulose natural (madeira, algodão, sisal, rami) têm sido usados como materiais de engenharia. Atualmente sua utilização é a base para diferentes áreas industriais em todo o mundo, sendo utilizada como fonte de calor/energia, material de construção, vestuário, papel, etc. (POLETTTO et al., 2013; VITTA; THIRUVENGADAM, 2012).

A celulose ($C_6H_{10}O_5$) é um polímero formado por uma cadeia linear não ramificada de moléculas de glicose unidas por ligações do tipo $\beta(1\rightarrow4)$ glicosídicas. A celulose forma a base estrutural da parede celular de plantas, sendo também produzida por outros organismos, como algas, fungos e algumas bactérias (BROWN et al., 1976; ROSS et al., 1991).

A celulose produzida por bactérias possui a mesma estrutura química da celulose produzida por plantas, porém é morfologicamente diferente. Enquanto a celulose sintetizada por plantas necessita de processos de purificação complexos, dispendiosos e altamente poluentes para a extração da lignina e da hemicelulose, o processo de obtenção e de purificação de celulose bacteriana (CB) é bastante simples (BROWN et al., 1996).

O Quadro 1 apresenta um comparativo entre a celulose vegetal e a celulose bacteriana.

Quadro 1 – Comparativo das propriedades da celulose vegetal e bacteriana.

| Propriedades | Celulose vegetal | Celulose bacteriana |
|------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Cristalinidade | 56 – 65% | 65 – 79% |
| Grau de polimerização | 300 – 1700 | 800 – 10000 |
| Comprimento das fibras | 1,4 – 4,0 x 10 ⁻² mm | 70 – 80 mm |
| Módulo de Young | 5,5 – 12,6 GPa | 15 – 30 GPa |
| Conteúdo de água | 60% | 98,50% |

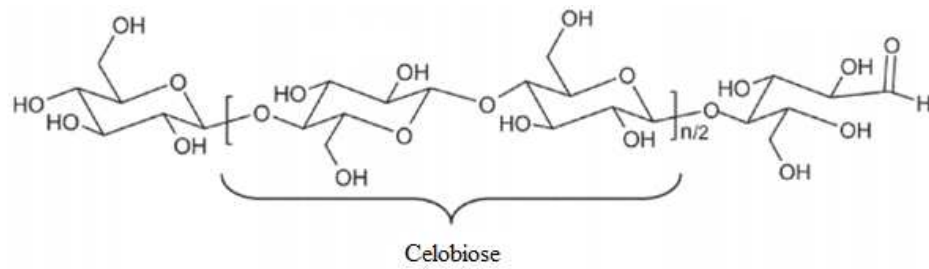
Fonte: Klemm (2005) e Pecorado (2009).

O primeiro estudo documentado relacionado à produção de celulose por bactéria foi relatado em 1886 por Adrian Brown. Ele observou um material gelatinoso que se formava na superfície de uma fermentação de vinagre. A análise desse material revelou que se tratava de celulose, sendo que a bactéria produtora foi denominada *Acetobacter xylinum* (BROWN, 1886), reclassificada atualmente como *Komagataeibacter hansenii* (YAMADA et al., 2013).

Bactérias do gênero *Komagataeibacter* (anteriormente *Gluconacetobacter*, *Acetobacter*) podem ser encontradas em frutas e vegetais. São microrganismos não patogênicos, Gram-negativos, estritamente aeróbicos, conhecidos por produzir celulose na forma de uma película na interface líquido-ar do meio de cultivo, em cultura estática (DUDMAN, 1960; KLEMM et al., 2011 WATANABE et al., 1998), sendo considerada um organismo modelo para o estudo da síntese de celulose (IYER et al., 2010). Além desta bactéria, podem ser citadas também as espécies *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Sarcina*, *Rhizobium* e *Salmonella* (CZAJA et al., 2006).

A estrutura da CB é composta por moléculas de celulose que se combinam para formar uma rede de microfibras interligadas por ligações de hidrogênio (BROWN et al., 1986; MOHITE; PATIL, 2014). A celulose é um polissacarídeo, no qual os monômeros estão dispostos de forma que as moléculas de glicose estejam rotacionadas 180° em relação umas as outras. A estrutura mínima de repetição desse polímero é o dímero celobiose (MOHITE; PATIL, 2014). A Figura 1 apresenta a estrutura molecular da celulose (cadeia β-D-glicopirranose).

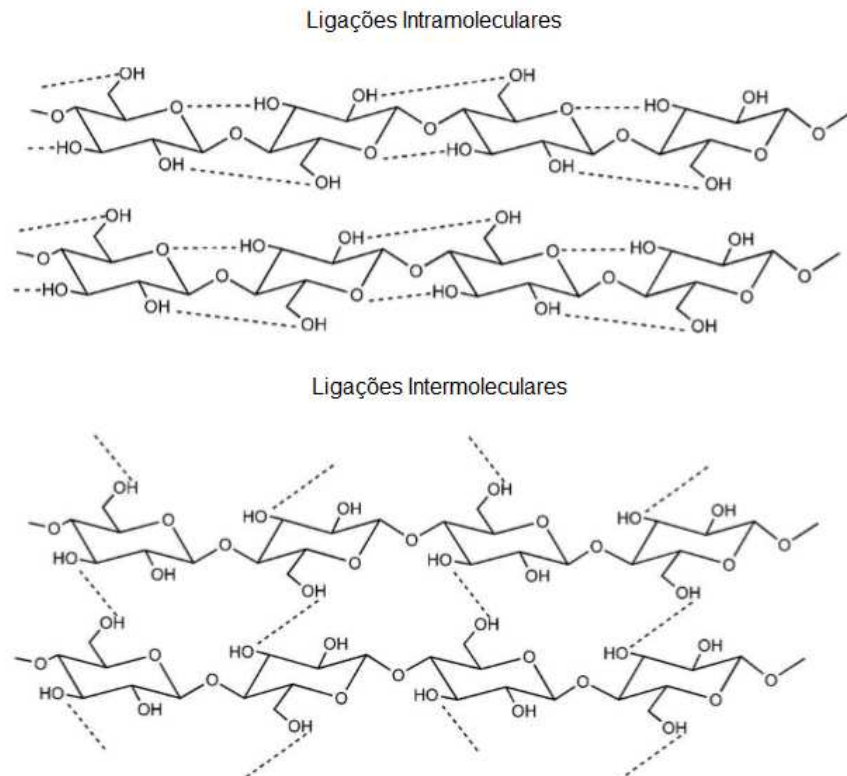
Figura 1 – Estrutura molecular da celulose



Fonte: Adaptado de Kontturi (2006).

A membrana formada durante a síntese resulta em uma estrutura tridimensional constituindo um sistema de nanofibras, cujas fibras são orientadas uniaxialmente, o que não ocorre em celulose vegetal. Esta estrutura 3D da celulose bacteriana resulta numa celulose cristalina (65 a 80%) quando comparada a celulose vegetal, conferindo à mesma uma maior resistência mecânica (CZAJA, 2006). Essas propriedades são conferidas pelas ligações de hidrogênio intra e intermolecular que mantem as cadeias de celulose unidas favorecendo uma alta retenção de água. A Figura 2 apresenta as ligações intra e intermoleculares formadas pelas cadeias de celulose bacteriana.

Figura 2 – Ligações intra e intermoleculares nas cadeias de celulose.



Fonte: Adaptado de Roy (2009).

Dependendo da forma do processo de formação do filme de celulose que pode ser estático ou agitado, existe uma variação nas propriedades da celulose bacteriana obtida. Nas condições de cultura estacionária, uma membrana espessa e gelatinosa de celulose bacteriana é acumulada na superfície do meio de cultivo, ao passo que em condições de cultura agitada, a celulose pode ser produzida na forma de uma suspensão fibrosa, pellets ou esferas (GALAS et al., 1999; KRYSTYNOWICZ et al., 2002).

A celulose bacteriana desempenha papel de grande importância para a bactéria, funcionando como mecanismo de flotação, permitindo ao micro-organismo permanecer em uma interface ar/líquido para obter oxigênio com maior facilidade para seu crescimento, além de prevenir a desidratação do substrato devido seu caráter higroscópico (DONINI et al., 2011).

1.2 Síntese da celulose bacteriana

A CB pode ser sintetizada a partir de várias fontes de carbono. Todas as bactérias produtoras de celulose são capazes de converter glicose à celulose como parte de seu metabolismo. Neste caso, a glicose atua não somente como fonte de energia, mas também como precursora da biossíntese do biopolímero (ROSS et al., 1991). No entanto, o uso da glicose como substrato para a produção de CB encontra limitações pelo seu custo elevado quando se pensa em produção em larga escala. Assim, diferentes substratos, incluindo açúcares e álcoois (manitol, sorbitol, lactose) que atuam como fonte de carbono, estão presentes nos resíduos industriais de indústrias agroalimentares e de biocombustíveis. As fontes de carbono utilizadas neste trabalho foram: glicose ($C_6H_{12}O_6$); manitol ($C_6H_{14}O_6$) e glicerol ($C_3H_8O_3$).

A CB tem despertado grande interesse para aplicações em diversas áreas. É conhecida por ter propriedades físicas e mecânicas únicas, tais como ausência de lignina e hemicelulose, tornando-se uma fonte altamente pura de celulose. Ela possui elevado grau de polimerização combinado com elevada cristalinidade (60-70%), possuindo elevados módulos de Young, tanto a temperatura ambiente ou elevada. Outras características incluem alta capacidade de absorção de água podendo chegar a até 100 vezes o seu peso próprio, excelente uniformidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade (VITTA e THIRUVENGADAM, 2012).

A CB é um biopolímero com vasta aplicabilidade em diversos setores da indústria devido às suas propriedades características, podendo ser utilizada nas indústrias de alimentos e têxtil, em tratamento de efluentes, células de combustível, biosensores e em muitas outras aplicações envolvendo acústica e ótica. Particularmente na área biomédica, pode ser aplicada em engenharia de tecidos, onde se estuda sua utilização em uma ampla gama de aplicações, incluindo curativos para feridas, indicadores luminosos, implantes, *drug delivery*, bem como em procedimentos médicos, sendo utilizado no revestimento de *stents* em neurologia para substituição da dura-máter em casos de traumas e tumores, e para a recuperação do tecido periodontal na odontologia (ERENO, 2004; LEE et al., 2014; NAINGGOLAN et al., 2013; SAXENA et al., 1994).

O Quadro 2 relaciona o conjunto de aplicações da celulose bacteriana nas diversificadas áreas da indústria.

Quadro 2 – Aplicações da celulose bacteriana na indústria.

| Área | Aplicação |
|------------------------|---|
| Cosmético | Estabilizador de emulsões como cremes e tônicos, condicionadores, polidores de unhas. |
| Indústria têxtil | Roupas para esportes, tendas e equipamentos de camping. |
| Mineração, refinaria | Esponjas para coletas de vazamento de óleos, materiais para absorção de toxinas. |
| Tratamento de lixo | Reciclagem de minerais e óleos. |
| Purificação de esgotos | Purificação de esgotos urbanos, ultra-filtração de água. |
| Comunicações | Diafragma para microfones e fones estéreos. |
| Indústria de alimentos | Celulose comestível (nata de coco). |
| Indústria de papel | Substituição artificial de madeira, papéis especiais. |
| Medicina | Pele artificial temporária para queimaduras e úlceras, componentes de implantes dentários. |
| Laboratórios | Imobilização de proteínas de células, técnicas cromatográficas, meio para cultura de tecidos. |
| Eletrônica | Materiais opto-eletrônicos (tela de cristal líquido, suporte para OLED). |
| Energia | Membranas de célula combustível (paládio). |

Fonte: Adaptado de Donini (2011).

2 OBJETIVOS

Neste estudo foi avaliada a produção de celulose bacteriana em cultura estática a partir dos substratos glicose, manitol e glicerol utilizando a bactéria *Komagataeibacter hansenii*. As películas produzidas foram caracterizadas quanto a sua produtividade, determinando a massa produzida do biopolímero por gravimetria, e quanto a sua morfologia, utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.1 Objetivos Específicos

- Analisar a influência das diferentes fontes de carbono e o tempo de cultivo na produção de celulose bacteriana em cultura estática;
- Determinar a massa de CB por gravimetria produzida a partir da utilização de diferentes fontes de carbono;
- Caracterizar a morfologia das membranas de CB utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A biomassa de CB foi obtida utilizando três diferentes fontes de carbono (manitol, glicose e glicerol). Após cada tempo de cultivo, obteve-se a massa de celulose bacteriana através dos processos de purificação e secagem. As películas foram então analisadas quanto ao seu rendimento por gravimetria e quanto a sua morfologia por MEV.

3.1 Micro-organismo empregado

Foi utilizada a bactéria *Komagataeibacter hansenii*, ATCC23769, obtida da Coleção de Culturas Tropicais (CCT) - Fundação André Tosello. A bactéria foi mantida ativa utilizando um meio de cultivo com a seguinte composição: 3 g·L⁻¹ de peptona, 5 g·L⁻¹ de extrato de levedura e 25 g·L⁻¹ de manitol.

3.2 Meio de cultivo

A composição do meio de cultivo utilizado foi de 36 mL contendo extrato de levedura ($5,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), peptona ($3,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), e uma das 3 fontes de carbono (manitol, glicose e glicerol), com uma concentração de $25,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Ao meio de cultivo foram acrescentados 4 mL do inóculo contendo *K. hansenii* cultivado durante 7 dias.

3.3 Condições de cultivo

Foram realizadas 3 séries de experimentos em duplicata, sendo cada série contendo uma fonte de carbono: manitol, glicose e glicerol. Para cada série foram preparados 14 frascos de Erlenmeyer de 125 mL, contendo 36 mL do meio de cultivo a pH 7 (seção 3.2), previamente esterilizado em autoclave por 20 minutos a 121°C .

Após a inoculação de 4 mL de uma solução contendo a bactéria *K. hansenii*, totalizando 40 mL de meio de cultivo, os frascos de Erlenmeyer foram colocados em uma incubadora DBO a 30°C . De cada série, dois frascos foram coletados nos tempos de incubação de 4, 7, 11, 15, 19, 23 e 27 dias.

Os hidrogéis de celulose bacteriana obtidos foram então purificados nos frascos de Erlenmeyer previamente utilizados para o seu cultivo, sendo adicionados 75 ml de Hidróxido de Sódio (NaOH) $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Após, os frascos foram mantidos em estufa a 60°C durante 48h para purificação. O NaOH foi substituído por água destilada, retornando à estufa por 48h. Após, foram mantidas sob refrigeração e lavadas duas vezes com água destilada a cada 48 horas. O biopolímero foi colocado em estufa a 40°C para o processo de secagem, sendo cada amostra pesada para a determinação da massa de celulose produzida.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

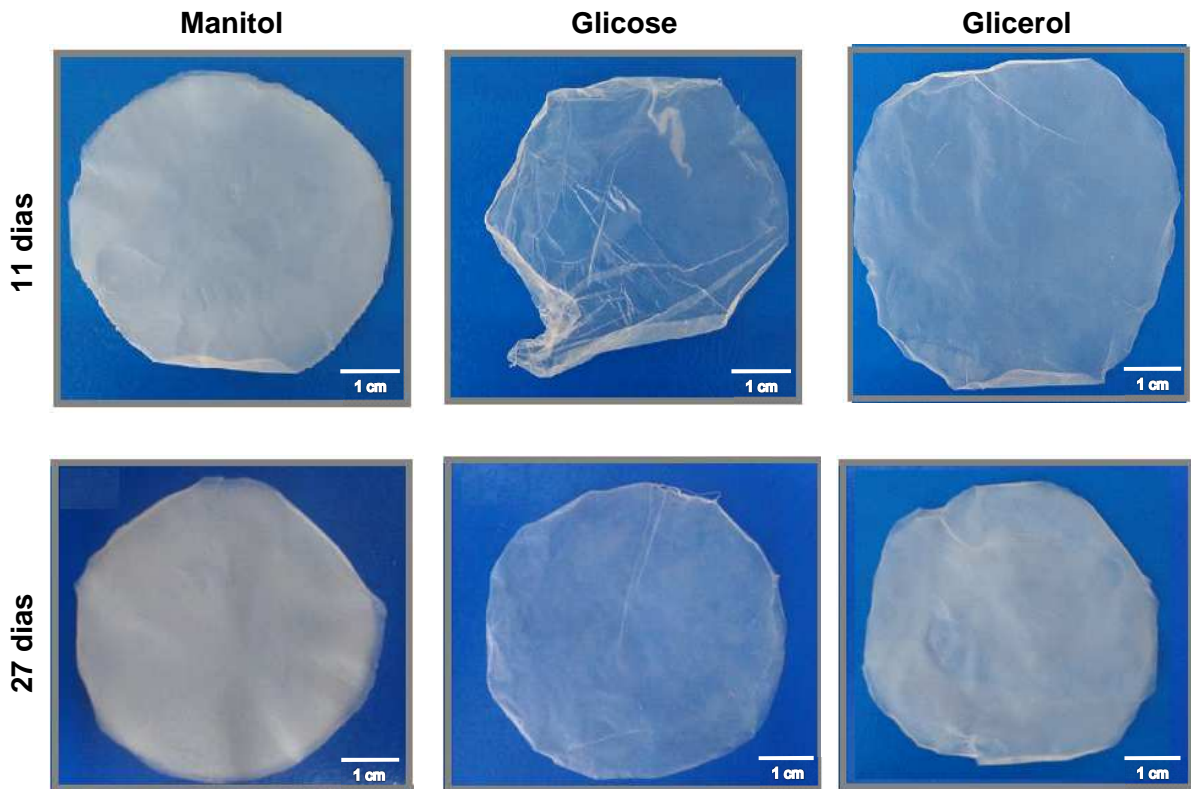
Para a análise morfológica das amostras de CB foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura, marca JEOL modelo JSM-6390 LV. Para as observações no MEV, às amostras secas por congelamento foram colocadas sobre um suporte de alumínio e a superfície foi recoberta com uma camada de ouro de 30 nm, utilizando um metalizador Leica EM SCD 500.

4 RESULTADOS

Películas de celulose bacteriana (CB) foram produzidas em cultura estática utilizando-se a bactéria *Komagataeibacter hansenii*. Foi analisada a influência do substrato (manitol, glicose e glicerol) e os tempos de cultivo (4, 7, 11, 15, 19, 23 e 27 dias). Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

A Figura 3 apresenta imagens das películas de CB obtidas para os tempos de cultivo de 11 e 27 dias, para as fontes de carbono manitol, glicose e glicerol.

Figura 3 – Películas de celulose bacteriana obtidas após 11 e 27 dias de cultivo utilizando as fontes de carbono manitol, glicose e glicerol.



Fonte: Autores (2016).

Analisando a Figura 3, é possível constatar que as películas obtidas utilizando o manitol como fonte de carbono, ficaram mais opacas e resistentes quando comparadas a glicose e glicerol para um mesmo tempo de cultivo.

A Tabela 1 apresenta os resultados (em $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) obtidos para a massa seca de celulose bacteriana produzida.

Tabela 1 – Massa seca de celulose bacteriana obtida utilizando as três fontes de carbono em diferentes tempos de cultivo.

| Tempo [dias] | Manitol | | Glicerol | | Glicose | |
|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Massa [g·L ⁻¹] | Média [g·L ⁻¹] | Massa [g·L ⁻¹] | Média [g·L ⁻¹] | Massa [g·L ⁻¹] | Média [g·L ⁻¹] |
| 4 | 0,7550 | 0,7250 | 0,0150 | 0,0600 | 0,0250 | 0,0525 |
| | 0,6950 | | 0,1050 | | 0,0800 | |
| 7 | 1,3675 | 1,3738 | 0,5175 | 0,3738 | 0,3250 | 0,3363 |
| | 1,3800 | | 0,2300 | | 0,3475 | |
| 11 | 2,4350 | 2,4025 | 0,8575 | 0,9175 | 0,5075 | 0,5213 |
| | 2,3700 | | 0,9775 | | 0,5350 | |
| 15 | 3,4975 | 3,3999 | 1,3225 | 1,3313 | 0,7025 | 0,6725 |
| | 3,3006 | | 1,3400 | | 0,6425 | |
| 19 | 3,5975 | 3,7363 | 1,6175 | 1,6025 | 0,6375 | 0,6425 |
| | 3,8750 | | 1,5875 | | 0,6475 | |
| 23 | 4,0650 | 3,9853 | 2,0175 | 2,0500 | 0,7875 | 0,7775 |
| | 3,9055 | | 2,0825 | | 0,7675 | |
| 27 | 4,6950 | 4,8950 | 2,3200 | 2,3325 | 1,0200 | 0,9900 |
| | 5,0950 | | 2,3450 | | 0,9600 | |

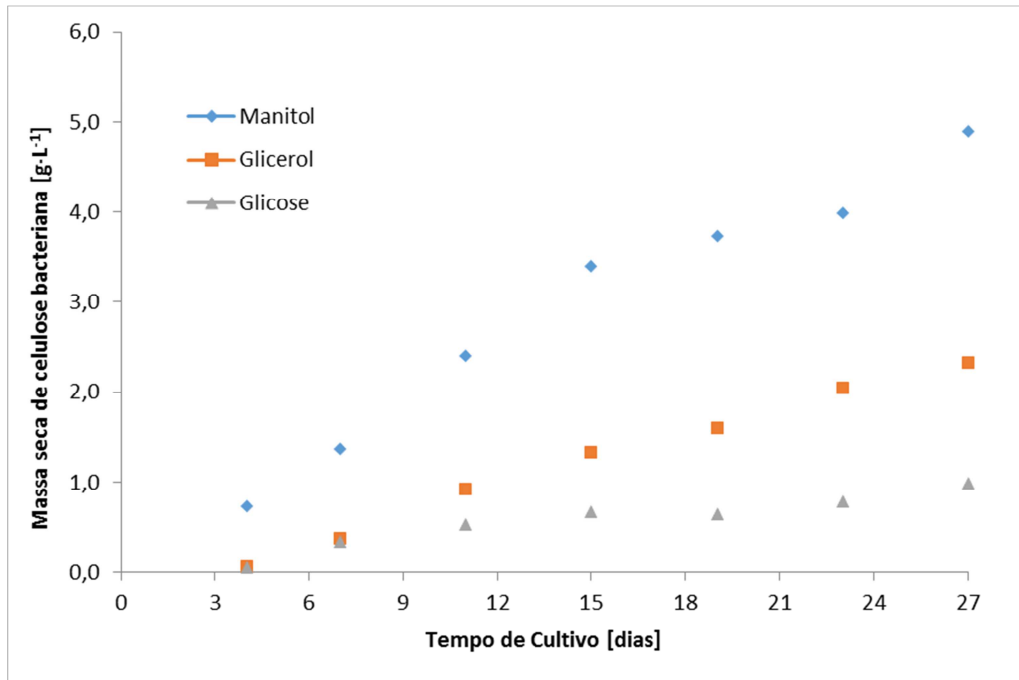
Fonte: Autores (2016).

Analisando os resultados é possível constatar que o manitol e glicerol obtiveram rendimentos superiores à glicose, que é o substrato muitas vezes empregado nestes processos de produção. Considerando o tempo de 27 dias, a quantidade de biopolímero produzida foi quase 5 vezes maior quando foram comparados o manitol 4,89 g·L⁻¹ e a glicose 0,99 g·L⁻¹.

Já a relação entre manitol e glicerol foi de aproximadamente 2 (4,89 g·L⁻¹ e 2,33 g·L⁻¹) demonstrando que o glicerol, apesar de possuir uma menor quantidade de carbono em sua estrutura, é convertido de forma mais eficiente em celulose bacteriana.

A Figura 4 apresenta as curvas de crescimento da massa de celulose bacteriana para as três fontes de carbono.

Figura 4 – Massa seca de celulose bacteriana produzida utilizando diferentes fontes de carbono: manitol, glicerol e glicose.



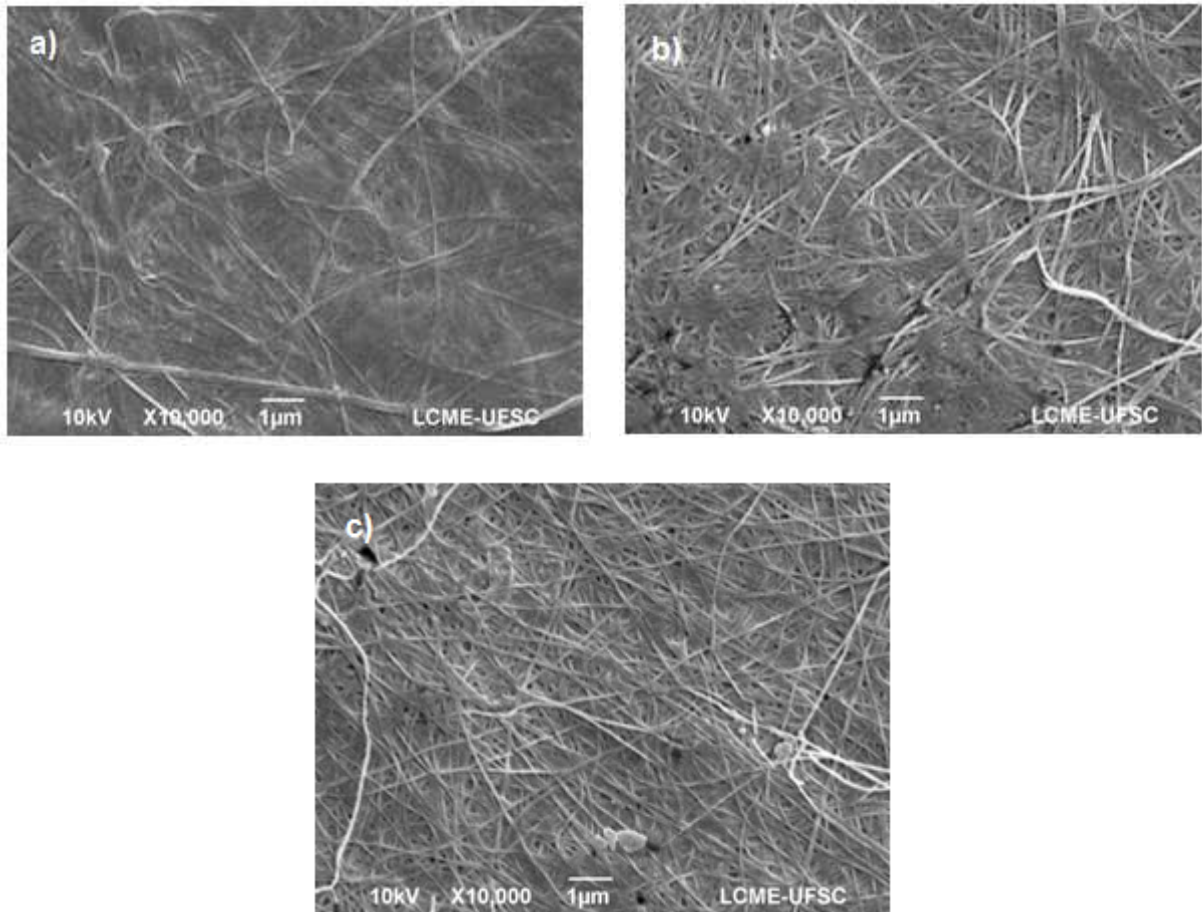
Fonte: Autores (2016).

Analisando a Figura 4, é possível observar uma relação entre a massa de celulose bacteriana obtida para cada tempo de produção em função das três diferentes fontes de carbono utilizadas. Já o manitol e o glicerol apresentam uma taxa de crescimento mais prolongada. O Glicerol, ainda que não tenha obtido o melhor desempenho ($2,33 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), quando comparado ao manitol ($4,89 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), destaca-se uma vez que o mesmo é um subproduto da produção de biodiesel, sendo considerado uma fonte de carbono de baixo custo.

As películas de celulose bacteriana produzidas utilizando glicerol, manitol e glicose foram caracterizadas morfológicamente utilizando-se Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As micrografias foram obtidas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC – Campus de Florianópolis.

A Figura 5 apresenta as micrografias para as películas obtidas no tempo de 27 dias utilizando três diferentes fontes de carbono.

Figura 5 - Micrografias (MEV) das películas de celulose bacteriana produzidas utilizando a) manitol, b) glicose e c) glicerol.



Fonte: Autores (2016).

A análise das micrografias demonstra que as películas produzidas utilizando manitol, Figura 5a, possui uma rede de nanofibras mais fechadas, demonstrando um maior rendimento na obtenção do biopolímero, sendo a sua superfície mais rugosa quando comparada com as películas obtidas por meio dos outros substratos (glicose e glicerol) como mostram as Figuras 5b e 5c.

De acordo com a densidade de fibras, as películas de CB podem ser utilizadas em diferentes aplicações. A membrana produzida utilizando manitol, por possuir uma superfície mais fechada, pode ser utilizada na separação de gases, enquanto a CB produzida utilizando glicose, pode ser utilizada como *scaffolds*, na engenharia de tecidos, por possuir maior abertura entre as fibras e por permitir uma maior migração das células para o seu interior, favorecendo assim uma maior aderência das mesmas no material.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando separadamente os resultados obtidos é possível compreender que a fonte de carbono que fornece uma maior obtenção de massa de celulose para um mesmo tempo de crescimento é o manitol. Evidencia-se a sua importância, pois é um carboidrato que pode ser encontrado naturalmente em alguns vegetais, tais como, beterraba, cebola, azeitonas, entre outros. Pode ser considerado uma matéria-prima de baixo custo quando comparado a glicose, por esta razão pode ser utilizado para os mais diversos fins comerciais e científicos.

Tanto o manitol ($4,89 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) como o glicerol ($2,33 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), apresentaram resultados promissores, mostrando-se necessária a continuidade da otimização das condições de produção, para desenvolver a análise da síntese da celulose bacteriana utilizando fontes de carbono de baixo custo.

Desse modo, percebe-se que as pesquisas envolvendo diferentes fontes de carbono estão avançando cada vez mais, visando baratear o processo para que a obtenção deste biopolímero seja mais acessível.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradeço ao meu orientador pela oportunidade e ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME-UFSC) pelas análises de microscopia eletrônica de varredura.

ABSTRACT

Bacterial cellulose is a polymeric material with a wide applicability due to its biodegradable and inert properties and its high liquid absorption capacity. Its characteristics provide this material applicability in the food, textile, and biomedical industries, as well as in different engineering areas such as acoustics and optics. Therefore, it is of fundamental importance to develop methods of obtainment of this material in an optimized way. Currently, it is very common the production of bacterial cellulose the use of industrial waste, and one of the main components found in the wastes are the different sources of carbon. The aim of this work was to produce bacterial cellulose in static mode using the bacterium *Komagataeibacter hansenii* for three different sources of carbon (mannitol, glucose and glycerol). The results showed that the highest production of bacterial cellulose was obtained with 27 days of culture using mannitol as carbon source and under conditions of 40 mL at 30°C and pH 7, obtaining a biomass of (4,89g·L⁻¹). However, glycerol (2,33g·L⁻¹), presented great potential to be used in the production of bacterial cellulose due to the fact that it is a cheap carbon source when compared to mannitol and glucose. The decrease of the production cost will allow the development of a greater amount of applications for this biopolymer in the most diverse areas of daily life.

Keywords: Bacterial cellulose. Different sources of carbon. Polymeric material.

REFERÊNCIAS

- BROWN, A. J. An acetic ferment which forms cellulose. **Journal of Chemical Society**, v. 49, p. 432–439, 1886.
- BROWN, R. M.; SAXENA, I. M.; KUDLICKA, K. Cellulose biosynthesis in higher plants. **T. Plant Sci.**, v.1, n.5, p.149–156, 1996.
- CZAJA, W.; KRYSZYNOWICZ, A.; BIELECKI, S.; BROWN, R. M. Jr. Microbial cellulose--the natural power to heal wounds. **Biomaterials**, v. 27, p. 145–151, 2006.
- DONINI et al. **Desenvolvimento de métodos de cultivo de Gluconacetobacter xylinus** para obtenção de compósitos à base de celulose bacteriana e colágeno Tipo I. Adicionado in situ, v. 35, p. 165–178, 2011.
- DUDMAN, W.F. Cellulose production by Acetobacter strain in submerged culture. **J. Gen. Microbiol**, v.22, p.25–29, 1960.
- ERENO, D. **Celulose na pele**. Bactéria produz substância usada para tratar queimaduras e no revestimento de coletes à prova de balas. 2004. Disponível em: <www.revistapesquisa.fapesp.br> Acesso em: 27 set. 2016.
- GALAS, E.; KRYSZYNOWICZ, A.; Method of bacterial cellulose production. **Polish Patent**, v. 171952, 1999.
- IYER, P.R.; GEIB S. M.; CATCHMARK, J.; KAO, T.H.; TIEN, M. Genome sequence of a cellulose producing bacterium, *Gluconacetobacter hansenii* ATCC 23769. **J Bacteriol**, v.192, p.4256–4257, 2010.
- KLEMM, D.; KRAMER, F.; MORITZ, S.; LINDSTROM, T.; ANKERFORS, M.; GRAY, D. Nanocelluloses: a new family of nature-based materials. **Angewandte Chemie International**, v.50, p.5438–5466, 2011.
- KLEMM, D.; HEUBLEIN, B.; FINK, H-P.; BOHM, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. **Angew. Chem.**, v. 44, p. 2–37, 2005.
- KLEMM, D.; SCHUMANN, D.; KRAMER, F.; HESSLER, N.; HORNING, M.; SCHMAUDER, H-P.; MARSCH, S. Nanocelluloses as innovative polymers in research and application. **Adv. Polym. Sci.**, v. 205, p. 49–96, 2006.
- KONTTURI, E.; TAMMELIN, T.; ÖSTERBERG, M. Cellulose models films and the fundamental approach. **Chemical Society Reviews**, v. 35, p. 1287–1304, 2006.
- KRYSZYNOWICZ, A.; CZAJA, W.; WIKTOROWSKA, A.; GONCALVES, M.; TURKIEWICZ, M.; BIELECKI, S. Factors affecting the yield and properties of bacterial cellulose. **J Indus Microbiol Biotechnol**, v.29, p.189–195, 2002.
- LEE, K.J., BULDUM, G., MANTALARIS, A., BISMARCK, A. More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. **Macromol Biosci**, v. 14, p.10–32, 2014.

MOHITE, B. V.; PATIL, S. V. A novel biomaterial: Bacterial cellulose and its new era applications. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 61, n. 2, p. 101–110, 2014.

NAINGGOLAN, H., S. GEA, E. BILOTTI, T. PEIJS, S. D. HUTAGALUNG. Mechanical and thermal properties of bacterial cellulose fiber reinforced bionanocomposite. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, v. 4, p. 385–329, 2013.

PECORARO, E.; MANZANI, D.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. L. Bacterial Cellulose from *Gluconacetobacter xylinus*: preparation and applications. **Amsterdam Elsevier**, v. 1, n.17, p.369–383, 2009.

POLETTI, M.; PISTOR, V., ZATTERA, J. Structural Characteristics and Thermal Properties of Native Cellulose. Van de Ven, T. and Godbout, L. eds., **Cellulose Fundamental Aspects**, p.45–68, 2013.

ROSS, P.; MAYER, R.; BENZIMAN, M. Cellulose biosynthesis and function in bacteria. **Microbiological Reviews**, v.55, n.1, p.35–58, 1991.

ROY, D.; SEMSARILAR, M.; GUTHRIE, J. T.; PERRIER, S. Cellulose modification by polymer grafting: a review. **Chem. Soc. Rev.**, v. 38, p. 2046–2064, 2009.

SAXENA I. M., KUDLICKA K., OKUDA K., BROWN R. M. Characterization of genes in the cellulose-synthesizing operon of *Acetobacter xylinum*: implications for cellulose crystallization. **J. Bacteriol**, v. 176, p. 5735–5752, 1994.

VITTA, S; THIRUVENGADAM, V. **Multifunctional bacterial cellulose and nanoparticle embedded composites**, *Curr. Sc.*, v.102, n.10, p.1398–1405, 2012.

WATANABE, K.; TABUCHI, M.; MORINAGA, Y.; YOSHINAGA, F. Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. **Cellulose**, v.5, n.3, p.187–200, 1998.

YAMADA, Y.; YUKPHAN, P.; VU, H.T.L.L.; MURAMATSU, Y.; OCHAIKUL, D.; TANA SUPAWAT, S.; NAKAGAWA, Y. Description of *Komagataeibacter* with proposals of new combinations (Acetobacteraceae). **Gen. Microbiol**, v.58, p.397–404, 2013.