

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE DISPOSITIVOS ÓPTICOS FEITOS DE ÁGAR

Palavras-Chave: AGAR, MATERIAL BIODEGRADÁVEL, SENSOR A FIBRA ÓPTICA

Autores/as:

LIDIA DE OLIVEIRA ROSA, IFGW, UNICAMP

Prof. Dr. CRISTIANO MONTEIRO DE BARROS CORDEIRO (co-orientador) IFGW, UNICAMP

Prof. Dr. ERIC FUJIWARA (orientador) FEM, UNICAMP

INTRODUÇÃO

Produtos biodegradáveis se tornam cada vez mais indispensáveis na busca atual por alternativas sustentáveis. Materiais como celulose, seda e biopolímeros [1][2] já são reportados na literatura, utilizados para a produção de guias de onda, enquanto o ágar é utilizado na confecção de fibras ópticas estruturadas [3]. Na produção de lentes plano côncava/convexa, destacam-se materiais como açúcar, gelatina e ágar [4].

Ágar é um hidrocoloide obtido de algas marinhas muito utilizado para fins culinários. Devido a suas características singulares, no entanto, suas aplicações não se limitam. Dentre suas propriedades estão: transparência, flexibilidade, maleabilidade, reversibilidade térmica e estabilidade química e mecânica [5].

Neste trabalho utilizamos o ágar para confeccionar dispositivos ópticos biodegradáveis, como fibras e lentes esféricas, empregando materiais de baixo custo e métodos simplificados. São aptos à adaptação de suas propriedades ópticas e geométricas mediante mudanças simples em seus

processos de fabricação. Ademais, estes dispositivos apresentam potencial para sensoriamento ambiental, iluminação e imagiologia biomédica.

METODOLOGIA

Fabricação de dispositivos ópticos

Para a fabricação das fibras biodegradáveis, utilizamos uma concentração de 2% ágar diluído em uma solução que variava entre 0 e 60% de glicerina. A mistura de ágar é então levada a uma chapa de aquecimento equipada com um agitador magnético. Depois de atingir o ponto de ebulição, a mistura é resfriada em temperatura ambiente para colapsar as bolhas de ar. Em seguida, o líquido resultante é aspirado, utilizando uma seringa, em um tubo de silicone com diâmetro de 0,75, 1,00 e 2,50 mm que funciona como um molde para a fibra.

O conjunto seringa-tubo é deixado no refrigerador por 15 minutos para que o ágar seja completamente solidificado. Após o tempo estipulado, aplicamos pressão no êmbolo da seringa e a fibra é expelida, como demonstrado no diagrama da Fig. 1. Obtemos assim uma fibra “no core”, flexível e transparente.

Para a fabricação das esferas de ágar realizamos um processo semelhante ao das fibras de ágar. Preparamos a solução, 2% ágar diluído em uma solução de 60% glicerina em água, e aquecemos até o ponto de ebulição.

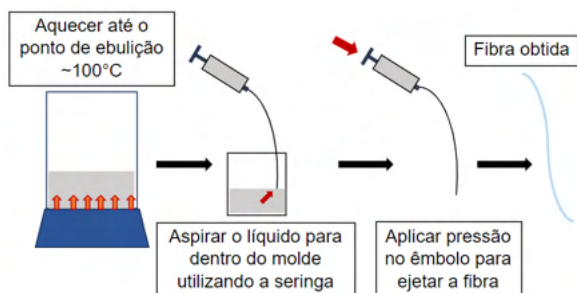


Fig. 1. Diagrama de fabricação de fibras de ágar.

Em um recipiente à parte, colocamos óleo vegetal em temperatura ambiente juntamente com um ímã. Ao posicionarmos este recipiente sob um agitador magnético, o ímã é rotacionado e sua velocidade por ser controlada.

Despejamos então a solução obtida dentro do óleo vegetal em movimento de maneira lenta e constante, como demonstrado no diagrama da Fig. 2. As esferas são formadas pela tensão superficial dos líquidos e pela velocidade de rotação do ímã.

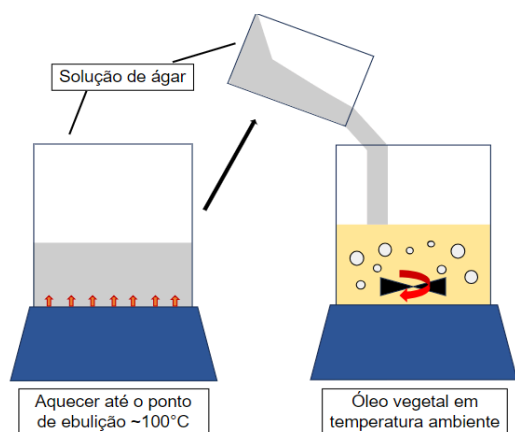


Fig. 2. Diagrama de fabricação de esferas de ágar

As esferas solidificadas são separadas do óleo com o auxílio de uma peneira e lavadas com água destilada.

Os remanescentes de óleo são eliminados posteriormente utilizando uma lavadora ultrassônica.

No gráfico da Fig. 3 é possível observar a relação entre diâmetro das esferas obtidas e velocidade de rotação do ímã. Neste, cada ponto representa a média de um histograma obtido para cada velocidade. As barras de erro representam o primeiro e terceiro quartis.

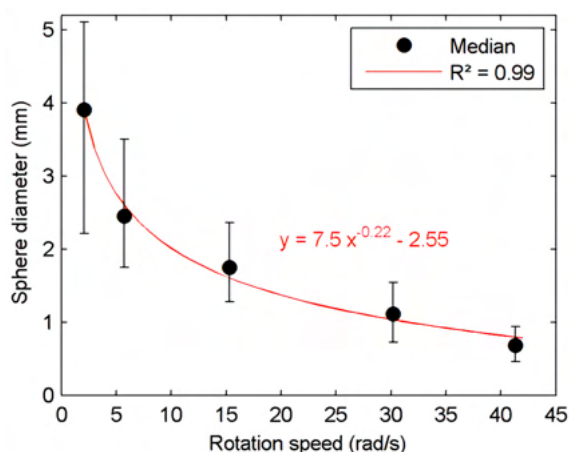


Fig. 3. Diâmetro das esferas de ágar em milímetros em função da velocidade de rotação do ímã em radianos por segundo

Observamos que, para menores velocidades, o diâmetro médio esteve em torno de 4 mm, obtivemos, porém, uma variedade maior de diâmetros. Ao aumentarmos a velocidade de rotação, o diâmetro médio foi reduzido para 1 mm. Isto ocorre porque o aumento da velocidade de rotação gera um aumento na aceleração centrípeta e consequente força centrípeta atuante na solução que as separa em formações menores.

Caracterização dos dispositivos

As fibras de ágar foram caracterizadas de acordo com seu índice de refração e sua perda óptica.

Para o índice de refração utilizamos um refratômetro Abbe (589 nm, resolução 10^{-4}) que analisou amostras cúbicas.

A perda óptica foi obtida utilizando um set up que consistia em um laser He-Ne (633 nm) acoplado a uma fibra multimodo de sílica que iluminava uma fibra de ágar e sua saída de luz era capturada utilizando uma câmera CCD, como demonstrado na

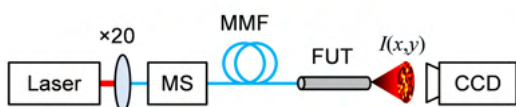


Fig. 4.

Fig. 4. Esquema de montagem experimental para caracterização da fibra de ágar

Realizamos então a metodologia cut-back com passos de 5 mm iniciando em uma fibra de 50 mm de comprimento e 2,5 mm de diâmetro. Finalmente, a análise de dados foi feita por meio de uma rotina de MATLAB que analisou as imagens obtidas pela câmera.

Caracterizamos as esferas de ágar com relação à sua distância focal e para isso utilizamos uma montagem experimental como mostrado na Fig. 5.

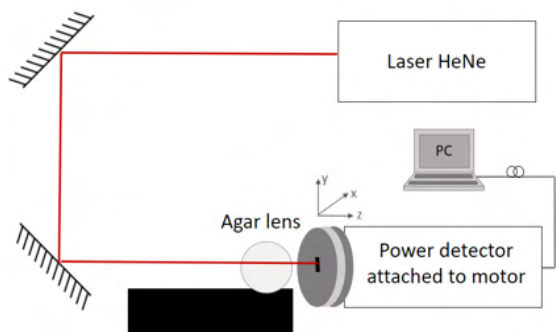


Fig. 5. Esquema de montagem experimental para caracterização da esfera de ágar

O set up consiste em um laser HeNe (633 nm), um atenuador de 0,5 e um conjunto de espelhos que

direcionam o laser para nossa amostra. O laser atravessa a lente esférica e a sua frente há uma fenda (50 μm) e um detector de potência. O detector está anexado a um motor (1 μm de resolução) de maneira que é possível controlar a direção do movimento do detector, por meio de uma interface LabVIEW, e realizar medições na região de interesse.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fibra de ágar

O primeiro resultado obtido para a fibra de ágar é apresentado no gráfico da Fig. 6 que mostra os resultados do índice de refração em função da concentração de glicerina de uma amostra de 2% ágar.

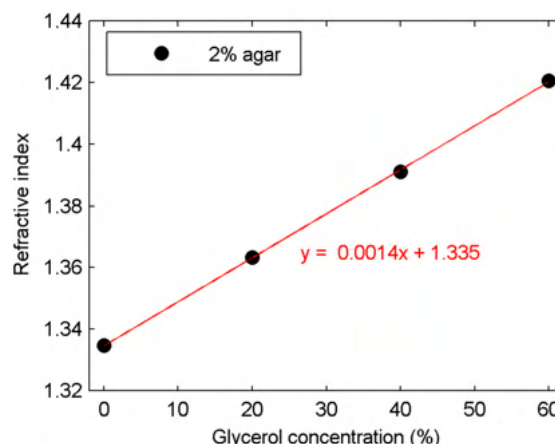


Fig. 6. Índice de refração em função da concentração de glicerina em porcentagem

Os resultados são concordantes com o esperado para soluções de água e glicerina [6], o que indica que a concentração de ágar não representa influência significativa no índice de refração.

A partir deste resultado podemos inferir que é possível controlar propriedades ópticas de nosso dispositivo através da composição química e de mudanças na fabricação.

Foi observado também que a adição de glicerina à amostra representou um aumento significativo na transparência, rigidez e estabilidade mecânica das fibras de ágar [5].

O resultado para a perda óptica das fibras de ágar está demonstrado no gráfico da Fig. 7.

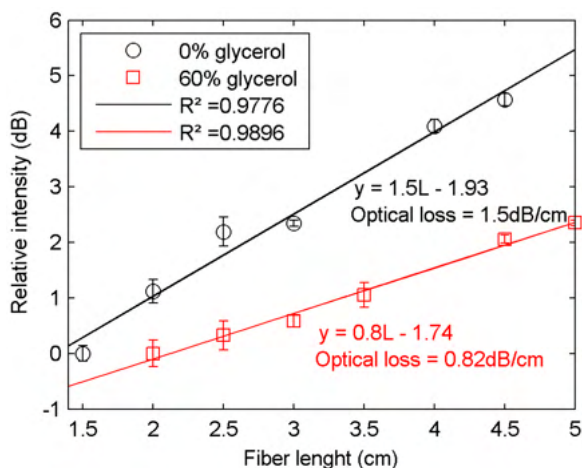


Fig. 7. Intensidade relativa em dB em função do comprimento da fibra em centímetros

Obtivemos para a fibra de apenas água e ágar uma perda óptica de 1,5 dB/cm e para a fibra com 60% glicerina a perda óptica foi de 0,82 dB/cm.

A despeito das perdas elevadas se comparadas às fibras de sílica, os resultados são consistentes com outras fibras biodegradáveis disponíveis fabricadas com materiais mais caros e mediante processos mais complexos.

Lentes esféricas

Para a caracterização das esferas de ágar, analisamos os dados coletados pelo detector de potência utilizando a montagem experimental mostrada na Fig. 5, considerando o feixe resultante da passagem do laser pela amostra como um feixe gaussiano.

Os resultados da medição para diferentes pontos no eixo z foram ajustados conforme a equação

$$I = I_0 e^{-2r^2/w^2}$$

onde I_0 é a intensidade inicial do feixe e w é a cintura do feixe gaussiano nestes pontos.

Em seguida utilizamos a equação de evolução do feixe ao longo do eixo z, dada por

$$w(z) = w_{focus} \sqrt{1 + (\lambda z / \pi w_{focus}^2)^2}$$

onde λ é o comprimento de onda do laser e z é o deslocamento ao longo do eixo z.

Utilizando esta equação computamos qual seria a cintura do feixe no ponto de foco da lente esférica e a partir desta conseguimos calcular a distância focal da lente a partir da equação

$$F = \pi w_{focus} w_{input} / \lambda k$$

onde w_{input} representa a cintura do feixe incidente e k é um número entre 1 e 1,1, que expressa quão compatível com um feixe gaussiano nosso feixe resultante é.

Os resultados para a distância focal das esferas em função do diâmetro estão apresentados no gráfico da Fig. 8 assim como os valores teóricos esperados. Nesta análise, variamos os diâmetros e mantemos fixo o índice de refração de 1,42, ou seja, utilizamos uma esfera com concentração de 60% glicerina.

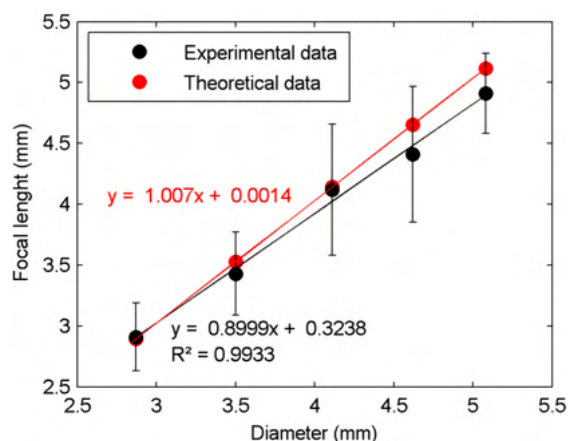


Fig. 8. Distância focal em milímetros em função do diâmetro das lentes em milímetros

A partir do gráfico podemos inferir que os resultados obtidos estão de acordo com os valores teóricos esperados para lentes esféricas de mesmo diâmetro. Os resultados com melhor adequação ao foco teórico são das lentes esféricas de 2,87 mm e 4,11 mm. Os demais resultados encontram-se dentro das barras de erro, que são dadas por meio de uma matriz de covariância durante a análise de dados da cintura do feixe.

Em seguida, realizamos uma nova análise, agora mantemos o diâmetro aproximado fixo entre 4,10 e 4,20 mm e variamos o índice de refração das amostras. Os resultados podem ser observados no gráfico da Fig. 9.

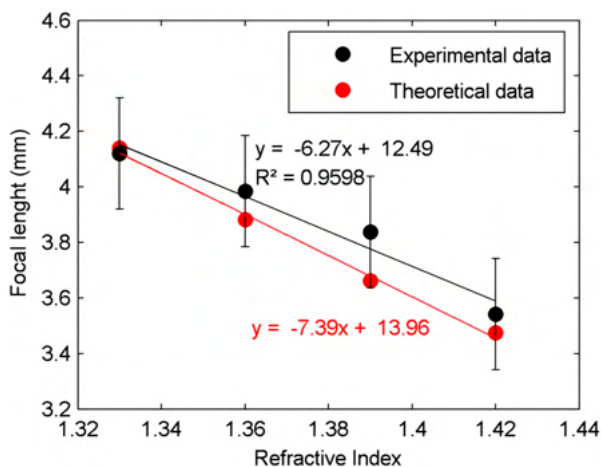


Fig. 9. Distância focal em milímetros em função do índice de refração das lentes esféricas

No gráfico apresentado, o primeiro ponto representa o índice de refração de 1,33, ou seja, uma amostra que contém apenas água. Os demais valores apresentam um aumento crescente da concentração de glicerina na amostra (para um comparativo, verificar Fig. 6).

Podemos observar que a distância focal exibe uma relação de proporcionalidade inversa com o índice de refração. Neste caso existe também um aumento na discrepância entre os valores teórico e experimental. Isto pode estar relacionado a diferentes fatores, como

variação da elipticidade das esferas, homogeneidade do índice de refração e também devido a variações no tamanho das esferas, que podem sofrer encolhimento devido à sinérese quando deixada em temperatura ambiente.

CONCLUSÕES

Neste trabalho demonstramos dispositivos fabricados a base de ágar, um material biodegradável que permite controle de propriedades ópticas através do processo de fabricação e composição química. Os resultados obtidos são satisfatórios e comparáveis com produtos similares e previsões teóricas, apresentando potencial para aplicações nas áreas de sensoriamento ambiental e imagiologia biomédica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Reimer, et al. Fabrication of cellulose-based biopolymer optical fibers and their theoretical attenuation limit, *Biomacromolecules*, vol. 22, pp. 3297-3312, 2021.
- [2] M. Choi, et al. Light-guiding hydrogels for cell-based sensing and optogenetic synthesis in vivo, *Nat. Photonics*, vol. 7, pp. 987-994, 2013.
- [3] E. Fujiwara, et al. Agarose-based structured optical fiber, *Sci. Rep.*, vol. 10, 7035, 2020.
- [4] M. Nomura and H. Oku, Edible lens made of agar, *Opt. Rev.*, vol. 27, pp. 9-13, Feb. 2020.
- [5] L. M. Barrangou, et al, Textural properties of agarose gels. I. Rheological and fracture properties, *Food Hydrocol.* 20 (2006) 184-195.
- [6] K. Takamura, et al, Physical properties of aqueous glycerol solutions, *J. Petrol. Sci. Eng.* 98-99, 50-60, 2012.