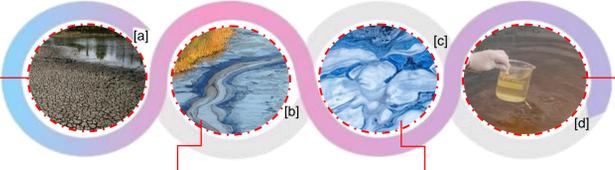


Daniel França Galindo¹, Heloína Lopes Capistrano², Francisco Augusto Oliveira Santos³

(1) - Estudante, (2) – Orientadora, (3) - Coorientador - EEMTI Marconi Coelho Reis, Cascavel - CE - mcprojeto@gmail.com

INTRODUÇÃO

Problemas relacionados à disponibilidade e qualidade da água



[a] G1 Ceará, 2023; [b] Pensamento verde, 2016, [c] Textile Industry, 2016, [d] O próprio autor, 2023.

PROBLEMA

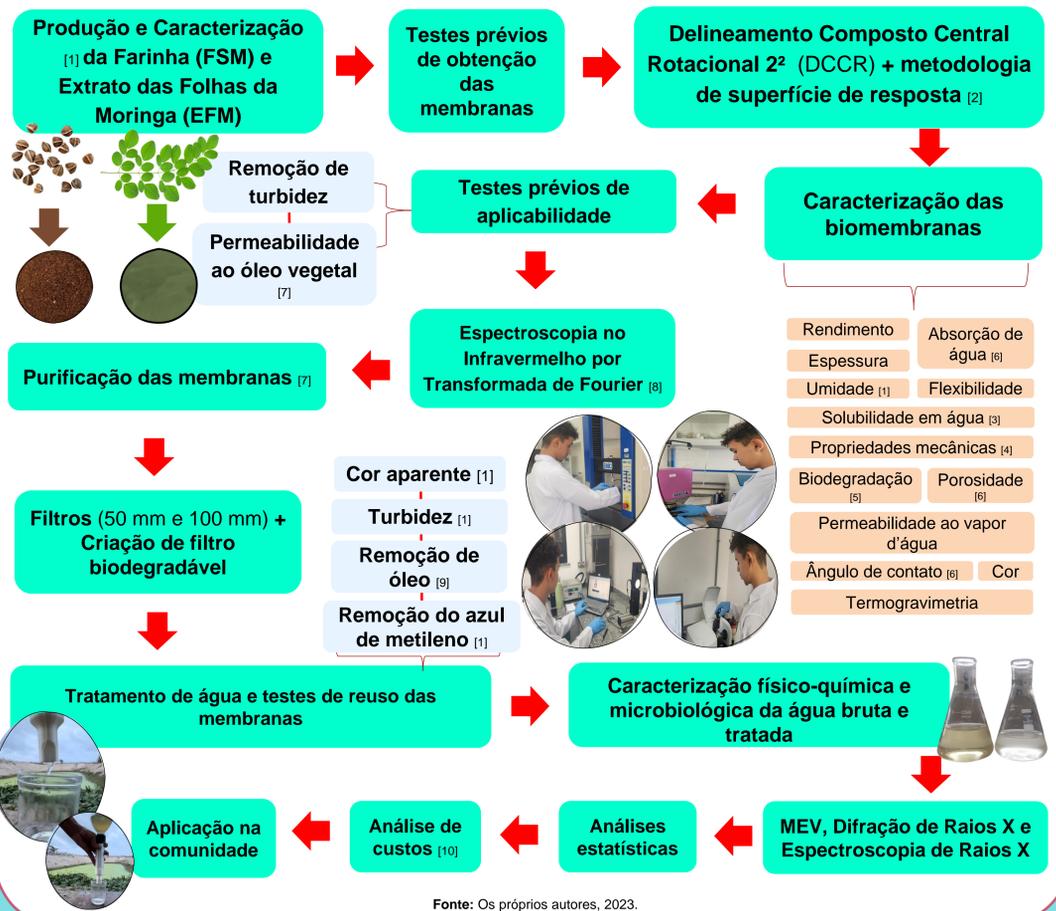
Seria possível desenvolver uma membrana bio-sintética em meio contendo extratos de folhas de *Moringa oleífera* e farinha de sementes dessa planta sendo o produto capaz de remover turbidez, cor, corantes catiônicos e substâncias apolares em meio aquoso?

HIPÓTESE

É possível bio-sintetizar uma membrana polimérica em meio contendo extratos de folhas de *Moringa oleífera* e farinha de sementes da planta supracitada capaz de remover em até 80% a turbidez, cor aparente, o corante azul de metileno e óleo vegetal em meio aquoso.

METODOLOGIA

Figura 1: Fluxograma metodológico



Fonte: Os próprios autores, 2023.

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra as membranas obtidas no meio contendo apenas substratos da moringa, tendo este se mostrado mais efetivo para bio-síntese polimérica. A Figura 3 apresenta as curvas de contorno para (a) biodegradabilidade e (b) porosidade e a Tabela 1, os resultados de caracterização das biomembranas obtidas no DCCR.

Figura 2: Membranas bio-sintéticas



Figura 3: Curvas de contorno para biodegradabilidade (a) e porosidade (b)

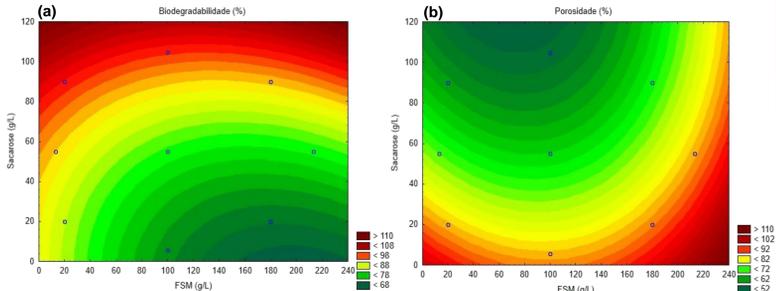


Tabela 1: Caracterização das membranas obtidas com o Delineamento Fatorial 2²

Ensaio	Espessura (mm)	Solubilidade (%)	Umidade (%)	Biodegradação (%)	Porosidade (%)	Módulo de Young (MPa)
1	0,64 ± 0,03 ^a	27,10 ± 0,07 ^a	2,9 ± 0,01 ^{ab}	98,38 ± 0,20 ^a	79,11 ± 0,16 ^{ad}	56,47 ± 0,06 ^{bc}
2	0,75 ± 0,05 ^a	25,37 ± 9,25 ^b	3,65 ± 0,10 ^a	97,49 ± 1,90 ^a	65,11 ± 0,64 ^{bd}	43,43 ± 2,77 ^a
3	1,5 ± 0,04 ^b	3,95 ± 0,14 ^c	3,85 ± 0,04 ^a	90,79 ± 0,11 ^{ab}	89,43 ± 0,34 ^c	410,09 ± 46,26 ^d
4	0,18 ± 0,00 ^c	21,8 ± 0,09 ^d	1,3 ± 0,32 ^c	98,74 ± 0,03 ^a	81,14 ± 0,10 ^d	173,17 ± 2,73 ^b
5	0,54 ± 0,02 ^{ad}	15,34 ± 0,07 ^b	3,25 ± 0,10 ^{ab}	87,23 ± 8,0 ^b	74,83 ± 0,25 ^e	13,82 ± 1,95 ^a
6	1,27 ± 0,19 ^b	12,60 ± 0,04 ^f	3,38 ± 1,08 ^a	65,22 ± 3,45 ^c	77,06 ± 0,52 ^{ae}	64,44 ± 12,42 ^{bc}
7	0,28 ± 0,01 ^{cd}	8,50 ± 0,30 ^e	1,01 ± 0,05 ^c	53,58 ± 0,82 ^d	88,49 ± 0,29 ^c	37,62 ± 9,90 ^a
8	0,46 ± 0,04 ^{acd}	27,82 ± 0,29 ^a	2,04 ± 0,06 ^{bc}	99,58 ± 0,38 ^a	44,49 ± 0,62 ^f	44,12 ± 0,34 ^b
9	0,7 ± 0,11 ^a	3,90 ± 0,01 ^c	3,34 ± 0,06 ^a	82,43 ± 0,47 ^b	63,16 ± 0,06 ^b	161,73 ± 42,14 ^{bc}
10	0,59 ± 0,06 ^{ad}	4,02 ± 0,02 ^c	3,41 ± 0,11 ^{ab}	81,5 ± 1,55 ^b	66,24 ± 0,03 ^{gh}	191,56 ± 19,67 ^b
11	0,77 ± 0,17 ^a	3,91 ± 0,03 ^c	3,43 ± 0,07 ^a	82,2 ± 1,05 ^b	67,72 ± 1,67 ^h	254,45 ± 70,19 ^b

Médias acompanhadas da mesma letra na coluna não diferiram significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte das imagens e tabela: O próprio autor, 2023.

RESULTADOS

A Análise de Componentes Principais (Figura 4) e Agrupamentos Hierárquicos (Figura 5), indicam que as amostras 3, 9, 10 e 11 se diferenciaram das demais, sendo selecionadas como as mais promissoras. Essas amostras foram caracterizadas via FTIR-ATR (Figura 6) identificando-se bandas típicas de celulose. A Figura 7 ilustra os filtros obtidos e as Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os dados de remoção dos contaminantes em água, demonstrando que a amostra 3 apresentou melhores resultados (p<0,05).

Figura 4: Componentes Principais (PCA) para propriedades das membranas

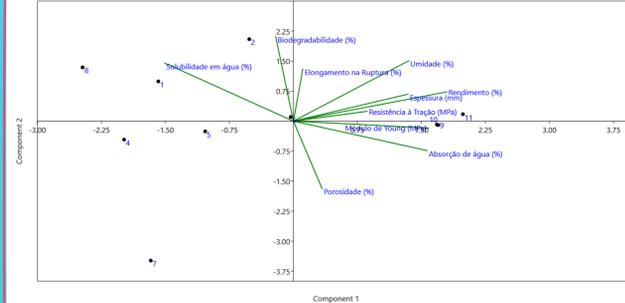


Figura 5: Agrupamento Hierárquico (HCA) das amostras de biomembranas

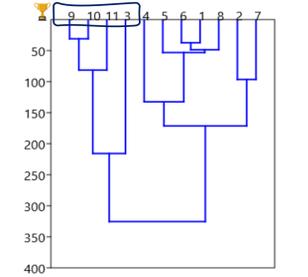


Figura 6: Espectros de FTIR-ATR das membranas bio-sintéticas

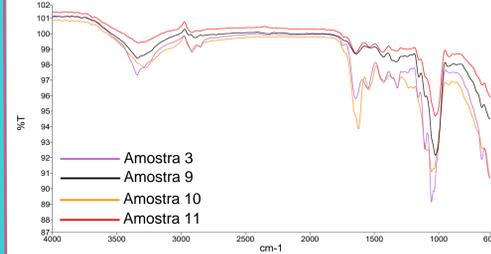


Figura 7: Protótipos de filtro reciclável (a) e biodegradável (b)

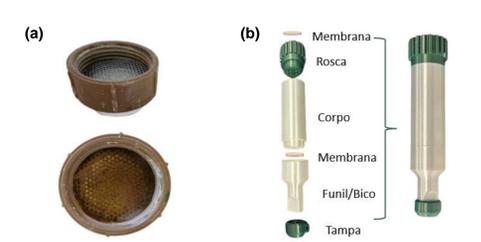


Tabela 2: Remoção (%) de óleo vegetal utilizando a membrana bio-sintética

Ensaio	10 ppm		20 ppm		200 ppm	
	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm
3	100 ± 0,0 ^a	100 ± 0,0 ^a	99,99 ± 0,01 ^a	100 ± 0,0 ^a	99 ± 0,82 ^a	100 ± 0,0 ^a
9	79,42 ± 0,55 ^b	98,13 ± 0,10 ^a	85,96 ± 0,66 ^b	80 ± 0,167 ^b	89,04 ± 0,57 ^b	86,58 ± 8,17 ^b
10	80,14 ± 2,58 ^b	98,9 ± 0,07 ^a	86,7 ± 1,21 ^b	79,58 ± 0,69 ^b	88,36 ± 0,45 ^b	80,91 ± 0,05 ^b
11	78,79 ± 0,12 ^b	98,06 ± 0,04 ^a	86,11 ± 0,26 ^b	80,62 ± 0,32 ^b	86,76 ± 1,28 ^b	80,57 ± 0,14 ^b

Tabela 3: Remoção (%) do azul de metileno utilizando a membrana bio-sintética

Ensaio	5 ppm		15 ppm		40 ppm	
	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm
3	100 ± 0,0 ^a					
9	89,18 ± 0,95 ^b	98,53 ± 0,17 ^a	51,98 ± 0,08 ^b	56,6 ± 2,02 ^b	49,1 ± 0,5 ^b	52,91 ± 3,06 ^b
10	89,35 ± 0,59 ^b	98,43 ± 0,11 ^a	51,6 ± 0,72 ^b	55,56 ± 3,34 ^b	49,02 ± 0,18 ^b	51,8 ± 0,07 ^b
11	89,4 ± 0,39 ^b	98,66 ± 0,02 ^a	51,1 ± 0,77 ^b	57,15 ± 1,91 ^b	49,43 ± 1,34 ^b	53,46 ± 2,26 ^b

Tabela 4: Redução (%) de cor e turbidez utilizando a membrana bio-sintética

Ensaio	Redução de cor (%)		Redução de Turbidez (%)	
	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm	Diâmetro do filtro 50mm	Diâmetro do filtro 100mm
3	99,37 ± 0,01 ^a	99,45 ± 0,01 ^a	98,4 ± 0,0 ^a	98,97 ± 0,03 ^a
9	99,24 ± 0,01 ^a	99,31 ± 2,02 ^a	90,33 ± 0,39 ^{bc}	96,13 ± 0,06 ^b
10	99,18 ± 0,02 ^a	99,25 ± 0,02 ^a	90,07 ± 0,15 ^{bc}	96,20 ± 0,04 ^b
11	99,2 ± 0,03 ^a	99,31 ± 0,03 ^a	90,62 ± 0,06 ^c	96,19 ± 0,05 ^b

Médias acompanhadas da mesma letra na coluna não diferiram significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Figura 8: Microscopia da Biomembrana: (a) antes e (b) após 20 utilizações

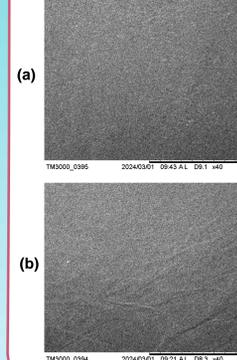


Figura 9: Difratograma de raios X da Biomembrana

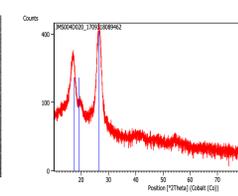


Figura 10: Espectros de raios X da membrana bio-sintética

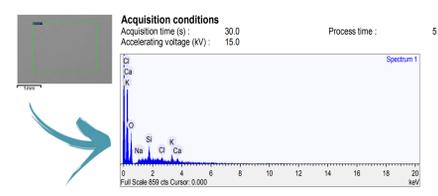


Figura 11: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável contemplados pelo projeto



Fonte das Figuras (1 a 10) e Tabelas: O próprio autor, 2024

Fonte da Figura 11: Adaptado de ONU, 2023.

CONCLUSÃO

O objetivo do projeto foi alcançado com êxito. Produziram-se membranas bio-sintéticas com potencial de remoção de corantes, óleos e demais contaminantes e que pode ser reutilizada 20 vezes. O projeto apresenta relevância tecnológica, científica, social e ambiental.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the AOAC. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists, 2005.
- NETO, B.B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas, Unicamp, 2001. 401p.
- GONTARD, N., et al. Edible composite films of wheat gluten and lipids: Water vapor permeability and other physical properties. International Journal of Food Science and Technology, 29(1), 39–50, 1994.
- ASTM. 2012. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting (D882-12). In: Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- MARTUCCI, J.F. Biodegradable three-layer film derived from bovine gelatin. Journal of Food Engineering, vol. 99, n. 9, p. 377–383, ago. 2010.
- LIN, C. W. et al. Sorption and transport properties of 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid-grafted bacterial cellulose membranes for fuel cell application. Journal of Power Sources, p. 297–305, 2013.
- CHEN, C. et al. Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application. Carbohydrate Polymers, (s. l.), v. 278, n. November 2021, p. 118995, 2022.
- GUIMARÃES, D.T. Produção de celulose bacteriana de alta absorção utilizando resíduo de processamento de cajá, 113f. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2023.
- SILVA JUNIOR, J.G da. Use of a bacterial cellulose filter for the removal of oil from wastewater. Process Biochemistry, 91. (2020) 288-296.
- MENDES, J. T. G. Economias: Fundamentos e Aplicações. 1ª Ed. São Paulo: Biblioteca Universitária Pearson, Marca Prentice Hall, 2012. 184 p.
- RICHACZESKI, C. C. Aplicação de celulose bacteriana produzida por *Gluconacetobacter Hansenii* para remoção do corante amarelo reativo B2R (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.