

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A DESSALINIZAÇÃO DE MEMBRANAS DE GRAFENO

Bianca Cristina Moggio¹, Natália Ueda Yamaguchi²

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Unicesumar – UNICESUMAR.
bianca_moggio@hotmail.com

² Orientadora, Doutora, Professora no Departamento de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Campus Maringá/PR, Universidade Unicesumar – UNICESUMAR. Pesquisadora no Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI.
natalia.yamaguchi@unicesumar.edu.br

RESUMO

A tecnologia de filtração com membranas vem se tornando o método mais promissor na área de dessalinização, com o aprimoramento do processo através da inserção de nanomateriais como o grafeno. Com o propósito de realizar um estudo no campo científico, apresentando o estado da arte da produção científica de modo a medir o desempenho dos pesquisadores para fornecer um panorama informativo a partir da coleção de artigos, a pesquisa bibliométrica sobre a dessalinização com membranas de grafeno foi compilada através da base de dados *Web of Science*. O número de publicações obteve um comportamento crescente, apresentando desenvolvimento de materiais, processos e aplicação da ciência, investigando o uso de nanotecnologias e analisando as propriedades quanto a permeabilidade de água, rejeição de sal e examinando as características anti-incrustantes e de resistência. A China demonstrou ser um grande contribuinte na área de pesquisa, seguida pelo Irã e o Estados Unidos. O Instituto de Tecnologia de Massachusetts a organização financiadora de maior destaque, além da revista *Desalination*, destacada pelo maior número de publicações de artigos. A realização do estudo de membranas de grafeno para o uso da dessalinização revelou que as membranas de grafeno puro e associada a outro material apresentam resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Nanotecnologia; Óxido de Grafeno; *Web of Science*.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional, a escassez da água tornou-se um assunto crucial. Apesar do planeta Terra apresentar 71% de água em sua superfície, aproximadamente 97% desse volume compreende-se em oceanos. Devido à alta concentração de cloreto de sódio (*NaCl*) e outros sais minerais a água torna-se não potável. Contudo, a tecnologia de dessalinização é vista como uma forma de fornecer água potável, tornando uma opção de solução viável para a escassez da água (KIM *et al.*, 2020).

A dessalinização é um método físico-químico, que consiste em um processo de obtenção de água doce por meio da purificação da água salina, ou seja, retira o excesso de sais minerais e microrganismos presentes na água, através de alguns métodos convencionais baseados em membrana como a osmose reversa e a eletrodialise (NIGIZ, 2020).

A osmose reversa, representa o processo contrário ao fenômeno natural, consiste no deslocamento de um fluido por uma membrana semipermeável à uma diferença de pressão motriz do meio mais fluido para o meio mais concentrado, por um processo de difusão lento buscando o equilíbrio com a ajuda de um sistema de bombeamento (CHOGANI *et al.*, 2020).

A eletrodialise é o processo de eletromembrana que separa os íons, ânions e cátions, das soluções aquosas na presença de um campo elétrico através de uma membrana de troca iônica (SOSA-FERNANDEZ *et al.*, 2020). Ambos os processos convencionais utilizam o processo de separação por membrana.

A tecnologia de separação com membranas vem se tornando o método mais promissor para o processo de dessalinização, elas surgem como um meio viável de purificação de água, os processos empregam vários tipos de membranas, que incluem

nanofiltração (NF), ultrafiltração (UF), microfiltração (MF) e osmose reversa (OR), que geralmente sofrem de alta necessidade energética e incrustação severa da membrana (SAGLE *et al.*, 2004). Devido a esses empecilhos, vem-se aprimorando a tecnologia do processo com membranas utilizando a inserção de nanomateriais como o grafeno.

O grafeno consiste em uma única camada de átomos de carbono comprimido em uma estrutura de anel benzeno que atrai interesse entre a comunidade científica devido às excelentes propriedades elétricas, mecânicas, térmicas e ópticas, com vasto potencial de aplicações. O desenvolvimento de nanotecnologias e nanomateriais contribuem para o aperfeiçoamento da estrutura e propriedade das membranas permeáveis à água (LIU *et al.*, 2014; NOVOSELOV *et al.*, 2004).

Projetos recentes vêm desvendando processos de dessalinização com competência energética acessível por meio de materiais tecnológicos, como membranas com materiais de pequena dimensão, os nanotubos de grafeno. Membranas a base de grafeno vem sendo destacado como o material da próxima geração devido a sua alta rigidez e sua única espessura de um átomo de carbono (TOH *et al.*, 2020).

Devido à dificuldade em obter grafeno puro em grande escala, o óxido de grafeno (OG) representa um grande substituto para o grafeno puro que pode ser usado em várias aplicações, inclusive em membranas, por possuir propriedades semelhantes. Sua estrutura consiste em uma folha de grafeno contendo grupos carboxílicos nas bordas e grupos hidroxílicos, fenólicos e epóxidos no plano basal, inclusive possui grande facilidade de dispersão em solventes como água (DREYER *et al.*, 2010; TARCAN *et al.*, 2020).

Logo, a alta tecnologia instigou vários trabalhos em estudos de viabilidade principalmente por meio de métodos de simulações de dinâmica molecular, trabalhos de membrana de grafeno propostos englobam membrana de grafeno nanoporosa, como apresentado no trabalho de Golchoobi *et al.* (2020) e membrana de grafeno com fenda como apresentado no trabalho de Ang *et al.* (2016).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo no campo científico sobre as tendências da utilização do grafeno em membranas de dessalinização, apresentando o estado da arte da produção científica de modo a medir o desempenho dos pesquisadores para fornecer um panorama informativo a partir da coleção de artigos, contribuindo para o interesse de pesquisadores da área de forma a identificar lacunas e a fim de determinar o rumo de futuras pesquisas.

2 METODOLOGIA

Análises bibliométricas é um método de busca de literaturas acadêmicas para quantificar, comparar e classificar o estado da ciência em diferentes nações. É um método efetivo que aplica a análise estatística para retratar o progresso histórico e as tendências quantitativas das publicações de artigos. Ferramenta dominante que ajuda a explorar, organizar e analisar grandes quantidades de informações, ajuda a avaliar a situação atual e o direcionamento de crescimento de um campo de pesquisa específico (ANG *et al.*, 2019; MOTOYAMA *et al.*, 2011)

A análise bibliométrica foi fundamentada na base de dados *Web of Science*¹, com publicações de dessalinização, através de membranas de grafeno com o intuito de avaliar tendências de desenvolvimento para o futuro. A estratégia adotada para a análise de dados foi por meio das palavras-chave "*membrane*" AND "*graphene*" AND "*desalination*" no campo título, sem especificação de período, obtendo na literatura acadêmica 54 trabalhos.

¹ *Web of Science* - O maior índice de citações de editor neutro e plataforma de inteligência de pesquisa. <http://www.webofscience.com>

Os trabalhos cobertos pela coleção *Web of Science* foram avaliados na base de dados por ano de publicação, tipo de documentos, idiomas, países, organizações, autores, área de pesquisa, revistas de publicação e trabalhos com maior número de citação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os artigos apresentaram uma tendência de crescimento quantitativo com o passar do tempo, devido ao interesse e aprimoração de tecnologias como representado no Gráfico 1, com a primeira publicação em 2012.

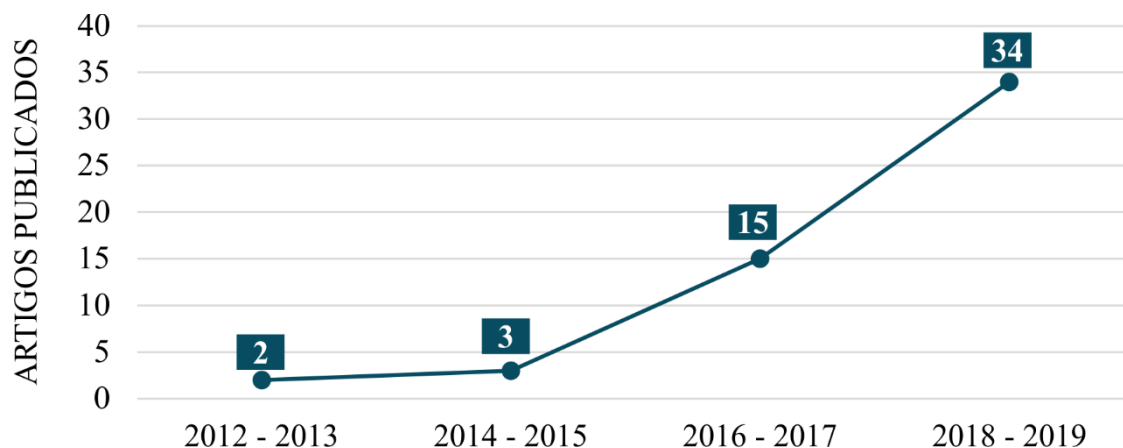


Gráfico 1: Distribuição anual de artigos publicados segundo a base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.

Fonte: Autor (2020).

Nos dois primeiros anos (2012-2013) foram registrados dois resumos de congresso, sendo ambos publicados pelos autores Cohen-Tanugi *et al.* (2012, 2013), intitulado o primeiro como “Grafeno nanoporoso como uma nova membrana de dessalinização: Percepções da dinâmica molecular”, e o segundo “Grafeno nanoporoso como membrana de dessalinização de água: Como funcionaria na prática?”.

O primeiro artigo publicado de fato foi registrado somente no ano de 2014 com o trabalho denominado “Força mecânica do grafeno nanoporoso como uma membrana de dessalinização”. Cohen-Tanugi *et al.* (2014) demonstra no trabalho citado anteriormente que a membrana de grafeno nanoporoso pode manter a integridade mecânica, através da escolha do substrato adequado para o grafeno, além de demonstrar um comportamento mecânico incomum, ou seja, quanto maior a porosidade da membrana, o material suporta maiores pressões.

O Gráfico 1 apresenta um comportamento exponencial, chegando a 34 artigos publicados entre (2018-2019). O artigo com maior número de citações nesse período, publicado pelos autores Zahirifar *et al.*, (2018), intitulado “Fabricação de uma nova membrana de folha plana de camada dupla de óxido de grafeno funcionalizada por octadecilamina/PVDF para dessalinização por meio de destilação de membrana de intervalo de ar”, reporta o estudo de uma membrana de camada dupla revestida com OG, funcionalizado com octadecilamina, as membranas modificadas em comparação com as não modificadas apresentaram um desempenho superior em termos de rugosidade superficial, alta hidrofobicidade, fluxo de água e rejeição de *NaCl*.

Os tipos de documentos apresentados na pesquisa bibliométrica exaltados entre os anos (2012-2019), são do tipo artigos de pesquisa, liderando com 87,04% representando 47 artigos, resumo de congresso com 11,11%, com um total de 6 trabalhos publicados e revisão com 1,85%, resultando em apenas 1 artigo, como demonstrado no Gráfico 2.

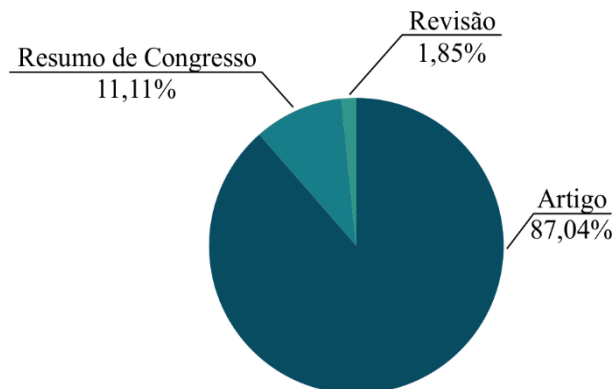


Gráfico 2: Tipos de documentos apresentados pelos artigos segundo a base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.
Fonte: Autor (2020).

Os 54 trabalhos indexados no período entre 2012-2019, foram publicados em língua inglesa, concluindo que todas as publicações estão presentes em jornais e revistas internacionais. Constatando que o inglês é a principal língua na área científica e tornou-se a melhor alternativa para uma comunicação mais ampla no campo de pesquisa (ABEJÓN *et al.*, 2015). Sendo comum encontrar documentos relevantes na área de pesquisa da água escritos no idioma inglês (CHUANG *et al.*, 2011).

Os países classificados com o maior número de publicações apresentam-se no Gráfico 3, China lidera dentro os demais países com 26,56%, seguido do Irã (23,44%), Estados Unidos (EUA) com 15,62%, Austrália (7,81%) e Índia (6,25%). As categorias de países não são exclusivas, e um documento pode estar relacionado em mais de um país devido a consequência de colaborações internacionais. Além dos países apresentados no Gráfico 3, soma-se um total de mais 14 países com registros de publicações.

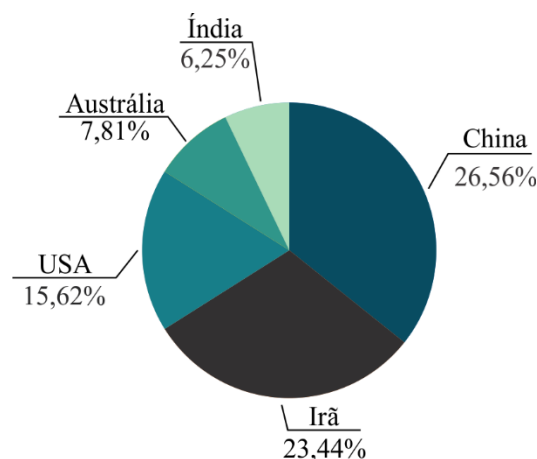


Gráfico 3: Países mais produtivos de acordo com a base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.
Fonte: Autor (2020).

Admite-se com o Gráfico 3, que a China dentre os países demonstrados anteriormente é o país que mais produz artigos na área de pesquisa de dessalinização com membranas de grafeno. Em 2018, a China é declarada o maior produtor mundial de artigos científicos, ultrapassando os Estados Unidos em termos de números totais de publicação

científica, através das estatísticas da *National Science Foundation*² (TOLLEFSON, 2018). Segundo Marginson (2016), Irã e China lideram com rápido crescimento em pesquisas científicas na Ásia.

No entanto a organização que comandou o maior número de publicações foi o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), localizado nos EUA, com 4 publicações, seguida por uma instituição Australiana, a Universidade de Monash com 3 publicações, e por fim uma das universidades mais prestigiadas da China a Universidade Tecnológica de Nanjing com 2 publicações.

De acordo com Nogrady (2016), a Universidade Monash tem a maior contribuição de pesquisas científicas na área de química. Além das organizações presentes no Gráfico 4, a base de dados retrata 85 organizações financiadoras das demais publicações.

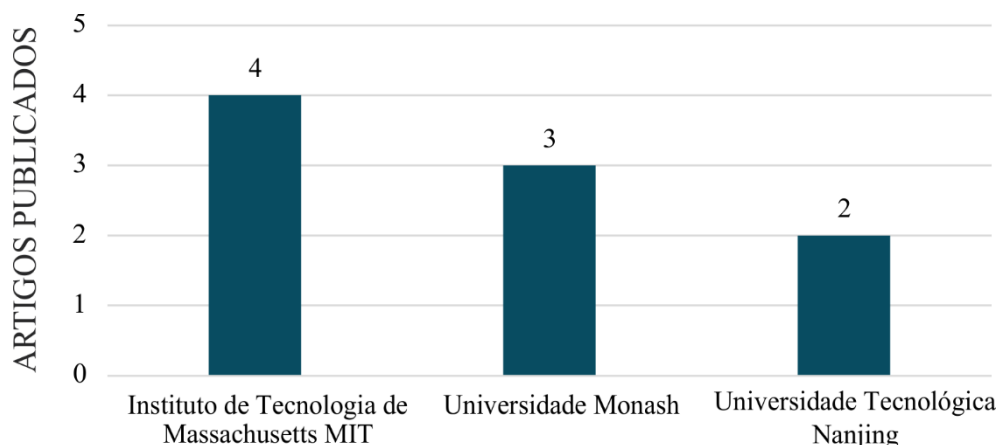


Gráfico 4: Organizações relevantes em publicações relacionadas pela base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.

Fonte: Autor (2020).

Logo, os três autores com maior número de trabalhos publicados totalizam 3 pesquisas cada autor, como apresentado no Quadro 1. Dois dos autores estão dentro da organização mais relevante citada anteriormente, o MIT, esses autores se destacam pelo índice de citações como será apresentado no Quadro 2.

Quadro 1: Autores mais prolíficos de acordo com a base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019

Autor	Afiliação Atual	Documentos
David Cohen-Tanugi	Instituto Tecnológico de Massachusetts- EUA	3
Jafar Azamat	Universidade Farhangian - Irã	3
Jeffrey Grossman	Instituto Tecnológico de Massachusetts - EUA	3

Fonte: Autor (2020).

Todos os artigos cobertos pela coleção *Web of Science* são atribuídos a uma das categorias de assunto, ou seja, área de pesquisa desenvolvida como mostra no Gráfico 5. As seis categorias de assunto mais destacadas e compiladas são nas áreas de engenharia (51,56%), química (31,25%), recursos hídricos (25,00%), ciência dos materiais (20,31%) e ciência do polímero (12,50%).

² *National Science Foundation* – Fundação Nacional da Ciência com missão de avançar o progresso da ciência, através do financiamento de propostas de pesquisa e educação feitas por cientistas e engenheiros. <https://www.nsf.gov/>

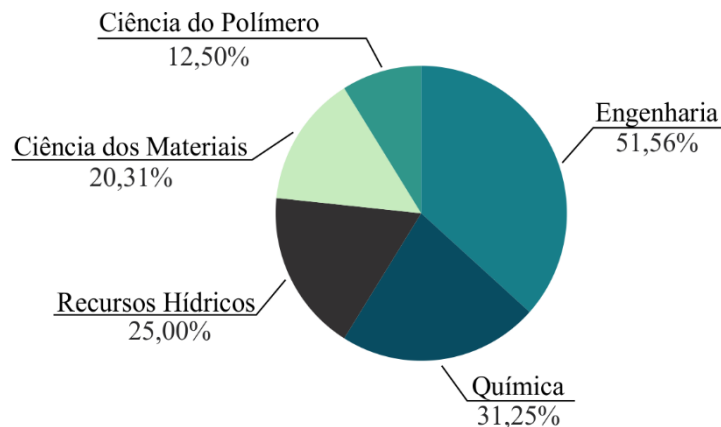


Gráfico 5: Áreas de pesquisa dos artigos cobertos pela coleção *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.
Fonte: Autor (2020).

Nota-se que a categoria engenharia é o assunto mais amplo dentre os artigos, apresentando desenvolvimento de processos e aplicação da ciência (KLJENAK *et al.*, 2020), mas também mostra que as categorias, química, ciência dos materiais e ciência do polímero, expõe o estudo de desenvolvimento de materiais.

Pelo motivo dos artigos entrarem em mais de uma categoria, constatou-se que 50% dos artigos apurados em engenharia também se apresentam na categoria de recursos hídricos, o artigo com maior número de citações, apresentado em ambos os assuntos, expõe a imobilização de OG na superfície da membrana de politetrafluoroetileno por meio de destilação da membrana de contato direto (BHADRA *et al.*, 2016). Além das categorias de assunto apresentadas no Gráfico 5, constatou-se na base de dados mais 9 áreas de pesquisas.

Todavia, dentre os periódicos apresentados pelo Gráfico 6, a que possui maior percentual de trabalhos é a revista *Desalination* com 21,88%, seguida pelo *Journal of Membrane Science* (10,94%), *Abstracts of papers of the American Chemical Society* (9,37%) e *ACS Applied Materials Interfaces* com 3,12%.

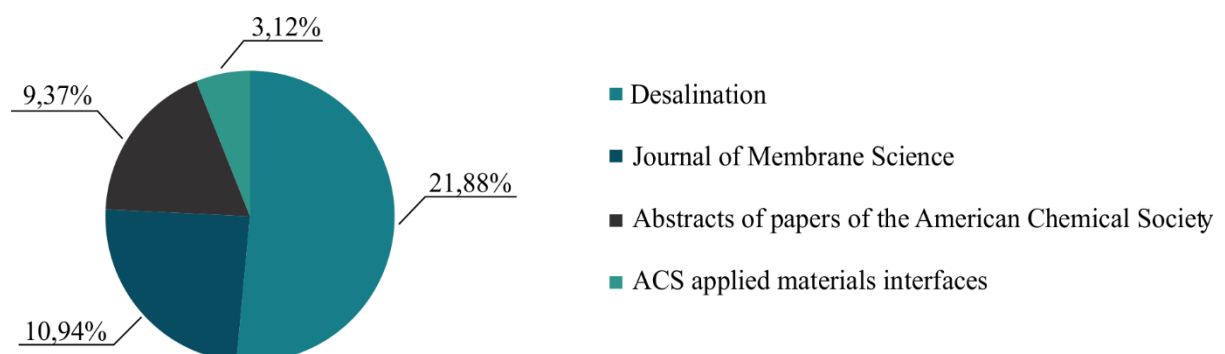


Gráfico 6 - Periódicos compilados na base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019.
Fonte: Autor (2020).

Dentre os 54 artigos compilados pela base de dados, as duas de maiores destaques foram a revista *Desalination*³ com 14 artigos publicados nas áreas de pesquisa, engenharia e recursos hídricos. A revista possui um fator de impacto de 9,501. Segundo a mesma, é

³ *Desalination* - Jornal Internacional sobre Ciência e Tecnologia de Dessalinização e Purificação de Água. <https://www.journals.elsevier.com/desalination>

considerada interdisciplinar que publica artigos de elevada qualidade sobre materiais, processos e tecnologias relacionadas à dessalinização.

Em segundo lugar o *Journal of Membrane Science*⁴ com um total de 8 artigos publicados e um fator de impacto de 8,742. Adentrando-se nas áreas de pesquisa, engenharia e ciência do polímero. O jornal possui foco para pesquisadores das áreas de química, engenharia e ciência dos materiais que trabalham e desenvolvem sistemas de membranas. Dentre os trabalhos compostos na revista, ganha destaque o trabalho de Safarpour *et al.* (2015), com o maior número de citações entre os 54 trabalhos compilados pela base de dados, conforme será demonstrado no Quadro 2.

Além das revistas representadas no Gráfico 6, a base de dados averiguou 21 periódicos, sendo o *Journal of Materials Chemistry A*, o periódico registrado com o maior fator de impacto 12,732, levando o trabalho de Kim *et al.* (2017), denominado “Rede de polímero tolerante a cloro, altamente reticulada, com membrana de óxido de grafeno entrelaçada para dessalinização de água” em sua base de publicações.

O trabalho acima citado demonstra a fabricação de uma membrana integrando nanofolhas de OG entrelaçado compostas de filme fino à base de grafeno em uma rede de polímero altamente reticulada em um substrato de polímero poroso, apresentando excelente estabilidade mecânica da membrana e capacidade de processamento, mantendo as propriedades físicas das nanofolhas de OG que facilitam o transporte de água.

A segunda revista com elevado fator de impacto, na escala de 11,189, é a *Nano Letters*, carregando o trabalho de Cohen-Tanugi *et al.* (2014), em sua base de dados, intitulado “Força mecânica do grafeno nanoporoso como uma membrana de dessalinização”. Apresenta o potencial do grafeno nanoporoso capaz de suportar pressões hidráulicas envolvidas na osmose reversa, expondo, quanto maior a porosidade da membrana, ela permite uma maior pressão devido ao efeito da porosidade no módulo de elasticidade.

Contudo os 10 artigos mais citados compilados na base de dados são apresentados no Quadro 2, expondo o título do trabalho, autores, fonte e ano de publicação. De acordo com o *ranking* o trabalho Safarpour *et al.* (2015) é o mais citado apresentando um nanocompósito de OG reduzido com dióxido de titânio sintetizado usando método hidrotérmico incorporado na camada de poliamida da membrana de composto de filme fino.

O trabalho se destaca pela inclusão de dióxido de titânio em OG reduzido, revelando melhora no comportamento da membrana em termos de permeabilidade de água e rejeição de sal, provando propriedades anti-incrustantes e a resistência ao cloro, aumentando a hidrofília, carga superficial negativa e a rugosidade da camada de poliamida. A membrana contendo 0,02% em peso de nanocompósitos de dióxido de titânio em OG reduzido mostrou desempenho superior a uma membrana normal de osmose reversa, tendo uma rejeição de NaCl de 99,45% (SAFARPOUR *et al.* 2015).

Quadro 2: Publicações com maior número de citações compilados na base de dados *Web of Science* sobre dessalinização com membranas de grafeno entre os anos de 2012 a 2019

Ranking	Documento	Citação
1	<i>Thin film nanocomposite reverse osmosis membrane modified by reduced graphene oxide/TiO2 with improved desalination performance</i> Autores: Safarpour, Mahdie; Khataee, Alireza; Vatanpour, Vahid Fonte: <i>Journal of Membrane Science</i> Publicado: 2015	217
2	<i>Mechanical Strength of Nanoporous Graphene as a Desalination Membrane</i>	133

⁴ Journal of Membrane Science - A revista publica pesquisas e análises originais sobre transporte de membrana, formação e estrutura de membrana. <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-membrane-science>

	Autores: Cohen-Tanugi, David; Grossman, Jeffrey C. Fonte: <i>Nano Letters</i> Publicado: 2014	
3	<i>Fabrication of positively charged nanofiltration membrane via the layer-by-layer assembly of graphene oxide and polyethylenimine for desalination</i> Autores: Nan, Qian; Li, Pei; Cao, Bing Fonte: <i>Applied Surface Science</i> Publicado: 2016	93
4	<i>Water desalination using graphene-enhanced electrospun nanofiber membrane via air gap membrane distillation</i> Autores: Woo, Yun Chul; Tijing, Leonard D; Shim, Wang-Geun; Choi, June-Seok; Kim, Seung-Hyun; He, Tao; Drioli, Enrico; Shon, Ho Kyong Fonte: <i>Journal of Membrane Science</i> Publicado: 2016	75
5	<i>Desalination across a graphene oxide membrane via direct contact membrane distillation</i> Autores: Bhadra, Madhuleena; Roy, Sagar; Mitra, Somenath Fonte: <i>Desalination</i> Publicado: 2016	71
6	<i>Carboxyl-functionalized graphene oxide polyamide nanofiltration membrane for desalination of dye solutions containing monovalent salt</i> Autores: Zhang, Huijuan; Li, Bin; Pan, Jiefeng; Qi, Yawei; Shen, Jiangnan; Gao, Congjie; Van der Bruggen, Bart Fonte: <i>Journal of Membrane Science</i> Publicado: 2017	62
7	<i>Covalent synthesis of three-dimensional graphene oxide framework (GOF) membrane for seawater desalination</i> Autores: Feng, Bo; Xu, Kai; Huang, Aisheng Fonte: <i>Desalination</i> Publicado: 2016	60
8	<i>Pyridinic nitrogen doped nanoporous graphene as desalination membrane: Molecular simulation study</i> Autores: Chen, Qi; Yang, Xiaoning Fonte: <i>Journal of Membrane Science</i> Publicado: 2015	55
9	<i>Functionalized Graphene Nanosheet as a Membrane for Water Desalination Using Applied Electric Fields: Insights from Molecular Dynamics Simulations</i> Autores: Azamat, Jafar Fonte: <i>Journal of Physical Chemistry C</i> Publicado: 2016	42
10	<i>Highly crosslinked, chlorine tolerant polymer network entwined graphene oxide membrane for water desalination</i> Autores: Kim, Seungju; Lin, Xiaocheng; Ou, Ranwen; Liu, Huiyuan; Zhang, Xiwang; Simon, George P.; Easton, Christopher D.; Wang, Huanting Fonte: <i>Journal of Materials Chemistry A</i> Publicado: 2017	41

Fonte: Autor (2020).

O potencial das membranas de grafeno para dessalinização tem atraído cada vez mais a atenção dos pesquisadores na última década. O desenvolvimento de novas membranas de grafeno através da incorporação de materiais poliméricos, fibras sintéticas, uso de polissacarídeos, grupos funcionais e metais de transição, são algumas das tendências de pesquisa para melhorar o desempenho e as propriedades das membranas, como o fluxo de água, assim como o desenvolvimento de membranas que utilizam energia acessível com baixo custo ambiental (WU *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÃO

A realização do estudo de membranas de grafeno para o uso da dessalinização, revelaram que as membranas de grafeno puro e associado a outro material apresentam resultados satisfatórios. O estudo também apontou um crescimento exponencial desde o primeiro trabalho, demonstrando um aprimoramento no campo de pesquisa, apresentando a China como o país mais produtivo, o MIT a organização com maior número de trabalhos financiados. Logo, a área de pesquisa de maior destaque é engenharia com 51,56% dos trabalhos, assim como a revista *Desalination* com maior número de publicações apresentando um percentual de 21,88%. Os trabalhos futuros apontam o desenvolvimento de novas membranas de grafeno associadas a outro material para aprimorar suas propriedades e características, solucionando lacunas existentes no desenvolvimento de membranas que possuem baixo fluxo de água e alta necessidade energética, desse modo a dessalinização através de membranas de grafeno se torna uma opção viável para a escassez de água.

REFERÊNCIAS

ABEJÓN, R.; GAREA, A. A bibliometric analysis of research on arsenic in drinking water during the 1992–2012 period: an outlook to treatment alternatives for arsenic removal. **Journal Of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 6, p. 105-119, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.03.009>.

ANG, E. Y.M.; NG, T. Y.; YEO, J.; LIU, Z.; GEETHALAKSHMI, K.R. Free-standing graphene slit membrane for enhanced desalination. **Carbon**, [S.L.], v. 110, p. 350-355, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2016.09.043>.

ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W.; JOHNSON, D.; HILAL, N. Forward osmosis research trends in desalination and wastewater treatment: a review of research trends over the past decade. **Journal Of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 31, p. 100886, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100886>.

AZAMAT, J. Functionalized Graphene Nanosheet as a Membrane for Water Desalination Using Applied Electric Fields: insights from molecular dynamics simulations. **The Journal Of Physical Chemistry C**, [S.L.], v. 120, n. 41, p. 23883-23891, 12 out. 2016. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b08481>.

BHADRA, M; ROY, S; MITRA, S. Desalination across a graphene oxide membrane via direct contact membrane distillation. **Desalination**, [S.L.], v. 378, p. 37-43, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2015.09.026>.

CHEN, Q.; YANG, X. Pyridinic nitrogen doped nanoporous graphene as desalination membrane: molecular simulation study. **Journal Of Membrane Science**, [S.L.], v. 496, p. 108-117, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2015.08.052>.

CHOGANI, A.; MOOSAVI, A.; SARVESTANI, A. B.; SHARIAT, M. The effect of chemical functional groups and salt concentration on performance of single-layer graphene membrane in water desalination process: a molecular dynamics simulation study. **Journal of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 301, p. 112478, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112478>.

CHUANG, K.-Y.; WANG, M.-H.; HO, Y.-S. High-impact papers presented in the subject category of water resources in the essential science indicators database of the institute for scientific information. **Scientometrics**, [S.L.], v. 87, n. 3, p. 551-562, 5 mar. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-011-0365-2>.

COHEN-TANUGI, D.; GROSSMAN, J. C. Nanoporous graphene as a novel desalination membrane: Insights from molecular dynamics. **Abstracts of Papers of the American Chemical Society**. Vol: 243 R: 531 -COMP, 25 MAR 2012.

COHEN-TANUGI, D.; GROSSMAN, J. C. Nanoporous graphene as a water desalination membrane: How would it work in practice?. **Abstracts of Papers of the American Chemical Society**. Vol:245 R: 105 -ENVR, 7 APR 2013.

COHEN-TANUGI, D.; GROSSMAN, J. C. Mechanical Strength of Nanoporous Graphene as a Desalination Membrane. *Nano Letters*, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 6171-6178, 30 out. 2014. **American Chemical Society (ACS)**. <http://dx.doi.org/10.1021/nl502399y>.

DREYER, D. R.; PARK, S.; BIELAWSKI, C. W.; RUOFF, R. S. The chemistry of graphene oxide. *Chem. Soc. Rev.*, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 228-240, 2010. **Royal Society of Chemistry (RSC)**. <http://dx.doi.org/10.1039/b917103g>.

FENG, B.; XU, K.; HUANG, A. Covalent synthesis of three-dimensional graphene oxide framework (GOF) membrane for seawater desalination. **Desalination**, [S.L.], v. 394, p. 123-130, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2016.04.030>.

GOLCHOOBI, A.; TASHARROFI, S.; TAGHDISIAN, H. Functionalized nanoporous graphene membrane for water desalination; Effect of feed salinity on permeability and salt rejection, a molecular dynamics study. **Computational Materials Science**, [S.L.], v. 172, p. 109399, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.109399>.

KIM, N.; PARK, J.-S.; HARZANDI, A. M.; KISHOR, K.; LIGARAY, M.; CHO, K. H.; KIM, Y. Compartmentalized desalination and salination by high energy density desalination seawater battery. **Desalination**, [S.L.], v. 495, p. 114666, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114666>.

KIM, S.; LIN, X.; OU, R.; LIU, H.; ZHANG, X.; SIMON, G. P.; EASTON, C. D.; WANG, H. Highly crosslinked, chlorine tolerant polymer network entwined graphene oxide membrane for water desalination. **Journal of Materials Chemistry A**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 1533-1540, 2017. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c6ta07350f>.

KLJENAK, I.; CIZELJ, L.; TISELJ, I.; MAVKO, B. Basic vs. applied doctoral theses in nuclear engineering – Case study of theses completed in Slovenia. **Nuclear Engineering and Design**, [S.L.], v. 367, p. 110758, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110758>.

LIU, Y.; CHEN, X. Mechanical properties of nanoporous graphene membrane. **Journal of Applied Physics**, [S.L.], v. 115, n. 3, p. 034303, 21 jan. 2014. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4862312>.

MARGINSON, S. **Iran, China lead rapid growth in Asia's research**. University World News. The Global Window on Higher Education, 2016. Disponível:

<https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20160609010432897>. Acesso em: 19 out. 2020.

MOTOYAMA, Y.; EISLER, M. N. Bibliometry and nanotechnology: a meta-analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, [S.L.], v. 78, n. 7, p. 1174-1182, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.013>.

NAN, Q.; LI, P.; CAO, B. Fabrication of positively charged nanofiltration membrane via the layer-by-layer assembly of graphene oxide and polyethylenimine for desalination. **Applied Surface Science**, [S.L.], v. 387, p. 521-528, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.06.150>.

NIGIZ, F. U. Graphene oxide-sodium alginate membrane for seawater desalination through pervaporation. **Desalination**, [S.L.], v. 485, p. 114465, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114465>.

NOGRADY, B. How Australian universities spent \$4.5b on research in four years. **Nature Index**, 2016. Disponível: <https://www.natureindex.com/news-blog/how-australian-universities-spent-four-and-a-half-billion-on-research-in-four-years>. Acesso em: 19 out. 2020.

NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science**, [S.L.], v. 306, n. 5696, p. 666-669, 22 out. 2004. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1102896>.

SAFARPOUR, M.; KHATAEE, A.; VATANPOUR, V. Thin film nanocomposite reverse osmosis membrane modified by reduced graphene oxide/TiO₂ with improved desalination performance. **Journal Of Membrane Science**, [S.L.], v. 489, p. 43-54, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2015.04.010>.

SAGLE A, F. B. Fundamentals of membranes for water treatment. **Future Desalin Texas** 2004; 2:137–54.

SOSA-FERNANDEZ, P.A.; POST, J.W.; RAMDLAN, M.S.; LEERMAKERS, F.A.M.; BRUNING, H.; RIJNAARTS, H.H.M. Improving the performance of polymer-flooding produced water electro dialysis through the application of pulsed electric field. **Desalination**, [S.L.], v. 484, p. 114424, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114424>.

TARCAN, R.; HANDREA-DRAGAN, M.; TODOR-BOER, O.; PETROVAI, I.; FARCAU, C.; RUSU, M.; VULPOI, A.; TODEA, M.; ASTILEAN, S.; BOTIZ, I. A new, fast and facile synthesis method for reduced graphene oxide in N,N-dimethylformamide. **Synthetic Metals**, [S.L.], v. 269, p. 116576, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116576>.

TOH, W.; ANG, E. Y.M.; NG, T. Y.; LIN, R.; LIU, Z. An investigation on the effects of nanoplastic particles on nanoporous graphene membrane desalination. **Desalination**, [S.L.], v. 496, p. 114765, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114765>.

TOLLEFSON, J. China declared world's largest producer of scientific articles. **Nature**, [S.L.], v. 553, n. 7689, p. 390-390, jan. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-00927-4>.

WOO, Y. C.; TIJING, L. D.; SHIM, W.-G.; CHOI, J.-S.; KIM, S.-H.; HE, T.; DRIOLI, E.; SHON, H. K. Water desalination using graphene-enhanced electrospun nanofiber membrane via air gap membrane distillation. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 520, p. 99-110, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2016.07.049>.

WU, W.; SHI, Y.; LIU, G.; FAN, X.; YU, Y. Recent development of graphene oxide based forward osmosis membrane for water treatment: a critical review. **Desalination**, [S.L.], v. 491, p. 114452-0, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114452>.

ZAHIRIFAR, J.; KARIMI-SABET, J.; MOOSAVIAN, S. M. A.; HADI, A.; KHADIV-PARSI, P. Fabrication of a novel octadecylamine functionalized graphene oxide/PVDF dual-layer flat sheet membrane for desalination via air gap membrane distillation. **Desalination**, [S.L.], v. 428, p. 227-239, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.028>.

ZHANG, H.; LI, B.; PAN, J.; QI, Y.; SHEN, J.; GAO, C.; BRUGGEN, B. van Der. Carboxyl-functionalized graphene oxide polyamide nanofiltration membrane for desalination of dye solutions containing monovalent salt. **Journal of Membrane Science**, [S.L.], v. 539, p. 128-137, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2017.05.075>.