



Universidade de Brasília
Faculdade Ceilândia - FCE
Curso de Farmácia

JOÃO VICTOR RIBEIRO LINHARES

**Estudo bibliométrico da utilização de Grafeno para remoção
de poluentes em meio hídrico.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Brasília - DF
2023**

JOÃO VICTOR RIBEIRO LINHARES

Estudo bibliométrico da utilização de Grafeno para remoção de poluentes em meio hídrico.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade de Brasília (UnB) - Faculdade Ceilândia (FCE), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de farmacêutico.

Orientador: Profa. Dra. Claire Nain Lunardi Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Anderson de Jesus Gomes

Brasília - DF
2023

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelos conhecimentos obtidos durante toda esta trajetória, por ter me fortalecido e me agraciado com esta oportunidade e me rodear de pessoas incríveis. À Minha família por todo apoio e suporte nos momentos de adversidade e a mim mesmo, por não ter desistido, apesar de todas as circunstâncias e problemas enfrentados até este momento.

Gostaria de enfatizar os meus mais sinceros agradecimentos à minha orientadora, a Prof. Dra. Claire Nain Lunardi Gomes, como peça fundamental para realização deste trabalho. A qual tenho muito apreço, admiração e por ser um exemplo exímio de profissional. Fostes uma figura incrível durante toda minha graduação e indispensável para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

E por fim, gostaria de agradecer e também dedicar este trabalho ao meu avô, Arnaldo Ribeiro de Azevedo. Sem ele nada disso teria sido concretizado, foi uma longa caminhada até este momento, sei que onde o senhor estiver deve estar orgulhoso. Espero ter atendido suas expectativas, fostes um homem incrível, aprendi muito com seus ensinamentos, seu amor, sua resiliência, paciência, coragem e força de vontade. Me sinto privilegiado de ter sido educado e criado pelos seus princípios, espero um dia me tornar metade do homem que o senhor já fora aqui nessa terra meu herói. Prometo ser um homem digno do seu orgulho e de seu legado. Descanse em paz meu eterno amado avô e pai.

“Quanto mais nos elevamos, menores parecemos aos olhos daqueles que não sabem voar.”

- Friedrich Nietzsche.

Resumo

Com o crescimento da bionanotecnologia, novos compósitos foram sendo descobertos e com eles, houve o surgimento do grafeno. Este se caracteriza por uma folha de carbono plana com diversas propriedades tanto físicas quanto químicas. Desta forma, a utilização de nanoestruturas para construção de biossensores se tornou demasiadamente importante tanto para aplicações junto ao meio ambiente, quanto aplicações biomédicas. A remoção de corantes e poluentes em meio hídrico é um desafio importante para a preservação ambiental e a saúde humana. Neste artigo científico, exploramos a utilização do grafeno como suporte ou plataforma para corantes catiônicos, bem como sua aplicação na remoção de poluentes por métodos fotocatalíticos.

Palavras-chave: Grafeno, corantes, poluentes, remoção, adsorção, meio hídrico.

Abstract

With the growth of bionanotechnology, new composites were being discovered and with them, there was the emergence of Graphene. This is characterized by a flat carbon sheet with diverse physical and chemical properties. In this way, the use of nanostructures for the construction of biosensors has become too important for both environmental and biomedical applications. The removal of dyes and pollutants in water is an important challenge for environmental preservation and human health. In this scientific article, we explore the use of graphene as a support or platform for cationic dyes, as well as its application in the removal of pollutants by photocatalytic methods.

Keywords: Graphene, dyes, pollutants, removal, adsorption, water medium.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Estrutura molecular do óxido de grafeno ligado à galocianina.....	12
Figura 2 - Representação esquemática da poluição da água originada de efluentes industriais.....	16
Figura 3 - Comparação da descarga de efluentes de corantes de várias indústrias.....	16
Figura 4 - Funcionalização do grafeno	18
Figura 5 – Estrutura química dos corantes laranja de metila e azul de metileno	19
Figura 6 – Estrutura química verde malaquita	20
Figura 7 – Imagens HRTEM de: (a) GO (b) ZM (c) nanocompósito de GO/ZM.....	21
Figura 8 – (A) Isoterma de adsorção-dessorção de N ₂ de GO/ZM, (B) Curva de distribuição de tamanho de poros de GO/ZM.....	22
Figura 9 – Representação gráfico do Índice-h dos artigos (2021-2023).....	26
Figura 10 – Mapa representativo dos termos encontrados durante a realização da busca bibliográfica.....	26
Figura 11 – Mapa representativo dos termos encontrados durante a realização da busca bibliográfica, baseado na mudança de foco durante os anos de 2021-2022.....	27
Figura 12 – Áreas do conhecimento dos mais de 2400 artigos encontrados durante o estudo bibliométrico	28
Figura 13 – Representação do gráfico da busca Bibliográfica de artigos entre 2021 a 2023.....	28
Figura 14 – Mapa bibliométrico criado através do software VOSviewer, com resultado de metadados bibliométricos envolvendo as palavras chaves degradation, performance, review, photocatalyst, aqueous solution, adsorbent e dye sensitilized solar cell (2021-2023).	29

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs	Absorbância
BS	biossensores
DOI	Identificador de Objeto Digital
GC	Galocianina
GF	Grafeno
GO	Óxido de grafeno
GOR	Óxido de grafeno Reduzido
I	Um
II	Dois
III	Três
K	Constante de associação
LD	Limite de detecção
LQ	Limite de quantificação
LRP	Lipoproteína de baixa densidade ligada a proteína 6
MEDLINE	Sistema Online de Busca e Análise de Literatura Médica
MGD	Verde Malaquita
NLM	U.S. National Library of Medicine
NPs	Nanopartículas
ONU	Organização das Nações Unidas
SciELO	Biblioteca Eletrônica Científica Online
SCP	Plataforma Scopus

VOS

Vosviewer

ZN

Zinco

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Justificativa	13
2	Objetivos	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivo Específico	14
3	Revisão da Literatura	15
3.1	Poluição.....	15
3.2	Grafeno.....	17
3.3	Corantes.....	19
3.4	Adsorção.....	21
4	Metodologia	24
5	Resultados e discussão.....	25
6	Conclusão	32
	Referências	33

1 Introdução

A nanotecnologia é o estudo e manipulação da matéria na escala nanométrica (1- 100 nm), o que abre novos caminhos de aplicação. Um dos desenvolvimentos mais excitantes deste século é a possibilidade de utilizá-la para criar novos gadgets e eletrodomésticos. Além disso, ele pode ser aplicado e melhorado em muitos contextos diferentes. Devido às suas novas características, os materiais em nanoescala estão encontrando uso em uma grande variedade de contextos, incluindo os da biologia, física, eletrônica, medicina, engenharia e até mesmo na indústria alimentícia. (DREYER, 2010)

A remoção e/ou degradação de toxinas ambientais como metais pesados e corantes tem despertado o interesse no campo da saúde em conexão com nanopartículas e nanoestruturas por estas e outras razões. As nanopartículas (NPs) são um aspecto integral da nanotecnologia e podem servir a uma variedade de propósitos, dependendo de sua composição. Os usos potenciais para nanomateriais médicos incluem a melhoria do fornecimento de medicamentos, proteção de equipamentos médicos contra microorganismos, aceleração do tempo de recuperação de tecidos danificados cirurgicamente e até mesmo a identificação de células cancerígenas circulantes. (CHUNG,2013; LI, 2013)

As nanopartículas podem ser descobertas em uma grande variedade de avanços científicos e técnicos, desde a eletrônica avançada até as novas terapias médicas. Materiais poliméricos revestidos com NPs são amplamente utilizados no campo médico devido às suas benéficas qualidades físicas, químicas, antibacterianas, antimicrobianas e protetoras. (ZHANG, 2022) Entre as muitas variedades de NPs está o grafeno, uma folha bidimensional de átomos de carbono organizada em padrões hexagonais. O grafeno, que é atualmente o material mais fino conhecido, pode ser obtido pela extração de minerais de grafite e tem propriedades físicas únicas; por exemplo, é o material mais forte já conhecido devido a suas fortes ligações químicas; entretanto, apesar desta resistência, seus NPs são muito maleáveis, facilitando o retorno à sua forma original. (YIN, 2015)

Quando se trata de aplicações potenciais, o grafeno está entre as melhores das melhores. Embora seja feito de um material abundante como o grafite, este material não é encontrado na natureza em sua forma bidimensional, e só pode ser obtido através de técnicas complexas; assim, suas aplicações tecnológicas são vastas, mas limitadas principalmente pela capacidade de produzir este material em larga escala. (SANTOS, 2019; THYSIADIS, 2018)

O grafeno permitiu inúmeras tecnologias, incluindo as telas LED dobráveis usadas em dispositivos móveis de próxima geração, células fotovoltaicas (painéis solares) para proteção ambiental, telas sensíveis ao toque mais duráveis, transistores mais eficazes, super capacitores, dissipadores de calor e super baterias para dispositivos móveis. (OLIVEIRA, 2022)

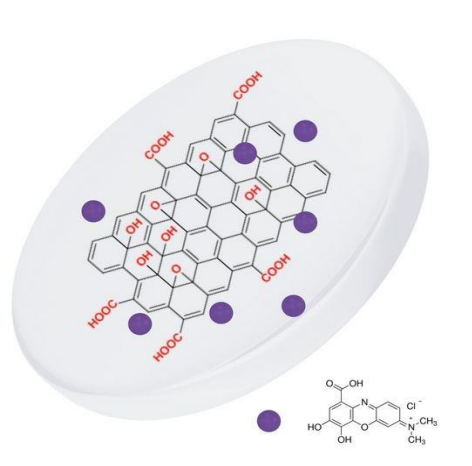


Figura 1 – Estrutura molecular do óxido de grafeno e galocianina (Fonte: autor)

1.1 Justificativa

A cada dia, o campo da saúde enfrenta mais e mais desafios que ameaçam a qualidade de vida das pessoas. Neste contexto, a farmácia desempenha um papel fundamental, intrinsecamente ligado ao bem-estar populacional, em resposta a estas dificuldades. Não só esta área, mas também outras do conhecimento têm aproveitado o uso dessa ciência, combinando-a com novas tecnologias para solucionar problemas relacionados à saúde, questões ambientais, processos produtivos e desenvolvimento de novas tecnologias.

Essa abordagem foi aprimorada pela nanotecnologia, um campo da ciência que se destaca por suas contribuições significativas. A combinação da nanotecnologia com produtos farmacêuticos expande ainda mais suas possibilidades para enfrentar desafios complexos.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão de literatura sobre nanotecnologia, com ênfase em grafeno e seus derivados. Abordar seu vasto potencial de aplicação e dispor de informações, tais como: descoberta, histórico, aplicabilidade em setores produtivos e biológico. Demonstrar relação com corantes catiônicos, além de sua utilização como fator crucial na biosustentabilidade do setor hídrico.

2.2 Objetivo Específico

- Análise de dados da literatura científica com ênfase em nanotecnologia, grafeno e derivados;
- Elaborar uma revisão bibliográfica focada em nanopartículas de grafeno e suas interações com corantes catiônicos;
- Avaliar as respostas encontradas durante o estudo e fazer associação entre elas.

3 Revisão da Literatura

3.1 Poluição Hídrica

A escassez de água é conhecida como uma das questões mais desafiadoras devido ao seu amplo impacto em diferentes aspectos da vida humana, comunicação social, política, economia e meio ambiente. Apesar do aumento das solicitações globais de fontes de água, a escassez de água pode ser acelerada por ciclos irreversíveis de águas residuais principalmente da indústria. As moléculas de corante das águas residuais provenientes da indústria consistem em uma variedade de corantes orgânicos e inorgânicos naturais e são conhecidas como recursos poluentes comuns das águas residuais (Mehran Khasanami, 2021)

A rápida industrialização, urbanização e população criou um enorme problema no uso da água e a poluiu drasticamente, gerando aumento pela demanda por água potável. (Como demonstrado na figura 2) Poluição do meio hídrico tem sido atribuído devido à grande capacidade da água para dissolver mais substâncias do que qualquer outro líquido no planeta. Essa característica faz com que a poluição da água seja facilitada, e os recursos hídricos, como rios, reservatórios, lagos e os oceano estão repletos de produtos químicos, resíduos, plásticos e outros poluentes tóxicos. O número de pessoas que vivem em áreas com escassez de água aumentará cerca de 3,9 bilhões até 2030, conforme avaliação do World Water Council. A atual e futura escassez de água aumentou a necessidade de alternativas e métodos para tratamento de águas residuais e apto para atividades domésticas, indústrias ou atividades agrícolas. A fabricação de têxteis é uma grande indústria, que globalmente gera quantidades significativas de efluentes. Águas residuais, gestão e purificação da água potável são cruciais para sustentar o rápido desenvolvimento da sociedade humana e mitigar a poluição ambiental e os riscos à saúde. A lixiviação de substâncias nocivas e, conseqüentemente, sua contaminação passou a ser vista como um problema social e tem causado problemas de saúde para milhões de pessoas. (Sasireka Velusamy, 2021)



Figura 2: Representação esquemática da poluição da água originada de efluentes industriais. (Sasireka Velusamy, 2021)

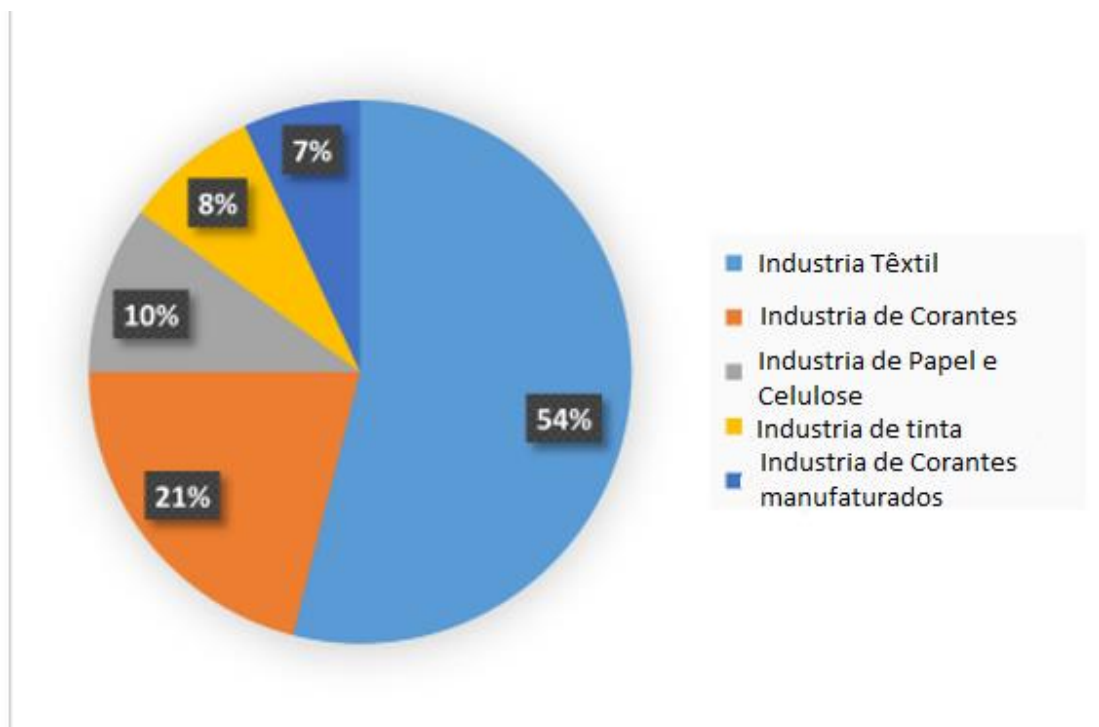


Figura 3: Comparação da descarga de efluentes de corantes de várias indústrias. (Sasireka Velusamy, 2021)

3.2 Grafeno

O grafeno é composto de átomos de carbono com hibridização sp^2 dispostos hexagonalmente em uma estrutura bidimensional, resultando em uma grande área de superfície em ambos os lados do eixo planar. Os materiais da família do grafeno incluem grafeno de poucas camadas, óxido de grafeno reduzido, nanofolhas de grafeno e óxido de grafeno (GO), uma suspensão coloidal estável de GO pode ser obtida, sugerindo vantagens para potenciais biomédicos. (Ameada B Seabra, 2014)

Os materiais de carbono são conhecidos por serem mais ecológicos e biologicamente corretos do que os materiais inorgânicos, uma vez que o carbono é um dos elementos mais comuns em nosso ecossistema. Em particular, o grafite é um material natural que tem sido usado em nossas vidas diárias por centenas de anos sem problemas críticos de toxicidade. Assim, pode-se esperar que o grafeno, uma única camada de grafite, também seja seguro e útil para fins biológicos.

Essas propriedades fascinantes dos óxidos de grafeno são derivadas principalmente de suas estruturas químicas únicas compostas de pequenos domínios de carbono sp^2 cercados por domínios de carbono sp^3 e grupos funcionais hidrofílicos contendo oxigênio. Por outro lado, a hidrofobicidade e a flexibilidade do grafeno de grande área sintetizado por deposição química de vapor (CVD) desempenham um papel importante no crescimento e diferenciação celular. (CHUNG, 2013)

Comparado com o grafeno (G), o óxido de grafeno (GO) tem as vantagens de baixo custo de produção, produção em larga escala e fácil processamento. É frequentemente usado como um precursor para a preparação de óxido de grafeno reduzido (RGO). Nos últimos anos, com o estudo mais aprofundado do GO, os cientistas descobriram que ele também possui excelentes propriedades com funções ricas em oxigênio ativo e grupos funcionais. Esses grupos contendo oxigênio ou elementos de dopagem reduzida podem ser usados como centros ativos catalíticos para projeto de modificação covalente/não covalente de acordo com os requisitos de campos de aplicação específicos. Além disso, a presença de grupos contendo oxigênio também amplia a lacuna entre as camadas do óxido de grafeno. Pode ser funcionalizado por pequenas moléculas ou intercalações poliméricas. Atualmente, um grande progresso foi alcançado na funcionalização do óxido de grafeno. Tem sido aplicado nos campos de dessalinização, entregas de drogas, separação óleo/água, catálise de imobilização, células solares, armazenamento de energia, saúde, etc. (Wang Yu, 2020).

No contexto dos corantes catiônicos, o grafeno tem sido explorado como veículo ou plataforma para melhorar o desempenho desses corantes. Os corantes catiônicos são moléculas com grupos carregados positivamente (chamados de cátions) e são amplamente utilizados em tintas, tinturas, tinturas de cabelo e até aplicações biomédicas.

Na figura 4, é possível ver as diversas funcionalizações do grafeno, ou seja, sua superfície pode ser modificada quimicamente para interagir com corantes catiônicos e melhorar sua afinidade, estabilidade e capacidade de ligação.

Vários estudos exploraram a interação entre grafeno e corantes catiônicos. Por exemplo, os pesquisadores estudaram a adsorção de corantes catiônicos em superfícies de grafeno, avaliando a capacidade de adsorção, a cinética de adsorção e os fatores que afetam a interação das moléculas de corante com o grafeno.

Além disso, o grafeno funcionalizado pode ser usado como veículo para imobilização de corantes catiônicos, o que pode melhorar sua estabilidade e reutilização. A imobilização de corantes no grafeno pode ser conseguida através de ligações covalentes ou interações não covalentes, dependendo das propriedades químicas dos corantes e do grafeno funcionalizado.

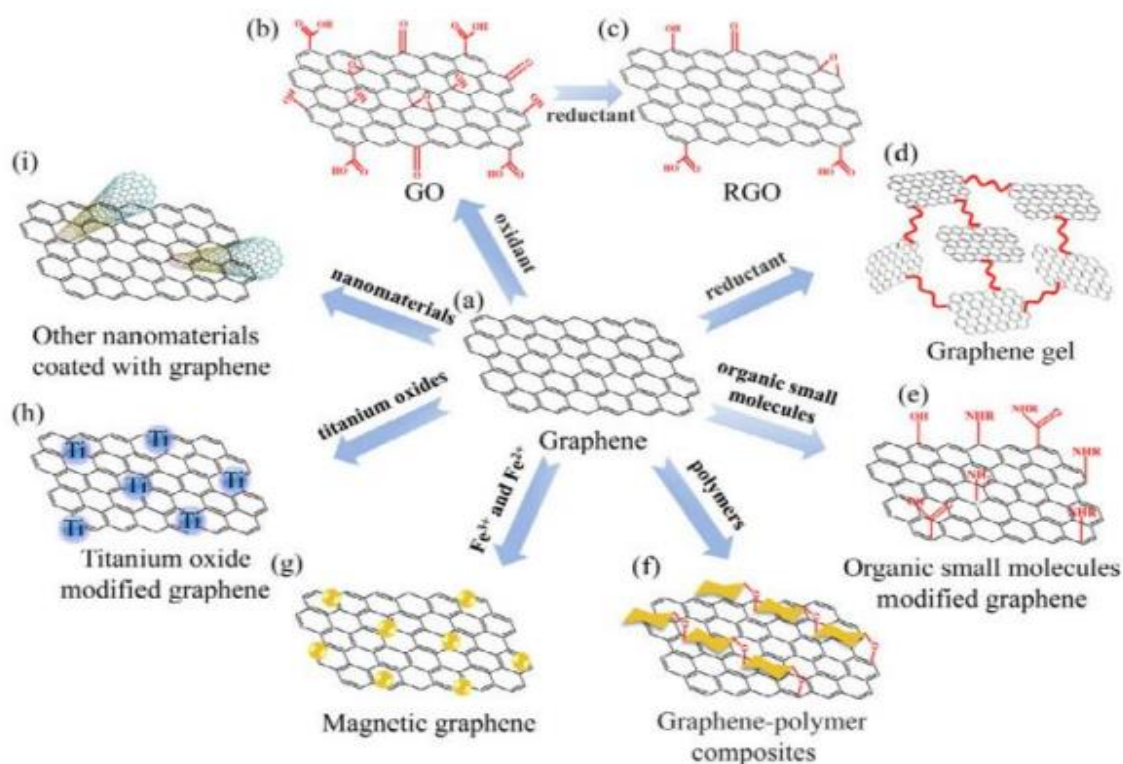


Fig. 4: Funcionalização do grafeno. (a) Grafeno; (b), (c) e (d) são GO, RGO e gel de grafeno; (e) e (f) são pequenas moléculas orgânicas e materiais de grafeno modificados por polímeros; (g), (h) e (i) são materiais de grafeno funcionalizados com nanopartículas. (Mei-fang Li, 2019)

3.3 Corantes

Os corantes são um grupo de produtos químicos nocivos evidentes em muitos efluentes industriais, uma vez que a maioria deles é altamente solúvel na descarga de água para recursos aquosos. Quase 10.000 tipos de corantes são aplicáveis em várias indústrias, e até 0,7 milhão de toneladas de corantes são sintetizados anualmente, representando 17–20% da poluição global da água. Em altas concentrações, esses poluentes podem ser altamente tóxicos e podem alterar a biogeoquímica do solo, o que afeta diretamente as capacidades metabólicas dos organismos vivos. Além disso, a atividade fotossintética das plantas aquáticas é diminuída devido à reduzida penetração da luz solar, bem como à formação de uma fina película de corantes sobre a superfície do corpo receptor de água. (Roghayeh Mohafezatkar, 2022)

Os corantes podem ser classificados em três categorias: aniônicos, catiônicos e não iônicos, onde cada categoria contém muitos corantes. Os corantes diretos, reativos e ácidos são corantes aniônicos; enquanto os corantes catiônicos e não iônicos são representados pelos corantes básicos e dispersos, respectivamente. O azul de metileno (MB) (Figura 5), por exemplo, é um corante muito utilizado, não só na indústria do vestuário, mas em diversas aplicações químicas, médicas e biológicas (Jawad et al., 2015). O MB é um corante catiônico com uma estrutura complicada que dificulta sua remoção. Da mesma forma, o laranja de metila (MO) entra em muitas indústrias e tem uma massa molecular semelhante à MB. (Mohammed Kadhom, 2020)

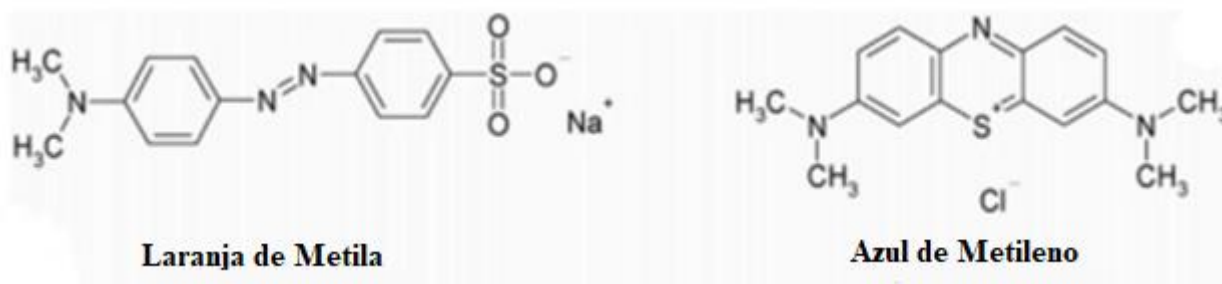


Figura 5: Estrutura química dos corantes laranja de metila (esquerda) e azul de metileno (direita) (Mohammed Kadhom, 2020)

A poluição da água pelas indústrias têxteis tornou-se um problema ambiental absoluto, pois contém vários corantes. Entre eles, o corante verde malaquita (MGD) é um corante básico triarilmetano persistente usado para colorir em indústrias como têxtil, papel, farmacêutica e couro. Embora intensamente usado para fins industriais, vestígios de MGD mostraram efeitos nocivos, incluindo problemas reprodutivos, toxicidade respiratória, mutagênese, carcinogênese e teratogênese nos corpos d'água. (A. Annam Renita, 2021)

Verde malaquita (MG) é um corante de brilho metálico e encontrado na forma de cristal verde. Tem uma maior solubilidade em água e solventes orgânicos. É amplamente utilizado como biocida no campo da aquicultura em todo o mundo. É extremamente eficiente contra várias doenças causadas por uma infecção protozoária e fúngica. Principalmente, seu mecanismo de ação foi aplicado para curar vermes na pele e brânquias. Além disso, tem usos valiosos em vários campos, como na indústria alimentícia como agente corante, bem como na indústria têxtil para tingir algodão, lã, seda, juta, couro e papel. Visto que os graves efeitos tóxicos na saúde humana de MG foram relatados devido ao consumo de frutos do mar. Os resíduos industriais contendo MG contaminam as espécies aquáticas e suas sequelas nos peixes processados causam efeitos cancerígenos, genotóxicos e tóxicos no sistema reprodutivo. (Heena Khawaja, 2021)

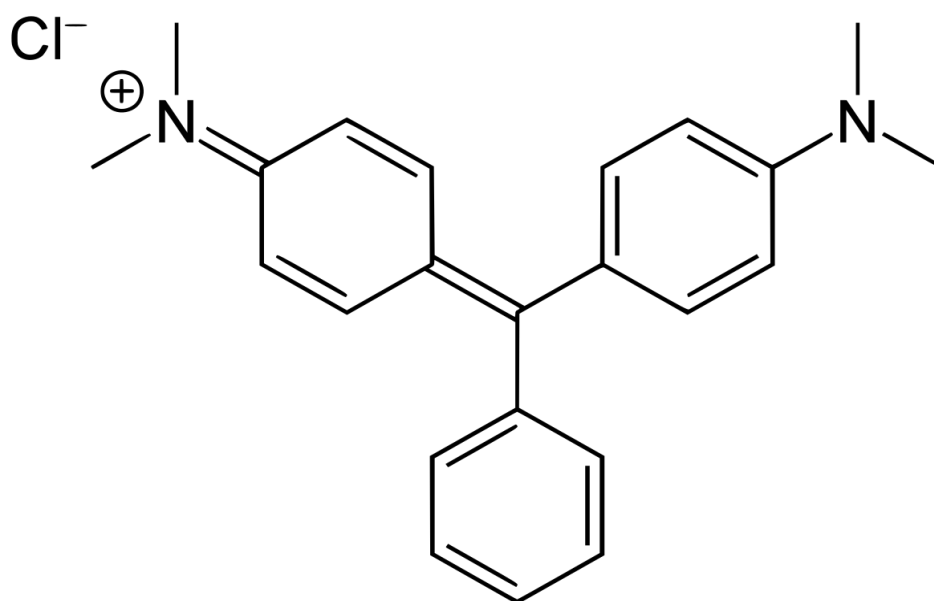


Figura 6: Estrutura química verde malaquita (Domínio público)

3.4 Adsorção

Vários métodos de purificação são usados para a remoção de corantes, nomeadamente filtração, oxidação química, coagulação química e precipitação, remoção eletroquímica e eletrocoagulação, fotocatalise, decomposição ultrassônica e biológica e adsorção. Entre estes, a adsorção tem muitos benefícios devido à sua operação simples, alta eficácia, facilidade e ausência de subprodutos. Quando se comparam as vantagens e desvantagens de cada processo, a adsorção pode ser a melhor escolha; assim, foi intensamente relatado por muitos grupos de pesquisa (Mohammed Kadhom, 2020)

Adsorção é um método caracterizado pela adesão de um material na superfície ou poros de um sólido (adsorvente). O mecanismo de adsorção de corantes no adsorvente (Grafeno) em processos de remoção envolve três passos importantes: o corante migra para a superfície do adsorvente através da solução, em seguida se insere dentro dos poros das partículas e então são absorvidos nos sítios das partículas do adsorvente. (Terezinha, E. 2010)

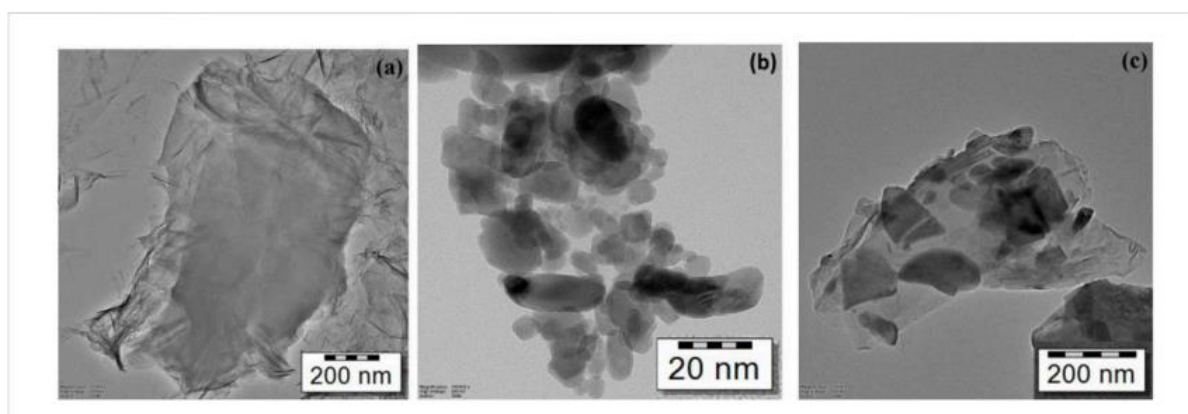


Figura 7: Imagens HRTEM de: (a) GO; (b) ZN; (c) nanocompósito de GO/ZN (Merija KS, 2023)

Os adsorventes à base de materiais nanoestruturados estão ganhando mais espaço do que os adsorventes convencionais por possuírem um elevado número de lados ativos, alta área de superfície específica, estabilidade térmica e mecânica superior e baixa resistência à difusão intrapartícula e são fáceis de modificar ou funcionalizar. O óxido de grafeno é a forma oxidada do grafite com a presença de camadas atômicas de átomos de carbono com hibridização sp^2 dispostos em uma estrutura hexagonal. Devido à sua morfologia planar em forma de folha, possui uma extensa área de superfície específica e alta capacidade de adsorção, fornecendo ambos os lados para adsorção ativa. O desenvolvimento de nanocompósitos à base de GO seria um material promissor para melhorar a eficácia da remoção de contaminantes por meio do processo de adsorção. (Merija KS, 2023)

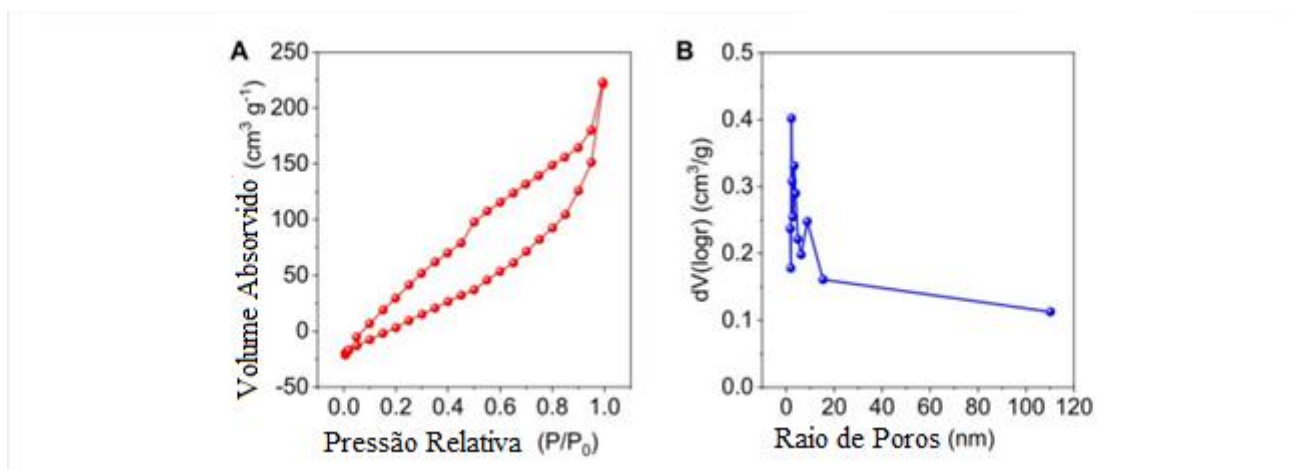


Figura 8: (A) Isotherma de adsorção-dessorção de N₂ de GO/ZN; (B) Curva de distribuição de tamanho de poros de GO/ZM (Merija KS, 2023)

4 Metodologia

Este trabalho, consistiu em realizar uma análise bibliográfica, coletando, discutindo e organizando as diferentes informações sobre os temas deste estudo. Utilizou-se o software VOSviewer para se fazer um levantamento bibliométrico. Foram selecionados artigos publicados entre os anos de 2021 e 2023 em diversas bases de dados, como por exemplo: SciELO (Scientific Electronic Library Online), PubMed da NLM (U.S. National Library of Medicine) e MEDLINE (Medical Literature Analysis and Retrieval System on-line). E para a identificação desses artigos foi utilizado o DOI (Identificador de Objeto Digital), que é um padrão para identificação de documentos em redes digitais, o DOI pode ser aplicado a qualquer objeto digital (livros, capítulos de livros, periódicos, artigos, etc.).

Foram empregadas as seguintes palavras nas línguas portuguesa e inglesa e suas combinações correspondentes: graphene and dyes.

Os critérios de inclusão para a seleção dos artigos na plataforma Scopus foram de acordo com o seu mérito científico e para a avaliação desse mérito foram considerados os seguintes fatores de qualidade: validade, importância, originalidade do tema, contribuição para a área temática em questão, estrutura do trabalho científico, termos com maior taxa de ocorrência, datas de publicação e autores com mais estudos na área. Foram considerados artigos em língua portuguesa e inglesa, periódicos nacionais e internacionais

5 Resultados e discussão

Tem-se como objetivo, através da revisão de literatura, analisar a possibilidade de utilização da nanotecnologia no tratamento e controle de poluentes produzido pelas grandes indústrias e descartados no meio hídrico. As nanopartículas para o tratamento dos corantes, com foco na utilização do grafeno. Já que a nanotecnologia tem tido muito destaque ultimamente na área da saúde, tanto para a produção de novos compósitos, como também metodologias para superar adversidades relacionadas ao meio ambiente. Este trabalho manteve o foco em poluição de rios, mares e oceanos pelo setor industrial.

Como resultado da pesquisa bibliométrica foi criado um mapa multidimensional gerado pelo software VOSviewer que agrupa metadados bibliométricos em clusters intimamente relacionados envolvendo as palavras-chave listadas nos periódicos, foi extraído o título e os campos do resumo, nos quais a cor se relaciona a temas de pesquisa semelhantes e a distância entre os círculos se relaciona às ocorrências. Na primeira etapa da pesquisa bibliométrica foram encontrados inicialmente 2.482 artigos dentre os quais para o índice-h, 49 foram citados pelo menos 49 vezes (2021-2023).

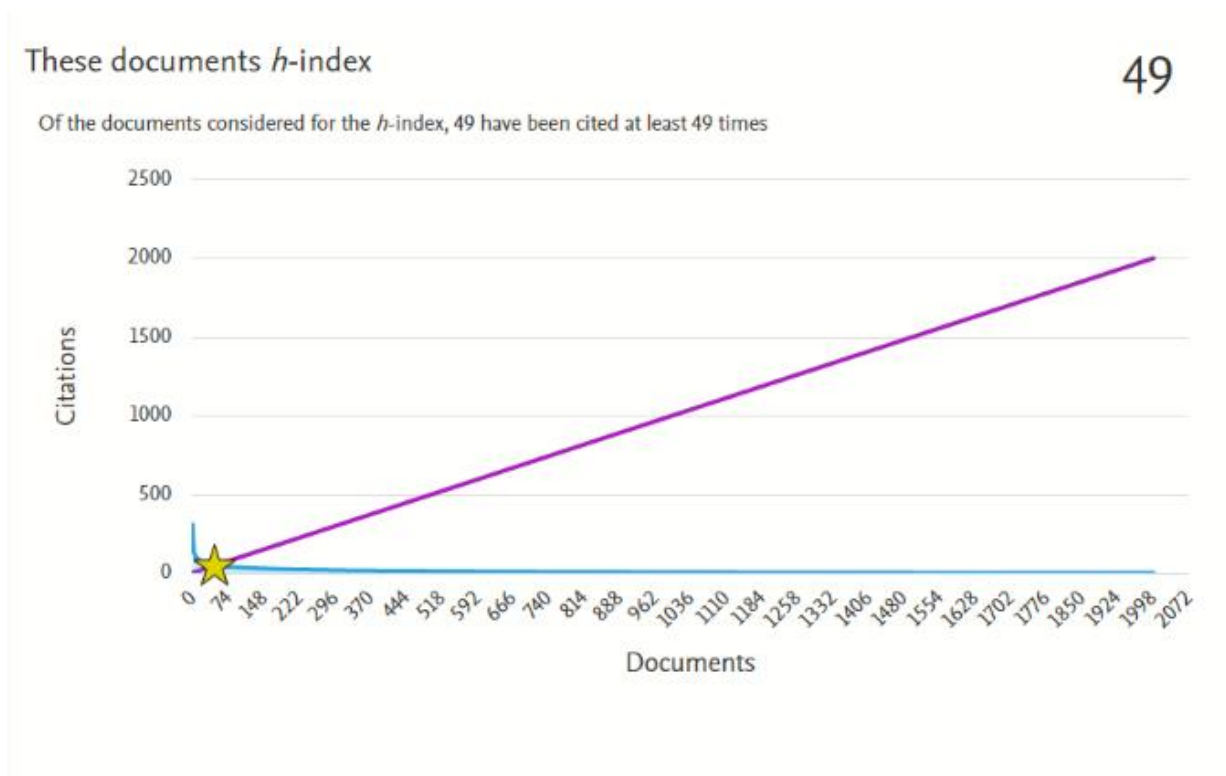


Figura 9: Representação gráfico do Índice-h dos artigos (2021-2023)
Imagem de autoria própria.

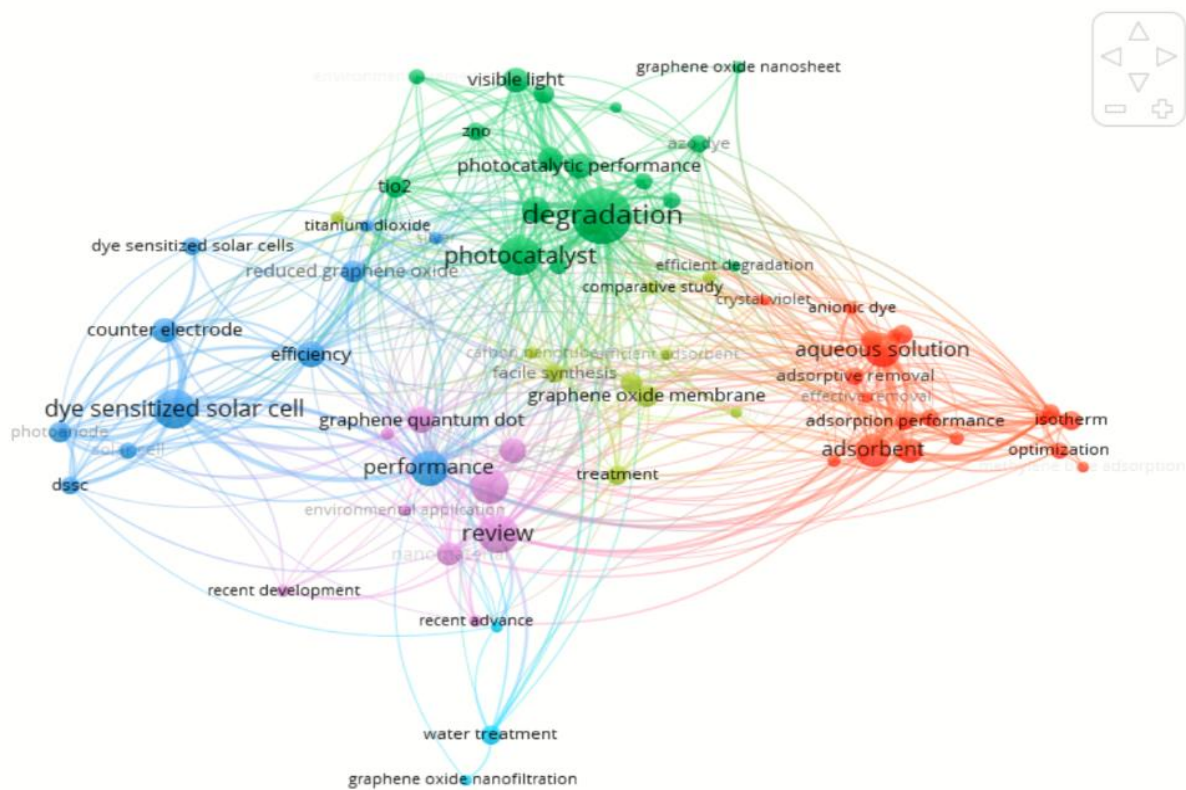


Figura 10: Mapa representativo dos termos encontrados durante a realização da busca bibliográfica. (Imagem de autoria própria)

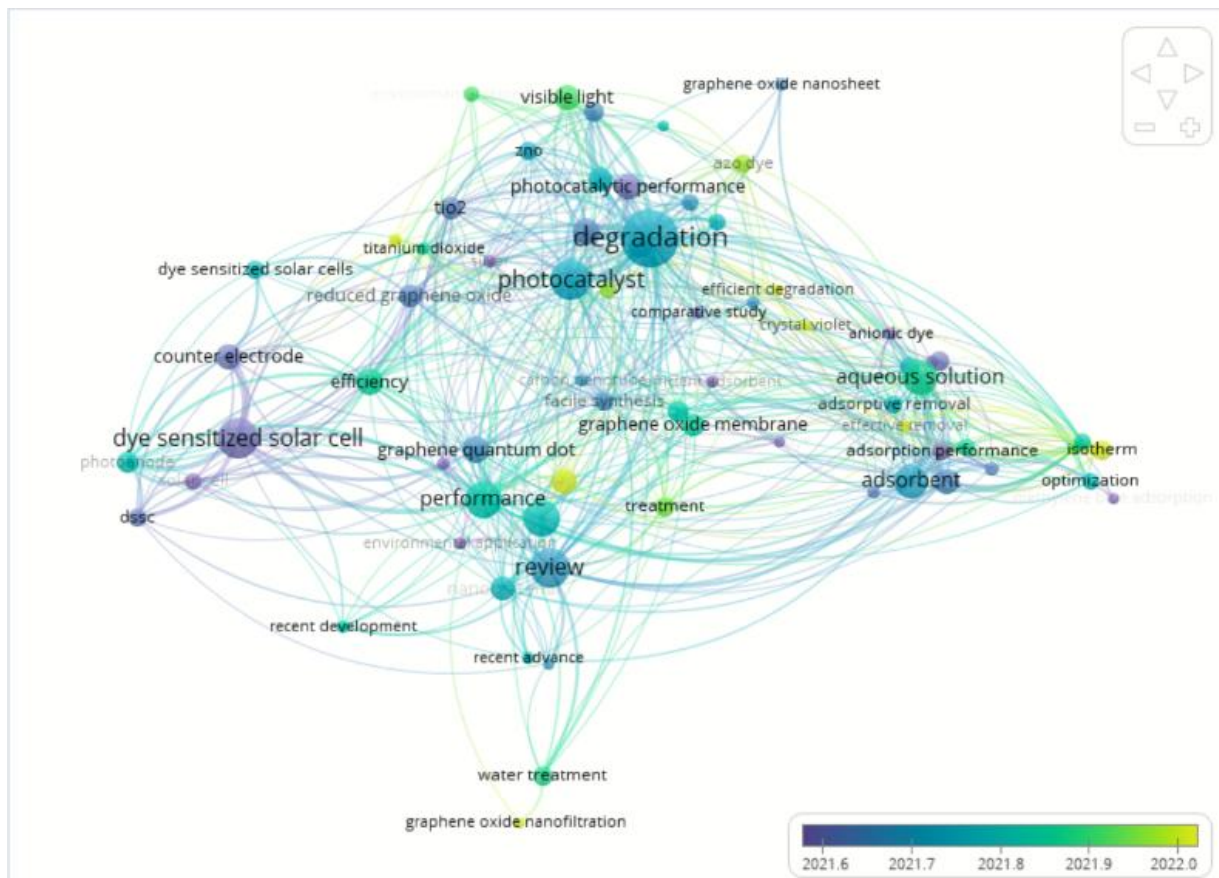


Figura 11: Mapa representativo dos termos encontrados durante a realização da busca bibliográfica, baseado na mudança de foco durante os anos de 2021-2022. (Autoria própria)

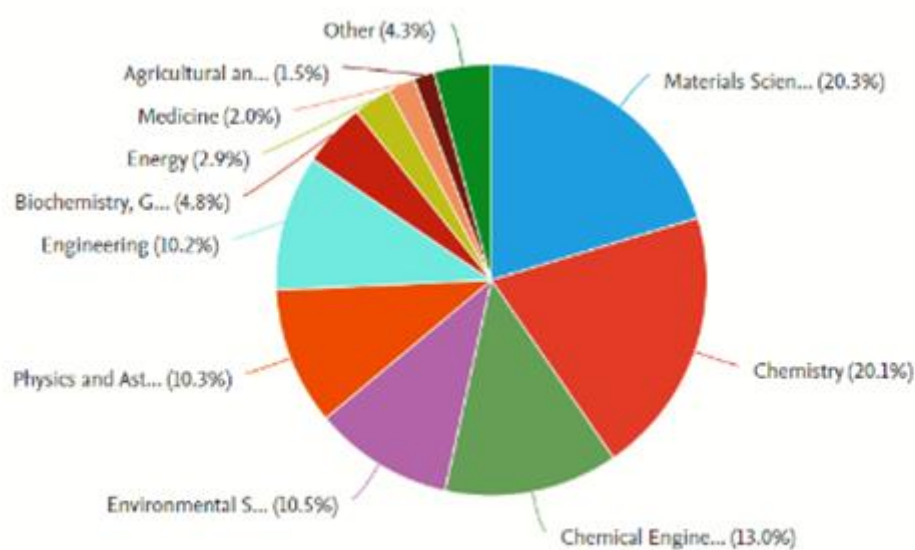


Figura 12: Áreas do conhecimento dos mais de 2400 artigos encontrados durante o estudo bibliométrico. (Autoria própria)

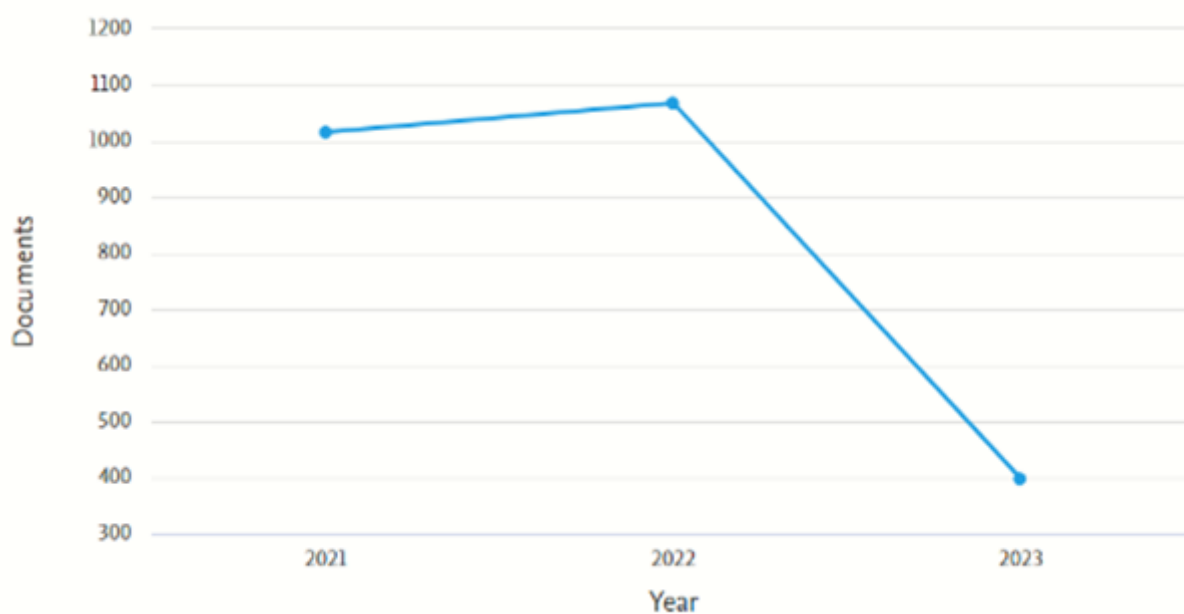


Figura 13: Representação do gráfico da busca Bibliográfica de artigos entre 2021 a 2023. (Autoria própria)

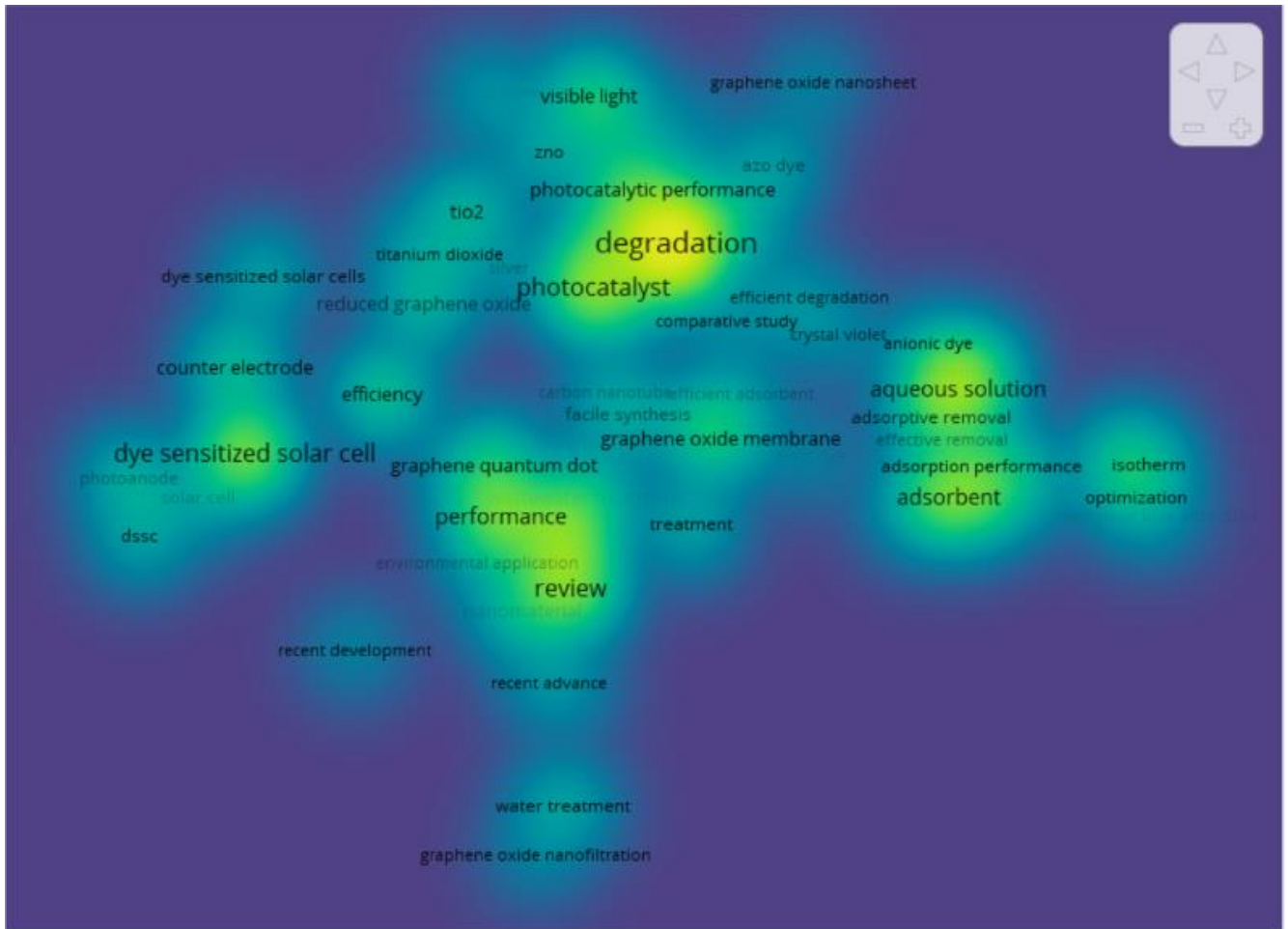


Figura 14: Mapa bibliométrico criado através do software VOSviewer, com resultado de metadados bibliométricos envolvendo as palavras chaves degradation, performance, review, photocatalyst, aqueous solution, adsorbent e dye sensitized solar cell (2021-2023). (Autoria própria)

A figura de número 9 representa o índice-h dos documentos encontrados na pesquisa. Este índice é uma metodologia que possui a finalidade de avaliar a produção e o impacto das pesquisas individuais ou em grupos baseando-se nos artigos mais citados. Nela, o índice-h da pesquisa é igual a 49, ou seja, dentre todos os documentos pesquisados, um total de 49 deles foram citados pelo menos 49 vezes em um determinado período de tempo.

Na figura 13, retirada da plataforma Scopus (SCP), representa o gráfico da busca bibliográfica do estudo. O gráfico representa a quantidade de artigos encontrados relacionados ao tema dentre os anos de 2021-2023, demonstrando um número inferior no último ano devido a pesquisa ter sido realizada no início deste mesmo ano. Mostrando que o tema possui grande interesse dos pesquisadores e grande relevância.

Para realizar este estudo, o software VOSviewer (VOS) que utiliza uma técnica de mapeamento para visualizar similaridades, foi o que possibilitou a visualização e a criação de mapas bibliométricos com base em dados de rede. O VOS constrói mapas bibliométricos de diversas formas e utiliza uma metodologia padrão para mapeamento e agrupamento, baseado no coeficiente da matriz de ocorrência normalizada e uma medida de similaridade que calcula a força de associação entre os termos. O mapa gerado é bidimensional e agrupa metadados bibliométricos em forma de clusters, agrupados pela mesma cor no qual estão intimamente relacionados. A distância entre os termos pode ser interpretada como uma indicação de relação entre eles, ou seja, quanto menor a distância entre os termos mais forte é a relação entre eles. Cada agrupamento (clustrer) agrega palavras-chave (neste estudo: graphene and dyes) que apresentam similaridades e interações entre os temas correlatos. por exemplo: um conjunto de trabalhos X aborda um determinado tema, os documentos apresentam ligações estruturais que se dão por linhas de ligação. Quanto mais forte for essa linha, maior a interação entre os temas. Essa ligação acontece pois um tema pode derivar do outro ou porque os mesmos documentos abordam temas diferentes. (Nees Jan van Eck, Ludo Waltman, 2009)

As figuras 10 e 11 também foram geradas pelo programa, em que cada cor representa temas semelhantes nas pesquisas, e a distância entre os círculos indica as ocorrências. A figura 10 apresenta a visualização do mapa multidimensional resultante dos metadados bibliométricos que envolvem diversos termos, como "performance", "degradation", "photocatalyst", entre outros. No agrupamento vermelho, são agregadas palavras-chave relacionadas a "aqueous solution", "adsorbent", "anionic dye", "isotherm", "optimization" e outras. O agrupamento verde está relacionado aos termos "degradation", "photocatalyst", "graphene oxide nanosheet", "visible light" e "Azo dye". Já o agrupamento azul engloba palavras-chave relacionadas a temas como "dye-sensitized solar cell", "efficiency", "reduced graphene oxide", "performance", "counter electrode" e outros. No agrupamento rosa, encontram-se os termos "review", "graphene quantum dot" e "recent development". No agrupamento amarelo, os termos incluem "treatment", "graphene oxide membrane facile synthesis", "carbon nanotube" e "efficient adsorbent". Por fim, nos agrupamentos ciano, são encontradas as palavras-chave "water treatment", "graphene oxide nanofiltration" e "recent advance".

Já a figura 11 também retrata a visualização da rede bibliométrica dos termos citados anteriormente, mas visualizado pelo modo de sobreposição ao longo de 2021-2022, onde o foco dos temas se alternam entre si.

6 Conclusão

A partir do levantamento bibliográfico, compreende-se que o grafeno tem mostrado grande potencial como carreador de corantes e na retirada de poluentes em água pelo método da adsorção devido as suas propriedades, como alta área de superfície, elevada capacidade de adsorção e transferência de carga. Devido a estas características, o grafeno pode ser usado para melhorar a estabilidade, eficiência e funcionalidade dos corantes catiônicos, bem como para facilitar a remoção de poluentes (corantes) em sistemas de tratamento hídrico.

Pesquisas futuras devem continuar explorando a utilização do grafeno neste aspecto, já que os gráficos gerados pelo Vosviewer demonstram um grande interesse em pesquisas relacionadas ao GF nessa área, com o objetivo de melhorar a sustentabilidade, através da remoção de corantes de industrias texteis e contribuir para soluções de purificação da água com mais eficiencia e sustentabilidade. Dessa forma, contribuindo para uma melhor qualidade de vida das pessoas e uma alternativa ecológica para estes resíduos de grandes indústrias.

Referências

- ABDULRAHMAN ABU-NADA; ABDALA, A.; MCKAY, G. Removal of phenols and dyes from aqueous solutions using graphene and graphene composite adsorption: A review. *Journal of environmental chemical engineering*, v. 9, n. 5, p. 105858–105858, 1 out. 2021.
- CAO, M. et al. Extraction-like removal of organic dyes from polluted water by the graphene oxide/PNIPAM composite system. *Chemical Engineering Journal*, v. 405, p. 126647, 1 fev. 2021.
- CHUNG, Chul et al. Biomedical applications of graphene and graphene oxide. *Accounts of chemical research*, v.46, n.10, p. 2211-2224, 2013. Conceito da lei Lambert-Beer, UFRGS.
- DREYER, Daniel R. et al. The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, v.39, n. 1, p. 228-240, 2010. Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções.
- FAHIMIRAD, S.; FAHIMIRAD, Z.; SILLANPÄÄ, M. Efficient removal of water bacteria and viruses using electrospun nanofibers. *Science of The Total Environment*, v. 751, p. 141673, 10 jan. 2021.
- GUANGLIN, WANG; GUANGFEN, LI; YANGYANG, HUAN; CHAOQUN, HAO; WEI, CHEN. Acrylic acid functionalized graphene oxide: High-efficient removal of cationic dyes from wastewater and exploration on adsorption mechanism, *Chemosphere*, Volume 261, 2020.
- HAN, QIAO; YANMEI, ZHOU; FANG, YU; ENZE, WANG; YINGHAO, MIN; QI, HUANG; LANFANG, PANG; TONGSEN, MA. Effective removal of cationic dyes using carboxylate-functionalized cellulose nanocrystals, *Chemosphere*, Volume 141, Pages 297-303, 2015.
- HASSAN, M. M.; CARR, C. M. Biomass-derived porous carbonaceous materials and their composites as adsorbents for cationic and anionic dyes: A review. *Chemosphere*, v. 265, n. 129087, p. 129087, 2021.
- IHSANULLAH, I. Boron nitride-based materials for water purification: Progress and outlook. *Chemosphere*, v. 263, p. 127970, jan. 2021.
- KADHOM, M. et al. Removal of dyes by agricultural waste. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 16, p. 100259, jun. 2020.
- KARIMI-NAZARABAD, M. et al. Highly efficient clean water production: Reduced graphene oxide/ graphitic carbon nitride/wood. *Separation and Purification Technology*, v. 279, p. 119788, dez. 2021.
- KASVI, 2018. Fundamentos da espectrofotometria, UFRJ.
- KHANSANAMI, M.; ESFANDIAR, A. High flux and complete dyes removal from water by reduced graphene oxide laminate on Poly Vinylidene Fluoride/graphene oxide membranes. *Environmental Research*, v. 201, p. 111576, out. 2021.
- KHAWAJA, H. et al. Graphene oxide decorated with cellulose and copper nanoparticle as an efficient adsorbent for the removal of malachite green. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 167, p. 23–34, 15 jan. 2021.

- LEE, S. J. et al. Heteroatom-doped graphene-based materials for sustainable energy applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 143, p. 110849, jun. 2021.
- LI, F. et al. Graphene oxide: A promising nanomaterial for energy and environmental applications. *Nano Energy*, v. 16, p. 488–515, set. 2015.
- National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID73801, Gallocyanine. Retrieved January 21, 2023.
- NAWAZ, H. et al. Polyvinylidene fluoride nanocomposite super hydrophilic membrane integrated with Polyaniline-Graphene oxide nano fillers for treatment of textile effluents. *Journal of Hazardous Materials*, v. 403, p. 123587, fev. 2021.
- OLABI, A. G. et al. Application of graphene in energy storage device – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 135, p. 110026, jan. 2021.
- RENITA, A. A. et al. Effective removal of malachite green dye from aqueous solution in hybrid system utilizing agricultural waste as particle electrodes. *Chemosphere*, v. 273, p. 129634, jun. 2021.
- Royal Society of Chemistry (RSC). OLIVEIRA, Andressa de Aguiar. Avaliação do uso de substratos à base de grafeno na produção de células solares de terceira geração sensibilizadas por corante. 2022.
- SABZEHMEIDANI, M. M. et al. Carbon based materials: a review of adsorbents for inorganic and organic compounds. *Materials Advances*, v. 2, n. 2, p. 598–627, 2021.
- SAFAJOU, H. et al. Green synthesis and characterization of RGO/Cu nanocomposites as photocatalytic degradation of organic pollutants in waste-water. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 46, n. 39, p. 20534–20546, 17 jun. 2021.
- SANTOS, Leonardo TakeoShimazu; SOUZA, Diego Moreira. Grafeno: propriedades e aplicações. 2019.
- SEABRA, Amedea B.; PAULA, Amauri J.; LIMA, Renata de; ALVES, Oswaldo L.; DURAN, Nelson. Nanotoxicity of Graphene and Graphene Oxide. *Chemical Research in Toxicology*, [S.L.J, v. 27, n. 2, p. 159-168, 2014. American Chemical Society (ACS).
- TEREZINHA, E.; MENDES, D.; CARVALHO. ADSORÇÃO DE CORANTES ANIÔNICOS DE SOLUÇÃO AQUOSA EM CINZA LEVE DE CARVÃO E ZEÓLITA DE CINZA LEVE DE CARVÃO. [s.l: s.n.]. 2010.
- THYSIADIS, Savvas et al. Design and synthesis of gallocyanine inhibitors of dkk1/lrp6 interactions for treatment of alzheimer's disease. *Bioorganic Chemistry*, v. 80, p. 230-244, 2018.
- ULUSOY, Halil İbrahim. A versatile hydrogel including bentonite and gallocyanine for trace Rhodamine B analysis. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 513, p. 110-116, 2017.
- VELUSAMY, S. et al. A Review on Heavy Metal Ions and Containing Dyes Removal Through Graphene Oxide-Based Adsorption Strategies for Textile Wastewater Treatment. *The Chemical Record*, v. 21, n. 7, p. 1570–1610, 4 fev. 2021.

YIN, Perry T. et al. Design, synthesis, and characterization of graphene–nanoparticle hybrid materials for bio applications. *Chemicalreviews*, v.115, n.7, p.2483-2531, 2015.

YU, Wang; SISI, Li; HAIYAN, Yang; JIE, Luo. Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review. *Rsc Advances*, [S.L.], v. 10, n. 26, p. 15328-15345, 2020.

ZHANG, Z. et al. Bioinspired Graphene Oxide Membranes with pH-Responsive Nanochannels for High-Performance Nanofiltration. v. 15, n. 8, p. 13178–13187, 2 jul. 2021.