



## II – 08 – ESTUDO COMPARATIVO: PRODUÇÃO, OTIMIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO E ÓXIDO DE GRAFITE COMO ADSORVENTES DE QUINOLINA EM MEIO AQUOSO.

### **Gabriel Filipe Oliveira do Nascimento** <sup>(1)</sup>

Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Química pela UFPE. Possui experiência em adsorção e processos oxidativos avançados para tratamento de contaminantes e efluentes industriais.

### **Marta Maria Menezes Bezerra Duarte**

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Mestrado e Doutorado em Química pelo Departamento de Química Fundamental da UFPE. Trabalhou no Instituto de Tecnologia de Pernambuco/ITEP de 1998 a agosto de 2007. Atualmente é Professora Associada IV do Departamento de Engenharia Química (DEQ), CTG - UFPE, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPE desde maio de 2012 e Pesquisadora PQ 2 do CNPq. Coordenadora do Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ) do DEQ/CTG/UFPE desde 2016.

### **Maurício Alves da Motta Sobrinho**

Engenheiro químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia de processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine. Pós-Doutorado na UFPE e na UMINHO (Portugal). Professor Titular, Pesquisador PQ2 CNPq e coordenador do curso de Eng. Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Editor Adjunto da Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. dos Economistas, s/n - Várzea - Recife - Pernambuco - CEP: 50740-590 - Brasil - Tel: +55 (81) 2126-7293 - e-mail: [gabriel.oliveiranascimento@ufpe.br](mailto:gabriel.oliveiranascimento@ufpe.br).

### **RESUMO**

A quinolina é um composto orgânico aromático nitrogenado básico amplamente encontrado em efluentes da indústria petroquímica. Por se tratar de uma substância tóxica, carcinogênica e mutagênica, de difícil remoção do meio aquoso através de métodos convencionais, a adsorção é estudada como um método alternativo de tratamento. Dentre os adsorventes que podem ser utilizados o óxido de grafeno (OGO) e o óxido de grafite (OGE) se mostram promissores devido a suas propriedades fisicoquímicas. O objetivo deste trabalho é estudar e otimizar a síntese de OGO/OGE produzidos através do método de Hummers para aplicá-los como adsorventes para remoção da quinolina em meio aquoso e caracterizar o material de melhor desempenho. Foram sintetizadas 11 amostras de OGO segundo planejamento fatorial 2<sup>2</sup> e em seguida foram produzidas mais 2 amostras de óxido de grafite variando-se a quantidade de oxidante. Então os materiais foram submetidos a testes preliminares onde o material de melhor desempenho em seguida foi caracterizado através das técnicas de Difração de Raios X (DRX), Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR), espectroscopia Raman, Análise Termogravimétrica (TGA) e o pH do ponto de carga zero (pH<sub>PZC</sub>). Durante os testes observou-se que ao aumentar a quantidade de oxidante a capacidade adsorviva do material diminuiu. Além disso, devido a leveza e estabilidade do OGO houve dificuldades em separar o adsorvente da solução de quinolina, então optou-se por trabalhar com amostras de OGE e diminuir a quantidade de oxidante. Como resultado verificou-se que a amostra com 2 g de oxidante durante a síntese apresentou melhor resultado. O material foi caracterizado e evidenciou-se a efetividade na oxidação das folhas de grafite, através dos defeitos no seu plano basal e presença de grupos funcionais em sua superfície. Ao comparar com resultados presentes na literatura o adsorvente apresentou capacidade adsorviva superior ( $q = 55 \text{ mg.g}^{-1}$ ) aos demais trabalhos, o que pode indicar que o óxido de grafite é um adsorvente promissor para remoção de quinolina em meio aquoso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção; Quinolina; Óxido de grafeno; Óxido de grafite; Estudo Comparativo.

## INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera utiliza uma grande quantidade de água durante os seus processos, seja para resfriamento, geração de vapor, ou diretamente no processo produtivo. Além disto a água também é utilizada para combate a incêndios, lavagem de equipamentos e serviços (SILVA, 2016). Como resultado, de modo geral, os efluentes podem conter desde os hidrocarbonetos mais leves aos mais pesados, além de óleos, lubrificantes, graxas, sabões e outros materiais derivados do petróleo (HUI *et al.* 2014).

O efluente advindo das refinarias conta com a presença de substâncias químicas contendo nitrogênio, enxofre e metais, estes compostos são tóxicos, carcinogênicos, mutagênicos e de difícil degradação. Neste contexto a quinolina é um composto orgânico aromático nitrogenado básico, amplamente produzido durante o refino do petróleo estando presente na etapa de craqueamento. Este contaminante possui alta solubilidade em água, podendo ser encontrado na parte aquosa de efluentes das refinarias de petróleo. Além disto, os tratamentos convencionais utilizados pela indústria têm dificuldade de remover a quinolina presente no efluente. (ALVES, 2019).

Portanto, métodos alternativos de tratamento vêm sendo estudados e desenvolvidos, para atuarem em conjunto com as técnicas tradicionais, garantindo que os contaminantes sejam removidos de forma eficiente (ALVES, 2019). Dentre as alternativas, a adsorção se mostra uma técnica promissora para a remoção de compostos orgânicos em meio aquoso, sendo um dos métodos mais eficientes e de fácil operação conforme Araújo *et al.* (2018) e Ferreira *et al.* (2019).

Nanomateriais a base de grafeno, como por exemplo o óxido de grafeno (OGO) e o óxido de grafite (OGe), vêm sendo estudados como alternativa para a remoção seletiva de contaminantes orgânicos polares como a quinolina (ARAÚJO *et al.* 2018; FERREIRA *et al.* 2019; FENG *et al.* 2015; KANG *et al.* 2021). Estes materiais são a forma oxidada do grafeno, destacando-se por sua alta área superficial e presença de diferentes grupos funcionais oxigenados ligados à cadeia carbônica (PENG *et al.* 2016). Estes podem ser produzidos por diversas vias, dentre elas a via química através do método de Hummers (HUMMERS; OFFEMAN, 1958) é uma das mais empregadas devido à sua aplicabilidade em larga escala.

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é estudar e otimizar a síntese de óxido de grafeno/óxido de grafite produzidos através do método de Hummers a fim de aplicá-los como adsorventes para remoção da quinolina em meio aquoso e a posterior caracterização do material que apresentar melhor desempenho.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Primeiramente foram sintetizadas 5 diferentes amostras de óxido de grafeno variando-se o tempo de reação (3; 4,5; e 6 h) e a quantidade de  $\text{KMnO}_4$  (3, 4 e 5 g) conforme um planejamento fatorial  $2^2$ . Posteriormente foram sintetizadas 2 amostras diferentes de óxido de grafite, ambas com 3 horas de reação e 1 e 2 g de  $\text{KMnO}_4$  respectivamente.

As amostras de óxido de grafeno e óxido de grafite foram sintetizadas com base do método proposto por Hummers e Offeman (1958). Para a produção das amostras foi utilizada uma mesa agitadora orbital (Quimis, Q225MT), onde 1,0 g de grafite em pó (*Synth*), 25 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (p.a., *Neon*) e 3 g de  $\text{KMnO}_4$  (p.a., *Neon*) em pó foram homogeneizados sob banho de gelo. Após 3 horas de reação a síntese foi finalizada com a adição de 10 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% (*Moderna*).

Após a síntese as amostras produzidas passaram por um processo de lavagem por imersão, com solução de HCl (25%, *Moderna*), e com água destilada. A posterior separação do sobrenadante foi feita por centrifugação (Quimis, Q222T2) durante 10 min a 8000 rpm. Em seguida, as amostras de óxido de grafeno foram expostas a

banho de ultrassom (Ultronique Q3.0/40A) por 4 h, enquanto as de óxido de grafite não passaram por este processo.

Então, 0,6 g·L<sup>-1</sup> de cada amostra de adsorvente produzida foram colocados em contato com 50 mL de uma solução aquosa de quinolina (30 mg·L<sup>-1</sup>), sob constante agitação de 250 rpm a 298 K durante 3 h em um Shaker (Marconi, MA420). A posterior separação do adsorvente foi feita por filtração utilizando microfiltros (marca unifil, diâmetro 25 mm, porosidade 0,45µm). A quantificação dos resultados foi realizada utilizando um espectrofotômetro UV-visível (Genesys, 10s). Os experimentos foram realizados em duplicata para cada amostra produzida sendo o resultado a média aritmética dos dados

A fim de avaliar as propriedades do material a amostra do óxido de grafite produzido foi caracterizado. Para avaliar as modificações na estrutura cristalina do grafite a difração de raios X (DRX) das amostras de OGe foi realizada usando um difratômetro de raio X (Bruker, D8 Advance) com ângulos de difração (2θ) variando de 5 a 80°. Esta caracterização foi realizada no Laboratório Nano A da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Para a análise dos grupos superficiais, foi utilizada a espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), realizada usando um espectrômetro com refletância total atenuada e uma resolução de 4 cm<sup>-1</sup> (Perkin Elmer, Spectrum 400), onde a faixa do infravermelho estudada foi de 4000 e 500 cm<sup>-1</sup>. Esta análise foi feita no Laboratório de Combustíveis (LAC) do Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia (LITPEG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

A espectroscopia Raman foi realizada em um espectroscópio Raman WWhitec Alfa 303 (630 nm), com irradiação a laser sendo irradiados cerca de 10 pontos da amostra a fim de fornecer uma amostragem mais precisa. A análise determinou as bandas nas quais ocorrem o reordenamento das estruturas sp<sup>2</sup> e a inserção de defeitos no plano basal do grafeno em relação ao grafite. A análise foi feita no Departamento de Química Fundamental (DQF), UFPE.

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas na amostra em uma balança com temperaturas variando de 30°C a 800°C com rampa de aquecimento de 10°C min<sup>-1</sup>, abaixo de 20 mL·min<sup>-1</sup> de atmosfera inerte de N<sub>2</sub>, a partir dos resultados foi calculada a termogravimetria derivada (DTG). O equipamento utilizado foi uma termobalança (NETZSCH, STA 449 F3 Jupiter). A análise foi realizada no Laboratório de Materiais Poliméricos e Caracterização (LMPC), LITPEG, UFPE.

Para determinação do pH no ponto de carga zero (pH<sub>PZC</sub>) foi realizada a verificação de 11 pontos (pH variando de 1 a 12). As amostras de 50 mL de água destilada tiveram o pH ajustado com soluções de NaOH (0,1 mol·L<sup>-1</sup>) e HCl (0,1 mol·L<sup>-1</sup>) utilizando para isto um pHmetro (Instruterm, pH-1500). Após o ajuste foram adicionados 1 g·L<sup>-1</sup> da suspensão de OGe a cada amostra, estas foram agitadas em Shaker sob constante agitação (250 rpm) durante 24 horas, após o período o valor final do pH foi medido. Os testes foram realizados em duplicata. Este ensaio foi realizado no Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Química (DEQ), UFPE.

## RESULTADOS OBTIDOS

As capacidades adsorptivas encontradas para as amostras de óxido de grafeno testadas encontra-se na tabela 1:

**Tabela 1. Resultados dos testes utilizando diferentes amostras de óxido de grafeno.**

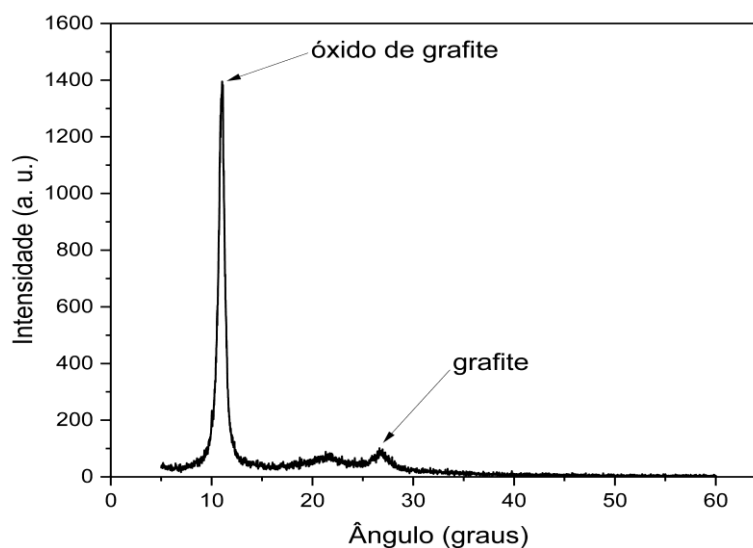
Amostra	q (mg.g <sup>-1</sup> )
OG 3h – 3g	27,4
OG 3h – 5g	22,8
OG 4,5h – 4g	20,3
OG 6h – 3g	21,1
OG 6h – 5g	18,2

Após a avaliação dos resultados acima as amostras de óxido de grafite foram produzidas gerando os resultados descritos na tabela 2:

**Tabela 2. Resultados dos testes utilizando diferentes amostras de óxido de grafite.**

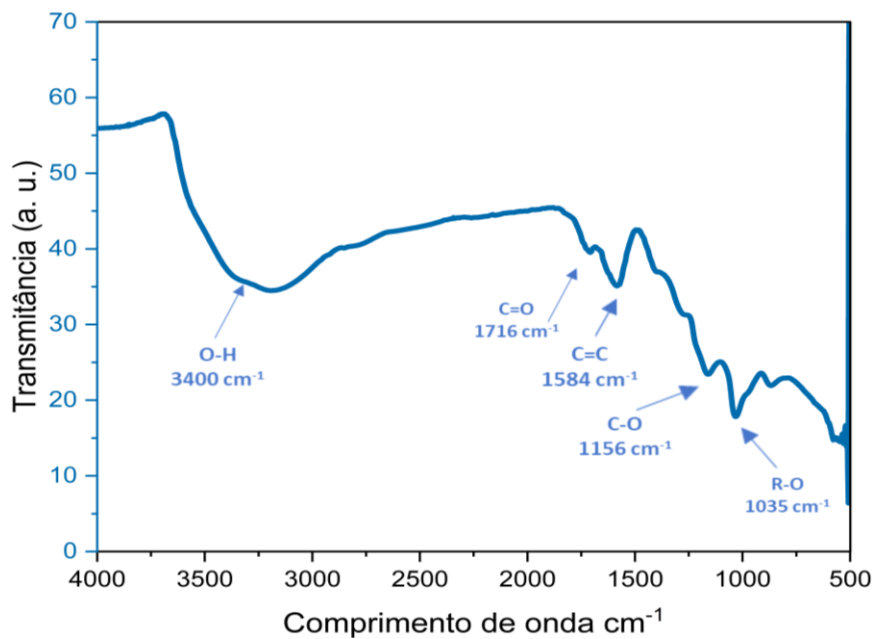
Amostra	q (mg.g <sup>-1</sup> )
OG 3h – 1g	13,6
OG 3h – 2g	55,0

A partir dos resultados descritos acima o óxido de grafite foi caracterizado pelas técnicas de DRX, FT-IR, espectroscopia Raman, análise termogravimétrica e pH do ponto de carga 0. A fim de verificar a modificação na estrutura do grafite, foi realizado o difratograma de raios X do óxido de grafite, que pode ser observado na Figura 1.



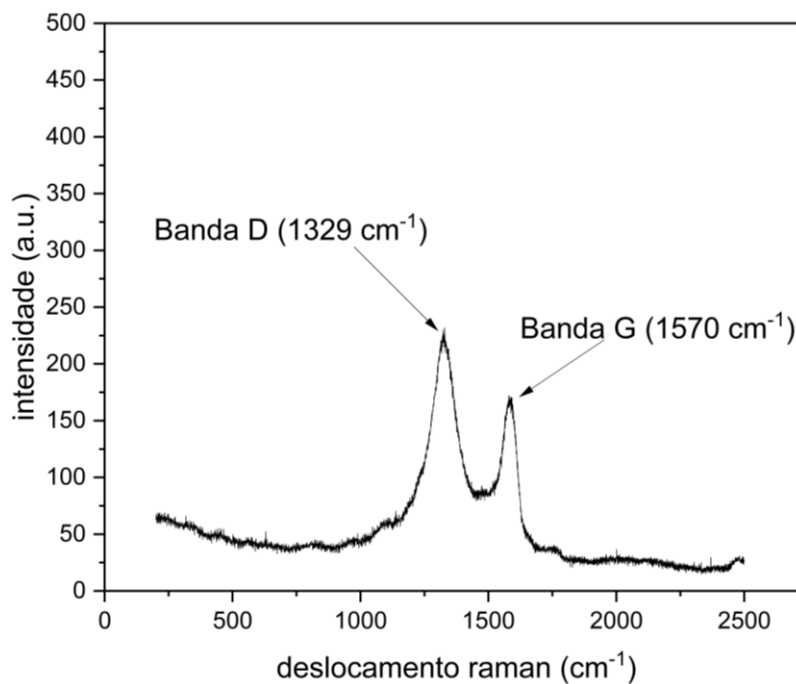
**Figura 1. Difratoograma de raios X da amostra de óxido de grafite.**

Para verificar quais são os grupos funcionais presentes na superfície do grafite foi conduzida a análise de FT-IR. O espectro na região do infravermelho com transformada de Fourier (FI-IR) para a amostra de óxido de grafite está apresentado na Figura 2.



**Figura 2.** Espectro na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) da amostra de óxido de grafite.

Outra análise importante para caracterizar a amostra é através das suas vibrações moleculares e hibridizações, evidenciando defeitos no plano basal do material, para isto a espectroscopia Raman foi utilizada para caracterizar o OGe. O gráfico referente aos espectros Raman da amostra de óxido de grafite encontra-se na Figura 3.



**Figura 3.** Espectros Raman do óxido de grafite.

A fim de evidenciar as propriedades do material através da perda de massa em função da temperatura a análise termogravimétrica foi utilizada. O gráfico da análise termogravimétrica para o OGe está representado na Figura 4.

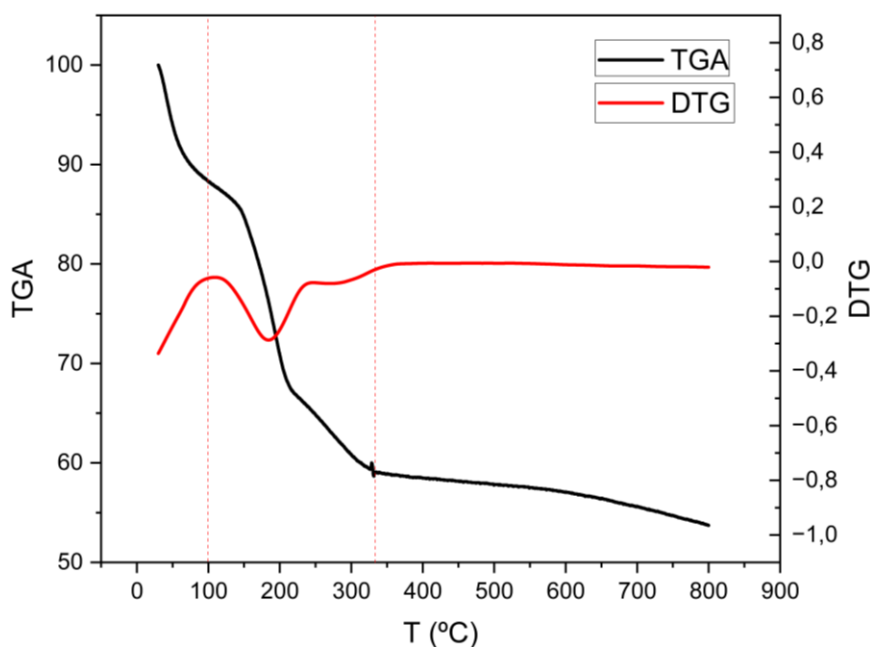


Figura 4. Resultados da análise termogravimétrica do óxido de grafite.

Por fim, para avaliar o ponto de nulificação das cargas no adsorvente o método dos 11 pontos do  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  foi realizado. Os resultados referentes ao pH ponto de carga zero do material estão representados na Figura 5.

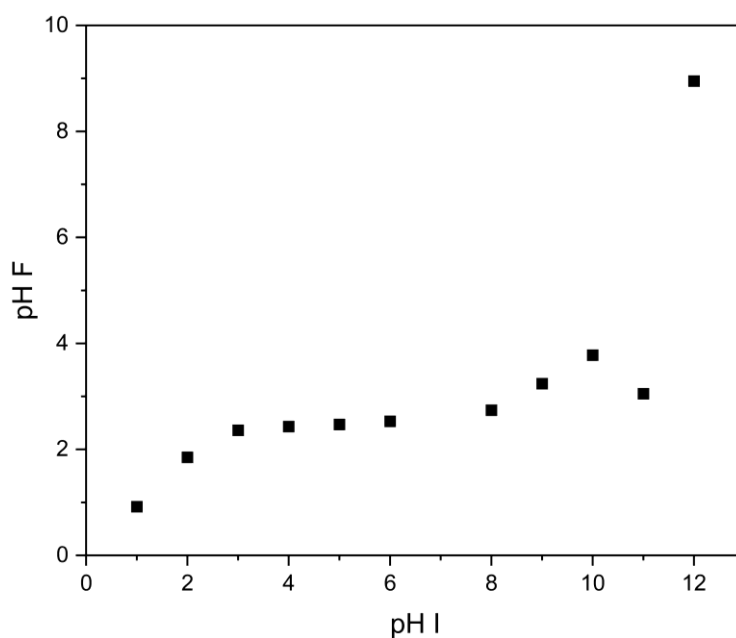


Figura 5. pH do ponto de carga zero do óxido de grafite.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente almejava-se verificar resultados positivos ao aumentar a quantidade de oxidante e tempo de reação na síntese do óxido de grafeno, prevendo que, com mais grupos funcionais na superfície do material, se pudesse acomodar mais moléculas de quinolina em sua superfície.

Porém, conforme mostra a Tabela 1, à medida que se aumenta o tempo de reação ou quantidade de oxidante utilizadas para sintetizar o material a capacidade adsortiva do mesmo diminui, o que pode indicar que sobrecarregar a superfície do material de grupos funcionais oxidados pode acabar diminuindo a interação molecular da quinolina com o adsorvente.

Além disso, durante os ensaios com óxido de grafeno observou-se dificuldade na separação entre o OGo e a quinolina mesmo utilizando filtros de outras porosidades. Atribuiu-se o ocorrido à leveza e estabilidade do material em solução aquosa, e a ineficiência dos processos de separação disponíveis. Como alternativa foi proposto a modificação do adsorvente de OGo para OGe, devido a este material ser mais pesado e ter uma estrutura tridimensional podendo ser mais facilmente separado da solução de quinolina.

Ademais no óxido de grafite o grau de desordem é maior, o que facilita a separação, além de economizar uma etapa no processo de produção (o banho ultrassônico). As amostras de óxido de grafite foram produzidas utilizando o menor tempo de reação, e diminuindo a quantidade de oxidante.

Assim como mostra a Tabela 2, o material produzido com 1g de oxidante apresentou os piores resultados, estima-se que pela quantidade muito baixa de  $\text{KMnO}_4$  aplicada durante a síntese, o material teve uma deficiência de grupos funcionais, e a oxidação não ocorreu de forma completa, isto acarretou em uma capacidade adsortiva comparativamente baixa, mesmo quando comparado com os óxidos de grafeno sintetizados anteriormente com mais oxidante. Já a amostra produzida com 2 g de  $\text{KMnO}_4$  obteve o melhor resultado. Além disto observou-se melhoria significativa na separação entre adsorvente e adsorvato, demonstrando que a escolha pelo óxido de grafite foi efetiva.

Em seguida o óxido de grafite que obteve o melhor resultado foi caracterizado a fim de evidenciar as propriedades físico-químicas que o torna atraente como adsorvente da quinolina. Ademais vale salientar que apesar da diferença estrutural através da esfoliação que torna o óxido de grafite (um material empilhado) em óxido de grafeno (um material esfoliado) estes compartilham grande parte de suas propriedades físico-químicas.

Conforme a Figura 1, há a presença de um pico de alta intensidade em  $2\theta = 10^\circ$  característico do óxido de grafite, diferente do grafite puro que tem seu pico em torno de  $2\theta = 26^\circ$ . Segundo Araújo *et al.* (2018) e Sun *et al.* (2012), os grupos funcionais contendo oxigênio presentes na superfície do material aumentam a distância entre as folhas de grafite, o que provoca a redução para um ângulo menor.

Na Figura 2, uma banda larga pode ser observada entre  $3500$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$ , normalmente atribuídas às vibrações dos grupos O–H. Também pode ser observado a presença de um pico em  $1716\text{ cm}^{-1}$  correspondente aos grupos carbonilas (C=O). Vibrações do grafite não oxidado (C=C aromáticas) podem ser vistas em  $1584\text{ cm}^{-1}$ , e em  $1156\text{ cm}^{-1}$  há a presença de grupos epóxi (C–O) e alcóxi em  $1035\text{ cm}^{-1}$  (R–O). Estes grupos funcionais não estão presentes no grafite, o que pode ser evidenciado por seu espectro não apresentar nenhuma banda ou pico nesta faixa de comprimento de onda (Bera *et al.*, 2018).

A presença destas bandas e picos referentes aos grupos funcionais oxidados é um indicativo de que a síntese do óxido de grafite a partir do grafite foi bem-sucedida. Resultados semelhantes foram reportados por Araújo *et al.* (2018) que caracterizaram OGe.

Como pode ser visualizado na Figura 3, há a presença da banda G (Grafite) em  $1570\text{ cm}^{-1}$  característica da hibridização  $\text{sp}^2$  dos átomos de carbono, sendo o modo ativo de vibração de todos os sítios  $\text{sp}^2$  seja na forma de cadeias alifáticas ou na forma de anéis, esta banda está presente tanto no OGe quanto no grafite. Em contrapartida, a banda D (Desordem) em  $1329\text{ cm}^{-1}$  está associada aos defeitos na folha de grafite pois é um

modo vibracional não observado para o grafite cristalino, estando presente apenas para o OGe, indicando a oxidação do material.

A razão entre as intensidades dos picos na banda D e G ( $I_D/I_G$ ) é utilizada para estimar o grau de desordem da rede cristalográfica de substâncias a base de grafite. O valor encontrado para o parâmetro no presente trabalho foi de 1,35, maior que 1, indicando um material em que a estrutura tem maior grau de desordem. A estrutura de tamanho cristalino ( $L_a$ ) pode ser determinada ao se dividir 44 pela razão ( $I_D/I_G$ ), em que o resultado obtido foi de 32,4. Estes valores indicam o decréscimo do domínio sp, e o aumento de falhas no plano basal do grafite, o que ocorre devido a oxidação do material. Os resultados obtidos são similares aos reportados por Araújo *et al.* (2020) onde os autores caracterizaram OGe.

Como mostra a Figura 4, há uma perda de massa crescente antes dos 100 °C referentes à perda de água do material, representando 12,5% da massa total. A maior perda ocorre entre 100 e 340 °C, que está associada a quebra das ligações dos grupos funcionais oxigenados presentes na superfície do material como hidroxilas e carbonilas, o que representa 29,5% de perda total de massa.

Estes grupos funcionais tornam o OGe termicamente instáveis quando comparados com o grafite, que permanece estável até aproximadamente 700°C. Após 340 °C não há perda de massa significativa. O restante da massa ao final da análise (estimada em 54%) refere-se ao carbono presente nas folhas de grafite. Os resultados estão de acordo com Araújo *et al.* (2020).

O pH do ponto de carga zero pode ser definido como o ponto onde a resultante das cargas presentes no meio e na superfície do adsorvente são nulas. Na Figura 5 pode-se verificar a formação de um plano constante de valores entre os pH final 2 e 3, assim para a definição do  $pH_{PZC}$  foi tomada a média aritmética dos valores dentro desta faixa, obtendo como resultado o valor de 2,7.

Assim prevê-se que para valores de pH acima de 2,7 a adsorção de substâncias orgânicas polares como a quinolina é favorável devido a presença das cargas negativas proveniente dos grupos funcionais oxigenados presentes na superfície do material. Araújo *et al.* (2020) encontrou resultados similares trabalhando com OGe.

As caracterizações do material evidenciam o sucesso na oxidação do grafite, seja pela redução de ângulo  $2\theta$  no DRX provocada pelo espaçamento das folhas de grafite devido a presença de grupos funcionais na superfície do material, da quantidade de grupos funcionais oxigenados observados pela análise de FT-IR, no surgimento da Banda G característica da oxidação do grafite nos espectros Raman, na perda de massa referente a estes grupos funcionais avaliada na TGA e do  $pH_{PZC}$  ácido encontrado nesta análise. As caracterizações apontam o sucesso da síntese do OGe, bem como suas características e propriedades físico-químicas.

Feng *et al.* (2015) fizeram um estudo comparativo da capacidade adsortiva de quatro diferentes adsorventes na adsorção da quinolina. No estudo os autores utilizaram 0,5 g·L<sup>-1</sup> de cada adsorvente e mediram a concentração de quinolina a partir da concentração de nitrogênio, as capacidades adsortivas dos materiais foram medidas em miligrama de nitrogênio adsorvido por grama de adsorvente (mg N·g<sup>-1</sup>). O trabalho evidenciou que o óxido de grafeno uma capacidade adsortiva de 29,4 mg N·g<sup>-1</sup> resultado condizente com o do presente estudo para o óxido de grafeno. Quando comparado aos outros materiais estudados, o óxido de grafeno possuiu a segunda maior capacidade adsortiva, perdendo apenas para o carvão ativado oxidado (35,7 mg N·g<sup>-1</sup>).

Potenciano *et al.* (2017) estudaram o carvão ativado de casca de coco de dendê como adsorvente da quinolina. Onde 20 g·L<sup>-1</sup> de adsorvente foram aplicados a diferentes concentrações de quinolina, (500, 2000 e 5000 mg·L<sup>-1</sup>) sendo 11, 20 e 34 mg·g<sup>-1</sup> as respectivas capacidades adsortivas. Apesar de utilizar uma maior relação m/V em uma maior concentração de quinolina, os resultados encontrados foram inferiores aos do presente estudo tanto para o óxido de grafeno quanto para o óxido de grafite.





Ofoghi *et. al.* (2021) estudaram a adsorção de quinolina através de zeólitas (NaX, NiX, ZnX e CrX). Os autores constataram que das zeólitas estudadas a com cromo (CrX) foi a que apresentou a adsorção mais rápida e efetiva da quinolina, obtendo um valor de capacidade adsortiva máxima de 22,56 mg·g<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÕES

Ao levar em consideração os resultados obtidos no presente estudo, verifica-se que a partir da melhoria na síntese do material obteve-se uma melhoria significativa na capacidade adsortiva do material com relação à quinolina presente em meio aquoso.

O trabalho demonstrou que uma separação mais eficiente ocorre ao se utilizar o óxido de grafite em relação ao óxido de grafeno, além do efeito negativo que o excesso de oxidação no material provoca na adsorção da quinolina, mas também demonstrou que baixas quantidades de oxidante na produção do material acarretam a deficiência de grupos funcionais necessários para a adsorção do contaminante.

Quando comparado a diferentes resultados presentes na literatura, os resultados do óxido de grafeno condizem com o que é encontrado na literatura. Além disso, outros materiais se mostraram menos eficientes que o óxido de grafite quando utilizados como adsorvente da quinolina, o que pode indicar que o óxido de grafite é uma escolha promissora como adsorvente da quinolina em meio aquoso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, Giovanna Giacobbo. 60 p. Removal of quinoline from oily wastewater using biochars prepared from compost. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, 2019.
2. ARAÚJO, C. M. B., NASCIMENTO, G. F. O., COSTA, G. R. B., SANTOS, K. S., BAPTISTTELLA, A. M. S., GHISLANDI, M. G., AND MOTTA SOBRINHO, M. A. Adsorptive removal of dye from real textile wastewater using graphene oxide produced via modifications of Hummers method, *Chemical Engineering Communications*. v. 206, p. 1375-1387, 2018.
3. ARAÚJO, C. M. B., NASCIMENTO, G. F. O., DA COSTA, G. R. B., BAPTISTTELLA, A. M. S., FRAGA, T. J. M., ASSIS FILHO, R. B., GHISLANDI, M. G., MOTTA SOBRINHO, M. A. Real textile wastewater treatment using nano graphene-based materials: optimum pH, dosage and kinetics for colour and turbidity removal. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. p. 1-12, 2020.
4. BERA, M.; YADAV, C.; GUPTA, P.; MAJI, P. K. Facile One-Pot Synthesis of Graphene Oxide by Sonication Assisted Mechanochemical Approach and Its Surface Chemistry. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, v. 18(2), p. 902–912, (2018).
5. FENG, X., MA, X., LI, N., SHANG, C., YANG, X., & CHEN, X. D. Adsorption of quinoline from liquid hydrocarbons on graphite oxide and activated carbons. *RSC Advances*, v. 05, p. 74684-74691, 2015.
6. FERREIRA, M. E. de O., VAZ, B. G., BORBA, C. E., ALONSO, C. G., & OSTROSKI, I. C. Modified activated carbon as a promising adsorbent for quinoline removal. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 277, p. 208-216, 2019.
7. HUI, L; YAN, W; JUAN, W; ZHONGMING, L. A review: Recent advances in oily wastewater treatment. *Recent Innovations in Chemical Engineering*, v. 07, p. 17-24, 2014.
8. HUMMERS, W. S., AND OFFEMAN, R. E. Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, p. 1339, 1958.
9. KANG, W., CUI, Y., YANG, Y., ZHAO, Z., WANG, X., & LIU, X. An acid induction strategy to construct an ultralight and durable amino-functionalized graphene oxide aerogel for enhanced quinoline pollutants extraction from coking wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v. 412, p. 128686, 2021.
10. OFOGHI, S., SOLEIMANI, M., & TAKHT RAVANCHI, M. Quinoline adsorption from organic phase on X -type zeolites: Experimental and DFT study. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 100, p. 838-848, 2021.
11. PENG, W., LI, H., HU, Y., LIU, Y., SONG, S. Does silicate mineral impurities in natural graphite affect the characteristics of synthesized graphene? *Material Research Bulletin*, v. 74, p. 333–339, 2016.



12. POTENCIANO, N.F.F., FERREIRA, M.E.O., ALONSO, C.G., OSTROSKI, I.C. Estudo Cinético da Adsorção de Quinolina em Carvão Ativado de Casca de Dendê Funcionalizado Quimicamente. *Revista Processos Químicos*, v. 11, p. 77-81, 2017.
13. SILVA, T. P. Tratamento de efluente de refinaria utilizando carvão ativado: avaliação da eficiência e previsão de impactos do processo. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
14. SUN, Y., CHEN, C., SHAO, D., LI, J., TAN, X., ZHAO, G., YANG, S., WANG, X. Enhanced adsorption of ionizable aromatic compounds on humic acid-coated carbonaceous adsorbents. *RSC Advances*, v. 2(27), p. 10359, 2012.