

UTILIZAÇÃO DE GRAFENO COMO ADITIVO EM TINTAS ANTICORROSIVAS

Victor Keiji Ohno Takaki e Dunieskys Roberto Larrude Gonzales

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

O grafeno, uma forma de carbono com estrutura bidimensional de átomos dispostos em uma rede hexagonal, tem atraído grande interesse por suas propriedades excepcionais, como alta condutividade elétrica, resistência mecânica e propriedades de barreira. Este artigo examina a incorporação de grafeno como aditivo em tintas anticorrosivas, com o objetivo de melhorar o desempenho e a durabilidade dessas tintas. A pesquisa destaca como a adição de grafeno pode potencializar a eficiência das tintas anticorrosivas, explorando três aspectos principais: a melhoria da proteção contra corrosão, o aumento da durabilidade da tinta e o impacto na aplicação e no custo. Estudos mostram que a incorporação de grafeno contribui para a formação de uma camada mais densa e resistente, que age como uma barreira eficaz contra agentes corrosivos. Além disso, o grafeno melhora a adesão e a resistência mecânica da tinta, reduzindo a degradação ao longo do tempo. Esta análise inclui uma revisão de diferentes métodos de síntese e incorporação de grafeno em formulações de tinta, bem como a comparação de desempenho com tintas anticorrosivas convencionais. Resultados experimentais indicam que mesmo pequenas quantidades de grafeno podem aumentar significativamente a resistência à corrosão e a longevidade das tintas. No entanto, questões relacionadas ao custo de produção e ao processo de aplicação ainda precisam ser otimizadas.

Palavras-chave: Grafeno, tintas anticorrosivas, Corrosão

ABSTRACT

Graphene, a form of carbon with a two-dimensional structure of atoms designed in a hexagonal lattice, has attracted great interest for its unique properties, such as high electrical conductivity, mechanical strength and barrier properties. This article examines the incorporation of graphene as an additive in anti-corrosive paints, aiming to improve their performance and durability. The research highlights how the addition of graphene can enhance the efficiency of anti-corrosive paints, exploring three main aspects: improving protection against corrosion, increasing the durability of the paint and the impact on application and cost. Studies show that the incorporation of graphene contributes to the formation of a denser and more resistant layer, which functions as an effective barrier against corrosive agents. Furthermore, graphene improved the adhesion and mechanical resistance of the paint, reducing manipulation throughout the topic. electrical anticorrosive. Experimental results indicate that even small amounts of graphene can significantly increase the corrosion

resistance and durability of paints. However, issues related to production cost and the application process still need to be optimized.

Keywords: Graphene, anticorrosive paints, corrosion

Introdução

Atualmente, no cenário industrial mundial, um dos principais inimigos quando se fala em vida útil de equipamentos é a corrosão, e o maior desafio é a redução dos prejuízos econômicos causados por esse desgaste. Além disso, ela influencia não só na operação desses ativos, mas também nas questões relacionadas à segurança.

A deterioração de ligas metálicas a longo prazo é quase inevitável, por se tratar de uma ocorrência natural, embora possa ser retardada por meio de modificação química e do uso de inibidores de corrosão. O uso desses inibidores é um método de baixo custo e simples aplicação, o que torna atraente a adoção dessas tecnologias para o desenvolvimento de produtos com características anticorrosivas (BAYER, 2021; FRAUSHES-SANTOS et al., 2013).

As principais exigências para um revestimento anticorrosivo são: baixa permeabilidade, propriedades físicas adequadas aos esforços que serão aplicados, resistência química ao meio agressivo, dilatação térmica compatível com o substrato e baixo custo, entre outras propriedades (HARB, 2015).

Tintas anticorrosivas apresentam alto rendimento a um custo considerado médio, o que as torna de grande utilização no combate a problemas de corrosão. As tintas do tipo epóxi, por exemplo, além de boa adesão ao substrato, apresentam alta resistência química, alta resistência à abrasão e ao impacto (HARB, 2019).

O uso de nanopartículas de carbono tem aumentado, e, dentre os alotrópicos do carbono, o grafeno se destaca pelo seu elevado potencial, tendo em vista suas propriedades físicas interessantes, como boa condução térmica e elétrica, que possibilitam seu uso em diversas aplicações, como armazenamento de energia, como reforço em compósitos, entre outros (FIEDLER et al., 2020).

Nos últimos anos, pesquisas tecnológicas têm identificado que a presença de nanoesforços em pequenas quantidades provoca melhorias substanciais nas propriedades físico-químicas da matriz polimérica. As propriedades finais do nanocompósito estão fortemente relacionadas à natureza química do nanomaterial (KIM et al., 2010).

O grafeno é o material mais fino do mundo e vem revolucionando a indústria tecnológica devido a características como resistência, leveza, transparência, flexibilidade e condutividade térmica. Ele é formado por uma camada bidimensional de átomos de carbono organizados em estruturas hexagonais, com a altura de um único átomo, e pode ser obtido

por meio da extração de camadas superficiais de grafite, um mineral maleável e abundante na Terra (KIM et al., 2018).

As propriedades superlativas do grafeno estão relacionadas ao grafeno isolado (monocamada), mas, quando ele é incorporado a outros materiais, essas propriedades podem mudar. Para obter o máximo de desempenho das propriedades do grafeno, é necessário entender como elas se alteram quando estão em contato com outros materiais, como, neste caso, polímeros (RAFIEE et al., 2010).

Ao mesmo tempo, estudos indicam que os problemas de corrosão induzidos por microrganismos (CIM) representam cerca de 50% dos custos totais da corrosão[4]. O problema da CIM abrange uma variedade de indústrias, incluindo aviação, petróleo e energia, transporte e águas residuais[1]. De fato, a CIM é um problema onipresente no ambiente natural, pois os micróbios nativos são especialistas na corrosão de estruturas metálicas, mesmo sob temperatura ambiente e condições de pH neutro[5], a partir da formação de um filme biológico (biofilme) que acelera o processo de corrosão ao modificar a química das camadas protetoras de passivação dos óxidos do metal. A prevenção da CIM é complicada, pois requer a constante detecção e monitoramento das populações microbianas. Além disso, os métodos físicos para a erradicação do biofilme (como o enxágue) consomem muita energia e podem realmente agravar a corrosão, deslocando as camadas de óxido nas superfícies metálicas. Revestimentos metálicos e ligas têm sido utilizados comercialmente para combater a corrosão em ambientes abióticos. No entanto, quando são introduzidos em ambientes bióticos, sua eficácia é reduzida devido à atividade microbiana agressiva. Revestimentos poliméricos também têm sido utilizados como barreiras eficazes para aplicações anticorrosivas, mas podem sofrer de baixa adesão aos materiais de base e degradação microbiana rápida. Foi relatado que, com o passar do tempo, defeitos do tipo pinhole induzidos pela atividade microbiana em revestimentos poliméricos aumentam de tamanho, atraindo íons agressivos para a superfície metálica e acelerando, assim, o processo de corrosão eletroquímica[6]. É aqui que entra novamente o grafeno, que é leve, ao mesmo tempo mecanicamente resistente, flexível e quimicamente inerte, formando uma barreira impermeável e, assim, atuando na prevenção da corrosão induzida por microrganismos de uma forma mais eficiente, sem afetar negativamente a funcionalidade (por exemplo, condutividade elétrica e térmica) e as dimensões do metal subjacente.

Finalmente, a distribuição dos nanomateriais à base de grafeno na matriz polimérica é um dos maiores desafios na preparação dos nanocompósitos polímero/grafeno. Isso ocorre porque as nanopartículas de grafeno tendem a se aglomerar devido às forças de van der Waals que atuam entre as moléculas de grafeno. Um método de produção de nanocompósitos que permita superar o problema de aglomeração e proporcione uma distribuição uniforme das

nanopartículas de grafeno no polímero permitirá obter um revestimento protetor com desempenho superior de resistência à corrosão.

A utilização de tintas anticorrosivas é uma estratégia eficaz para mitigar a corrosão; no entanto, as tintas atualmente disponíveis, muitas delas baseadas em epóxi, enfrentam desafios relacionados à sua permeabilidade e toxicidade, especialmente devido ao uso de aditivos como o zinco, que atua como metal de sacrifício. Este projeto tem como objetivo principal desenvolver uma tinta anticorrosiva aditivada com grafeno, que seja ecologicamente correta e atenda às normas vigentes. Entre os objetivos específicos, destacam-se a síntese de óxido de grafeno, a formulação da tinta e a avaliação de suas propriedades por meio de técnicas de caracterização. O grafeno foi escolhido como alternativa devido à sua excelente resistência mecânica, elétrica e térmica, além de suas propriedades que podem reduzir a oxidação e melhorar a adesão das tintas. O projeto busca substituir compostos tóxicos por grafeno em tintas anticorrosivas, utilizando componentes naturais e sustentáveis para proteger superfícies metálicas, reduzindo, assim, os impactos ambientais.

Referencial Teórico

O grafeno, uma forma de carbono com estrutura bidimensional em uma rede hexagonal, tem sido amplamente estudado devido às suas propriedades excepcionais. Descoberto em 2004 por Andre Geim e Konstantin Novoselov, o grafeno apresenta alta condutividade elétrica, excelente resistência mecânica, flexibilidade e propriedades de barreira, tornando-o um material promissor para diversas aplicações tecnológicas e industriais (Geim & Novoselov, 2007).

Em relação às propriedades do grafeno, podemos citar sua condutividade elétrica e térmica: o grafeno é conhecido por sua alta condutividade elétrica, que é aproximadamente 100 vezes superior à do cobre, e sua condutividade térmica é superior à de outros materiais, como o cobre e o diamante. Essas propriedades são atribuídas à mobilidade elevada dos elétrons na estrutura bidimensional (Bolotin et al., 2008).

A resistência mecânica do grafeno se destaca, pois possui uma resistência à tração de aproximadamente 130 GPa, que é cerca de 100 vezes maior do que o aço. Essa propriedade é crucial para a durabilidade e a robustez das estruturas compostas que o incorporam (Lee et al., 2008). Além disso, a estrutura bidimensional e a alta densidade de ligação carbono-carbono conferem ao grafeno propriedades excepcionais de barreira, o que significa que ele pode atuar como uma camada eficaz contra a permeação de gases e líquidos (Kumar et al., 2013).

As tintas anticorrosivas são utilizadas para proteger superfícies metálicas contra a corrosão, um processo químico que pode levar ao deterioramento de metais devido à reação com o ambiente. Elas geralmente contêm pigmentos e aditivos que formam uma barreira física ou química para proteger o metal (Bertolini et al., 2004). Além disso, as tintas anticorrosivas funcionam principalmente por meio de três mecanismos: (1) formação de uma barreira física que impede o contato do metal com agentes corrosivos, (2) inibição da reação corrosiva por meio da inclusão de inibidores de corrosão, e (3) fornecimento de uma camada passiva que protege o metal (Schutz et al., 2016).

Podemos citar diferentes tipos de tintas anticorrosivas, incluindo as tintas à base de zinco, que utilizam o zinco como um ânodo sacrificial, e as tintas à base de polímeros, que formam uma camada protetora. O desenvolvimento de novas formulações continua a buscar melhorias em termos de desempenho e durabilidade (Lambeth et al., 2015).

Utilização de Grafeno em Tintas Anticorrosivas leva a incorporação do grafeno em tintas anticorrosivas é uma abordagem inovadora que visa aproveitar as propriedades únicas do grafeno para melhorar o desempenho das tintas. A pesquisa sobre o grafeno como aditivo em tintas está em expansão, e os seguintes pontos são relevantes:

Melhoria das Propriedades de Barreira: A adição de grafeno pode aumentar significativamente a eficácia da camada de proteção devido à sua estrutura de rede densa, que atua como uma barreira contra a penetração de umidade e gases corrosivos (Cao et al., 2017). Estudos demonstram que o grafeno pode reduzir a permeabilidade das tintas, resultando em uma proteção mais robusta contra a corrosão (Zhang et al., 2018).

Aumento da Resistência Mecânica e Durabilidade: O grafeno, ao ser incorporado em tintas, pode melhorar a resistência mecânica dessas tintas, tornando-as mais resistentes ao desgaste e à abrasão. Isso é especialmente útil em ambientes industriais e de construção, onde as superfícies estão sujeitas a condições adversas (Gao et al., 2019).

Efeito na Condutividade Elétrica: O grafeno pode melhorar a condutividade elétrica das tintas, o que é vantajoso para a proteção catódica e para a prevenção de descargas elétricas que poderiam acelerar o processo corrosivo (Liu et al., 2020).

Considerações Econômicas e Tecnológicas: Embora o grafeno ofereça muitas vantagens, a sua incorporação em tintas também apresenta desafios, como o custo de produção e a necessidade de técnicas de dispersão adequadas para evitar a aglomeração das nanopartículas. Estudos estão em andamento para otimizar esses aspectos e tornar a aplicação do grafeno em tintas mais viável (Tao et al., 2021).

Metodologia

1 Síntese do Óxido de Grafeno (GO) pelo método de Hummers

A obtenção de Óxido de Grafeno (GO) foi produzida a partir do método de Hummers modificado. O procedimento foi realizado em capela com todos reagentes de grau analíticos e condições constantemente controladas. O tempo de adição do agente oxidante é o fator preponderante no deslocamento do potencial químico como a temperatura que desloca a reação favorecendo reações paralelas como a geração de CO e CO₂.

2 Materiais e reagentes

Grafite P.A. (Sigma Aldrich powder 20<μm lote: BCCC4908 - Val. 03/22)

Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) P.A. (Synth lote: 235401 - Val. 06/25)

Permanganato de Potássio (KMnO₄) P.A. (Synth lote: 234797 - Val. 05/24)

Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) P.A. (30%) (Merck lote: K51879910 - Val. 10/24)

Ácido Clorídrico (HCl) P.A. (Haloquímica lote: 042876 - Val. 08/21)

Etanol (C₂H₅OH) P.A. (Synth lote: 075678- Val. 09/21)

Termômetro de mercúrio

Balão de fundo redondo de 500 ml

Placa de Petri

Estufa

Kitassato

Funil de Buchner

Aagitador magnético (IKA RCT)

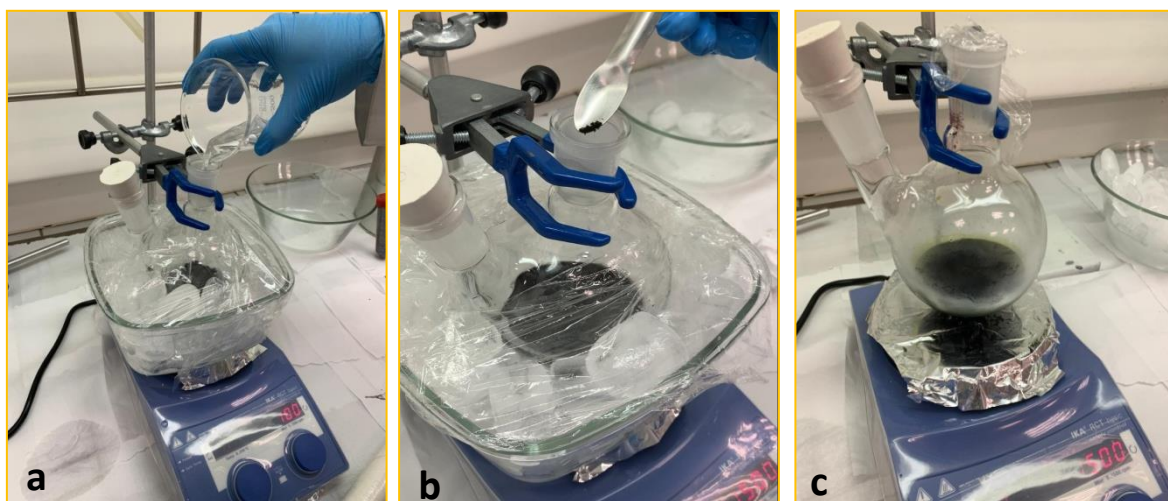
Papel de filtro de 80g/m² (Prolab lote: RV106869 – Val. 02/25)

Proveta graduada 100 ml

Em um balão de fundo redondo de 500 ml, contendo 1g de Grafite P.A. foi adicionado 60 ml de ácido sulfúrico concentrado P.A. sob agitação e em banho de gelo, por 15 minutos conforme o ilustrado na Figura 1a. Após este período, (deixando a temperatura da mistura inferior a 15°C) foi adicionado 3,5 gramas de permanganato de potássio, em pequenas frações muito lentamente (por aproximadamente 2 horas), de forma a manter a temperatura inferior a 15°C conforme a Figura 1b, (a cada adição de permanganato de potássio a temperatura do sistema aumenta significativamente e é imprescindível aguardar até que a temperatura reduza as condições especificadas). Terminada a da adição do agente oxidante, o balão com a mistura foi retirado do banho de gelo e deixado apenas sob agitação em um

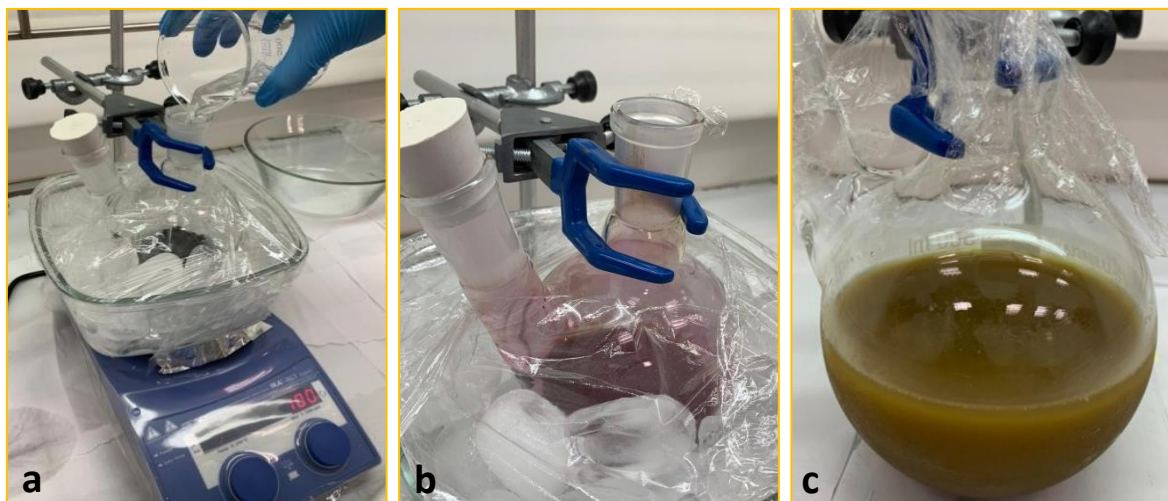
agitador magnético por 2 horas (fig.1c). Todo o procedimento experimental foi realizado em uma capela, com a utilização de todos os EPI's recomendados para esta atividade.

Figura 1 - Início da oxidação do grafite com ácido sulfúrico, a) adição do ácido sulfúrico ao balão contendo 1g de grafite, b) após a mistura e resfriamento a solução apresentou uma coloração esverdeada, c) o sistema foi retirado do banho de gelo e deixado sob agitação por 120 minutos.



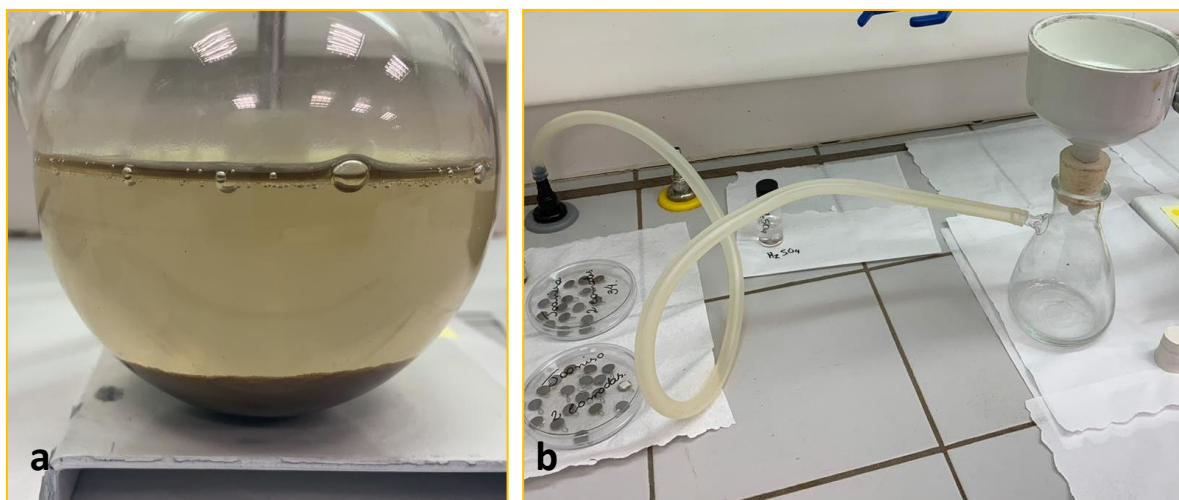
Após este período, adicionamos ao balão lentamente (30min.) 200mL de água deionizada (fig. 2a). Quando diluído foi adicionado lentamente (30min.) um volume 15mL de peróxido de hidrogênio PA, para eliminar o excesso de oxidante (fig.2b), resultando na mudança de cor do líquido de verde escuro para marrom esverdeado (fig.2c).

Figura 2 – a) Adição do Permanganato de Potássio a mistura, b) adição de água deionizada e c) adição de peróxido de hidrogênio.



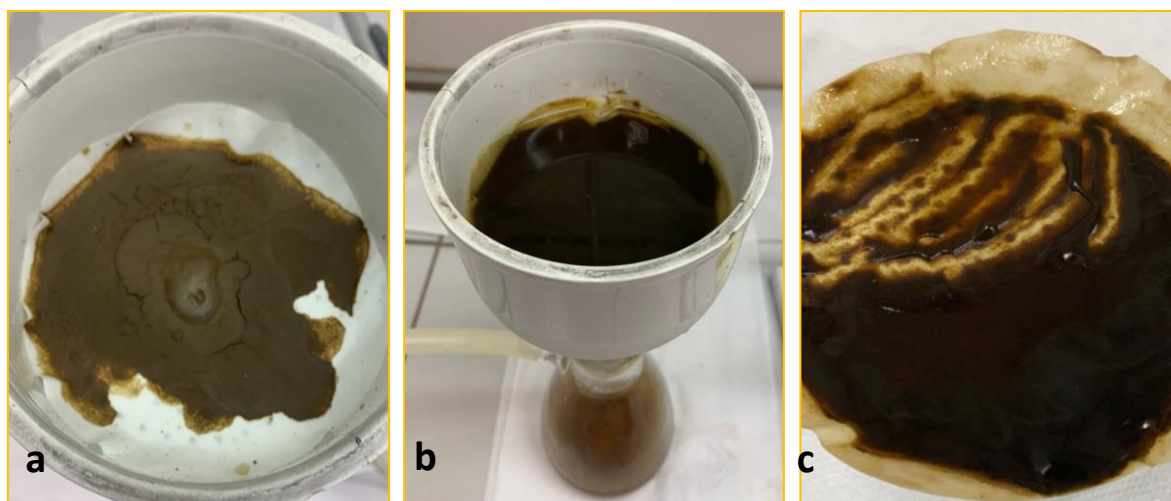
Após todo este procedimento a dispersão foi deixada em repouso por 24h, para que se processasse a decantação do óxido de grafeno produzido (fig.3a). Para realização da filtração do precipitado resultante foi montado um sistema de filtração composto por um Kitassato de 500 mL, Funil de Buchner e papel filtro de 80g/m² (fig.3b).

Figura 3 – Decantação do produto e sistema de filtração para o óxido de grafeno.



A dispersão que ficou em repouso por 24 horas, passou então a ser filtrada e lavada com uma série de solventes, sendo em sequência: 500 mL de água deionizada, 250 mL de solução aquosa de HCl 10%, 250 mL etanol e por último 250 mL de água deionizada (fig.4a). O processo de lavagem e filtração durou um período médio 8h (fig.4b), devido à dificuldade de filtração resultante da dispersão característica das partículas (fig.4c).

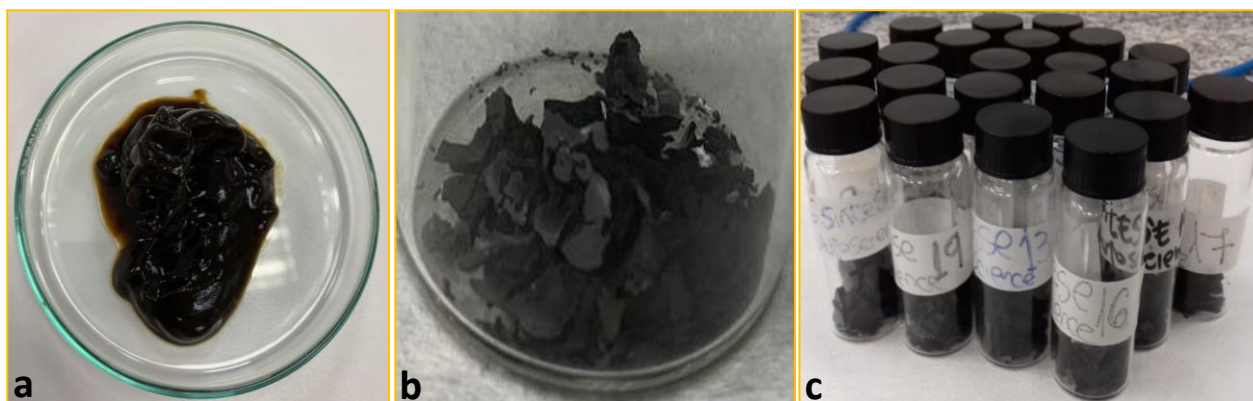
Figura 4 - Sequência de filtração do OG.



O sólido obtido foi retirado do filtro, adicionado a uma placa de petri (fig.5a) e seco a 75°C em estufa por um período de 18 horas, apresentando o aspecto observado na Figura 5b. O produto

obtido (massa média de 2,0 gramas por síntese) foi reservado em um recipiente hermético e guardado para utilização nas próximas etapas do projeto (fig.5c).

Figura 5 - a) Material retirado do filtro na placa de petri, b) após a secagem e c) GO's obtidos.



2.1- Síntese de Óxido de Grafeno Reduzido - RGO

As sínteses de RGO foram realizadas a partir da metodologia do ácido ascórbico pelo fato de, no momento, apresentar maior facilidade de obtenção e uma melhor relação custo benefício.

2.2.1- Materiais e reagentes

Ácido Ascórbico $C_6H_8O_6$ P.A. ()

Termômetro de mercúrio

Becker de 500 ml

Equipamento de Ultrassom (Ecosonics)

Kitassato

Funil de Buchner

Agitador magnético (IKA RCT)

Papel de filtro de $80g/m^2$ (Prolab lote: RV106869 – Val. 02/25)

Proveta graduada 100 ml

2.2.2- Procedimento Experimental

Para realização da síntese de RGO, 2 gramas de GO sintetizadas anteriormente foram dispersas em um béquer de 500ml, com auxílio de ultrassom, em 200ml de água deionizada durante 1 hora (fig.6a). Após este período foi adicionado ao béquer contendo a dispersão de GO, 200ml de solução de ácido ascórbico 1 molar e deixado sob a agitação de um agitador magnético com aquecimento de $60^\circ C$ durante 1 hora (fig.6b). Após o término da síntese o precipitado foi lavado

com 500ml de água destilada e filtrado em um sistema composto por um Kitassato, funil de Buchner e papel filtro de 80g/m² (fig.6c) para retirada do excesso de ácido ascórbico.

Figura 6 – Sequência para obtenção do Óxido de Grafeno Reduzido.



O sólido obtido apresenta coloração preta e aspecto arenoso, onde as 2 gramas de GO inicialmente utilizadas fornecem uma média de 1,3 gramas de rGO (fig.7a). O produto obtido foi reservado em um frasco de vidro contendo álcool isopropílico, para posterior utilização (fig.7b) e o rendimento de RGO pode ser observado na Tabela 2.

Figura 7 – Óxido de Grafeno Reduzido obtido.

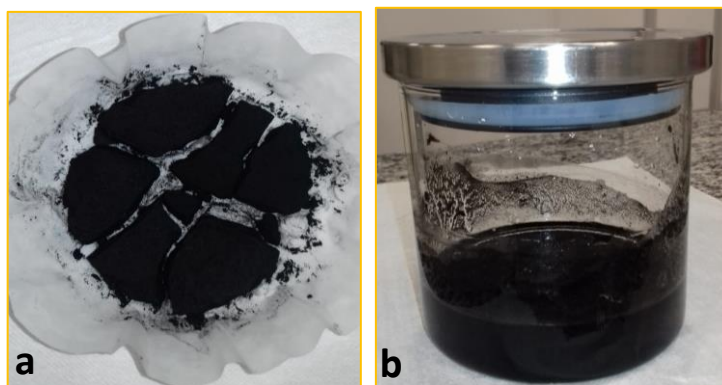


Tabela 1 – Rendimento de RGO obtido a partir de GO pelo método do ácido ascórbico.

Caracterização do óxido de grafeno produzido.

A espectroscopia Raman fornece informações valiosas sobre as propriedades estruturais de materiais à base de carbono, como fulerenos, nanotubos de carbono e grafeno e seus derivados. Os espectros Raman de cada um desses materiais têm características únicas que permite distingui-los uns dos outros e prever suas propriedades, comportando-se como um tipo de impressão digital para esses nanomateriais. Por exemplo, os espectros Raman de nanomateriais de carbonos com hibridização sp² estão constituídos de duas

características principais: a banda G (na faixa de frequência de $1580\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$) e a banda 2D (na faixa de frequência de $2650\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$). Portanto, dependendo das propriedades do material, como defeitos, deformação, dopagem, cristalinidade e o número ou a orientação das camadas (ou paredes), as características espectrais mostram uma variação significativa, dando origem a picos adicionais como a banda D (ao redor de 1350 cm^{-1}) e a banda D' (ao redor de 1620 cm^{-1}). Assim para avaliar a qualidade das amostras produzidas foram caracterizadas utilizando um espectrômetro confocal Raman (modelo WITec Alpha 300R) equipado com uma linha laser de 532 nm e usando uma potência menor do que 2 mW . Em total foram realizados mais de 200 espectros em diferentes regiões das amostras dos quais podemos ver alguns representativos na Figura 8.

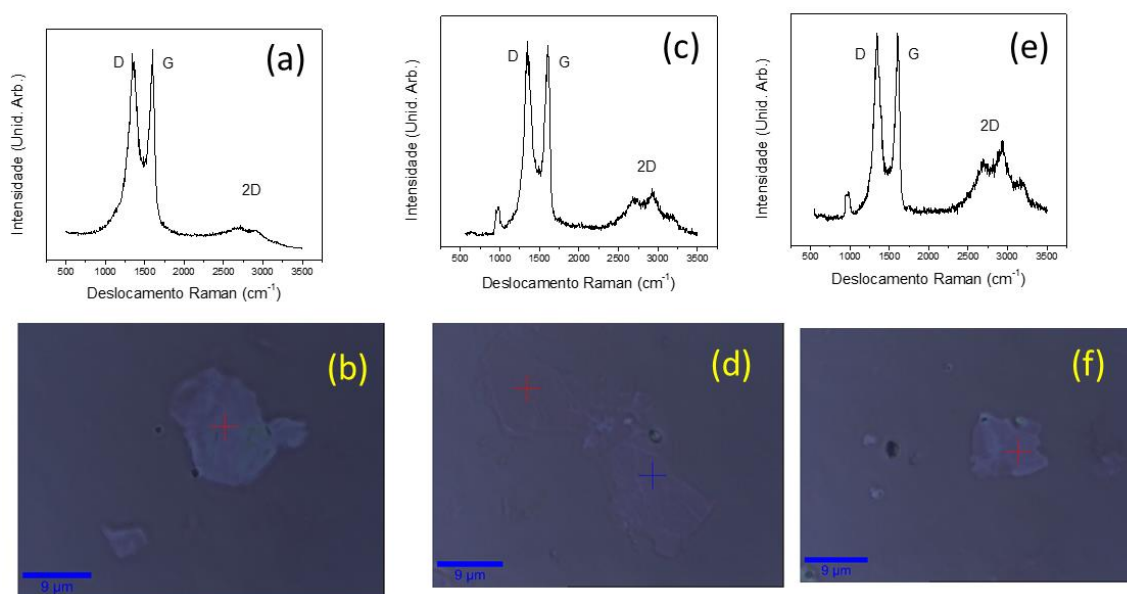


Figura 8. Espectros Raman do óxido de grafeno obtido. As imagens por microscopia óptica (b), (d) e (f) mostram as regiões onde os espectros Raman (a), (b) e (c) foram feitos.

Os espectros Raman da Figura 8 mostram as bandas D, G e 2D características do óxido de grafeno. Neles a banda D é consideravelmente grande atribuído a uma desordem consideravelmente grande produto da inserção dos grupamentos oxigenados na estrutura do grafeno e a defeitos de borda. Também podemos observar as imagens ópticas correspondentes as regiões onde foram obtidos os espectros.

As amostras também foram caracterizadas por UV-Vis onde os espectros foram coletados em um Espectrofotômetro UV-Vis-NIR (modelo Shimadzu UV-Vis-NIR 3600 Plus) a partir das dispersões do óxido de grafeno em água como pode ser visto na Figura 9

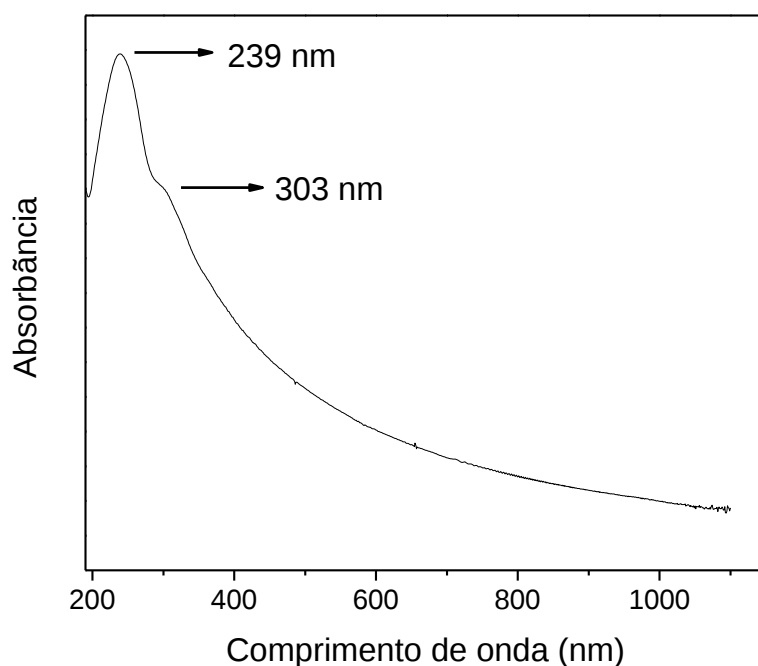


Figura 9. Espectros de absorção UV-Vis da dispersão aquosa do óxido de grafeno.

A Figura 9 mostra o espectro típico por UV-Vis do óxido de grafeno apresentando duas bandas características do GO que não são detectadas quando há aglomeração, uma localizada em 303 nm atribuída a transição $n-\pi^*$ da ligação C-O, e outra em 239 nm, associada à transição $\pi-\pi^*$ da ligação C=C.

O óxido de grafeno foi caracterizado por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia de energia dispersiva (EDS). As imagens por MEV e as análises químicas por EDS foram obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (modelo JEOL - JSM-7800F). As amostras foram colocadas sobre um substrato de silício monocristalino (mono-Si) para evitar assim a possível presença de outras impurezas como o oxigênio nas análises químicas por EDS e ajudar ao mesmo tempo na obtenção das imagens por MEV do óxido de grafeno. As imagens obtidas por MEV podem ser vistas na Figura 10, nas quais podemos ver o aspecto de folhas com algumas dobras característico deste tipo material.

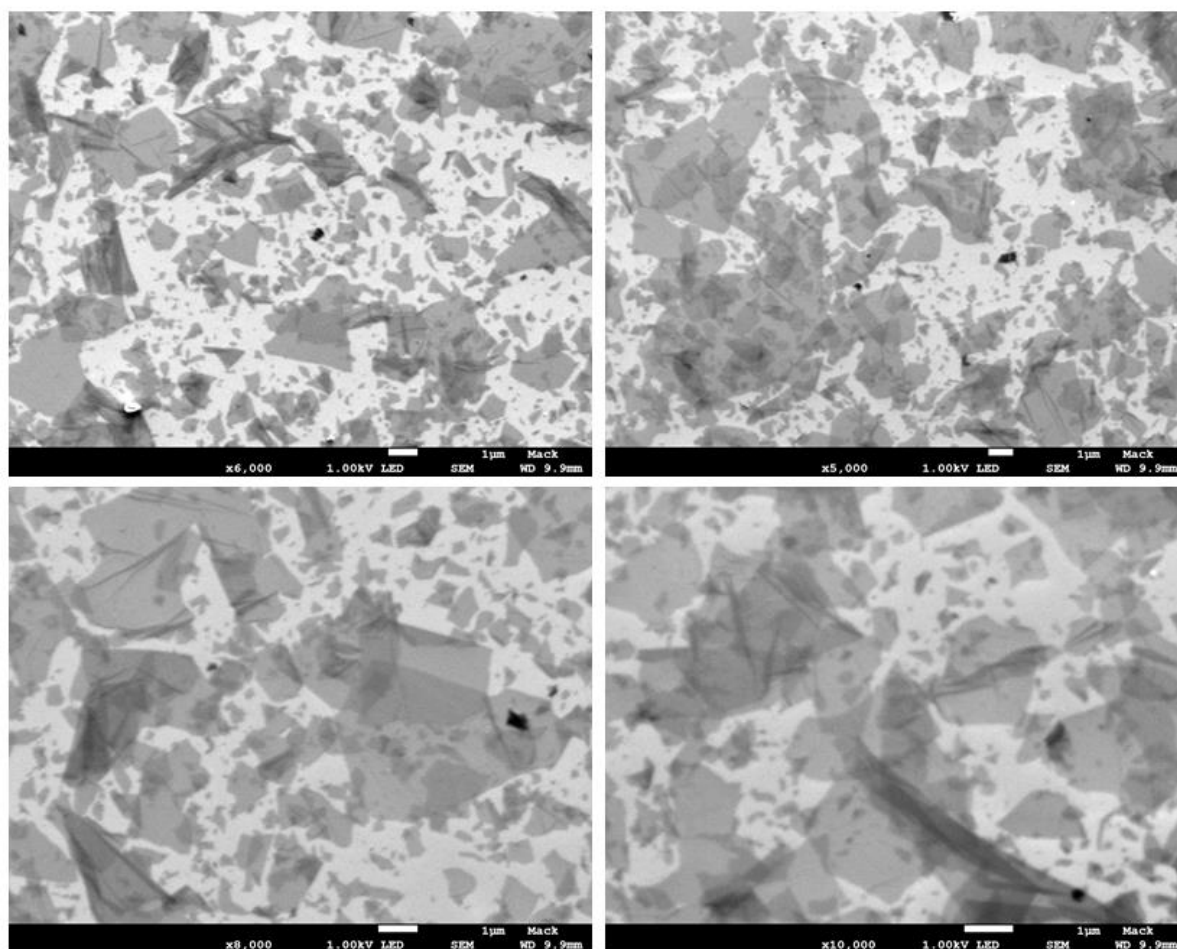


Figura 10. Imagens por microscopia eletrônica de varredura do óxido de grafeno sintetizado.

O óxido de grafeno sintetizado também foi caracterizado por EDS para fazer uma avaliação química qualitativa e semiquantitativa e assim poder determinar a possível presença de impurezas nas amostras e a eficiência na redução do óxido de grafeno. Nas imagens mostradas na Figura 11 podemos ver a região de análise da amostra e as percentagens encontradas de carbono (62,3 %) e de oxigênio (36,3 %) e praticamente nada de resíduo do processo de oxidação.

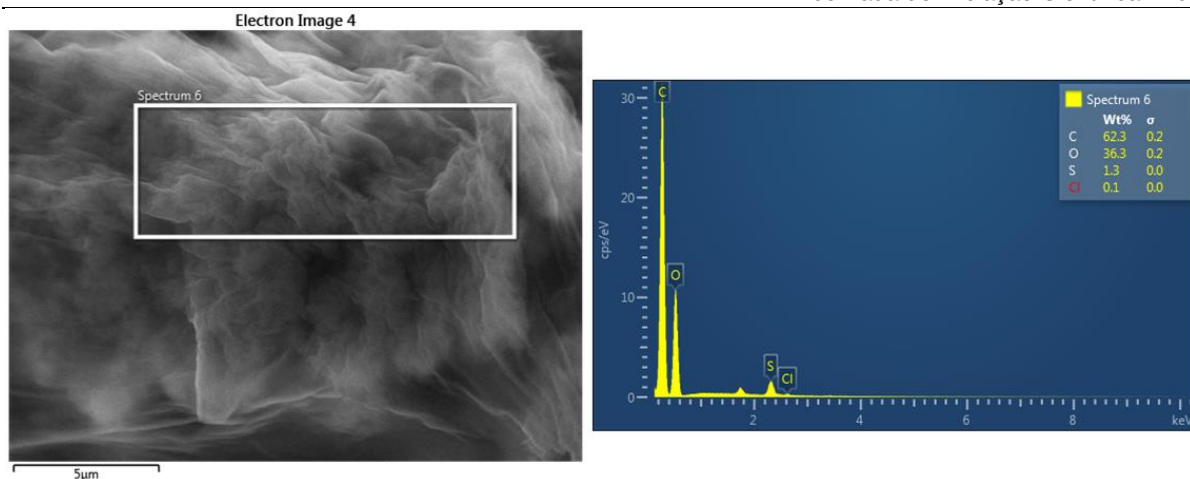


Figura 11. Análise química do óxido de grafeno obtido. A esquerda está a imagem por MEV da região de análise enquanto na direita está a análise química por EDS do GO.

Na Figura 12 podemos ver a análise química do óxido de grafeno após a sua redução para obtermos o óxido de grafeno reduzido. A percentagem encontrada de oxigênio caiu de 36,3 para 13,6 % enquanto a de carbono aumentou de 62,3 para 85,4 %. É dizer a relação Carbono/Oxigênio após o processo de redução aumentou de 1,7 % para 6,3 %, mostrando-se a eficiência da redução, processo este que é controlado para se obter diferentes concentrações de grupamentos oxigenados na estrutura do GO como os carboxilatos, hidroxilas e epóxidos.

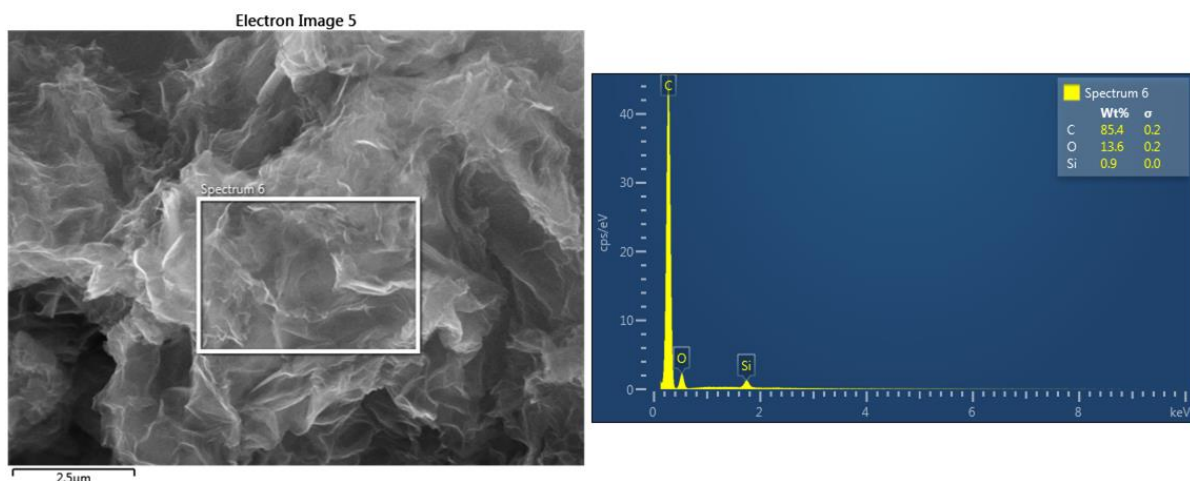


Figura 12. Análise química do óxido de grafeno reduzido obtido. Do lado esquerdo está a imagem por MEV da região de análise enquanto na direita está a análise química por EDS do rGO.

Considerações Finais

A pesquisa sobre a utilização de grafeno como aditivo em tintas anticorrosivas revela um panorama promissor e inovador para a melhoria das propriedades desses revestimentos. O grafeno, com suas propriedades únicas de condutividade elétrica, resistência mecânica e barreira superior, tem o potencial de transformar significativamente a eficácia das tintas anticorrosivas.

Os resultados preliminares são encorajadores e indicam que a continuidade da pesquisa poderá consolidar o grafeno como um componente chave em formulações de tintas, oferecendo soluções mais eficazes e duráveis para a proteção contra a corrosão. O sucesso desta linha de pesquisa não só potencializa as propriedades dos revestimentos anticorrosivos, mas também abre novas fronteiras para a inovação em materiais e engenharia de superfície.

Além disso, a adição de grafeno melhora a resistência mecânica das tintas, proporcionando uma maior durabilidade e resistência ao desgaste. Isso é particularmente relevante em ambientes industriais e de construção, onde as superfícies estão frequentemente sujeitas a condições adversas. O aumento da condutividade elétrica oferecido pelo grafeno também abre novas possibilidades para a proteção catódica e a prevenção de descargas elétricas, potencializando ainda mais a eficiência das tintas anticorrosivas.

No entanto, a adoção generalizada dessas inovações enfrenta desafios relacionados ao custo de produção e à integração tecnológica do grafeno. A pesquisa contínua é essencial para otimizar os processos de fabricação e dispersão do grafeno, tornando a sua aplicação em tintas mais viável e econômica. As técnicas de dispersão e o controle da qualidade do grafeno são áreas críticas que necessitam de avanços para garantir a consistência e a eficácia do aditivo em diferentes formulações de tintas.

As implicações da pesquisa são vastas e sugerem que, com os ajustes adequados e avanços técnicos, as tintas anticorrosivas com grafeno podem oferecer uma solução superior para a proteção de superfícies metálicas, beneficiando não apenas a indústria, mas também contribuindo para a sustentabilidade e redução de custos operacionais.

Referências

- Bertolini, L., et al. (2004). Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair. Edward Arnold.
- Bolotin, K. I., et al. (2008). Ultrahigh electron mobility in suspended graphene. Physical Review Letters, 101(9), 096802.
- Cao, X., et al. (2017). Graphene oxide as an effective corrosion inhibitor for the protection of mild steel. Corrosion Science, 115, 217-224.
- Gao, Y., et al. (2019). Enhanced mechanical properties of graphene-based composites: A review. Journal of Materials Science, 54(15), 10913-10940.
- Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). The rise of graphene. Nature Materials, 6(3), 183-191.
- Kumar, A., et al. (2013). Graphene-based materials: Synthesis, characterization, and applications. Journal of Materials Chemistry A, 1(29), 8680-8706.
- Lambeth, C., et al. (2015). Advanced coatings for corrosion protection: A review. Progress in Organic Coatings, 88, 58-67.
- Lee, C., et al. (2008). Large-scale chemical vapor deposition of graphene films for electronics. Science, 321(5887), 385-388.
- Liu, Z., et al. (2020). Electrical conductivity and corrosion protection of graphene-based coatings. Journal of Applied Polymer Science, 137(30), 48815.
- Schutz, P., et al. (2016). Corrosion Protection Technologies. Materials Performance, 55(10), 28-35.
- Tao, Z., et al. (2021). Challenges and solutions in scaling up graphene production for industrial applications. Materials Today, 50, 39-56.
- Zhang, L., et al. (2018). Graphene oxide reinforced anticorrosive coatings for enhanced protection. Journal of Coatings Technology and Research, 15(3), 721-731.
- BAYER, R. F.; Critérios para especificação de revestimento anticorrosivos. ALCOOL brás – 2001, 41.
- FIEDLER, B. et al. Fundamental aspects of nano-reinforced composites. Composites science and technology, v. 66, n. 16, p. 3115- 3125, 2006.
- HARB, S. V. Desenvolvimento de revestimentos siloxano-PMMA reforçados por nanotubos de carbono, óxido de grafite e óxido de grafite reduzido para aplicações anticorrosivas. 2015. 74 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Química., 2015.
- KIM, H., ABDALA, A.A., MACOSKO, C.W., "Graphene/polymer nanocomposites", Macromolecules, v.43, pp. 6515-6530, 2010
- RAFIEE et al. Fracture and Fatigue in Graphene Nanocomposites, Small, v. 6, n. 2, p. 179-183, 2010.



Contatos

Victor_taki@hotmail.com e Dunieskys.larrude@mackenzie.br