Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.12, 2024
ISSN 2178-6925

INCORPORAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM ARGAMASSA: ÁNALISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

INCORPORATION OF GRAPHENE OXIDE IN MORTAR: ANALYSIS OF MECHANICAL COMPRESSION STRENGTH

Maurício Alves Soares
Acadêmico do Curso de Engenharia Civil UnirG, Brasil
E-mail:soaresmauricio784@gmail.com

Miller Pereira Almeida
Engenheiro Civil, Encarregado de Laboratório Ceulp/Ulbra, Brasil
E-mail:lab.engenharia96@gmail.com

Fabiano Fagundes
Mestre, Professor Adjunto UnirG, Brasil
E-mail:fabianofagundes@unirg.edu.br

Resumo

Este estudo investiga a influência do óxido de grafeno (OG) na propriedade mecânica de resistência à compressão de argamassa cimentícia, visando melhorar requisitos de durabilidade e resistência dos materiais de construção e minimizar o consequente desperdício de matéria prima, devido haver elevada demanda por cimento, fator que gera impacto ambiental significativo. Neste estudo, foram produzidos corpos de prova de argamassa com diferentes dosagens de OG, variando de 0% a 0,5% em proporção ao cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI). Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados aos 14 e 28 dias, com os resultados indicando aumento progressivo de resistência mecânica concomitante com o aumento da dosagem de OG. Os resultados sugerem que o OG pode ser uma alternativa viável para otimizar o desempenho das argamassas, ampliando sua utilização e durabilidade na construção civil. No entanto, recomenda-se novas pesquisas para explorar os métodos de aplicação e os desafios associados à produção e incorporação de nanomateriais em matrizes cimentícias.

Palavras-chave: Nanomateriais; Argamassa cimentícia; Resistência mecânica.

Abstract

This study investigates the influence of graphene oxide (GO) on the mechanical property of compressive strength of cement mortar, aiming to improve durability and strength requirements of construction materials and minimize the consequent waste of raw material, due to the high demand for cement, a factor that generates significant environmental impact. In this study, mortar specimens

were produced with different dosages of GO, ranging from 0% to 0.5% in proportion to Portland High Initial Strength Cement (CP V-ARI). Axial compressive strength tests were performed at 14 and 28 days, with the results indicating a progressive increase in mechanical strength concomitant with the increase in the dosage of GO. The results suggest that GO may be a viable alternative to optimize the performance of mortars, expanding their use and durability in civil construction. However, further research is recommended to explore the application methods and the challenges associated with the production and incorporation of nanomaterials in cement matrices.

Keywords: Nanomaterials; Cement mortar; Mechanical resistance.

1. Introdução

Após a descoberta das propriedades do grafeno se apresentando como um material leve e resistente, há a crescente necessidade de produção de materiais com maior vida útil, o que contribui para amenizar a degradação ambiental. Levando em consideração os dados da produção de cimento no Brasil em 2023, segundo o SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento), o total fabricado no ano girou em torno de 62 milhões de toneladas, evidenciando o volume massivo de cimento consumido pela construção civil.

Entre as propriedades das argamassas, a adição de nanomateriais têm-se demonstrado melhorar a resistência à compressão, tração, flexão e impermeabilidade da microestrutura da matriz cimentícia no que tange a redução dos poros e a diminuição da absorção de água. Nesse contexto, o óxido de Grafeno (OG) apresenta propriedades atraentes que reforçam a matriz cimentícia, com potencial para o aumento de sua durabilidade (LONG et al., 2017).

No entanto, um dos principais desafios para a utilização do grafeno, contemporaneamente, é a sua extração, complexa e onerosa. Santos e Souza (2019), citam que é necessário desenvolver métodos que permitam a extração em larga escala sem comprometer a pureza do material.

Atualmente os principais métodos de extração são: Deposição Química por Vapor (CVD); Ultrassom; Métodos de esfoliação mecânica; Métodos de esfoliação química. No entanto, cada método apresenta limitações: o CVD produz filmes de grafeno de qualidade inferior, enquanto a esfoliação é economicamente inviável (SANTOS; SOUZA, 2019).

A incorporação do grafeno em materiais de construção tem potencial de

reduzir os impactos ambientais, por consequência do aumento da durabilidade das estruturas e revestimentos. Porém, ainda há poucas pesquisas focadas na utilização desse material em conjunto com o cimento, o que justifica a relevância desta pesquisa para preencher parte dessa lacuna.

2. Revisão da Literatura

2.1 Materiais cimentícios

As argamassas cimentícias são compostas basicamente por uma mistura homogênea de aglomerante, que comumente é o cimento Portland, agregados miúdos e água, tais componentes conferem às argamassas, propriedades como aderência e endurecimento, podendo conter ou não aditivos e adições a serem incluídas para melhorar suas propriedades (REIS, 2019).

Por definição, a argamassa é um material composto por uma mistura equilibrada de elementos inertes de granulometria reduzida e uma pasta aglomerante. A principal diferença entre argamassa e concreto está no tamanho dos agregados utilizados em cada material (LOPES; SILVA, 2021).

Em termos de aplicação, as argamassas são comumente utilizadas no assentamento de alvenaria de vedação, alvenaria estrutural, complementação de alvenaria, revestimentos internos e externos como chapisco, emboço e reboco, além de revestimentos decorativos de diversos tipos (RIBEIRO et al., 2022).

2.2 Óxido de grafeno

O óxido de grafeno é um nanomaterial obtido através da oxidação do grafite. Realizado pela primeira vez por BRODIE em 1859, utilizando uma solução oxidante com cloreto de potássio ($KClO_3$) e ácido nítrico (HNO_3) (DREYER et al., 2010).

Historicamente, um avanço veio a surgir com L. Staudenmaier, onde aprimorou a preparação de ácido nítrico (HNO_3) adicionando cloreto de potássio em etapas ao longo do processo, ao contrário da adição única de Brodie. Ele também utilizou ácido sulfúrico concentrado para aumentar a acidez, essa abordagem tornou a oxidação mais eficaz e prática. (DREYER et al., 2010).

Ainda segundo Dreyer et al. (2010), mais tarde, Hummers e Offeman desenvolveram um método alternativo de oxidação, que ainda é utilizado atualmente, envolvendo a reação do grafite com uma mistura de permanganato de potássio ($KMnO_4$) e ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).

O grafeno, segundo Trikkaliotis et al. (2021), é o material mais fino conhecido, e possui diversas propriedades como alta condutividade térmica, baixo coeficiente de expansão térmica anisotrópica, alta transparência óptica (97,7%), baixa refletividade (<0,1%) grande área superficial (~2630 m²/g), excelentes propriedades mecânicas (E ≈ 1 TPa), incluindo flexibilidade de até 30%, alta condutividade elétrica (~20.000 S/cm). Muitas delas, excelentes para a aplicação em materiais da indústria da construção civil.

Ainda nesse âmbito, o grafeno possui resistência à tração, em uma única camada, em torno de 130 GPa, com deformação específica de 0,25, sendo considerado um dos materiais mais resistentes já mensurado (KRYSTEK, 2019).

De modo geral, o óxido de grafeno (OG) é uma forma de grafeno com oxigênio contido em seus grupos funcionais na sua superfície (CAIRES, 2019). Esse material, derivado do grafeno, possui vantagens como alta dispersibilidade em água, devido aos grupos funcionais de oxigênio serem ligados às suas folhas. Mesmo que o processo de oxidação afete as propriedades mecânicas do grafeno, o OG mantém sua elevada resistência à tração, uma das características mais importantes para sua aplicação (KRYSTEK, 2019).

De acordo com Firmiano (2011) o OG possui característica hidrofílica, ou seja, possui certa facilidade em dispersão em água, o que o torna mais vantajoso sua utilização em concretos e argamassas, comparado ao grafeno convencional.

Segundo Wick et al. (2014), o OG apresenta melhor solubilidade e estabilidade em meio aquoso do que o grafeno, características que favorecem sua incorporação em argamassas. Por essas razões, o OG foi o material escolhido para compor o traço nesta pesquisa.

O óxido de grafeno (OG) utilizado em nossa pesquisa foi analisado, e suas características foram descritas em relatório elaborado pela equipe CTNANO - UFMG, com base em imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Dispersão de Raios X (EDS).

Segundo Viana (2021) o relatório mencionou que a amostra analisada apresenta características semelhantes às de materiais grafíticos, além da presença de elementos químicos como carbono (C), oxigênio (O), alumínio (Al), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), silício (Si) e titânio (Ti).

2.3 Óxido de Grafeno em Materiais Cimentícios

Para otimizar o desempenho das edificações e aprimorar aspectos como trabalhabilidade, resistência, hidratação e porosidade, há uma demanda crescente por materiais mais eficientes (ZARBIN, 2007). Nesse contexto, surge o óxido de grafeno (OG), que em diversas pesquisas já demonstra resultados promissores. A adição de pequenas quantidades, entre 0,01% e 0,03% em relação à massa do cimento, pode aumentar a resistência à compressão em até 42,4% e a resistência à tração por compressão diametral em até 69,7%, em comparação ao mesmo concreto sem adição (DUTRA; BERNARDINO; YAMAGUCHI, 2022).

Segundo Rocha et al. (2021), a proporção de OG utilizada em diversos artigos, em teores de até 0,03% apontam ser um ótimo ponto de partida.

Além disso, Barbosa (2023), em sua pesquisa com percentuais de óxido de grafeno na casa dos 0,03%, 0,06% e 0,09%, constatou que houve uma melhora progressiva de resistência mecânica conforme o aumento de OG nas amostras, em testes de 3, 7, 14, 28 dias.

Em contrapartida, segundo Moreira (2018) em sua pesquisa, constatou que a adição de OG em uma pequena quantidade na ordem de 0,01% em relação à massa de cimento, pode aumentar a resistência à compressão em mais de 10%. Por outro lado, o uso de uma quantidade maior de OG, acima de 0,0225% da massa de cimento, pode ter efeitos deletérios na resistência dos materiais a base de cimento.

Dessa forma, considerando a existência de variações nos materiais utilizados, bem como diferentes meios de síntese do óxido de grafeno, suas propriedades específicas, a relação água/cimento, o uso distinto de aditivos e procedimentos de mistura, é natural que ocorram diferenças nos resultados (REHMAN et al., 2018).

Além disso, a inclusão de nanomateriais na pasta de cimento podem ocasionar perda de trabalhabilidade, uma vez que esses materiais têm a capacidade de adsorver água em sua superfície, fazendo com que aumente o atrito entre as partículas e reduzindo a fluidez. Esse efeito pode ser mitigado pelo uso de aditivos plastificantes (BATISTA et al., 2023, apud CHUAH et al., 2014).

Assim, em estudos sobre diferentes aditivos redutores de água à base de lignosulfonato, policondensado de naftaleno, sulfonato formaldeído (PNS) e policarboxilato, foi constatado que o último teve um melhor resultado (ROCHA apud ZHAO, L., et al. 2016).

Por conseguinte, a escolha por um material que facilite a dispersão do OG na mistura é muito importante, pois o seu possível agrupamento devido às forças de Van der Waals pode impactar o desempenho desejado (TRIKKALIOTIS et al., 2021).

Em resumo, as vantagens do OG em relação ao grafeno, podem ser explicadas pelas características distintas do material, como a boa dispersão em água e a alta resistência mecânica, tanto à tração quanto à flexão. Essas qualidades também contribuem para uma maior compatibilidade e integração com a matriz cimentícia (ROCHA et al., 2021).

3. Metodologia

O Trabalho consistiu na elaboração de corpos de prova produzidos de argamassa com cimento e areia, tendo o objetivo de avaliar o possível ganho de resistência mecânica com a incorporação de óxido de grafeno (OG). Desta forma, optou-se por produzir argamassa ao invés de concreto visando obter uma melhor mistura dos materiais, como também evitar que a incorporação da brita interferisse no resultado, tornando possível, ensaios com maior confiabilidade, possibilitando observar as influências do (OG) óxido de grafeno em contato com a pasta de cimento, que é o foco deste estudo.

Os materiais empregados neste trabalho incluem cimento Portland de Alta Resistência inicial (CP V-ARI), escolhido por ter um baixo teor de adição, com intuito de maximizar a interação do clínquer com o óxido de grafeno, possibilitando obter resultados melhorados relativos à influência do nanomaterial.

Além disso, foi utilizada areia fina lavada, retirada do rio Tocantins em Palmas-TO. Ademais, o agregado foi seco em estufa a 100 °C por 24 horas antes da realização das moldagens de corpos de prova, a fim de retirar a umidade presente e assegurar a relação água cimento (a/c) projetada.

Também foi realizado ensaio para a obtenção do módulo de finura, que resultou em valor de 1,84 classificando a areia como fina, zona utilizável inferior, conforme explicitado na ABNT NBR 7211 (2022).

O Óxido de grafeno assim como todo nanomaterial adicionado em argamassa, precisa ter boa dispersão para otimização de suas propriedades. Considerando esse aspecto, a incorporação do nanomaterial na argamassa será beneficiada pelo uso do aditivo superplastificante, que promove uma mistura homogênea e dispersa, além de compensar a perda de trabalhabilidade causada pela adição do nanomaterial. Por recomendação do fabricante, a dosagem do aditivo foi de 5% em relação à massa de cimento, o equivalente a 31,25 g.

Portanto para a produção da argamassa foi utilizado aditivo superplastificante de alto desempenho MC-POWERFLOW 6308, a base de polímeros policarboxilatos, desenvolvido pela MC e gentilmente doado pela Engenheira Wanessa Rolim, da empresa Rolim Tech, localizada em Palmas-TO.

Para a moldagem dos corpos de prova foram elaborados quatro traços de argamassa, uma para o traço de referência (REF) sem a presença de OG e os demais com as diferentes dosagens de OG.

O traço composto de cimento, areia, e água respectivamente ficou em 1,00:3,00:0,48. Na totalidade, para a produção dos corpos de prova, foram utilizados: 2,4 kg de cimento; 7,2 kg de areia e 1200 ml de água. Como cada traço foi realizado de forma individual, para a análise dos diferentes teores de OG, o traço total foi dividido em quatro partes, resultando em 0,625 kg de cimento, 1,88 kg de areia e 300 ml de água.

O Óxido de Grafeno (OG) utilizado no experimento foi obtido por meio de doação da empresa Manaus Grafeno, localizada em Jaú do Tocantins-TO. A dosagem do OG calculada, ficou definida como: 0,00% para o traço de referência, 0,2 g para 0,03%, 0,63 g para 0,1% e 3,13 g para 0,5%. Cada grupo dos traços contou com seis exemplares, totalizando 24 corpos de prova cilíndricos, com

dimensões de 100 mm de altura por 50 mm de diâmetro, sendo a metade rompida aos 14 dias e a outra metade rompida aos 28 dias.

4. Resultados e Discussão

As figuras a seguir, apresentam os resultados da resistência à compressão axial das argamassas rompidas aos 14 e aos 28 dias. Os valores representam a média de três amostras para cada traço. Os rompimentos foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA em Palmas - TO, utilizando a prensa hidráulica EMIC, modelo DL 30000.

Figura 1- Ensaios laboratoriais de compressão axial dos corpos de prova.



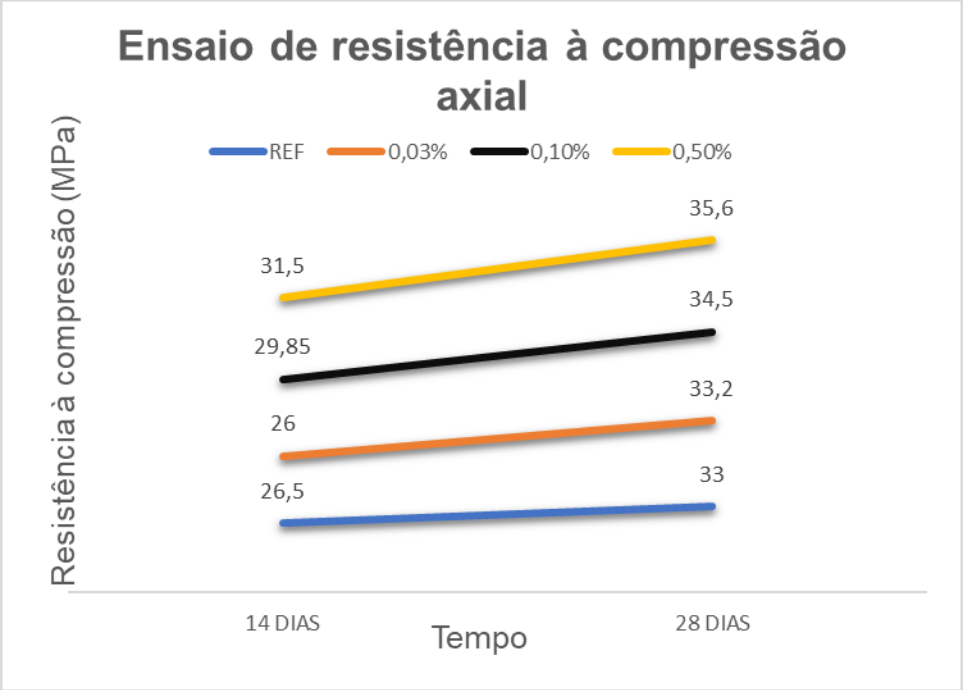
Fonte: Autoria própria (2024)

No primeiro ensaio realizado aos 14 dias, para as dosagens de 0,1% e 0,5%, os resultados apontaram para aumento de resistência conforme o incremento da quantidade de OG. No entanto, para o traço com 0,03%, os valores se mostraram próximos em comparação ao traço de referência.

De forma semelhante, no rompimento aos 28 dias, os resultados seguiram a mesma tendência do ensaio anterior: o traço com a menor quantidade de OG

apresentou um desempenho próximo ao traço de referência, enquanto os demais apresentaram um leve ganho de resistência mecânica, conforme o aumento da quantidade de OG. Essa observação está em consonância com o estudo de Barbosa (2023), que constatou uma melhora progressiva da resistência mecânica em função do aumento da dosagem de OG.

Figura 2- Resultados dos rompimentos dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados analisados apontaram que a incorporação de óxido de grafeno aos 28 dias de cura, no teor de 0,03% em comparação ao traço de referência obteve o ganho de 1%, enquanto que a incorporação de 0,1% de OG obteve um aumento de resistência mecânica de 4,5%, e no traço com 0,5% de OG aumentou a resistência mecânica em 7,8%.

O ganho progressivo de resistência mecânica, pode ser atribuído à quantidade de material presente na mistura, pois, com uma dosagem baixa de OG, não se observou interferência significativa no ganho de resistência mecânica. O oposto foi verificado nos outros traços, onde houve um aumento progressivo da resistência mecânica conforme a dosagem de OG foi incrementada.

5. Considerações finais

Esta pesquisa teve como objetivo verificar a influência do óxido de grafeno (OG) na resistência mecânica das argamassas. Com o experimento, ficou evidenciado que a quantidade utilizada de OG modifica progressivamente a resistência mecânica das argamassas.

Os resultados apontaram que dosagens a partir de 0,1%, impuseram ganhos de resistência mecânica. A incorporação de 0,5% de OG, comparada ao traço de referência, obteve o melhor resultado, com um aumento de 7,8% em sua resistência mecânica a compressão, isso indica que o OG pode servir com um material de reforço para a matriz cimentícia.

Cabe ressaltar que a aplicação do nanomaterial depende de melhorias no processo de mistura, bem como estudos da utilização de outros aditivos plastificantes, para garantir melhor homogeneização e trabalhabilidade.

Os resultados indicam que os nanomateriais podem ser eficazes quando aplicados em dosagens específicas. Contudo é importante salientar que existem obstáculos a serem solucionados para sua aplicação, como o alto custo de produção aliado a processos de mistura adequados para a obtenção de resultados satisfatórios. Embora a pesquisa tenha sido realizada com argamassa, cabe estudos para aplicações em concretos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Engenheira Civil Wanessa Rolim da empresa Rolim Tech, pela gentil doação do aditivo superplastificante utilizado nesta pesquisa, a Concreteira Ciplan Palmas - TO pela doação do cimento CP-V, a empresa Manaus Grafeno pela doação do Óxido de Grafeno, o Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP/ULBRA na pessoa da Coordenadora do curso de Engenharia Civil a Engenheira Civil Kenia Parente Lopes Mendonça, por ceder o laboratório e tornar possível a realização desta pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: **Cimento Portland: Agregado para concreto requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOSA, G.; RIBEIRO, L.; FORMAGINI, S. **Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos com Adição de Óxido de Grafeno**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/retrieve/9c59ad07-0501-443c-9d42-6f513c505b7b/1645.pdf>. Acesso em: 3 maio. 2024.

BATISTA et al. **Estudo da adição de óxido de grafeno em argamassas produzidas com diferentes tipos de cimento Portland.** Contribuciones a las ciencias sociales, v. 16, n. 10, p. 23705–23722, 30 out. 2023.

CAIRES, L. D. **Aplicação de óxido de grafeno reduzido em argamassa cimentícia para estudo de suas propriedades mecânicas**. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_0ec03ed80581c326750404742faf21f3>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DREYER, D. R. et al. **The chemistry of graphene oxide**. Chem. Soc. Rev., v. 39, n. 1, p. 228–240, 2010.

DUTRA, P.; BERNARDINO, E.; YAMAGUCHI, N**. Incorporação de óxido de grafeno em concreto: avaliação das resistências à compressão e tração**. [s.l.] Desempenho, [2022.]. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/download/19887/209209216414/209209246587>. Acesso em: 27 abr. 2024.

FIRMIANO, Edney Geraldo. S. **Sintese, Caracterização e Deposição sobre Óxido de grafeno de nanopartículas de Óxido de indio dopado com estanho (ITO).** Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6558/5302.pdf?isAllowed=y&sequence=1>. Acesso em: 26 abr. 2024.

KRYSTEK, Małgorzata**. "Mechanical properties of cement mortar with graphene oxide**." Architecture, Civil Engineering, Environment, vol. 12, no. 1, 2019, pp. 91–96, https://doi.org/10.21307/acee-2019-008.

LONG.W. J et al. **Dynamic Mechanical Properties and Microstructure of Graphene Oxide Nanosheets Reinforced Cement Composites**. 1 ed. Guangdong, China. nanomaterials. 24 de novembro de 2017.

LOPES, D. F.; SILVA, S. N. DA**. Avaliação das propriedades de argamassas cimentícias com adição de resíduos da geração termelétrica**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 4, 2021.

MOREIRA, Matheus Nunes**. Estudo comparativo entre concretos de alto desempenho (cad).** 2018. Disponível em: <http://eventoscopq.mackenzie.br/index.php/jornada/xivjornada/paper/viewPDFInterstitial/1072/631>. Acesso em: 21/04/2024.

REHMAN, S. K. U. et al. **Influence of Graphene Nanosheets on Rheology, Microstructure, Strength Development and Self-Sensing Properties of Cement Based Composites**. Sustainability, v. 10, março 2018.

REIS, M.C. **Incorporação de Resíduos de Carvão Vegetal em Argamassas Cimentícias**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil, 2019. https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11428 >. Acesso em: 27 abr. 2024.

RIBEIRO, A. et al**. Análise das Propriedades da Argamassa com Diferentes Teores de Grafite por Substituição Parcial de Cimento Portland**. Research, Society and Development, v. 11, n. 6, p. e49911629535-e49911629535. Acesso em: 5 mai. 2024.

ROCHA, V. V. et al. **Revisão teórica sobre o potencial da adição do óxido de grafeno em materiais cimentícios.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 3, 2021.

SANTOS, L. T.; SOUZA, D. M. **Grafeno: propriedades e aplicações**. repositorio.unitau.br, 2019.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO – SNIC. **Relatório Preliminar**. SNIC, 2023. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=92>. Acesso em 26 de junho de 2024.

TRIKKALIOTIS, D. G. et al. **Graphene Oxide Synthesis, Properties and Characterization Techniques: A Comprehensive Review**. ChemEngineering, v. 5, n. 3, p. 64, 17 set. 2021.

VIANA, Carlos M. **Relatório de prestação de serviço de caracterização.** 2021.pág 11.

WICK, P. et al. **Classification Framework for Graphene-Based Materials.** Angewandte Chemie International Edition, v. 53, n. 30, p. 7714–7718, 10 jun. 2014.

ZARBIN, Aldo J. G**. Química de (nano)materiais.** Química Nova v. 30, n. 6, p. 1469–1479, dez. 2007.