

GESSO DE REVESTIMENTO DESTINADO À CONSTRUÇÃO CIVIL REFORÇADO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFENO: ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

GYPSUM PLASTER FOR BUILDING CONSTRUCTION REINFORCED WITH GRAPHENE OXIDE NANOPARTICLES: ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES

Daniel Ardiles Firmino¹
Marcos Gomes Ghislandi²

RESUMO

O gesso é um material amplamente utilizado na construção civil, tanto para estruturas quanto para revestimentos em geral. O óxido de grafeno (OG), muito utilizado como reforço em diversas áreas da engenharia civil, pode proporcionar um reforço adicional à estrutura do gesso quando incorporado a ele. Este estudo abordou o reforço do gesso de revestimento com óxido de grafeno em concentração de 0,01% em massa, com o objetivo de otimizar a massa e verificar suas propriedades mecânicas. Foi realizado um estudo comparativo entre amostras com adição de óxido e sem adição. O óxido de grafeno foi obtido pelo método de Hummers modificado. Para a análise morfológica e estrutural, foram empregadas duas técnicas de caracterização: Difração de Raio-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A preparação das amostras seguiu parâmetros de acordo com as normas NBR 12128 (ABNT, 2019) e NBR 12129 (ABNT, 2017). Os resultados revelaram que o gesso com adição de óxido de grafeno apresentou uma redução de mais da metade em relação à resistência à compressão quando comparado ao gesso sem a carga adicional. Medições mostraram uma densidade aparente muito menor do gesso reforçado, fator que somado a uma possível falta de interação na interface gesso/OG, podem ter contribuído para a diminuição dessa resistência mecânica.

Palavras-Chave: Gesso de revestimento; óxido de grafeno; nanopartículas de óxido de grafeno.

ABSTRACT

¹ Bacharelado em Engenharia de materiais pela Universidade Federal Rural de Pernambuco- Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho, 2024.

² Doutor em Engenharia de materiais pela Universidade Federal Rural de Pernambuco- Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho, 2024.

Plaster is a widely used material in civil construction, employed for both structures and general coatings. Graphene Oxide, known for reinforcing structures and being utilized as a reinforcement in civil engineering, is expected to provide additional strength to the structure when incorporated into plaster. This study focused on reinforcing plaster coating with graphene oxide at a concentration of 0.01% by mass, aiming to optimize mass and examine its mechanical properties. A comparison was made between samples with and without oxide addition. The graphene oxide was obtained through the modified Hummers method. Two characterization techniques, X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM), were employed for morphological and structural analysis. Sample preparation adhered to parameters outlined in the NBR 12128 (ABNT, 2019) and NBR 12129 (ABNT, 2017) standards. The results revealed that plaster with added graphene oxide exhibited a reduction of over half in compressive strength compared to plaster without the additional load. SEM images highlighted the accumulation of graphene oxide in specific regions of the plaster, potentially contributing to this decrease in strength.

Keywords: Gypsum; graphene oxide; mechanical properties; nanoparticles

INTRODUÇÃO

O gesso tem origem na desidratação da gipsita, mineral que pode ser encontrado em rochas de composição mineralógica do tipo sedimentar, denominada gipso. O gesso geralmente é utilizado como argamassa ou pasta (Ferreira et al., 2019). No Brasil o gesso começou a ser muito utilizado no final na década de 90 na construção civil, devido ao baixo custo de aquisição, alta aplicabilidade e facilidade na sua aplicação e manuseio.

Alguns exemplos do uso do gesso, podemos citar o uso em revestimentos internos nas residências, vedações e molduras (Farias et al., 2015).

O processo de tecnologia para obtenção do gesso tem uma determinante influência na sua qualidade, parâmetros como temperatura e método de aquecimento tem influência direta em suas propriedades pasta (Ferreira et al., 2019). Ainda segundo o autor, outros fatores alteram a qualidade e as características do material, incluindo a

relação a/g (água/gesso), as impurezas, tamanho da partícula.

Na literatura observamos estudos em maior evidência de reforços com gesso a partir da inserção de fibras de vidro, resíduo da agroindústria e até com embalagens trituradas (Villela et al., 2020).

O óxido de grafeno é um material que possui aplicações em multivariadas áreas, destacando-se nas áreas de tecnologia e nanotecnologias (Manchester, S.d).

O principal método de obtenção do óxido de grafeno é por esfoliação mecânica pós oxidação química, nomeadamente o método de Hummers [...]. Este último tem destaque devido ao seu potencial de produção em larga escala, versatilidade com equipamentos e reagentes simples (Silva, 2018).

Na construção civil o óxido de grafeno (OG), e principalmente o grafeno reduzido (OGr), vem ganhando bastante notoriedade ao ser utilizado em argamassa de revestimentos e reforço em concreto.

Com adições de 0,1% de óxido de grafeno foram suficientes para observar melhores propriedades mecânicas, como resistência à compressão e a tração (Corso et al. (2020).

Devido a importância deste material se faz necessário mais pesquisas utilizando compósitos de gesso reforçado com grafeno e derivados, principalmente pelas qualidades e benefícios que os dois materiais podem apresentar simultaneamente.

Neste cenário, o propósito deste estudo foi gerar um material economicamente acessível (revestimento de gesso) fortificado com óxido de grafeno.

O óxido de grafeno foi obtido a partir de grafite utilizando o método modificado de Hummers (Palacio, 2010). Em seguida foram avaliadas as propriedades mecânicas do material compósito gesso+OG.

METODOLOGIA

Preparação da dispersão de óxido de grafeno (OG)

O método escolhido para a síntese do óxido de grafeno teve como base uma modificação do método de Hummers” (Alam; Sharma; Kumar, 2017). As seguintes etapas foram seguidas: em um béquer de 500 ml, adicionou-se 1,0 g de grafite, seguido por 25,0 ml de ácido sulfúrico concentrado. O béquer foi colocado em banho de gelo e submetido a agitação mecânica constante por 10 minutos, até que a mistura atingisse uma temperatura de 10°C. A partir deste ponto, iniciou-se lentamente a adição de 3,0 g de permanganato de potássio (KMnO₄) ao longo de 20 minutos. Após

a completa adição do KMnO₄, retirou-se o banho de gelo e a mistura foi mantida sob agitação constante à temperatura ambiente por 8 horas. Posteriormente, durante a agitação, adicionou-se vagarosamente 46 ml de água destilada, seguido pela adição rápida de 140 ml de água destilada e 10 ml de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Após aproximadamente 24 horas, observou-se que a suspensão adquiriu uma coloração amarelada, com um material marrom escuro no fundo. Para a remoção de impurezas, foram adicionados 30 ml de HCl (Ácido clorídrico) à suspensão. Para a lavagem, o material foi centrifugado com água destilada a 6 mil rpm através de centrifugação (DTR-1600, 800W) sucessivas vezes (8 a 10 vezes), com intervalo de 15 minutos, até atingir pH 5,0.

Por fim, ocorreu o processo de esfoliação da mistura, onde as dispersões foram dispostas em béqueres de 500 ml e submetidas ao processo de banho de ultrassom por 40 minutos (1000 W, 20% de amplitude), em temperatura ambiente.

Para verificação da concentração/densidade (g/l) da dispersão, alíquotas retiradas de três regiões da amostra foram retiradas e colocadas em uma placa de petri para a secagem em estufa, a temperatura foi de 80°C por 24 horas. Com as amostras secas e pesadas foi verificado uma densidade de 0,75g/l.

Preparação das Amostras de Gesso

Estado pastoso

A qualidade da pasta de gesso está fortemente vinculada à sua relação gesso/água, como indicado por (Karni, 1995).

Quanto maior a proporção de água para gesso, melhor a sua trabalhabilidade, porém, como resultado, há um aumento no número de poros, o que, por sua vez, fragiliza o material (Silva, 2014).

As propriedades do gesso são detalhadas na NBR 12128 (ABNT, 2019).

Para a preparação das amostras de acordo com a norma NBR 12118 (ABNT, 2019), foram seguidas as seguintes etapas: em um béquer plástico, foi adicionada a quantidade necessária de água para a preparação das amostras; em seguida, o gesso foi polvilhado no béquer durante aproximadamente 30 segundos. Após a adição completa do gesso, a amostra repousou por 30 segundos e, em seguida, foi misturada manualmente por cerca de 30 segundos, alcançando uma consistência ideal e total homogeneidade. Após o procedimento de preparação da massa, esta foi depositada no molde até atingir o estado sólido, o que ocorreu aproximadamente em 30 minutos.

Cálculos para a preparação da massa

O estado pastoso envolve a presença simultânea de sólido e líquido, caracterizando-se pelo preparo da massa e, conseqüentemente, das amostras, em conformidade com a norma NBR 12129 (ABNT, 2017). Seguindo os preceitos desta norma, empregamos as seguintes fórmulas, conforme as variáveis de trabalho:

Cálculo da massa de gesso

$$MG = \frac{480}{0,40 + C}$$

Equação 1 - cálculo da massa de gesso

Onde temos:

MG: é a massa de gesso, expressa em gramas (g)

C: é a razão água/gesso determinada para a consistência normal.

Cálculo da massa de água

$$Ma = MG \times C$$

Equação 2- Cálculo da massa de água

Onde temos:

Ma é a massa de água, expressa em gramas (g)

MG é a massa do gesso, em gramas (g).

Utilizando as equações 1 e 2, calculamos a massa de gesso e água, respectivamente. Para o presente trabalho, foi definida a relação a/g de 0,60(*C*=0,60). Substituindo este valor na equação 1, obtemos *MG* = 480g. Procedemos então à substituição desse valor na equação 2, resultando em *Ma* = 288g. Conforme mencionado anteriormente, após a realização dos cálculos, as amostras foram preparadas e submetidas a ensaios para avaliação de suas propriedades mecânicas.

Estado Sólido

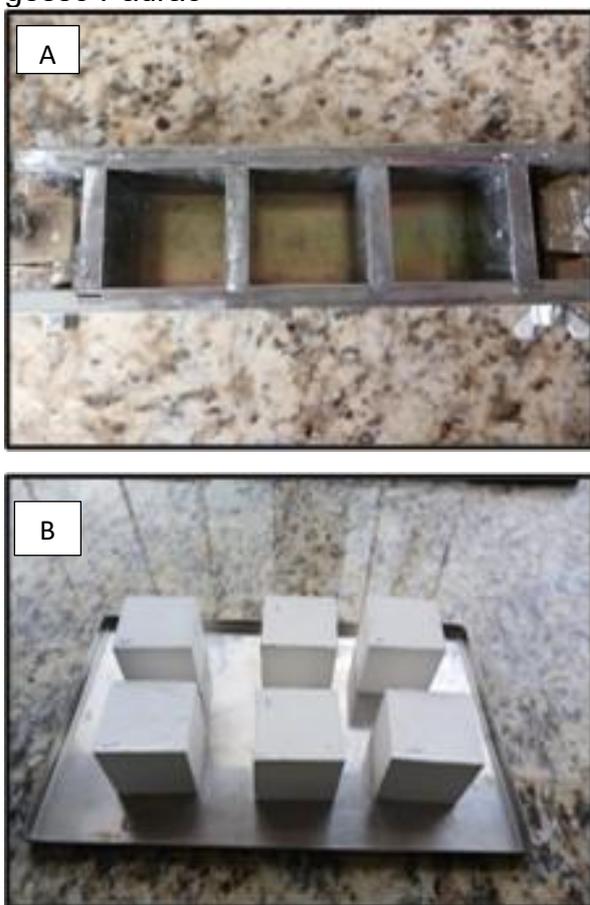
As propriedades do gesso em estado sólido são determinadas pela norma NBR 12129 (ABNT, 2017), na qual são descritos os procedimentos para a realização do teste de compressão.

Para a execução do teste de compressão, foram produzidos seis corpos de prova, com uma relação

água/gesso de 0,60. As dimensões dos corpos de prova cúbicos eram de 50mm x 50mm (área mínima de 2500 mm²).

Na confecção dos corpos de prova, foram empregados moldes padronizados de aço inox, conforme ilustrado na Figura 1A.

Figura 1- Molde para confecção dos corpos de prova e abaixo amostras de gesso Padrão



Fonte: O autor, 2024.

Decorridos aproximadamente 30 minutos, as amostras foram desmoldadas e permaneceram por mais 1 hora à temperatura ambiente (conforme Figura 1B). Posteriormente, foram transferidas para uma estufa, onde permaneceram por 7 dias a 40°C, visando à completa secagem. Em

seguida, realizaram-se os ensaios mecânicos das amostras.

Para os ensaios mecânicos, utilizou-se uma máquina universal do tipo Time Group INC - WDW-50E, com capacidade de carga de 50 kN (carga de (50 ± 10) N/s), a uma temperatura ambiente de 24°C, até a ruptura do material.

Gesso reforçado com OG

Para as amostras de gesso contendo óxido de grafeno, foram adotados os mesmos procedimentos, tanto para a preparação das massas quanto para a realização dos ensaios mecânicos. A proporção água/gesso foi mantida constante em 0,60. A utilização da proporção de 0,65 de água/gesso resultou em resultados bastante satisfatórios em relação à resistência mecânica do material (Da Costa, 2022).

Dessa forma, os corpos de prova foram confeccionados e também submetidos à secagem por 7 dias a 40°C. Os corpos de prova com óxido de grafeno foram produzidos utilizando a porcentagem de 0,01% em massa, buscando-se assim a mínima quantidade de material na matriz suficiente para produzir reforços mecânicos significativos.

Como a densidade obtida na dispersão aquosa de OG foi de 0,75 g/l, para se alcançar 0,01% de massa de grafeno na dispersão, foi necessária a adição e diluição de aproximadamente 100 ml da dispersão de óxido de grafeno em 188 ml de água, resultando em valores nominais de 0,0768 g de óxido (Tabela1). Para promover a homogeneização da dispersão de óxido de grafeno em água, empregou-se o ultrassom (Nova – Modelo NI 1206, potência de 100W) durante 20 minutos (conforme figura 2).

Tabela 1 - Valores encontrados para preparação dos corpos de prova com OG, 0,01% em massa.

Cálculo dos componentes		
Densidade do OG	0,00075	g/ml
Massa do OG (0,01%)	0,0768	g
Volume do OG	102,4	ml
Formulação		
Dispersão de OG	102,4	ml
Massa de água	288	ml
Massa de Gesso	480	g

Fonte: O autor, 2024.

Figura 2 - Esfoliação da solução de óxido de grafeno.



Fonte: O autor, 2024.

Difração de Raio-X (DRX)

A análise de difração de raio-X nas amostras foi conduzida no equipamento (Modelo D8-Bruker) com o propósito de examinar as fases cristalinas presentes nas amostras de

gesso e gesso + Óxido de Grafeno (OG). Os resultados obtidos foram comparados com a base de dados da literatura.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi empregada nas amostras para a visualização da morfologia da microestrutura, focalizando especialmente na distribuição de OG e na microestrutura de cristalização do gesso. Este ensaio foi conduzido no equipamento Tescan VEGA3, utilizando tensões de 5 kV.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Difração de Raio-X (DRX)

As análises de Difração de Raio-X (DRX), figura 3, indicam que a adição de óxido de grafeno à estrutura não resultou em modificações significativas na estrutura. Isso pode ser explicado pela baixa porcentagem incorporada ao material (0,01% em massa). Dessa forma, constatamos apenas a formação da fase gipsita nos picos correspondentes. Estes picos são consistentes com o trabalho de referência de (Pedersen, B.F.; Semmingsen, D.), utilizando dados do banco de dados ICSD – CODE (27221).

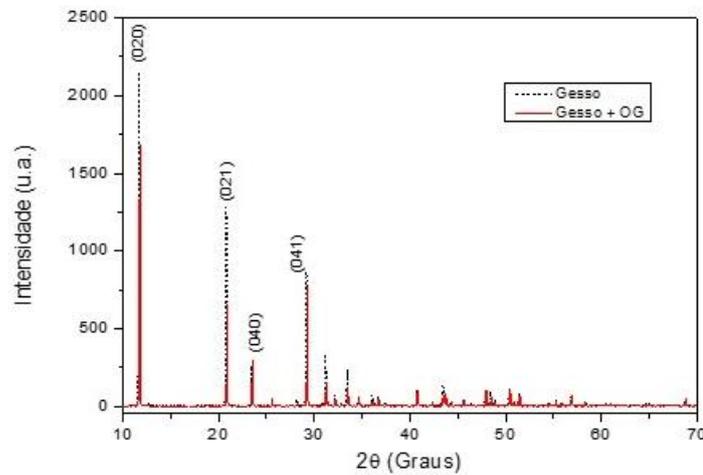
Resistência a compressão

Os corpos de prova confeccionados com o gesso puro de referência e com a adição de óxido de grafeno (OG), elaborados na proporção de 0,60 (água/gesso), foram submetidos a ensaios de compressão por meio de uma máquina universal de ensaios mecânicos (Time Group INC – WDW-50E).

No caso do gesso puro, sem a presença do óxido de grafeno, constatou-se uma resistência à compressão que variou entre 8,45 a 9,41 MPa (Tabela 2). Já com a presença de óxido de grafeno, observou-se uma resistência à compressão variando entre 1,96 a 2,63 (Tabela 2). Conforme estabelecido pela

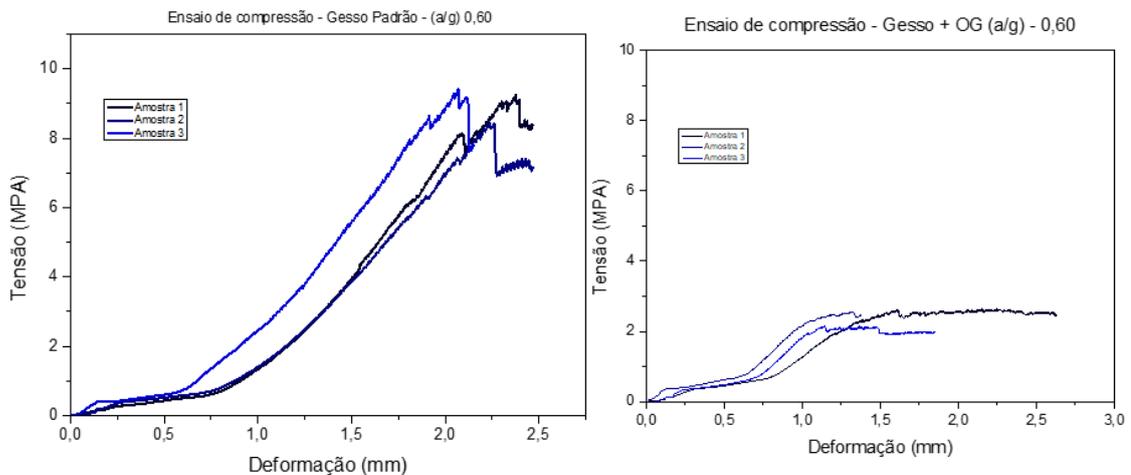
norma NBR 13207, que trata das exigências físicas e mecânicas do gesso puro para a construção civil, é especificado que o gesso deve apresentar resistência superior a 8,40 MPa. Dessa forma, o gesso de referência atendeu aos padrões requisitados.

Figura 3- Difratoograma de raio x do gesso de referência e gesso com 0,010% de OG em massa.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 4 - Ensaio de compressão. Tensão x Deformação do gesso padrão e gesso com OG.



Fonte: O autor, 2024.

Tabela 2 - Valores de Resistência a compressão.

Corpos de prova - relação a/g 0,60		
Tensão de Resistência (MPa)		
Material	Gesso	Gesso + OG
Amostra 1	9,25	2,43
Amostra 2	8,45	2,63
Amostra 3	9,41	1,96
Média	9,25	2,43
Desvio padrão	0,42	0,28

Fonte: O autor, 2024.

A seguir, apresentam-se os valores individuais de resistência à compressão das amostras, bem como os gráficos de tensão x deformação na figura 4.

Ao compararmos os valores de resistência à compressão na tabela 2, podemos observar uma diferença expressiva nas resistências. Na relação de 0,60, o gesso puro, apresentou resultados que satisfazem e até superam a norma. Contudo, ao analisarmos os valores com a adição de 0,01% de óxido de grafeno (OG), observamos uma mudança repentina no comportamento mecânico do material (Figura 4), tornando-o aproximadamente 3 a 4 vezes menos resistente sob forças compressivas. Uma das possíveis causas pode ser devido à aglomeração e dispersão irregular do óxido de grafeno, resultando em uma aderência não homogênea às regiões do material. Com isso, algumas regiões do material tornam-se excessivamente porosas, levando a uma diminuição drástica de sua resistência mecânica (Long et al., 2018; Santos, 2022). O OG é um material de altíssima área superficial e baixo volume aparente, e quando inserido a massa de gesso, mesmo em baixa quantidade, aumentou o volume

aparente do bloco de gesso, diminuindo sua densidade e consequentemente também sua resistência mecânica. Devido a variação de valores de resistência, constatou-se que as massas das amostras contendo o gesso padrão e o gesso adicionado de OG eram completamente distintas, sendo que as massas das amostras contendo OG chegavam a ser 40% mais leves. Diante disso, tornou-se necessário investigar a relação entre a massa e a densidade das amostras.

Resistência específica à compressão

A resistência específica é uma medida que estabelece uma relação entre a resistência do material, neste caso a forças compressiva, e a sua densidade.

Em outras palavras, busca-se otimizar o uso da menor quantidade de massa necessária no processo de fabricação, ao mesmo tempo em que proporcione uma resistência mínima específica (Ashby,2005).

A resistência à compressão específica foi calculada da seguinte maneira:

Equação 3 - Cálculo da resistência a compressão específica

$$R = \frac{\sigma}{\rho}$$

R = Resistência a compressão

σ = Tensão de resistência a compressão

ρ = densidade do material

Para o gesso padrão, foram pesadas três amostras, onde a massa

média foi de 145g para a relação de 0,6 (água/gesso). As amostras foram pesadas logo após a retirada da estufa. Nos corpos de prova contendo OG, foi medida uma média de 89g. Com o cálculo da densidade em mãos ($d=m/v$), obtivemos os seguintes resultados: a densidade do gesso padrão foi de 1,16 g/cm³, e a densidade do gesso com OG (0,01%) foi de 0,712 g/cm³.

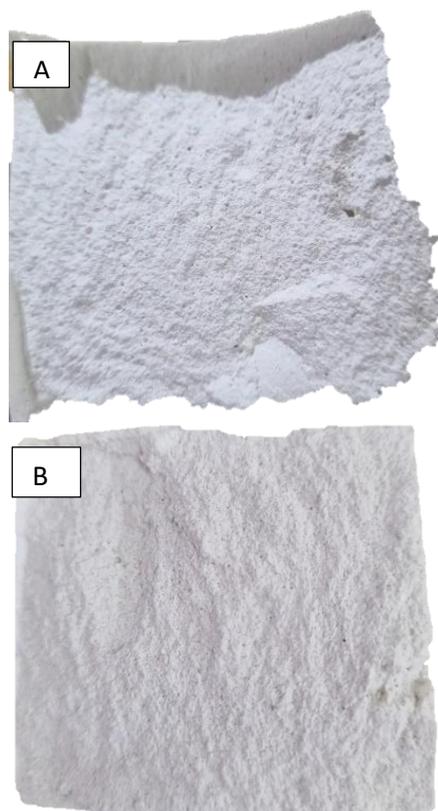
Após realizarmos os cálculos da resistência à compressão específica, a partir da equação 3, os resultados foram de 3,41MPa cm³/g para o gesso + OG e 7,97 MPa cm³/g para o gesso padrão. A resistência à compressão específica é mais alta para o Gesso padrão do que para o gesso com OG, o que indica que a força que ele suporta será maior. Essa diferença pode ser explicada, neste caso, pela não compatibilidade do OG na estrutura.

Análise morfológica - Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura (MEV)

Realizou-se uma análise macroscópica óptica, examinando a superfície de fratura da amostra com gesso padrão e a amostra com gesso + óxido de grafeno (OG). Ao observarmos a Figura 5, notamos que a amostra contendo apenas o gesso (Figura 5B) apresenta uma certa porosidade, o que é esperado devido à reação do material durante o processo de endurecimento e à remoção de um percentual de água na estufa. No entanto, ao compararmos com a amostra da Figura 6, que contém gesso + OG, percebemos um maior percentual de porosidade, indicado pelas setas na figura, alguns dos quais são claramente visíveis a olho nu. Essa maior porosidade é apontada como motivo para a baixa resistência mecânica do material. Uma hipótese, conforme mencionado anteriormente, é

que a alta área superficial do óxido de grafeno, aliada a não interação adequada com o gesso, proporcionou uma diminuição excessiva da densidade e aumento da porosidade do material.

Figura 5 - Amostra A, corpo de prova com OG (0,01%). Gesso padrão (B).



Fonte: O autor, 2024.

As imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos corpos de prova, na relação de 0,60 água/gesso, com e sem a adição de óxido de Grafeno (OG), encontram-se na figura 7. Nota-se, principalmente no gesso puro, a formação de uma estrutura em formato de agulhas, lamelares e com distribuição irregular. Os cristais em forma de agulhas permitem que eles se acomodem nos espaços intersticiais, proporcionando um aumento na resistência mecânica do material (Ribeiro, 2011).

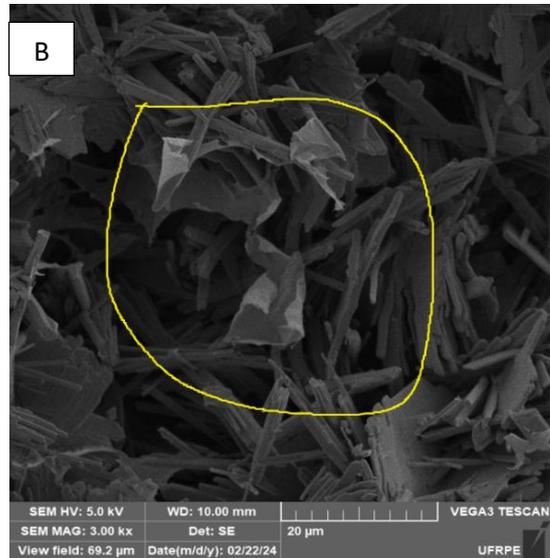
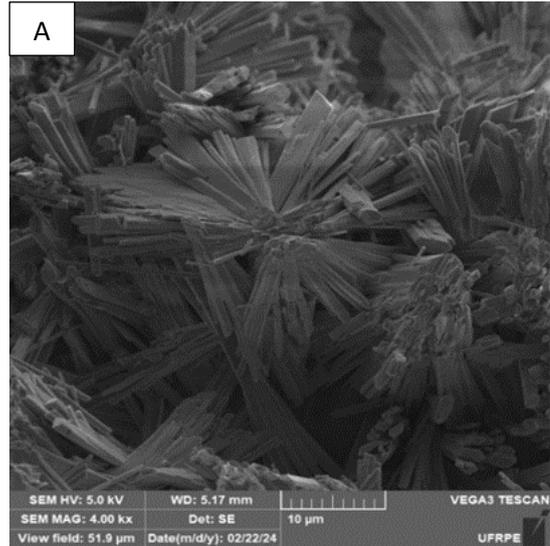
Figura 6 - Amostra de gesso + OG, pode-se verificar vários pontos de poros.



Fonte: O autor, 2024.

Na figura 7b, abaixo, observa-se que, mesmo com uma quantidade pequena de Óxido de Grafeno (OG) na composição, a presença desse material é identificada na matriz de gesso. Nessa situação, as folhas de OG encontram-se aglomeradas/dobradas, o que pode exercer influência negativa nas propriedades mecânicas do material.

Figura 7 - Anota-se a formação de agulhas lamelares. B, Folha de óxido de grafeno.



Fonte: O autor, 2024.

CONCLUSÃO

A introdução de 0,01% em massa de óxido de grafeno promoveu alterações significativas nas propriedades mecânicas do gesso. Diversas hipóteses podem ser consideradas para explicar essas mudanças:

1. A aderência incompleta do óxido de grafeno à superfície do gesso de revestimento pode ter ocorrido.
2. A concentração, mesmo baixa, de OG pode ter causado a evaporação da água da mistura devido a alta área

superficial do material, deixando mais vazios no material durante o processo de secagem.

3. A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) revelou regiões com acúmulo das folhas de óxido de grafeno, gerando um acúmulo de tensão nessa área e, por conseguinte, reduzindo a resistência à compressão do material.

Essas considerações sugerem que a eficácia do reforço do gesso com óxido de grafeno está sujeita a diversos fatores, como aderência, concentração, distribuição do OG na estrutura. Portanto, ajustes nessas variáveis para otimizar o desempenho do material compósito são necessários.

REFERÊNCIAS

ASHBY, Michael F.; CEBON, D. Materials selection in mechanical design. **MRS Bulletin**, v. 30, n. 12, p. 108, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9781856176637/materials-selection-in-mechanical-design>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção civil - Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/a-bnt-nbr-nm/4863/abnt-nbr12129-gesso-para-construcao-civil-determinacao-das-propriedades-mecanicas>. Acesso em: 22 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128**:

Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/4862/identificar/visitante>. Acesso em: 17 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/a-bnt-nbr-nm/1907/abnt-nbr13207-gesso-para-construcao-civil-requisitos>. Acesso em: 30 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/893/identificar/visitante>. Acesso em: 09 fev. 2023.

ALAM, S. N.; SHARMA, N.; KUMAR, L. Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO). **Graphene**, v. 06, n. 01, p. 1–18, 2017. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/Synthesis-of-Graphene-Oxide-\(GO\)-by-Modified-Method-Alam-Sharma/b5b909bf7ae59c334887e4999f121829d7b2c2c5](https://www.semanticscholar.org/paper/Synthesis-of-Graphene-Oxide-(GO)-by-Modified-Method-Alam-Sharma/b5b909bf7ae59c334887e4999f121829d7b2c2c5). Acesso em: 12 ago. 2023.

BARZOTTO, Mateus Vuaden; BORDIN, Fabiane; MÜLLER, Vinicius; ANSCHAU, Mônica; SCALCO, Leonardo; GORKOS, Paola. GESTÃO DE RESÍDUOS DE GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO. *In*: ENCONTRO LATINO-

AMERICANO E EUROPEU SOBRE COMUNIDADES EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (EURO-ELECS), 5., 2017, São Leopoldo. **Anais** [...]. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017. p. 887-895. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316883708_GESTAO_DE_RESIDUOS_DE_GESSO_NA_CONSTRUCAO_CIVIL_UM_ESTUDO_DE_CASO. Acesso em: 3 set. 2023.

CORSO, M. et al.; Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 297–312, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/SBQ7Y86JZgQWNcKfTzkLcCk/?lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2023.

FARIAS, B. M. **Empregabilidade do gesso na construção civil**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015 Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/118/98>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FERREIRA, F. C.; SOUSA, J. G. de; CARNEIRO, A. M. P. Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 207–221, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/YNtm5WcPD4ph74kW6hwSRnz/?format=pdf>. Acesso em: 07 jun. 2023.

KARNI, J.; KARNI, E.Y. Gypsum in Construction: Origin and Properties. **Materials and Structures**, v. 28, p. 92-100, 1995. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10>

.1007/bf02473176.pdf. Acesso em: 15 jul 2023.

COSTA, Monaira Cristiane Alcides da. **Fabricação de gesso para a construção civil reforçado com nanocargas de óxido de grafeno**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho-PE, 2022. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/8672/2/Monaira%20Cristiane%20Alcides%20da%20Costa.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2023.

PALACIO, M. G. **Método de Hummers: sua importância para o estudo da síntese química do óxido de grafeno**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Toledo Prudente Centro Universitário, Toledo-PR, 2010. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/9678>. Acesso em: 27 ago. 2023.

SANTOS, Janaíne Conceição. **Propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas de reparo com agregado reciclado e adição de óxido de grafeno**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centros Federais de Educação Tecnológica -MG, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: https://sig-arquivos.cefetmg.br/arquivos/2023236211ec0245319809daaee7c4461/Disse-rtao_Mestrado_Janaine_Conceio_Santos..pdf. Acesso em: 08 abr. 2023.

SEVERO RIBEIRO, A. **Estudo e otimização do processo de produção de gesso reciclado a partir de**

resíduos da construção civil. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6087>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SILVA, L.; CAMÕES, A.; VASCONCELOS, G. Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica. **ENGENHARIA CIVIL - UM**, p. 5–14, 2014. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31027/1/1963-pag.5-14.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2023.

SILVA, M. do N. **Grafeno como nanoaditivo em compósitos para proteção anticorrosiva.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) – Pontifícia universidade catolica -RJ, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/36392/36392.PDF>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MANCHESTER, university. **Discovery of graphene.** [S.l.]: [S.n.] [s.d.]. Disponível em: <https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn/discovery-of-graphene/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

VELOSO, M. C. R. de A. et al. Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. **Materia**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/jvd6k4qJzp7nww9HkDK3SnL/?lang=pt>. Acesso

em: 28 abr. 2023.

VILLELA, L. S. et al. Physical-mechanical performance of reinforced gypsum composites with crushed multi-layer packaging. **Revista Materia**, v. 25, n. 3, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/KNYCWzQW9cn4tW9bLR8DFwk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2023.