

## Incorporação de óxido de grafeno e sua influência no comportamento mecânico de compósito de matriz cimentícia

### RESUMO

Após sua descoberta de forma empírica, o grafeno apresentou-se ao mundo como um material revolucionário devido sua versatilidade atribuída a suas propriedades. No presente trabalho esmiúça-se à síntese do óxido de grafeno (GO), aprimora-se o método de dispersão do GO no intuito de vencer a deficiência de homogeneização, confecciona-se amostras com incremento de GO, sem GO, além de outra amostra com adição de Grafite Expansível para uma verificação comparativa de amostras independentes e por fim verifica-se a influência de incorporação de óxido de grafeno em relação ao comportamento mecânico; especificamente ao aumento de resistência à compressão axial. Assim, após coleta e análise estatística dos dados acerca do comportamento mecânico, pode-se afirmar que a incorporação de GO aumenta a resistência à compressão e que a adição de Grafite Expansível no Compósito Cimentício obteve um desempenho superior em relação ao mesmo parâmetro avaliativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanotecnologia. Nanocompósito cimentício. Grafeno. Grafite expansível. Óxido de grafeno.

**Juliana Dias Pedrosa Marques**  
[julimarques1930@gmail.com](mailto:julimarques1930@gmail.com)  
[juliana.d.p.marques@ufms.br](mailto:juliana.d.p.marques@ufms.br)  
Engenheira Civil e mestranda no curso de Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## INTRODUÇÃO

Vivencia-se uma era tecnológica acelerada diante de novos materiais através da nanotecnologia (DA SILVA, 2008). É neste cenário, impulsionado pela corrida por patentes no âmbito de produtos inovadores que o Grafeno se enquadra (Vilicic et al., 2013).

Ocorreu em 2004 de forma empírica, a técnica que fragmentou partes do grafite sobre duas superfícies de fitas que foram atritadas uma a outra. Fato este que possibilitou o isolamento do primeiro material 2D, conforme publicado na revista Science naquele mesmo ano. Tal Descoberta foi coordenada pelos cientistas André Geim e Konstantin Novoselov do Centro de Nanotecnologia da Universidade de Manchester. Esta proeza rendeu-lhes o Prêmio Nobel em 2010 e desde então inflamou-se uma jornada aguçada no âmbito de investigação científica.

Este material oriundo do carbono, faz jus a sua fama mundial devido ao conjunto de propriedades inerentes que o compõem (HASAN et al., 2016).

Diante do exposto, fica evidente o potencial exploratório entorno do grafeno e suas possibilidades de miscigenação em diversas áreas. Sendo assim, não poderia ser diferente sua relevância na indústria da construção civil, que tem como um dos produtos mais antigos e difundidos no material cimentício (HELENE et al., 2007).

Neste contexto, os cientistas DIMOV et al., (2018), da seção de nanotecnologia da Exeter University na Inglaterra, publicaram os resultados de suas análises na revista britânica Advanced Functional Materials. Os pesquisadores suspenderam partículas de grafeno na água usada na mistura do concreto, resultando assim em um compósito duas vezes mais forte, quatro vezes mais impermeável, sustentável do ponto de vista ecológico por proporcionar uma redução de 50% do material necessário em relação ao concreto convencional e desta maneira reduzindo cerca de 446Kg por toneladas de emissões de gases do efeito estufa.

O intuito é de se reproduzir as técnicas abordadas pelos cientistas DIMOV et al., (2018) e assim verificar os resultados provenientes desses experimentos, porém será utilizado o óxido de grafeno (GO).

Assim, o empenho consiste na obtenção de um material cimentício com características superiores ao convencional, resultando soluções plausíveis no que se refere à problemas estruturais, patologias análogas a esta natureza, por conta da melhora na performance das propriedades mecânicas.

Em argamassas e concretos existem propriedades que os caracterizam como tal, independente do estado em que se encontram (fluido ou sólido). O parâmetro de propriedades o definirá, assim como suas aplicações na construção civil (RIBEIRO,2002).

As caracterizações, como consistência, trabalhabilidade e homogeneidade, segundo CARVALHO (1999) está relacionado as propriedades do composto no estado fluído. Já o módulo de elasticidade, resistência a tração e resistência a compressão estão relacionadas as propriedades no estado sólido (endurecido).

A problemática está relacionada com os processos existentes para obtenção do grafeno. Dentre os processos atuais e já bem difundido, há aquele por meio da sintetização. Contudo, este método poderá resultar em um material de alta ou

baixa qualidade. Outra possível implicação consiste na forma pela qual o óxido de Grafeno (GO) é disperso na mistura cimentícia, pois pode acarretar aglutinação de partículas (GO), devido as forças de Van der Waals, ou seja, forças de atração atômica

Objetivo deste artigo é avaliar a interferência da incorporação do óxido de grafeno (GO) em compósito de matriz cimentícia no que tange ao possível aumento de resistência à compressão axial, também catalogar o método utilizado para o dispersar na mistura em questão. Tendo em vista que o meio pelo qual este é disperso influenciará diretamente nos resultados almejados.

## **METODOLOGIA**

O artigo preliminarmente faz uso de pesquisas bibliográficas. Levanta-se diversas análises já estudadas, publicadas no âmbito acadêmico, visando aprofundar conhecimentos acerca das características e eficiência deste material bidimensional em compósito de matriz cimentícia.

Neste contexto, adota-se uma hipótese (o aumento de resistência em matriz cimentícia após incorporação de óxido de grafeno), a partir daí define-se parâmetro a ser variado para o feito.

No intuito de confirmar a influência do óxido de grafeno no desempenho das propriedades mecânicas de compósito de matriz cimentícias, fez-se necessário utilização de uma metodologia quantitativa de caráter exploratório científico. Assim, o experimental foi conduzido inicialmente na produção de óxido de grafeno (GO), depois na criação de corpos-de-prova cimentício e ensaios de resistência à compressão axial.

Tendo o estudo de caso focalizado nos dados de resistência a compreensão do composto de GO, tornou-se necessário um protótipo comparativo para esta avaliação. Por conta disto foram criados dois grupos distintos, além daquele contendo GO. Ficou definido um grupo de 16 corpos de provas (CP's) contendo GO, outro contendo Grafite e mais um grupo contendo a composição cimentícia convencional (argamassa tradicional).

Salienta-se nesta etapa do trabalho, que o compósito contendo o grafite expansível foi introduzido para servir de base comparativa, mas consequentemente abrirá um novo leque investigativo na interação deste a substância cimentícia. Fato relevante tendo em vista que o grafite é constituído por pilhas de grafeno.

## **Amostra de grafite e síntese de óxido de grafeno**

A amostra de grafite expansível necessária para promessa do experimento foi fornecida pela empresa Nacional de Grafite Ltda, que apoia pesquisas de processos de desenvolvimento científico.

Figura 1 – Grafite expansível em flocos.



Fonte: Autor (2020).

A amostra escolhida foi o produto denominado Graflexp 9560-150. Trata-se de um grafite natural cristalino que após exposto a elevadas temperaturas tem seus grãos expandidos cerca de 150 vezes em relação ao tamanho original. Isso resulta num grafite volumoso e de alta pureza.

O óxido de grafeno foi obtido através do processo de síntese conhecido como o Método de Hummers (1958), porém com parâmetros modificados pelo LNNA-INFI/UFMS.

Enfatiza-se nesta etapa, a importante colaboração do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (INFI/UFMS), especificamente o Laboratório de Nanomateriais e Nanotecnologia Aplicada (LNNA), sob a supervisão do professor Dr. Diego Alves.

Figura 2 – Etapas de transformação do grafite em óxido de grafeno.



Fonte: Autor (2020).

O processo de síntese, estendeu-se por cerca de 15 dias, tornando totalmente o grafite em óxido de grafeno.

### Traço e moldes cilíndricos

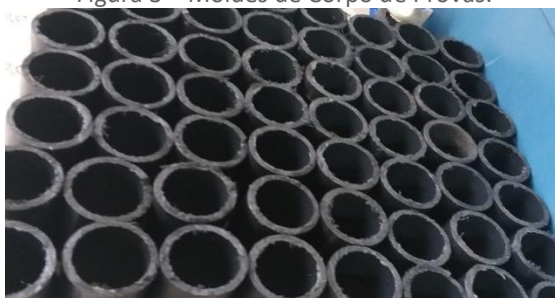
A escolha pelo traço do composto cimentício foi arbitrada levando em conta a necessidade de vencer alguns empecilhos em torno do alto custo englobado na produção do nano material. Optou-se pelo traço correspondente a argamassa de cimento numa proporção 1:3:0,48, ou seja, para cada parte de cimento Portland, utiliza-se 3 de areia e 0,48 de água.

A escolha pela argamassa está ligada ao fato deste constituir agregado de grão fino, conforme normativa de ensaio de peneiramento descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003), dessa maneira, atentou-se pela maior eficiência na homogeneização dos materiais.

Ainda neste contexto de transpor obstáculos para a realização deste experimento, tornou-se necessário os ensaios em corpos de provas (CP's) cilíndricos de 1" por 2" (diâmetro de 25,04 mm e altura de 50,08mm).

Mantendo-se a prescrição referente aos moldes cilíndricos contida na NBR 7215 (ABNT, 1996), no que tange à moldes em casos especiais. De modo geral os moldes devem ter altura igual ao dobro do diâmetro, resultando  $h/d=2$ . A regra básica para o estabelecimento de diâmetro mínimo de um corpo de prova cilíndrico é a de que seja pelo menos 3 vezes a dimensão máxima característica do agregado presente na argamassa ou concreto, segundo NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 3 – Moldes de Corpo de Provas.



Fonte: Autor (2020).

Os moldes cilíndricos foram confeccionados em material PVC rígido. O volume de cada CP's é de 25,74 cm<sup>3</sup>.

A elaboração do material cimentício teve sua quantidade prevista, baseando-se no volume de cada molde já confeccionado, porém com adição de 15%. Sabe-se que há uma possível perda de massa em relação as paredes do tanque de inox da batadeira, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015). Sendo assim preparou-se um volume de massa cimentícia de 29,60 cm<sup>3</sup>.

Tabela 1 – Quantidade de CP's determinada por idade de ensaio.

PRAZO	7 dias	14 dias	21 dias	28 DIAS	Nº DE CP's
CONTROLE	4	4	4	4	16
GO (0,23%)	4	4	4	4	16

Fonte: Autor (2020).

Para o preparo de massa cimentícia, utilizou-se as seguintes quantidades de materiais, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de Materiais por Grupo.

MATERIAIS	CIMENTO (g)	GO(g)	AREIA (g)	ÁGUA (ml)
CONTROLE	206,17	0,48	618,51	98,96
GO (0,23%)	205,69	0,48	618,51	98,96
GRAFITE (0,23%)	205,69	0,48	618,51	98,96

Fonte: Autor (2020).

O traço, ou seja, quantidade de materiais para preparo do compósito cimentício, baseou-se na Lei de Molinari (RICCI, 2017).

### Caracterização do cimento

O cimento aplicado neste experimento foi o cimento CP II F 32 (Cimento Portland Composto). Pois este apresenta um teor de 6% a 10% de material filler, o que ajudaria a ocupar os espaços vazios caso o material estudado viesse a aglutinar.

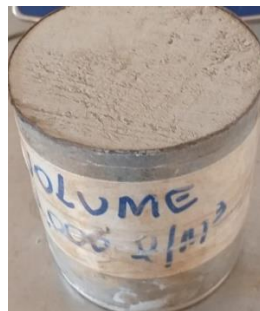
Figura 4 – Ensaio Massa Específica do Cimento.



Fonte: Autor (2020).

A determinação da Massa Específica do Cimento Portland foi realizada seguindo a NBR 16605 (ABNT,2017). Este ensaio consiste na adição de querosene (substância não reagente ao cimento) no frasco de Le Chatelier, depois com auxílio de um funil foi adicionado gradativamente o cimento, e com base no volume do querosene deslocado calcula-se a massa específica do cimento (sem vazios).

Figura 5 – Ensaio de Massa Unitária do Cimento.



Fonte: Autor (2020).

Já o ensaio referente a obtenção da massa unitária do cimento em estado solto foi realizado de acordo com a NBR 45 (ABNT, 2006). Trata-se do quociente da massa do cimento (amostra seca), lançada de uma altura de 5 cm da borda do recipiente, até está transbordar. Depois, com auxílio de uma régua metálica nivela-se a camada do cimento rente à borda. Salienta-se que este reservatório que recebeu o cimento no estado solto, já tem seu volume determinado em  $\text{Kg/m}^3$ .

### Caracterização do Agregado

Como material inerte foi escolhido o agregado miúdo fino (areia) de procedência do Rio Aquidauana/Rochedo MS.

Figura 6– Conjunto de peneiras, conforme normalização.



Fonte: Autor (2020).

A determinação da granulometria da areia foi realizada de acordo com os parâmetros da NBR NM 248 (ABNT, 2003). As peneiras escolhidas foram de abertura de malha 0,48 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 e 0,01 mm (fundo).

Com base nessas informações foram coletadas as seguintes informações:

- Módulo de Finura (Divide-se por 100 o resultado da soma de todos os percentuais acumulados de peneiramento da série normal, exceto o percentual do fundo): MF = 1,88.
- Diâmetro Máximo Característico (Análise feita sobre as peneiras de série normal, este valor DMC corresponde a dimensão da peneira na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%): DMC: 1,2 mm.

Figura 7 – Ensaio de Massa Específica da Areia.



Fonte: Autor (2020).

O ensaio para determinação da massa específica do agregado é semelhante ao do cimento, contudo foi utilizado o frasco de Chapman e o querosene foi substituído por água.

Já a massa unitária no estado solto consiste na consideração de volume referente aos vazios entre os grãos do agregado.

Para determinar a massa unitária no estado solto, adiciona-se os grãos de forma gradual, em um recipiente de volume  $1000 \text{ l/m}^3$  à uma altura de no mínimo 12 cm. Depois relaciona a Massa do recipiente de areia e divide pelo volume do recipiente.

- Massa unitária estado solto:  $1,11 \text{ g/cm}^3$

Figura 8 – Ensaio de Massa Unitária da Areia.



Fonte: Autor (2020).

A determinação da massa unitária no estado solto do agregado é prescrita na NBR 45 (ABNT, 2006).

### Secagem do Óxido de Grafeno

Conforme etapa de sintetização de óxido de grafeno, seguindo os parâmetros estabelecidos no método e Hummers (FARIA et al., 2018), foi necessário a secagem do material em estufa.



Figura 9 – Transformação do estado aquoso para sólido.



Fonte: Autor (2020)

A secagem durou cerca de 24 horas o que resultou numa pequena porção de óxido de grafeno.

Figura 10 – Moagem dos flocos óxido de Grafeno.



Fonte: Autor (2020).

Após secagem da amostra, no intuito de promover uma dispersão eficaz, o GO foi passado por um moinho manual, conforme ilustra a figura 10.

Figura 11 - Esferas de Alumina em pote de vidro.



Fonte: Autor (2020).

Depois, no intuito de melhorar a homogeneização do óxido de grafeno com o cimento, o conteúdo foi transferido para um recipiente de vidro com esferas de alumina, e deixados por 2 horas num processo mecânico, conforme Figura 11.

Figura 12 – Moinho Mecânico (Processo de homogeneização).



Fonte: Autor (2020).

Na sequência, após o processo de homogeneização, a mistura seguiu para um tratamento térmico (200°C) por 20 minutos.

Figura 13 – Tratamento Térmico/ Processo de Redução de GO em Cimento.



Fonte: Autor (2020).

Um ponto importante a enfatizar é que a amostra contendo grafite e cimento, passou pelos mesmos parâmetros metodológicos descritos até aqui.

### Ensaio de compressão axial

A determinação da propriedade mecânica enfatizada neste artigo, foi realizada inicialmente no Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE) da UFMS, O equipamento utilizado para os ensaios referente ao prazo de 7 dias foi a prensa de marca Forney de capacidade de carga de 300KN. O referido ensaio baseou-se na NBR 5739 (ABNT, 2018).

Figura 14 – Prensa adotada para os ensaios referente ao 7º dia.



Fonte: Autor (2020).

Porém, por questão de precisão do equipamento, os ensaios referentes ao 14º dia foram realizados em outra prensa no Laboratório de MEC Solos da UFMS.

Figura 15 – Prensa adota para o restante dos ensaios.



Fonte: Autor (2020).

Trata-se da prensa modelo CSR-5T, com celular de carga de 5000 kgf e o deslocamento adotada para a prensa foi de 0,40 KN mm/min.

## **DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)**

Nesta parte apresenta-se os resultados de resistência à compressão axial dos três grupos, correlacionando-se os dados apurados no intuito de confirmar ou não a hipótese de aumento de resistência a compressão nos compósitos de matriz cimentícia que receberam a incorporação de óxido de grafeno (GO).

Além de expor-se-á os resultados que se propõem como foco deste artigo, exhibe-se também os dados dos ensaios de caracterização do agregado, tendo em vista a importância desta informação à reprodutibilidade do experimento em âmbito científico.

### **Caracterização do agregado**

Ao realizar o ensaio granulométrico, busca-se identificar os diâmetros dos grãos. Como pode-se observar na ilustração de composição granulométrica, todo o material foi passante na peneira nº 4 (4,8mm); deste, cerca de 76,86% apresentaram grãos menores que 0,6 mm.

Pelo ensaio pode-se afirmar que o agregado é miúdo, pois todos os grãos passaram pela peneira 4,8 mm, conforme dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaio Granulometria da Areia do Rio Aquidauana/Rochedo - MS.

Composição Granulométrica (Média).				
Peneiras		Média 1º e 2º Determinação.		
nº	mm	Peso Retido (g)	%Retida	%Retida Acumulada.
4	4,8	0,00	0	0
8	2,4	0,60	0,12	0,12
16	1,2	7,10	1,42	1,54
30	0,6	52,40	10,48	11,9
50	0,3	325,00	65	76,86
100	0,15	102,90	20,58	97,44
Fundo	0,01	12,00	2,4	100
<b>TOTAL</b>		500,00	100	

Fonte: Autor (2020).

Visando ensaios previstos na NBR NM 248 (ABNT, 2003), foram determinados o módulo de finura do grão e o Diâmetro Máximo Característico.

Após obtenção de resultados acerca das dimensões dos grãos, partiu-se para análise de massa específica absoluta e da massa unitária no estado solto. A Tabela 4 ilustra os valores utilizados para conclusão desta etapa.

Tabela 4 - Ensaio Frasco de Chapaman

**Determinação da Massa Específica Absoluta.**

Média (1º e 2º Ensaio)	
Massa (g)	500
Lo (cm <sup>3</sup> )	200
L (cm <sup>3</sup> )	390
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,63

Fonte: Autor (2020).

**Dispersão do óxido de grafeno na mistura**

No intuito de obter-se uma boa homogeneização em relação à mistura cimento e óxido de grafeno; foi utilizado o processo de moagem. Visando assim, obter a interação entre a matriz cimentícia e o (GO).

Observa-se na Figura 16, que o resultado foi satisfatório. Tendo em vista, o aspecto uniforme entre os elementos que constituem a mistura.

Figura 16 – Resultado acerca da Homogeneização da mistura



Fonte: Autor (2020).

Enfatiza-se que o compósito cimentício com incremento de grafite expansível também obteve boa homogeneidade.

### Moldes dos corpos de provas

Como menciona-se no tópico metodológico, estimou-se uma porcentagem de 15% de perda e material (devido as paredes da cuba metálica do misturados mecânico), assim produzir-se-ia cerca de 16 corpos de provas para cada grupo específico.

Tabela 5 – Quantidade de CP's

Prazo	7 dias	14 dias	28 dias	Nº de CP's
Neutro	4	4	4	12
GO (0,23%)	4	4	4	12
Grafite (0,23%)	4	4	4	12

Fonte: Autor (2020).

Contudo, a perda de massa foi superior aos 15%, assim resultou-se na confecção de apenas 12 CP's para cada grupo, contra os 16 CP's previsto através do cálculo de consumo. A Tabela 5 detalha este fato.

Figura 17 – CP's desenformando após as 24 horas de moldagem.



Fonte: Autor (2020).

Após à confecção e desmolde em 24horas, as amostras foram levadas à câmara úmida do Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE) da UFMS.

### Ensaio de resistência à compressão axial

Após os primeiros ensaios referente ao 7º dia, atentou-se pela interferência da precisão da prensa utilizada, assim como o confinamento dos pratos da prensa em relação a seção transversal dos CP's. Sendo assim, optou-se pela troca de prensa para realização dos ensaios subsequentes.

A prensa selecionada foi disponibilizada pelo Laboratório de Geotecnia – FAENG – UFMS, está por sua vez mais precisa e automatizada.

Contudo após observações no decorrer desses ensaios, foram detectadas irregularidades na superfície plana das seções transversais dos CP's. Consequência

de um Capeamento de argamassa malsucedido no que diz respeito ao nivelamento das bases dos cilíndricos (moldes).

Figura 18- Superfície da Seção Transversal de um dos Corpos de Provas.



Fonte: Autor (2020).

Sabe-se que os cilindros retos devem conter suas geratrizes no mesmo tamanho que seu eixo e altura, formando um ângulo de 90° em relação a sua base.

### Formas de rupturas dos CP's

A variação dessa geometria ou da inexistência de planicidade na superfície da seção transversal influencia diretamente na área de distribuição da força aplicada. Assim gera uma decomposição de força entre o eixo x e y, ou seja, além da resistência à compressão axial a força aplicada na base gera um momento fletor.

Figura 19 – Ruptura no Topo ou Pé dos CP's



Fonte: Autor (2020).

Ruptura no pé ou topo dos CP's corroboram que a aplicação de carga foi muito desnivelada.

Na intenção de eliminar essas divergências em relação a geometria do cilindro, para os ensaios referente ao 28º dia, as bases desses corpos de provas passaram por um sistema de desgaste em um equipamento de retifica (torno mecânico).

### Ensaio de resistência a compressão axial aos 28 dias

Após confirmação do ângulo adequado (90º) da geratriz do CP's, eles foram encaminhados para realização do ensaio de resistência à compressão axial. Sendo previsto um rompimento em forma de ampulheta ou por cisalhamento, pois à medida que o corpo de prova se deforma no decorrer da aplicação da força axial, a força cortante chega ao ponto crítico e origina o cisalhamento em pano inclinado em reação a cortante.

Já nas primeiras análises dos ensaios dos corpos de provas pertencente ao grupo "controle", verificou-se outras interferências. A prensa tem uma particularidade, trata-se de um sistema de automatizado que ao sinal da primeira deformação (ruptura) no CP's, ela encerra o teste de compressão.

O problema concentrou-se na parte de capeamento, pois esta camada foi feita com argamassa no traço 1,1,048 e os corpos de provas ao passarem pelo ensaio acabam tendo essa camada deformada antes do todo, antes do Corpo de Prova propriamente dito. Dessa maneira a prensa interrompe o processo de ensaio e o considera já como rompido.

Figura 20– Camadas de Capeamentos dos CP's



Fonte: Autora (2020)

Para sanar esta adversidade, os corpos de prova (CP's) passaram novamente por um processo de retifica, agora na intenção de retirar por completo toda esta camada de capeamento.

Tabela 6 – Resultados de Ensaios de Resistência à Compressão (Média)

Idade	Grupo	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
7	Controle	2,969	0,27	12%
	GO (0,23%)	8,647	2,75	32%
	Grafite (0,23%)	10,892	1.03	9%
14	Controle	10,107	1.91	16%
	GO (0,23%)	11,569	2.45	21%
	Grafite (0,23%)	12,877	2.07	16%
28	Controle	11,770	1.54	13%
	GO (0,23%)	11,240	0,73	7%
	Grafite (0,23%)	15,990	2,66	17%

Fonte: Autor (2020).

Optou-se por concluir os ensaios de resistência à compressão axial de 28 dias na prensa utilizada inicialmente. Pois esta não interromperia o teste caso restasse parte da camada de capeamento no CP e este viesse se deformar, antes mesmo do corpo de prova propriamente dito.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os ensaios referentes ao 7º dia são mais próximos do absoluto, tendo em vista a ausência das interferências já mencionadas.

Corroborar-se está fundamentação, baseando-se nos dados quantitativos mais bem dispersos e assim, pode-se afirmar que possivelmente a adição de óxido de grafeno ou de grafite expansível na proporção de 0,23% em relação à massa de cimento contribuiu para o aumento de resistência à compressão axial em compósito de matriz cimentícia.

O incremento de resistência à compressão pode ser detectado maior no grupo de amostras com adição de grafite expansível (0,23%) em todos os períodos de ensaios (7, 14 e 28 dias), possivelmente pelo fato da sua superfície apresentar mais funcionalidade em relação as propriedades intrínsecas ao grafeno, tendo em vista que se trata de camadas de grafeno empilhadas que passaram por um processo de tratamento térmico e se intercalaram. Salienta-se que a superfície de grafite expansível não apresenta outras substâncias suspensas em seu plano como ocorre no óxido de grafeno (GO).

O experimento demonstrou a existência de adversidades no tocante aos métodos de síntese de grafeno, produção em escala industrial, métodos eficazes de dispersão de grafeno no intuito de vencer as Forças de Van der Waals. Como já verificado por outros autores sobre o mesmo tema.



Outro ponto relevante a conclusão deste estudo é a lacuna investigativa à comunidade científica em relação às propriedades mecânica do grafite expansível.

## Incorporation of graphene oxide and its influence on the mechanical behavior of cementitious matrix composites

### ABSTRACT

After its discovery in an empirical way, graphene presented itself to the world as a revolutionary material due to its versatility attributed to its properties. In the present work, the synthesis of graphene oxide (GO) is broken down, the dispersion method of the GO is improved in order to overcome the homogenization deficiency, samples are made with increment of GO, without GO, in addition to another sample with the addition of Expandable Graphite for a comparative verification of independent samples and finally the influence of the incorporation of graphene oxide in relation to the mechanical behavior is verified; specifically to the increase in resistance to axial compression. Thus, after collecting and statistical analysis of the data about the mechanical behavior, it can be said that the incorporation of GO increases the compressive strength and that the addition of Expandable Graphite in the Cementitious Composite obtained a superior performance in relation to the same evaluative parameter.

**KEYWORDS:** Nanotechnology. Cementitious nanocomposite. Graphene. Expandable graphite. Graphene oxide.

## AGRADECIMENTOS

À Deus que nos concedeu a vida em abundância, à minha família e à memória do meu pai; eles me incentivaram a sempre erguer a cabeça e prosseguir para o alvo, aos amigos pela compreensão nas horas de ausência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DA SILVA, Edison Z. **Nanociência: a próxima grande ideia?** Revista USP, São Paulo, n.76, p 78-87, fev. 2008

Vilicic, Felipe e Fernanda Allegretti. **"O início da era do grafeno: um novo material derivado do grafite uma revolução na indústria em virtude de suas propriedades únicas: impermeável, translúcido, maleável, mais resistente que o melhor condutor elétrico conhecido."** Veja , v. 46, não. 2342, 9 de outubro de 2013,

HASAN, Nasser Mahmoud et al. **Grafeno: Inovações, aplicações e sua comercialização.** Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas, v. 2, n. 1, p. 29-40, 2016.

GEIM, A.K.; NOVOSELOV, K.S. **The rise of graphene.** Nature Mater. v. 6, p. 183-191, 2007.

GEIM, Andre K.; NOVOSELOV, Konstantin S. **The rise of graphene.** In: **Nanoscience and technology: a collection of reviews from nature journals.** 2010. p. 11-19.

DIMOV, Dimitar et al. **Compósitos de grafeno-concreto de nanoengenharia de ultra-alto desempenho para aplicações multifuncionais.** Materiais funcionais avançados, v. 28, n. 23, pág. 1705183, 2018.

RIBEIRO, Carmen Couto. **Materiais de construção civil.** Editora UFMG, 2002.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de cimento Portland. Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2007.

CARVALHO, F.; **COLOREADOS, Hormigones.** Madrid: INTEMAC, 1999. 1999. Tese de Doutorado.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica,** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015

RICCI, Bruna de Oliveira Lima; PEREIRA, Adriana Maria; AKASAKI, Jorge Luís. **Estudo de dosagens visando obter concretos para obras de pequeno porte.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 13, n. 1, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 45: Agregados- Determinação da massa unitária e do volume de vazios, (2006).**

FARIA, Gécica Seara et al. **Produção e caracterização de óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido com diferentes tempos de oxidação**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 22, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – ensaios de compressão em corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (2009b). NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro.

TOMA, Henrique E. **O Mundo Nanométrico: a Dimensão do Novo Século**. São Paulo, Oficina de Textos, 2004.

Tolentino, Evandro; Santos, Kesley Antônio; Oliveira, André Maurício de; Amaral, Erriston Campos; Silva Neto, Almir. **COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA REFORÇADO POR NANOFOLHAS DE GRAFENO**, p. 501-509. In: 73º Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2018.

MOHAMMED, A., SANJAYAN, J. G., DUAN, W. H., & NAZARI, A. (2015). **Incorporating graphene oxide in cement composites: A study of transport properties**. *Construction and Building Materials*, vol 84, 341–347. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.083.

MARTINS, Vinicius. **Alteração das propriedades mecânicas causada pela norma da dispersão do óxido de grafeno em compósitos cimentícios**. Dissertação. Mestrado em Ciência dos Materiais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2019.

HORSZCZARUK, El\_Bieta et al. **Nanocomposite of cement/graphene oxide – Impact on hydration kinetics and Young’s modulus**. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 78, p.234-242, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.009>. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/271021320\\_Nanocomposite\\_of\\_cementgraphene\\_oxide\\_-\\_Impact\\_on\\_hydration\\_kinetics\\_and\\_Young's\\_modulus](https://www.researchgate.net/publication/271021320_Nanocomposite_of_cementgraphene_oxide_-_Impact_on_hydration_kinetics_and_Young's_modulus)>. Acesso em: 18 mai. 2020.

NOVOSELOV, Konstantin S. et al. **Um roteiro para o grafeno. natureza**, v. 490, n. 7419, pág. 192-200, 2012.

LIMA, W. M.; WEINAND, W. R.; ROTTA, M. **COMPORTAMENTO DE DEGRADAÇÃO DA LIGA CU+ C+ AlCr2 OBTIDA PELAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**, 2002.

**Recebido:** 03/02/2021

**Aprovado:** 12/07/2022

**DOI:** 10.3895/rts.v18n54.13798

**Como citar:** MARQUES, J.D.P. Incorporação de óxido de grafeno e sua influência no comportamento mecânico de compósito de matriz cimentícia. *Rev. Technol. Soc.*, Curitiba, v. 18, n. 54, p. 275-293, out./dez., 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/13798>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

