

## ENSAIOS DE ARGAMASSA AUTOADENSÁVEL REFORÇADAS COM ÓXIDO DE GRAFENO

Larissa T. Cardozo<sup>1</sup> (IC), Valquíria C. dos Santos (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Óxido de grafeno. Argamassa Auto-Adensável. Substituição.

### Introdução

O óxido de grafeno é um material nanométrico que tem despertado um interesse significativo em diversas áreas de estudos científicos e tecnológicos. Derivado do grafeno, uma estrutura bidimensional de átomos de carbono dispostos em uma grade hexagonal, o óxido de grafeno apresenta propriedades únicas que o tornam promissor para uma ampla gama de aplicações e desenvolvimento de novas tecnologias.

O contínuo avanço nas pesquisas e aprimoramento da síntese desse material promoveu aplicações na área da construção civil. A preocupação com a conservação ambiental e a viabilidade econômica dos materiais, gerou a necessidade de se estabelecer matérias cimentícias mais ecológicas e resistentes, se preocupando com a deterioração da construção final, e limitando, portanto, o consumo de material utilizado para sua manutenção. (POLVERINO et al., 2022).

Os resultados de diversas pesquisas, mostram que a adição de óxido de grafeno na argamassa, favoreceu na melhoria da fluidez, resistência mecânica e durabilidade, tornando-as resistentes a rachaduras, fissuras e deterioração ao longo do tempo. No estudo preliminar realizado por Babak et al. (2014) obteve como resultado o aumento da resistência a tração conforme o aumento da dosagem de óxido de grafeno na massa. Em outros estudos, é observado uma menor formação de microfaturas, uma maior resistência a corrosão e maior desempenho térmico.

Em suma, o óxido de grafeno abre novas perspectivas para aprimorar a qualidade e o desempenho das argamassas na construção civil, contribuindo para uma indústria mais sustentável, durável e eficiente. O futuro promissor desse material indica avanços significativos no setor da construção e uma maior preocupação com a sustentabilidade e a eficiência energética das edificações.

Este artigo tem como objetivo analisar as consequências da substituição parcial do cimento por óxido de grafeno (OG) nas argamassas autoadensáveis (AAA). A incorporação de óxido de grafeno em argamassa tem despertado interesse devido às

propriedades desse material bidimensional e suas potenciais aplicações na indústria da construção civil. Quando adicionado à argamassa, o óxido de grafeno pode conferir melhorias em várias propriedades do material, tais como resistência mecânica, durabilidade, condutividade elétrica e térmica. Neste estudo, analisou-se a substituição do cimento em 0,05% e 0,15% pelo OG. Os materiais utilizados na AAA: cimento, metacaulim, areia foram caracterizados de acordo com as normas de referência e OG foi submetido a análise de DRX (Difração de Raio-X). Em relação à argamassa, foram verificadas as propriedades no estado fresco, por intermédio dos ensaios de espalhamento e escoamento, em que todos os traços puderam ser definidos como autoadensáveis. Referente as propriedades no estado endurecido, foi realizado o teste de compressão após 28 dias de cura. As resistências mecânicas apresentaram uma redução no módulo de elasticidade de 8,8% e 38,8% para os corpos de prova com adição 0,05% e 0,15% respectivamente, e um aumento a resistência a compressão de 1,3% para a porcentagem de 0,05%.

### Metodologia

Para o preparo da argamassa foi utilizado o cimento Portland CPII-F-32, comercializado pela empresa de cimento CSN. O agregado miúdo adicionado é a areia natural média, proveniente de extração de rio e a água potável proveniente do sistema de abastecimento público. O aditivo superplastificante utilizado foi o ADI-SUPER H25, fornecido pelo Aditibrás, a base de polímeros de éteres carboxílicos modificados, que apresentam um altíssimo efeito dispersante. E por fim, optou-se pela adição de metacaulim para aumentar o porcentual de finos e assim melhorar a coesão da mistura.

Para a confecção do traço da argamassa é preciso conhecer a massa específica e a granulometria do cimento e areia a ser utilizados para que a mesma apresente características típicas de uma autoadensável. Para a caracterização física das partículas sólidas do cimento é feito o ensaio de granulometria a laser. A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados nos materiais utilizados, bem como os ensaios do estado fresco e endurecido das

amostras.

Tabela 1 – Ensaios executados nos materiais

ENSAIOS	MATERIAL	NORMA
Massa específica	Areia	ABNT NBR 7211
Granulometria		ABNT NBR NM 248, 2003
Difração de Raio-X (DRX)	Óxido de grafeno	-
Massa específica	CPII-F-32	ABNT NBR 16605/2017
Granulometria a laser		-
Slump teste	Estado fresco	Gomes e Barros (2009)
Funil V		Gomes e Barros (2009)
Massa específica		ABNT NBR 9778/2005
Módulo de elasticidade dinâmico	Estado endurecido	-
Ensaio de compressão		ABNT NBR 5739/2018

Fonte: Autoria própria (2022)

As porcentagens de grafeno a serem incorporadas na massa leva como referência os estudos realizados por outros autores. Segundo Polverino et al. (2022) a resistência a compressão aumentou conforme houve o aumento da porcentagem de OG na massa, sendo o maior valor de compressão observado de 21,3% para a proporção de 0,15%. No estudo, também foi analisada a proporção de 0,05%, onde seu aumento de resistência foi de 18,3%. Em relação ao estudo de Chintalapudi e Pannem (2022), mostra que um teor de 0,04% de OG foi suficiente para aumentar a resistência em 46,34%. Desta forma, levando em consideração os resultados do estudo feito por Polverino et al. (2022) e Chintalapudi e Pannem (2022), as proporções escolhidas para a execução dos ensaios deste trabalho foram de 0%, 0,05% e 0,15%.

Para a execução dos corpos de prova foram adicionados os materiais secos, como o cimento, metacaulim e areia, que foram misturados manualmente. Em seguida, foi adicionada cerca de 50% da água e misturados na argamassadeira. Ao restante da água foi diluído o superplastificante e o óxido de grafeno. A mistura foi mexida manualmente e posta em banho de ultrassom por 5 minutos, até que as partículas de óxido de grafeno estivessem bem dispersas em água. Após isso, o grafeno e o superplastificante diluídos, foram incorporados ao restante da mistura e mexidos novamente na argamassadeira. Por conta do módulo de absorção da areia, foi necessário acrescentar 30% de água com relação a quantidade de areia do traço para que se obtivesse uma argamassa auto adensável. Por fim a argamassa foi moldada em corpo de prova e após seca foi imersa em água por 28 dias.

Para o traço de 0,05% foi necessário modificações nas proporções das misturas. Houve um aumento de 30g na quantidade de cimento e 120g de areia para que a argamassa se enquadrasse nos limites estabelecidos de uma argamassa auto adensável nos ensaios de auto compactação no estado fresco. Para o traço de 0,15% não houve nenhuma modificação com

relação a proporção de finos e areia, visto que a argamassa se tornou auto adensável sem a necessidade da adição de nenhum outro material. Foi realizado também um novo traço com a proporção de 0,05%, onde não se alterou nenhuma quantidade dos materiais.

É importante ressaltar que os ensaios não foram feitos todos no mesmo dia. Desta forma, houve alterações principalmente na umidade da areia, que não foi medida em laboratório e nem seca totalmente em estufa para nenhum dos traços. A areia só foi totalmente seca em estufa apenas para o traço de 0,05%\_N. A areia utilizada no último ensaio de 0,15% apresentou uma umidade superior que a dos outros traços executados, o que dispensou o uso dos 30% de absorção de água pela areia. A Tabela 2 mostra os traços utilizados para cada porcentagem escolhida.

Tabela 2 – Quantidade dos materiais utilizados na mistura 0%, 0,05% e 0,15% de OG

Misturas	Cimento (g)	OG (g)	Metacaulim (g)	Areia (g)	Água (g)	SP (g)
OG_0%	1203,00	0,00	60,07	2219,82	500,00	22,74
OG_0,05%	1232,37	0,63	59,44	2339,82	500,00	22,74
OG_0,05%_N	1202,37	0,63	59,44	1219,82	500,00	22,74
OG_0,15%	1201,11	1,89	58,18	2219,82	500,00	22,74

Fonte: Autoria própria (2022)

## Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios de auto-compactação, realizados no estado fresco, estão descritos na Tabela 3. Podemos notar que para os três traços realizados, apenas um não ficou dentro dos limites estabelecidos para uma argamassa auto adensável.

No ensaio do Mini Slump, apesar dos valores estarem muito próximos do limite máximo de referência, a argamassa obteve uma boa trabalhabilidade, fluidez e homogeneidade. Observa-se que quanto maior a quantidade de grafeno presente na mistura, menos fluido a argamassa se torna. No ensaio do Funil-V, os tempos de escoamento da amostra de controle e a de 0,05% ficaram próximos, porém quando se observa o tempo para a amostra de 0,15%, notamos que a argamassa apresentou uma grande fluidez. Apesar desse traço ter o menor valor de espalhamento, as partículas não segregaram muito quando comparadas com os outros três traços. O traço de 0,05%\_N não se enquadrou em nenhum dos limites estabelecidos, desta forma não foi possível se chegar em uma argamassa auto adensável. Neste traço, foi notória a segregação das partículas.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de mini slump e funil-V

	0%	0,05%	0,05%_N	0,15%	Referência
Mini Slump (mm)	276,7	273,3	291,67	271	200 mm a 280 mm
Funil – V (s)	8,36	8,74	2,4	4,26	3,5 s a 10,0 s

Fonte: Autoria própria (2022)

A redução dos valores da massa específica quando se aumenta a quantidade de óxido de grafeno na argamassa, resulta em um material menos denso. Os valores de índice de vazios para os três traços apresentaram valores próximos, o que garante uma boa densidade. O ar na mistura de argamassa pode ter um efeito negativo na qualidade do concreto e na aderência da argamassa às superfícies. O excesso de ar pode levar a vazios na argamassa e reduzir a resistência e a durabilidade do material. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de massa específica, índice de vazios e teor de ar.

	0%	0,05%	0,05%_N	0,15%
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2188,77	2089,13	2066,26	2016,17
Índice de vazios (%)	0,95	0,99	0,97	0,99
Teor de ar (%)	-9,28	-0,56	-3,18	-0,73

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 5 permite de forma mais sucinta analisar a diferença da AAA comum com a Argamassa com adição de OG. Para entender a mudança das características físicas é necessário comparar os resultados entre os CP's de diferentes quantidades de OG, sendo estudado com 0%, ou seja, sem OG para servir de parâmetro para estudo, com 0,05%, e com 0,15%.

O resultado para a adição de 0,05% e para adição 0,15% de OG foi, respectivamente, 1,3% de ganho e 35% de perda a resistência à compressão quando comparado ao modelo base de 0%.

Nos resultados dos ensaios em estado endurecido a adição de OG proporcionou a diminuição do módulo de elasticidade para as amostras de 0,05% e 0,15% de 8,8% e 38,3% respectivamente, indicando uma queda na capacidade de deformação elástica.

Comparando os traços 0,05% e 0,05%\_N, vemos que houve uma perda significativa, tanto no ensaio a compressão, quanto no módulo de elasticidade dinâmico, de respectivamente de 26,67% e 16,37%

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistência a compressão e módulo de elasticidade dinâmico

	0%	0,05%	0,05%_N	0,15%
Tensão de ruptura (MPa)	38,8	39,3	28,8	25,2
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	30,8	28,1	23,5	19,0

Fonte: Autoria própria (2022)

## Conclusões

Quanto ao objetivo proposto inicialmente pode se afirmar que foi possível analisar a adição de óxido de grafeno (OG) como elemento aditivo em argamassas autoadensáveis (AAAs), bem como suas características mecânicas.

Nos ensaios no estado fresco, a adição de OG resultou em: na redução da massa específica de 4,5% e 7,7%, para os traços OG\_0,05 e OG\_0,15 respectivamente. Ligeiras modificações nas propriedades de espalhamento, onde o ensaio de mini slump obteve uma redução de 1,2% (OG\_0,05) e 2% (OG\_0,15) nos traços, e no ensaio de espalhamento, no qual os resultados do teste do funil-V obtemos resultados divergentes do esperado. Os valores encontrados para o índice de vazios estão próximos a 1%, enquanto a porcentagem do teor de ar incorporado a argamassa apresentou resultados negativos e sem padrão definido.

Nos resultados dos ensaios em estado endurecido a adição de OG proporcionou a diminuição do módulo de elasticidade para as amostras de 0,05% e 0,15% de 8,8% e 38,3% respectivamente, indicando uma queda na capacidade de deformação elástica. Para a tensão de ruptura, a amostra de 0,05% ganhou um aumento de resistência de 1,3%, enquanto a amostra de 0,15% perdeu 35% de sua resistência a compressão.

Comparando os traços 0,05% e 0,05%\_N, vemos que houve uma perda significativa, tanto no ensaio a compressão, quanto no módulo de elasticidade dinâmico. Essa perda de resistência pode ser explicada pela relação água/cimento, que resultou na alta segregação das partículas no traço.

Por meio dos resultados e das análises da literatura, houve divergências nos resultados encontrados nas porcentagens de OG incorporadas na argamassa. Esperava-se em aumento significativo com relação ao ensaio de compressão para os dois teores adicionados. Contudo, o que observamos foi um pequeno aumento na compressão para o traço com porcentagem de OG de 0,05%, em que a expectativa era um aumento mais acentuado próximo a 18%. Para o traço de 0,15% de OG, houve uma queda significativa com relação a resistência a compressão, divergindo dos resultados observados por Polverino et al. (2022), que sugerem uma porcentagem ótima de OG entre 0,05% e 0,15%.

Para estudos posteriores sugere-se investigar outros teores, com a finalidade de identificar o teor ótimo que permita melhorar as propriedades mecânicas da argamassa. Sugere-se também a investigação mecânica com relação as propriedades de flexão e tração.

### Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI por mais uma oportunidade e pelo financiamento da bolsa PIBIC

### Referências

ALCANTARA, MARCO ANTÔNIO DE MORAIS; DE MELLO, ANNA BEATRIZ ALVES; DE ALBUQUERQUE, MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA. The potential influence of rice husk ash in self compacting mortar: Cases of mechanical strength and water absorption. *Revista Materia*, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/188286>

BABAK, F et al. Preparation and mechanical properties of graphene oxide: Cement nanocomposites. *The Scientific World Journal*, cited By 162, v. 2014, 2014. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84893853955&doi=10.1155%2F2014%2F276323&partnerID=40&md5=0923f9408e3652012682a4091e9fbc2>.

CHINTALAPUDI, K; PANNEM, R M R. Enhanced chemical resistance to sulphuric acid attack by reinforcing Graphene Oxide in Ordinary and Portland Pozzolana cement mortars. *Case Studies in Construction Materials*, cited By 0, v. 17, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137179385&doi=10.1016%2Fj.cscm.2022.e01452&partnerID=40&md5=92b6d1b9cfc9542d08c774cbe1c40985>.

GOMES, Paulo; BARROS, Alexandre. Método de dosagem de concreto autoadensável. 1ª edição. São Paulo: Pini, 2009

JANJAROEN, T et al. The Mechanical and Thermal Properties of Cement CAST Mortar/Graphene Oxide Composites Materials. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, cited By 1, v. 16, n. 1, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85133524713&doi=10.1186%2Fs40069-022-00521-z&partnerID=40&md5=ded3d5569ed4718cba49fb1ae20cc13c>.

LIU, S et al. Efficient Use of Graphene Oxide in Layered Cement Mortar. *Materials*, cited By 1, v. 15, n. 6, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85127039636&doi=10.3390%2Fma15062181&partnerID=40&md5=5eb6c52836279618be66f496450dde01>.

OLIVEIRA, Vinícius. Uso de iodo de tratamento de água do decantador em compósitos cimentícios, 2021.

POLVERINO, S et al. Few-Layers Graphene-Based Cement Mortars: Production Process and Mechanical Properties. *Sustainability (Switzerland)*, cited By 0, v. 14, n. 2, 2022.

Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85122743100&doi=10.3390%2Fsu14020784&partnerID=40&md5=7a57042f615d26db5e29c3f4b6cfd11>.

RAFAEL APARECIDO RODRIGUES DOS, S.; VINICIUS MARCELINO, B.; VICTOR HUGO, T. Nanociência na Engenharia civil: um estudo exploratório do grafeno na construção civil. *Revista Tecnológica da UniFatec-PR*, [S. l.], v. 3, n. Edição Especial, 2021. Disponível em: <http://chamadosfatecpr.com.br/revista/index.php/fatec/article/view/51>. Acesso em: 16 set. 2022.

SIQUEIRA, THAÍS PINTO LÔBO et al. Adição de finos de rocha granítica e seus efeitos nas propriedades de argamassas autoadensáveis. *Ambiente Construído [online]*. 2020, v. 20, n. 3 [Acessado 17 Setembro 2022], pp. 451-466. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300439>. Epub 03 Jul 2020. ISSN 1678-8621. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300439>.

URCUYO, Roberto; GONZALEZ-FLORES, Diego; CORDERO-SOLANO, Karla. Perspectivas y aplicaciones reales del grafeno después de 16 años de su descubrimiento. *Rev.Colomb.Quim.*, Bogotá, v. 50, n. 1, p. 51-85, Apr. 2021. Available from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28042021000100051&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042021000100051&lng=en&nrm=iso). access on 10 Nov. 2022. Epub Apr 14, 2021. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.90134>.

VIEIRA SEGUNDO, J.; VILAR, E.. Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, América do Sul, 11 27 03 2017.

ABNT NBR 9778, Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005, pp. 1–3.

ABNT NBR 16605, Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017, pp. 1–8.

ABNT NBR 5739, Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2015, pp. 1-13.