XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8985

Comparação dos efeitos da aplicação de 0,02% de óxido de grafeno rico em epóxi e rico em carbonila em concreto de classe C35

Comparison of the effects of applying 0.02% epoxy-rich and carbonyl-rich graphene oxide in C35 class concrete

João Victor de Assis Ferreira
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | joao.assis@estudante.ufjf.br
Daniela Purgatto Marques
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | danielapurgatto.marques@estudante.ufjf.br
Aldo Ribeiro de Carvalho
UFOP | Ouro Preto | Brasil | aldorcarvalho@outlook.com
Marcela Martins Carrara
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | marcelamartinscarrara@gmail.com
Marina Costa Totti
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | marinatotti26@gmail.com
Welber Gianini Quirino
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | wgquirino@ufjf.br
Thaís Mayra de Oliveira
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | thais.mayra@ufjf.br

Resumo

O óxido de grafeno (GO) confere melhor desempenho aos materiais cimentícios, porém são escassos os estudos que comparam a influência de diferentes grupos funcionais nas propriedades do concreto. Esse estudo avalia a incorporação de 0,02% de óxido de grafeno rico em epóxi (EGO) e rico em carbonila (CGO) em concretos C35. Foram analisadas absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulos de elasticidade. Os resultados mostraram que o concreto com 0,02% de CGO obteve os melhores resultados de resistência à compressão e tração, enquanto o EGO apresentou aumento da porosidade e redução da resistência à tração. Assim, o estudo evidencia o potencial do CGO como adição promissora para concretos cimentícios.

Palavras-chave: Grafeno. Nanotecnologia. Propriedades mecânicas. Concreto.

Abstract

Graphene oxide (GO) provides better performance to cementitious materials, however studies comparing the influence of different functional groups on the properties of concrete are still scarce. This study evaluates the incorporation of 0.02% epoxy-rich graphene oxide (EGO) and carbonyl-rich graphene oxide (CGO) on C35 concrete. Water absorption, void ratio, specific density, axial compressive strength, splitting tensile strength, and elastic modulus were analyzed. The results showed that the concrete containing 0.02% CGO achieved the best compressive and tensile strength results, while EGO led to increased porosity and reduced tensile strength. Therefore, the study highlights the potential of CGO as a promising addition for cementitious concrete.

Keywords: Graphene. Nanotechnology. Mechanical properties. Concrete.

FERREIRA, J. V. A.; MARQUES, D. P.; CARVALHO, A. R.; CARRARA, M. M.; TOTTI, M. C.; QUIRINO, W. G.; OLIVEIRA, T.M. Comparação dos efeitos da aplicação de 0,02% de óxido de grafeno rico em epóxi e rico em carbonila em concreto de classe C35. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8985

INTRODUÇÃO

São diversas as tecnologias que buscam aperfeiçoar as propriedades do concreto que vão desde o uso de materiais residuais como resíduos de construção e demolição, cerâmica vermelha [1], pó de mármore [2], até incorporação de nanomateriais matrizes cimentícias [3]. Esta última solução tem sido amplamente estudada na construção civil devido a aparente melhora conferida por esses materiais ultra-finos. Segundo Hu et al. [4], o uso de óxidos de grafeno (GO) como adição sistemas cimentícios tem mostrado um aumento significativo na performance estrutural de argamassas e pasta de cimento quando adotadas dosagens apropriadas do nanomaterial. Apesar de limitados estudos sobre o uso de GO em concretos [4], é notório que o compósito também apresenta melhora de propriedades mecânicas e microestruturais com a adição de pequenas concentrações de GO, como demonstrado por Benavente [5] .

Chuah et al. [6] e Li et al. [7] destacam o uso de GO pelos grupos funcionais ligados às cadeias de carbono e sua afinidade a matrizes cimentícias. Dessa forma, o óxido de grafeno rico em epóxi (EGO) foi mais difundido na literatura. Outras variedades de óxido de grafeno também têm sido investigadas, como o óxido de grafeno rico em carbonila (CGO), desenvolvido pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Carvalho et al. [8] avaliaram a incorporação desse nanomaterial em concretos de classe C35 e observaram aumento de 33,2% na resistência à compressão em temperatura ambiente, além de maior durabilidade frente à carbonatação.

Em seus estudos, Carvalho et al. [8] identificaram a dosagem de 0,02% como a de melhor desempenho global dentre as dosagens avaliadas para a adoção de CGO em matrizes cimentícias. Até o momento não foi verificado estudos na literatura que façam a comparação entre concretos de classe C35 com adição de 0.02% de CGO e 0.02% de EGO. Assim, o presente estudo tem como objetivo sanar essa lacuna da literatura e verificar as diferenças ocorrida nas propriedades físicas e mecânicas dos concretos com adição de 0,02% de CGO e 0,02% de EGO.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Conforme o procedimento descrito por Carvalho et al. [8], e visando assegurar a comparação adequada entre os resultados obtidos, foi empregado o cimento Portland CP V-ARI Plus, produzido pela Holcim do Brasil S.A. O agregado miúdo utilizado consistiu em areia natural oriunda do Rio Preto, em Minas Gerais, enquanto o agregado graúdo correspondeu à brita 0 fornecida pela empresa Pedra Sul Mineração. As propriedades físicas e granulométricas desses materiais estão apresentadas de forma detalhada em [8].

Com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade da mistura cimentícia, utilizou-se um aditivo superplastificante. Neste trabalho, foi adotado o aditivo ViscoCrete-3535 CB,

fabricado pela Sika S.A., em conformidade com o estudo de referência [8], devido à sua compatibilidade comprovada com o cimento CP V-ARI Plus da Holcim, conforme indicado em sua ficha técnica. Para a produção das misturas, empregou-se água potável proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Juiz de Fora – MG.

ÓXIDO DE GRAFENO RICO EM GRUPOS CARBONILA (CGO)

O óxido de grafeno rico em carbonila é um nanomaterial desenvolvido pelo Grupo Nano do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora, obtido por meio de uma modificação do método de Hummers, conforme descrito por [9] e [10]. A síntese desse material é resultante de um processo de oxidação em duas etapas, que inclui uma fase de oxidação prolongada seguida por uma segunda etapa destinada a intensificar a quebra das ligações duplas C=C e favorecer a formação de grupos funcionais carbonila.

A síntese diferenciada do CGO promove uma distribuição específica de grupos oxigenados, sendo os grupos carbonila predominantes em relação a outros, conforme apresentado por análises realizadas por espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS).

Assim, o CGO foi incorporado ao concreto por meio de sua dispersão em água na concentração de 5 mg/mL, sendo o volume de água utilizado nessa etapa considerado no processo de moldagem dos corpos de prova, de modo a não alterar a relação água/cimento adotada no estudo. Dessa forma, os grupos funcionais carbonila presentes no CGO conferem ao material maior caráter hidrofílico, facilitando sua dispersão em meio aquoso [8].

ÓXIDO DE GRAFENO RICO EM GRUPOS EPÓXI (EGO)

O óxido de grafeno rico em epóxi é um nanomaterial composto por uma cadeia de carbono contendo grupos oxigenados ligados à cadeia principal. O material também foi sintetizado pelo Grupo Nano do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora e fornecido para a moldagem dos corpos de prova para estudo.

Diferentemente do CGO, o processo de síntese do EGO não inclui a etapa adicional de oxidação empregada para intensificar a formação de grupos carbonila, resultando na predominância de grupos epóxi na superfície do material.

A incorporação do EGO ao concreto foi realizada a partir da sua dispersão em água na concentração de 5 mg/mL. O volume de água utilizado para a dispersão foi considerado na água de abatimento do traço avaliado, a fim de não provocar alterações no fator água/cimento.

MÉTODOS

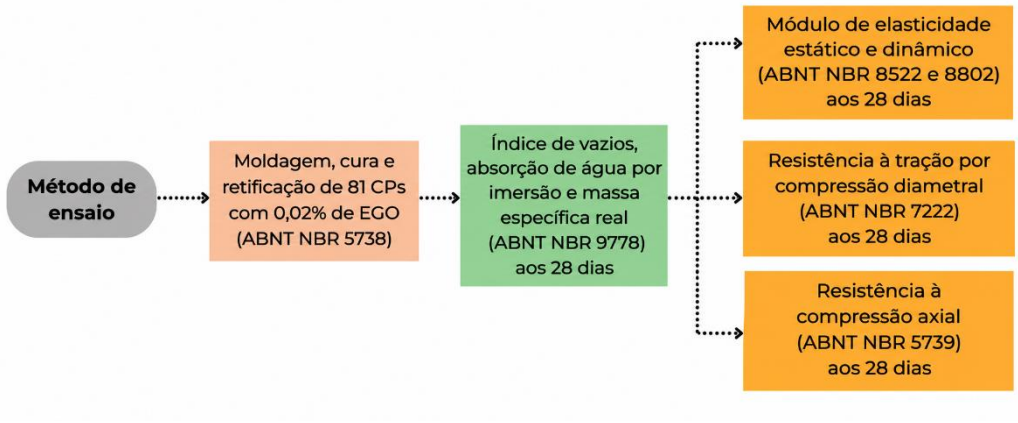
Foram moldados 81 corpos de prova cilíndricos de 50mm *x* 100mm, que foram submetidos a ensaios de caracterização física não destrutivos e caracterização mecânica destrutivos. A moldagem foi dada segundo o traço apresentado na Tabela 1. A Figura 1 ilustra, resumidamente, os métodos adotados no processo investigativo.

Tabela 1: Traço utilizado na confecção do concreto

Cimento	Areia Natural	Brita 0 (4,75 a 12,5mm)	Fator água/cimento	Aditivo superplastificante (%)	Cimento (kg/m³)	EGO (%)
1	2,577	3,047	0,52	0,35	340	0,02

Fonte: Autores (2026)

Figura 1: Processo metodológico para os ensaios adotados



Fonte: Autores (2026)

RESULTADOS

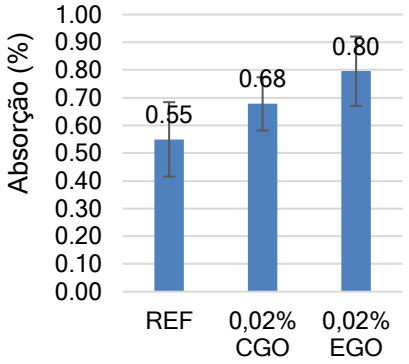
ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO E MASSA ESPECÍFICA REAL

As propriedades físicas relacionadas à porosidade, como massa específica, absorção de água e índice de vazios são apresentadas na Figura 1. Nota-se que o concreto de referência apresentou uma taxa de absorção de água média de 0,55% e índice de vazios de 1,30%, enquanto os concretos com CGO e EGO apresentaram absorções de 0,68% e 0,80%, respectivamente, além de índices de vazios de 1,56% para o CGO e 1,90% para o EGO. Com isso, pode-se observar que essas duas propriedades aumentam com o uso dos nanomateriais, indicando que são materiais mais porosos. Essa análise é corroborada ao verificar os resultados obtidos para massa específica média. O concreto de referência apresentou massa específica de 2,47 g/cm³, enquanto os demais concretos com nanomateriais demonstraram valores próximos a 2,44

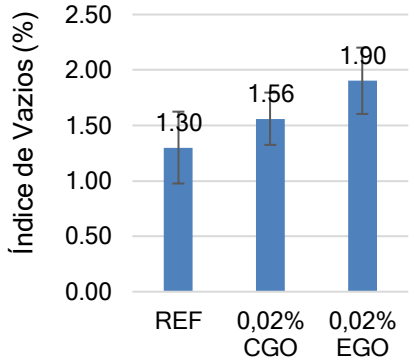
g/cm³, portanto menos densos e mais porosos que o concreto sem adição de óxido de grafeno.

Figura 1: Propriedades físicas do concreto

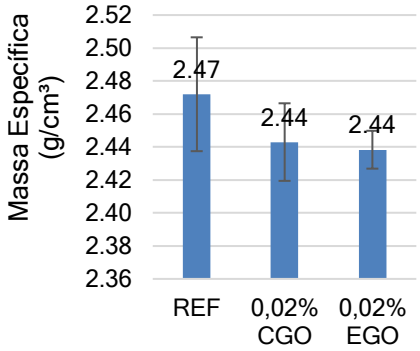
a) Valores médios de Absorção



b) Valores médios de Índice de Vazios



c) Valores médios de Massa Específica



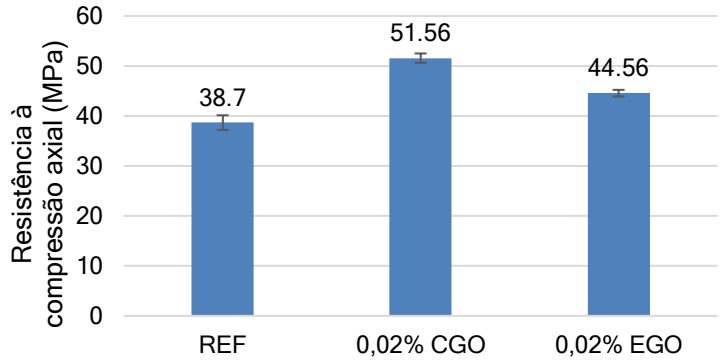
Fonte: Autores (2026)

O aumento de porosidade e vazios nos concretos com EGO e CGO pode estar relacionado à formação de poros interconectados e possíveis aglomerações do nanomaterial na matriz, reduzindo a compacidade do concreto e favorecendo a percolação de água. Segundo Liu et al. [7] , a incorporação de óxido de grafeno pode alterar significativamente a estrutura porosa do concreto, aumentando o número de microporos. Quando ocorre dispersão adequada, esses poros tendem a apresentar menores dimensões, contribuindo para o refinamento microestrutural [7].

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão axial é apresentado na Figura 2. A incorporação de 0,02% de CGO promoveu o melhor desempenho mecânico entre as amostras avaliadas, atingindo resistência média de 51,56 MPa, enquanto o concreto de referência apresentou 38,70 MPa e o concreto com 0,02% de EGO alcançou 44,56 MPa.

Figura 2: Resistência à compressão



Fonte: Autores (2026)

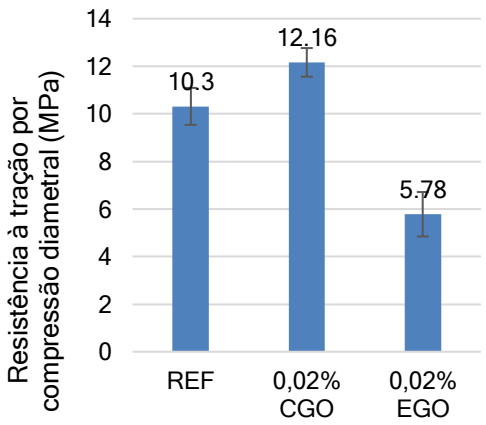
Os resultados demonstram que ambos os nanomateriais proporcionaram incremento de resistência em relação ao concreto de referência. Entretanto, o CGO apresentou desempenho significativamente superior, promovendo um aumento aproximado de 33,2% em relação ao traço REF, enquanto o EGO resultou em um ganho de aproximadamente 15,1%.

Esse comportamento pode estar associado à elevada afinidade química do CGO com os produtos de hidratação do cimento, especialmente em razão da predominância de grupos carbonila em sua estrutura, conforme discutido por Carvalho et al. [8]. Esses grupos funcionais favorecem a nucleação de produtos hidratados e contribuem para o refinamento da microestrutura cimentícia [8]. Por outro lado, embora o EGO também tenha promovido melhoria mecânica em relação ao concreto convencional, o menor desempenho sugere que sua interação com a matriz cimentícia ocorre de maneira menos eficiente.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMENTRAL

Os resultados de resistência à tração, apresentados na Figura 3 denota um comportamento semelhante ao observado na compressão axial. O concreto com 0,02% de CGO atingiu resistência média de 12,16 MPa, superando tanto o concreto REF, com 10,30 Mpa e o concreto com EGO, que apresentou 5,78 MPa.

Figura 3: Resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Autores (2026)

Os resultados demonstram que a incorporação de CGO promoveu aumento aproximado de 18,1% na resistência à tração em relação ao concreto de referência, enquanto o EGO apresentou redução significativa de aproximadamente 43,9% quando comparado ao REF. Esse comportamento evidencia que o desempenho do concreto à tração é altamente sensível à qualidade da dispersão do nanomaterial e à integridade da microestrutura formada [8].

Diferentemente do observado para compressão axial, o concreto com EGO apresentou desempenho inferior ao concreto de referência, indicando que sua incorporação pode ter favorecido a formação de regiões de descontinuidade na matriz cimentícia, prejudicando a transferência de tensões de tração. Liu et al. [7] destacam que alterações na estrutura porosa do concreto podem favorecer o surgimento de microfissuras e aumentar a conectividade entre vazios internos, reduzindo a resistência à tração do material, o que pode justificar o comportamento dos concretos com EGO.

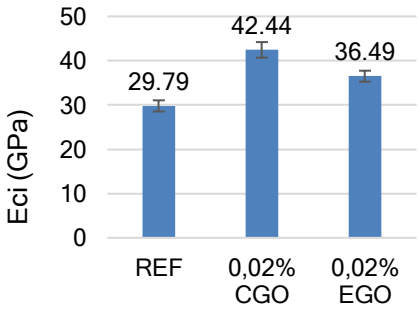
Nesse aspecto, o uso de EGO deve ser avaliado com cautela por se tratar de um material com processo produtivo mais oneroso e que demanda mão de obra especializada. Além disso, a aplicação dessa concentração do nanomaterial revelou que pode haver prejuízo na resistência à tração do concreto, propriedade que já é caracteristicamente inferior nesse tipo de material. Essa preocupação, entretanto, não se aplica ao uso do CGO, que, tanto no presente estudo quanto em outros trabalhos, apresentou benefícios às propriedades físicas e microestruturais do concreto [8] [11] [12] [13].

MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO

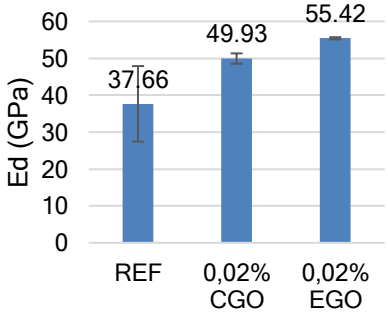
A Figura 4 apresenta os módulos de elasticidade dos concretos desenvolvidos. Nota-se um aumento significativo tanto do módulo de elasticidade estático (Eci) quanto do dinâmico (Ed) para os concretos com incorporação de nanomateriais em relação ao concreto de referência. Para o módulo de elasticidade dinâmico, o concreto REF apresentou valor médio de 37,66 GPa, enquanto os concretos com 0,02% de CGO e 0,02% de EGO atingiram 49,93 GPa e 55,42 GPa, respectivamente. Por sua vez, no módulo de elasticidade estático, os valores médios obtidos foram de 29,79 GPa para o REF, 42,44 GPa para o concreto com CGO e 36,49 GPa para o concreto com EGO.

Figura 4: Módulo de Elasticidade

a) Valores médios para o Módulo de Elasticidade Estático



b) Valores médios para o Módulo de Elasticidade Dinâmico



Fonte: Autores (2026)

Esses resultados indicam que a incorporação dos nanomateriais promoveu aumento da rigidez da matriz cimentícia, especialmente para o concreto com CGO no módulo estático e para o concreto com EGO no módulo dinâmico. Segundo Chuah et al. [6], Carvalho et al. [8] e Motta ela t. [3], nanomateriais à base de grafeno atuam como pontos de nucleação dos produtos de hidratação do cimento, favorecendo o refinamento da microestrutura e contribuindo para o aumento da rigidez do concreto.

O elevado módulo de elasticidade estático observado para o concreto com CGO sugere melhor interação entre o nanomaterial e os produtos hidratados do cimento, promovendo maior densificação da matriz cimentícia e melhor transferência interna de tensões. Esse comportamento também foi observado por Carvalho et al. [8], que verificaram melhora significativa das propriedades mecânicas para concentrações próximas de 0,02% de CGO, associando esse desempenho à predominância de grupos carbonila presentes no nanomaterial.

Embora o concreto contendo EGO tenha apresentado módulo de elasticidade estático inferior ao observado para o concreto com CGO, os resultados de módulo dinâmico mostraram-se superiores em todas as amostras analisadas. Ainda assim, ao se considerar conjuntamente os parâmetros avaliados, verifica-se que o CGO proporcionou um comportamento mais equilibrado entre os módulos estático e dinâmico, além de apresentar os melhores desempenhos mecânicos nos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral. Nesse contexto, tais resultados sugerem maior eficiência do CGO no refinamento da microestrutura e na densificação da matriz cimentícia do concreto C35, contribuindo de forma mais consistente para o desempenho global do material.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalhou alcançou seus objetivos ao avaliar e comparar as propriedades físicas e mecânicas de concretos com adição de óxido de grafeno tipo EGO (com ramificações go grupo epóxi) e tipo CGO (com ramificações de carbonila) na concentração de 0,02%. Ao analisar todas as propriedades, o CGO apresentou desempenho mais eficiente e equilibrado, sendo tido como concentração ótima [8], principalmente em propriedades relacionadas à resistência mecânica e ao refinamento da matriz cimentícia.

Entre os principais resultados, tem-se:

- O concreto com 0,02% de CGO apresentou 51,56 MPa de resistência à compressão axial e 12,16 MPa de resistência à tração por compressão diametral.
- O concreto com 0,02% EGO apresentou ganho de resistência à compressão axial em relação ao REF, porém apresentou redução significativa na resistência à tração por compressão diametral.
- Os resultados de absorção de água e índice de vazios indicaram aumento da porosidade para os concretos com nanomateriais, especialmente para o EGO, alcançando 0,80% para absorção de água e 1,90% para índice de vazios.

- O concreto com CGO apresentou comportamento mais equilibrado entre módulo de elasticidade estático e dinâmico, indicando maior eficiência no refinamento e densificação da matriz cimentícia. O EGO, por sua vez, ocasionou efeitos indesejados nas matrizes de concreto, com aumentos de propriedades pouco expressivos, ou com desempenho inferior ao concreto que não houve incorporação de nanomaterial.

Os resultados alcançados reforçam o potencial do CGO para aplicação em concretos cimentícios em detrimento do uso do EGO, destacando a importância da adequada dispersão e da natureza química dos grupos funcionais presentes no nanomaterial. Recomenda-se para pesquisas futuras a realização de análises microestruturais complementares, visando compreender de forma mais aprofundada os mecanismos de interação entre os nanomateriais e a matriz cimentícia e explicar com mais detalhes a variações observadas quanto a porosidade do compósito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) pela disponibilidade de laboratórios e materiais para pesquisa, em especial LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da UFJF), Grupo de Nanociência e Nanotecnologia da UFJF e Laboratório Multiusuário de Microscopia da UFJF. Ademais, gostaríamos de reconhecer as instituições que ajudaram no financiamento da pesquisa: CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), bolsa de doutorado aferida a Aldo Ribeiro de Carvalho, código 001; e FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), creditada a Thaís Oliveira, código APQ-01904-22 .

DECLARAÇÃO

Durante a confecção deste artigo os autores utilizaram o ChatGPT para verificação e aperfeiçoamento gramatical. Após a utilização da(s) ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. R. d. Carvalho, M. M. Carrara, G. d. S. Pacífico, B. L. S. d. Barros, L. Caldeira e T. M. d. Oliveira, "Effects of red ceramic waste on the thermomechanical properties of concrete and its life cycle assessment," *Materials and Structures,* pp. DOI: https://doi.org/10.1617/s11527-025-02880-x, 2026.

[2] A. R. d. Carvalho, G. d. S. Júnior, W. C. Fontes, G. J. B. Silva, L. G. Pedroti e T. M. d. Oliveira, "Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados," *Ambiente Construído,* pp. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000400700, Oct-Dec 2023.

[3] E. F. B. Motta, A. R. d. Carvalho, J. G. D. Barra, I. O. Maciel e T. M. d. Oliveira, "Thermomechanical behavior of concretes with addition of non-functionalized and functionalized carbon nanotubes," *Journal of Building Engineering,* 1 November 2024.

[4] Z.-Y. Hu, Y. Wan, Y.-J. Duan, Y.-H. Shi, C.-P. Gu, R. Ma, J.-J. Dong e D. Cui, "A Review of the Impact of Graphene Oxide on Cement Composites," *Nanomaterials,* vol. 15, nº 3, Janeiro 2025.

[5] C. Benavente, A. Romero, J. Napa, A. Sanabria, Y. Landivar, L. L. Borda, P. Pezo, A. Muñiz e M. Muñiz, "The Influence of Graphene Oxide on the Performance of Concrete: A Quantitative Analysis of Mechanical and Microstructural Properties," *Buildings,* vol. 15, nº 7, 03 2025.

[6] S. Chuah, Z. Pan, J. G. Sanjayan, C. M. Wang e W. Duan, "Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide," *Construction and Building Materials,* 30 Dezembro 2014.

[7] C. Liu, X. Hunag, Y.-Y. Wu, X. Deng, Z. Zheng e B. Yang, "Studies on mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete incorporating graphene oxide," *Cement and Concrete Composites,* July 2022.

[8] A. R. d. Carvalho, M. M. Carrara, G. d. S. Pacífico, N. P. Rosa, L. L. Leal, M. C. Totti, N. C. Vicentini, A. H. d. Lima, W. G. Quirino e T. M. d. Oliveira, "Evaluation of mechanical properties and determination of the optimal concentration of a new carbonyl-rich graphene oxide in cementitious composites," *Case Studies in Construction Materials,* dezembro 2025.

[9] A. H. d. Lima, C. T. Tavares, C. C. S. d. Cunha, N. C. Vicentini, G. R. Carvalho, B. Fragneaud, I. O. Maciel, C. Legnani, W. G. Quirino, L. F. C. d. Oliveira, F. Sato e J. P. A. d. Almeida, "Origin of optical bandgap fluctuations in graphene oxide," *The European Physical Journal B,* 10 Junho 2020.

[10] A. L. J. Mendonça, M. Duarte, F. Stavale, C. Legnani, G. D. Carvalho, I. O. Maciel, F. Sato, B. Fragneaud e W. G. Quirino, "Reduced graphene oxide prepared at low temperature thermal," *Organic Electronics,* Outubro 2017.

[11] N. P. Rosa, M. M. Carrara, G. d. S. Pacífico, A. R. d. Carvalho, M. C. Totti, W. G. Quirino e T. M. d. Oliveira, "Influência da incorporação de óxido de grafeno rico em carbonila nas propriedades mecânicas do concreto," em *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20*, Maceió, 2024.

[12] M. M. Carrara, A. R. d. Carvalho, G. d. S. Pacífico, M. C. Totti, W. G. Quirino e T. M. d. Oliveira, “Avaliação termomecânica de concretos classe C35 com incorporação de óxido de grafeno rico em carbonila,” em *Congresso Brasileiro do Concreto*, Curitiba, 2025.

[13] A. R. d. Carvalho, J. A. d. Castro, V. F. Mendes, T. M. d. Oliveira, G. J. B. Silva e J. C. Mendes, “Perspectiva dos estudos brasileiros quanto ao óxido de grafeno em matrizes de cimento Portland e geopoliméricas,” em *Encontro Latino-Americano E Europeu Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis (euroELECS)*, Salvador, 2023.