



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Propriedades físicas e mecânicas de concreto com adição de nanopartículas

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH ADDITION OF NANOPARTICLES

Gabriel Ximenes*, Rozane de Fátima Turchiello[†],
José Carlos Alves Galvão[‡], Vinícius Mariani Lenart[§]

RESUMO

Anualmente, o concreto é o segundo material mais consumido no planeta. Isso se dá por sua grande praticidade, plasticidade e resistência. No entanto, esse grande volume de produção traz consigo grandes impactos ambientais, sociais e econômicos. Por isso, fazem-se necessários esforços para aumentar ainda mais sua utilidade e durabilidade. Uma opção é o campo do nanoconcreto, grande foco de estudo nas últimas décadas. Este se trata da adição de compostos na escala nanométrica na matriz do concreto, incrementando suas propriedades. Entre as várias alternativas, uma se destaca: o óxido de grafeno (GO), por seu baixo custo relativo de produção e excelentes propriedades mecânicas. Por isso, esse estudo buscou sintetizar e analisar este nanomaterial no concreto por meio de testes de compressão. Após a síntese, o composto foi caracterizado, confirmando o sucesso do processo de produção do GO. Além disso, os resultados dos ensaios foram promissores, mesmo com a proporcionalmente baixa quantidade de óxido de grafeno utilizada.

Palavras-chave: Materiais nanoestruturados controlados, concreto, óxido de grafeno, nanopartículas.

ABSTRACT

Every year, concrete is the second most consumed material on the planet. This is due to its great practicality, plasticity and resistance. However, this large production volume brings with it great environmental, social and economic impacts. Therefore, efforts are needed to further increase its usefulness and durability. One option is the field of nanoconcrete, a major focus of study in recent decades. This is the addition of compounds at the nanometric scale into the concrete matrix, increasing its capabilities. Among the various alternatives, one stands out: graphene oxide (GO), for its relatively low production cost and excellent mechanical properties. Therefore, this study sought to synthesize and analyze this nanomaterial in concrete through compression tests. After synthesis, the compound was characterized, confirming the success of the GO production process. Furthermore, the test results were promising, even with the proportionally low amount of graphene oxide used.

Keywords: Nanostructure controlled materials, concrete, graphene oxide, nanoparticles

* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; ximenes@alunos.utfpr.edu.br

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa; turchiel@utfpr.edu.br

[‡] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; galvao@utfpr.edu.br

[§] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; vmilenart@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

O concreto, definido como uma mistura de água, cimento e agregados, é uma peça chave da sociedade atual como a conhecemos, sendo, anualmente, o segundo recurso mais consumido pela humanidade (PEDROSO, 2009). Isso se dá pelo fato de possuir aplicações variadas na construção civil por conta de sua praticidade, plasticidade e também resistência. Por outro lado, apesar de sua versatilidade, a obtenção e utilização deste material traz consigo um custo econômico, ambiental e, por vezes, social.

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico o qual, na maioria dos casos, é responsável por parte das características do concreto. Patenteado em 1824 por Joseph Aspdin, mas só produzido em 1850 por Isaac Charles Johnson de uma forma mais próxima à comum nos dias de hoje (MASON & LEA, 2021), este método de produção de cimento se espalhou rapidamente, principalmente auxiliando nações em suas reconstruções após a 2ª Guerra Mundial. A produção mundial de cimento, de 1950 a 2017, aumentou mais de 30 vezes, e de 1990 a 2017, aumentou quase 4 vezes (ANDREW, 2018). No entanto, este crescimento não é sem impactos negativos.

As diferentes etapas do processo de produção do cimento Portland possuem grandes efeitos ambientais e energéticos, desde a mineração de sua matéria-prima, que causa poluição atmosférica na forma de poeira, até o processo de clínquerização de tais materiais, o qual consome grandes quantidades de energia e tem como subprodutos quantidades enormes de CO₂. Globalmente, somente esta última etapa equivale a 90% das emissões globais de dióxido de carbono que transcorrem na produção de cimento. Além disso, o processo de produção deste material em sua totalidade foi em 2016 responsável por 8% do total mundial (RODGERS, 2018) de emissão de CO₂.

Dado o alto custo ambiental e econômico da produção do cimento, é de se almejar que as características do concreto possam ser aproveitadas ao máximo. No entanto, em seu estado mais comumente utilizado, o concreto apresenta diversas áreas com espaço para melhorias. Como então melhorar tais características do concreto, obtendo dele maior rendimento e durabilidade, sem causar uma alteração negativa significativa no custo e praticidade do mesmo?

Uma das maneiras de tornar isso possível é por meio da adição de determinados compostos em escala nanométrica à matriz cimentícia. Estes compostos possuem ao menos uma de suas dimensões na escala nanométrica e uma alta relação entre área superficial de contato e volume. Isso diminui o espaço vazio entre as partículas de cimento e deste agregado na matriz do concreto, levando a um empacotamento matricial mais denso, o que melhora suas propriedades físicas (SARAVANAN & SIRAVAJA, 2016). O produto dessa mistura entre cimento e agregados em escala nanométrica é o chamado “nanoconcreto”. Com essas adições, dependendo do nanomaterial escolhido, pode-se observar melhorias não somente na resistência mecânica e elasticidade da amostra, como também na corrosão do aço utilizado em concreto reforçado (DU et al., 2019) e até melhorias na condutividade termoelétrica.

Possíveis nanomateriais candidatos têm sido estudados nos últimos anos, cada um com suas respectivas vantagens. Por exemplo, amostras com nanopartículas metálicas de magnetita demonstraram aumento em sua resistência a compressão e melhor desempenho em testes de resistência térmica, além de outros benefícios (HORSZCZARUK, 2019). O cobre também se mostrou um candidato interessante, proporcionando aumento em testes de condutividade térmica e elétrica (XIMENES et al., 2020). O nanoconcreto com alumina apresentou um incremento na força compressiva do concreto (SILAMBARASAN & ASHA, 2020), e com fibra de aço e pó de grafite demonstrou condutividade elétrica (CORDON et al., 2020). As possibilidades são variadas, e vão além de somente metais. Nanoconcretos com adição de grafite (CAO & CHUNG, 2003) e

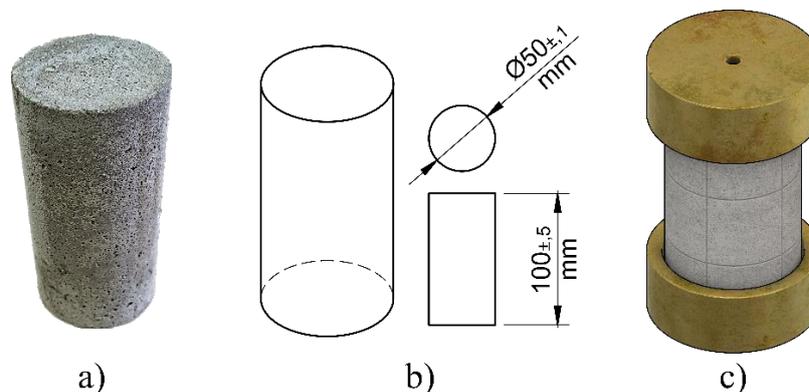
nanosilica (SHAHROKHINASAB et al., 2021) já foram estudados e definidos como alternativas promissoras. Um nanomaterial que possui destaque por repetidamente demonstrar versatilidade é o óxido de grafeno.

O objetivo deste trabalho é enumerar e constatar as vantagens do óxido de grafeno diante de outras alternativas, sintetizar e caracterizar este nanomaterial, e utilizá-lo na confecção de amostras de nanoconcreto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova de concreto foram analisados de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2018. Foram produzidas 4 amostras com adição de porcentagens crescentes de óxido de grafeno indo de 0 a 0,005% de massa de GO com incremento de 0,00125%. A figura 2a apresenta uma amostra típica com as dimensões (Fig. 2b) e suportes (Fig. 2c) para o ensaio de compressão realizado em uma máquina universal de ensaios (EMIC, DL10000).

Figura 2 –a) Típica amostra de concreto com dimensões em b). c) Amostra com pratos de contato utilizados nos testes de resistência mecânica.



Fonte: autoria própria

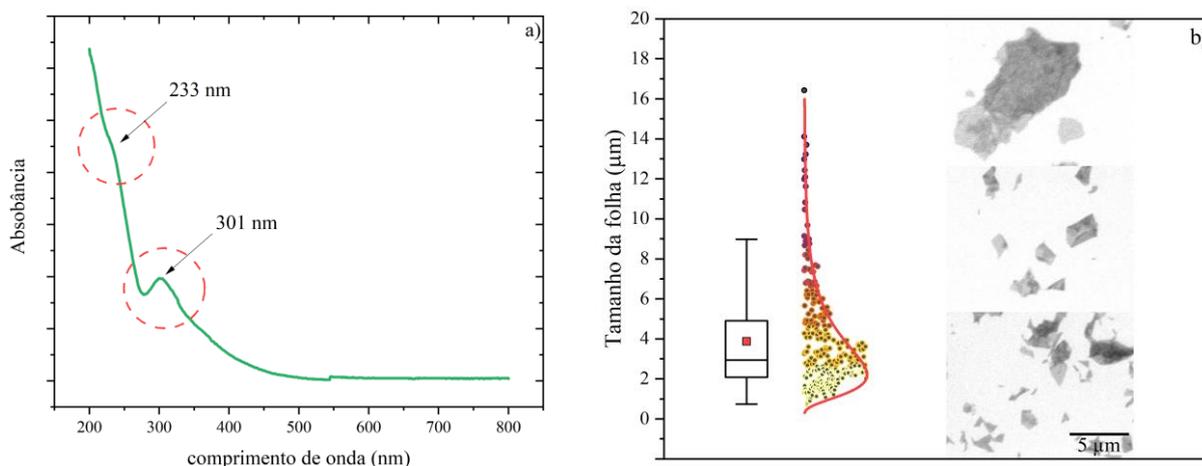
O óxido de grafeno foi sintetizado a partir do grafite em pó, e adicionado a amostras de concreto. O método utilizado para a síntese foi baseado no de Hummers e Offeman (HUMMERS; OFFEMAN, 1958). Na caracterização foi utilizado MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura (Tescan, Vega 3) para dimensionar e averiguar a forma das folhas, e foram mensuradas as assinaturas no espectro de absorção de luz UV-Visível (FEMTO, 800 XI).

3 RESULTADOS

A figura 3a apresenta o espectro UV-Vis do GO. Podemos verificar a presença de duas bandas características: uma em 233 nm, relacionada à transição $\pi-\pi^*$ de ligações C-C dos anéis aromáticos, e outra em aproximadamente 301 nm, associada à transição $n-\pi^*$ de ligações C=O, que são as ligações presentes no óxido de grafeno. Após isso, buscou-se caracterizar mais a estrutura e a escala do material produzido. Isso foi realizado por meio da análise de imagens de MEV e da compilação e tratamento dos dados obtidos. O inset da Figura 3b apresenta imagens por MEV das folhas de GO obtida, assim como o box-plot da distribuição com o ajuste de uma função log-normal que revela uma amostra com 200% de coeficiente de variação relacionado

ao tamanho das folhas. Tal valor é esperado, pois é um aspecto do método de síntese utilizado privilegiar o rendimento e não o controle de forma.

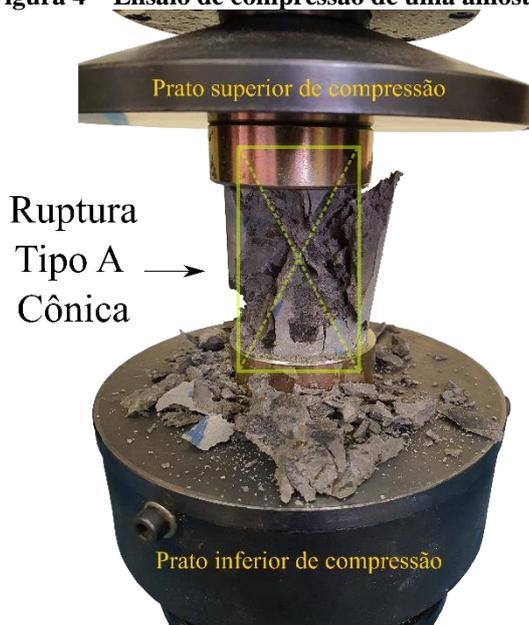
Figura 3 – a) Espectro de absorvância do GO, evidenciando as bandas características e b) a respectiva distribuição de tamanhos das folhas. No inset do gráfico em b) está representado imagens por MEV.



Fonte: autoria própria

Na figura 4 temos um exemplo do ensaio de compressão de uma das amostras. Como apresentada na figura 2c, o copo de prova é posicionado no centro das placas e ocorre a compressão a uma taxa de 0,45 Mpa/s até a ruptura. A força em função do tempo e a forma como a amostra se comportou são averiguados. No nosso caso, todas as rupturas apresentaram o Tipo A – Cônica, de acordo com a classificação da ABNT NBR 5739:2018.

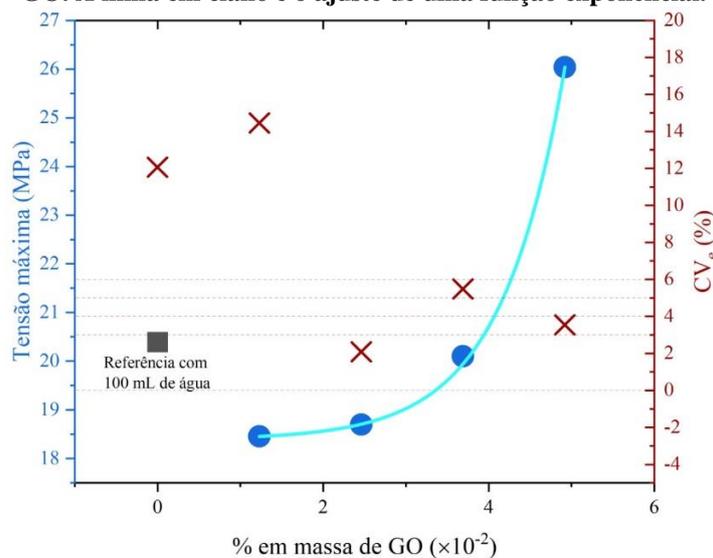
Figura 4 – Ensaio de compressão de uma amostra.



Fonte: autoria própria

A figura 5 podemos perceber um incremento significativo na capacidade das amostras em resistir à compressão. A partir da adição de 0,05% da massa do cimento em GO, se observa um aumento quantitativo de aproximadamente 6 Mpa de tensão máxima suportada pela amostra, o que corresponde a uma melhora de 27%

Figura 5 – Gráfico de tensão máxima suportada pelos corpos de prova em função da concentração (% massa) de GO. A linha em ciano é o ajuste de uma função exponencial.



Fonte: autoria própria

Para validar os dados, calculamos o coeficiente de variação dentro do ensaio, CV_e , também definido na norma ABNT NBR 5739:2018. Podemos constatar os níveis 1 (excelente) e 3 (bom) entre as amostras com mais de 0,02 % em massa de GO, o que revela um resultado positivo. Abaixo dessa concentração obtivemos o nível 5 (deficiente), possivelmente relacionado à falta de planicidade na superfície das amostras.

4 CONCLUSÃO

As imagens por MEV e as bandas características no espectro de UV-Vis demonstram a presença de GO nos coloides sintetizados, bem como a alta dispersão no tamanho das folhas, um traço esperado relacionado ao tipo de síntese usado. O óxido de grafeno foi utilizado como aditivo no concreto, que quando submetidos a testes de compressão, constatou-se melhora de aproximadamente 27% na tensão máxima suportada pelas amostras de concreto com a utilização de 0,05% de sua massa em óxido de grafeno. Análises futuras se demonstram necessárias para compreensão da natureza dos incrementos encontrados, assim como para efetuar maiores caracterizações das amostras, como a dispersão do GO na matriz cimentícia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR por disponibilizar suas instalações e materiais para a pesquisa, ao INCT-FCx, CNPq e SETI, à CAPES pela concessão de bolsa de pós-doutorado a Vinícius Mariani Lenart (Proc. n° 88882.316859/2019-01), e à Fundação Araucária pela concessão de bolsa de Iniciação Científica a Gabriel Ximenes.



REFERÊNCIAS

- ANDREW, Robbie M. Global CO₂ emissions from cement production. **Earth System Science Data**. Oslo, v. 10, n. 1, p. 195-217, jan, 2018. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/10/195/2018/>.
- CAO, J.; CHUNG, D. D. L. Colloidal graphite as an admixture in cement and as a coating on cement for electromagnetic interference shielding. **Cement and Concrete Research**. v. 33, n. 11, p. 1737-1740, 2003.
- CORDON, H.C.F. et al. Development of electrically conductive concrete. **Cerâmica**. São Paulo, v. 66, n. 377, p. 88-92, jan-mar 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663772775>.
- DU, Sen; et. al. Nanotechnology in Cement-Based Materials: A Review of Durability, Modeling, and Advanced Characterization. **Nanomaterials**. Basileia, Suíça, v. 9, n. 9, 28 ago. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6780866/>.
- HORSZCZARUK, Elżbieta. Properties of Cement-Based Composites Modified with Magnetite Nanoparticles: A Review. **Materials**. Basileia, Suíça, v.12, n. 2, 21 jan. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6356830/>
- HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R.E. Preparation of Graphitic Oxide. **Journal of the American Chemical Society**. v. 80, n. 6, p. 1339, 1958
- MASON, Thomas O.; LEA, Frederick M. **Cement**. Encyclopedia Britannica, 7 mar. 2021. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/cement-building-material>.
- PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, São Paulo, n° 53, p. (14-19), jan./mar. 2009.
- RODGERS, Lucy. **Climate change: The massive CO₂ emitter you may not know about**. BBC News, 17 dez. 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>. Acesso em 13 set. 2021.
- SARAVANAN, M. M.; SIVARAJA, M. Study and development of the properties of nano-concrete. **Global Journal of Engineering Science and Research Management**. India, v. 3, n. 5, p. 28-37, mai 2016. Disponível em: <https://zenodo.org/record/51258#.YUIFpZ3o5PY>
- SHAHROKHINASAB, Esmail; et al. Improvement of Concrete Characterization Using Nanosilica. **Journal of Computational Engineering and Physical Modeling**. v. 4, n. 2, p. 39-52. Disponível em: http://www.jcepm.com/article_126113.html
- SILAMBARASAN, J; ASHA, P. Application of nanoparticles in concrete based on their physical parameters – a review on properties and perspectives. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)**. v. 11, n. 10, oct. 2020. Disponível em: <http://iaeme.com/Home/issue/IJARET?Volume=11&Issue=10>
- XIMENES, Gabriel et al. Análise do comportamento térmico do concreto com adição de nanopartículas. *In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica*, 25. 2020, Toledo. **Anais eletrônicos**. Toledo: 2020