

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE COMPÓSITO À BASE DE GRAFENO
NO CONCRETO**

*INFLUENCE OF ADDING GRAPHENE-BASED COMPOSITE TO
CONCRETE*

*INFLUENCIA DE LA AÑADIDA DE COMPUESTO A BASE DE
GRAFENO AL HORMIGÓN*

Mateus Coelho Pereira dos Santos

mateus.coelho@uft.edu.br

Adão Lincon Bezerra Montel

montel@uft.edu.br

ABSTRACT:

This study investigated the effects of adding a graphene-thiourea-formaldehyde composite on the properties of concrete, aiming to evaluate a potential improvement in its workability and strength. The research was conducted in two main stages: the chemical synthesis of thiourea-formaldehyde, performed with and without graphene, and the characterization of the materials used, including cement, aggregates, and concrete, according to ABNT technical standards. Based on this, parameters of interest for concrete performance, such as workability, setting time, and compressive strength, were analyzed. It was observed that the addition of this composite improved the workability of the concrete; however, it showed inferior performance to the addition of graphene in compressive strength. Furthermore, the addition of thiourea-formaldehyde yielded better workability and higher compressive strength in concrete than the addition of graphene, proving to be a promising additive.

KEYWORDS: concrete, graphene, thiourea-formaldehyde.

RESUMO:

Este estudo investigou os efeitos da adição de um compósito à base de grafeno e tioureia-formaldeído nas propriedades do concreto, com o objetivo de avaliar uma potencial melhora em sua trabalhabilidade e resistência. A pesquisa foi conduzida em duas etapas principais, sendo elas a síntese química do tioureia-formaldeído, realizada com e sem grafeno, e a caracterização dos materiais usados, incluindo cimento, agregados e concretos, de acordo com normas técnicas da ABNT. A partir disso, foram analisados parâmetros de interesse para o desempenho do concreto, como trabalhabilidade, tempo de pega e resistência à compressão. Observou-se que a adição desse compósito melhorou a trabalhabilidade do concreto, entretanto, apresentou desempenho inferior à adição de grafeno em resistência à compressão. Adicionalmente, a adição de tioureia-formaldeído apresentou melhor trabalhabilidade e maior resistência à compressão ao concreto que a adição de grafeno, mostrando-se um aditivo promissor.

PALAVRAS-CHAVE: concreto, grafeno, tioureia-formaldeído.

RESUMEN:

Este estudio investigó los efectos de la adición de un compuesto de grafeno-tiourea-formaldehído en las propiedades del hormigón, con el objetivo de verificar una mejora potencial en su trabajabilidad y resistencia. La investigación se llevó a cabo en dos etapas principales: la síntesis química de tiourea-formaldehído, realizada con y sin grafeno, y la caracterización de los materiales utilizados, incluyendo cemento, agregados y hormigón, de acuerdo con las normas técnicas de ABNT. Con base en esto, se analizaron parámetros de interés para el desempeño del hormigón, como trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión. Se observó que la adición de este compuesto mejoró la trabajabilidad del hormigón; sin embargo, mostró un desempeño inferior a la adición de grafeno en la resistencia a la compresión. Además, la adición de tiourea-formaldehído mostró mejor trabajabilidad y mayor resistencia a la compresión en el hormigón que la adición de grafeno, demostrando ser un aditivo prometedor.

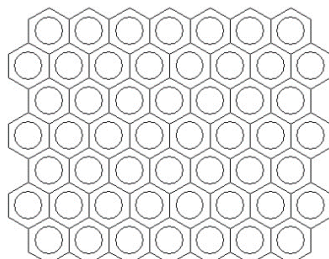
PALABRAS CLAVE: Hormigón, grafeno, tiourea-formaldehído.

INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e, devido à sua elevada demanda, a investigação de estratégias para a melhoria de suas propriedades é de grande interesse. Entre os principais parâmetros de desempenho do concreto destacam-se a sua trabalhabilidade e resistência à compressão, sendo a trabalhabilidade um parâmetro que avalia a fluidez do concreto no seu estado fresco. Um aditivo representa, de forma simplificada, um composto adicionado ao concreto visando a melhora de alguma de suas propriedades, como as já citadas, e a busca por aditivos mais eficientes é uma ampla área de estudos no campo da ciência dos materiais (Li, 2023).

Na investigação de aditivos para o concreto, destaca-se o grafeno. Este material é uma forma alotrópica do carbono que apresenta diversas propriedades excepcionais, como elevada condutividade elétrica e alta resistência à tração (Figura 01). Sua adição promoveu diversas melhorias para o concreto, sendo a principal delas um aumento significativo de sua resistência à compressão (Cunningham et al., 2023). Entretanto, o grafeno apresentou algumas limitações que dificultam sua aplicação em larga escala como aditivo, como a sua má capacidade de dispersão em água e diminuição na trabalhabilidade do concreto (Li, 2023).

Figura 01. Estrutura química do grafeno, folha única de grafite.



Fonte: autoria própria.

Um segundo aditivo relevante para o desenvolvimento deste trabalho é o ureia-formaldeído, sendo um material que apresentou características peculiares quando adicionado ao concreto, como a capacidade de autorreparo, quando em cápsulas (Dong, 2016). A diferença de eletronegatividade entre o oxigênio e o enxofre leva à possibilidade de verificar comportamentos de reatividade distintos entre o ureia-formaldeído e o tioureia-formaldeído (TUF)(Figura.02), possibilitando a investigação do desempenho deste enquanto aditivo (Schaumann, 2007).

Figura 02. Estrutura molecular dos polímeros formol-ureia formol-tioureia. A substituição do átomo de oxigênio pelo átomo de enxofre altera significativa as propriedades do material.



(A) Monômero formol-ureia

(B) Monômero formol-tioureia

Fonte: Autoria própria.

Tendo em vista as capacidades destes aditivos, este trabalho buscou analisar o desempenho da adição ao concreto de um composto a base de grafeno e tioureia-formaldeído em contraste com os demais compósitos, verificando principalmente a resistência à compressão e a trabalhabilidade do concreto, bem como o tempo de pega da pasta de cimento.

METODOLOGIA

Este artigo buscou analisar os efeitos da adição de um aditivo à base de um material construído a partir da mistura de grafeno e TUF nas propriedades do concreto e cimento, sendo elas a sua resistência à compressão, trabalhabilidade e tempo de pega. O mesmo procedimento foi realizado com os aditivos isolados de grafeno e de TUF, e com um traço controle.

A metodologia deste trabalho pode ser separada em duas etapas, sendo elas a síntese química dos aditivos (GUO, 2018) e a realização dos ensaios de trabalhabilidade, tempo de pega e resistência à compressão.

SÍNTESE QUÍMICA DOS ADITIVOS

A síntese do aditivo produzido a partir da combinação de grafeno com tioureia-formaldeído, que será chamado de agora em diante de grafeno modificado (GM), se deu por meio do seguinte processo: foram pesados 11,8377 g de tioureia e 1,0167 g de grafeno. A seguir adicionou-se 25 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 7% (m/m). A mistura sob submetida à agitação magnética por 10 minutos. Logo após, adicionou-se 25 mL de formaldeído P.A. (37%). Após a adição do formaldeído, e o meio reacional foi aquecido em banho-maria (temperatura $\cong 50$ °C), mantendo-se agitação manual com auxílio de um bastão de vidro, por 1 min. Em seguida, a mistura foi levada à agitação magnética por mais 5 minutos. Na sequência, a

mistura foi levada a um banho de gelo sob agitação manual por 3 minutos, e por fim, foi adicionada uma solução de ácido sulfúrico a 5% (m/m) para a neutralização do meio e como catalisador da reação.

O produto da reação foi deixado em repouso a temperatura ambiente por uma semana e depois triturado com pistilo e almofariz. O mesmo procedimento foi realizado sem a adição de grafeno, para a obtenção do polímero TUF.

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para prosseguir com os ensaios para concreto, é necessário a caracterização dos agregados, portanto, os ensaios da areia e da brita ocorreram segundo as normas da ABNT. Os procedimentos foram realizados segundo as normas ABNT NBR NM 45:2006 (método A para a brita e método C para a areia) para a determinação da massa unitária dos agregados, ABNT NBR NM 53:2003 e ABNT NBR NM 9775:1986 para a determinação da massa específica e ABNT NBR NM 248:2001 para a determinação da composição granulométrica.

ENSAIOS COM O CONCRETO E CIMENTO

O ensaio de tempo de pega do cimento foi empregado segundo as normas ABNT NBR 65 e ABNT NBR 43, sendo realizado com o Cimento Portland Composto com Escória, classe de resistência 32 MPa (CP II-E-32).

A medida do tempo de pega foi realizada para o cimento com cada aditivo separadamente, sendo eles o grafeno, GM e TUF, numa proporção de 0,04% em razão da massa de cimento.

A dosagem do concreto foi realizada seguindo os métodos do American Concrete Institute (ACI) e especificações da norma ABNT NBR 6118. O concreto foi preparado com o CP II-E-32 utilizando uma betoneira, e a adição de aditivos se deu numa razão de 0,03% em relação a massa de cimento.

O ensaio para avaliar a trabalhabilidade foi realizado segundo a norma ABNT NBR NM 67:1998 para cada concreto com seu respectivo aditivo.

Foram moldados 36 corpos de prova cilíndricos de 200 mm de altura por 100 mm de diâmetro, para idades de rompimento de 3, 7 e 28 dias, sendo 9 corpos de prova por aditivo, incluindo o controle. A moldagem ocorreu segundo a norma ABNT NBR NM 5738:2015.

Para avaliar a resistência à compressão do concreto, foi feito o rompimento de cada corpo de prova previamente identificado com seu aditivo, seguindo os procedimentos da norma ABNT

NBR NM 5739:2018. A prensa hidráulica utilizada para o rompimento dos corpos de prova foi a EMIC, linha DL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Síntese química dos aditivos

Ao fim de uma semana, obteve-se 5,2128 g de GM e 21,8667 g de TUF. Após a síntese, o GM apresentou aspecto oleoso, que se perdeu no fim deste período, moldando-se ao recipiente em que foi armazenado e formando um sólido. O TUF apresentou o comportamento peculiar de, após ser triturado e armazenado, reaglomerar-se com o tempo, tomando a forma do recipiente plástico em que foi armazenado. Após uma segunda trituração, o fenômeno não se repetiu.

Ambos os aditivos sintetizados obtiveram um mal desempenho na sua capacidade de dispersão em água, com o GM obtendo resultado drasticamente inferior ao TUF e o grafeno.

Ensaio de tempo de pega

Para a pasta de cimento controle (ou seja, sem nenhum aditivo), obteve-se um tempo de pega de 190 min. As pastas de cimento com os aditivos grafeno, GM e TUF obtiveram um tempo de pega de 175, 190 e 185 min, respectivamente.

Ensaio de trabalhabilidade e rompimento dos corpos de prova

Conforme obtido dos ensaios de caracterização dos agregados, o traço para concreto calculado foi de (Cimento: 1; Água: 0,48; Areia: 1,24; Brita: 2,31), expresso em razão da massa de cimento, com consumo de 475 kg por metro cúbico de concreto.

Os ensaios de abatimento de tronco de cone estão dispostos na Tabela 1 e mostram que o TUF apresentou o maior desempenho em trabalhabilidade.

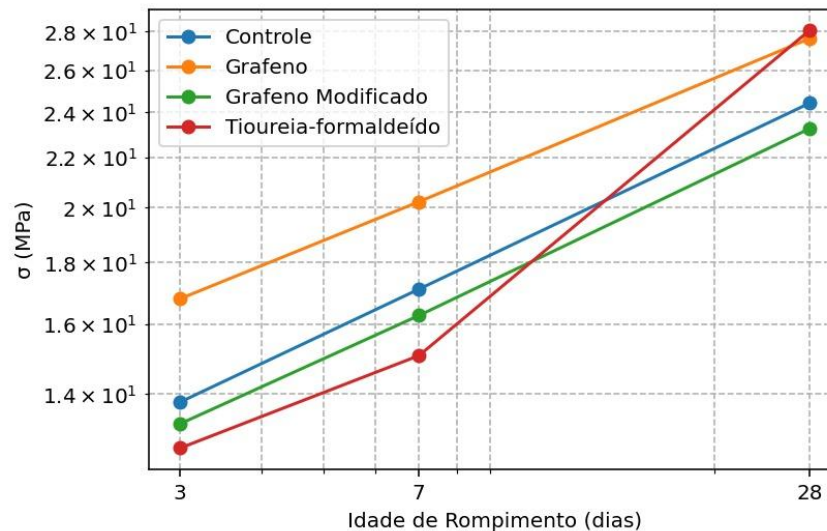
Tabela 1 – Trabalhabilidade do concreto com cada aditivo

Tipo de aditivo	Abatimento (mm)
Controle	80
Grafeno	75
Grafeno Modificado	100
Tioureia-formaldeído	105

Fonte: Próprio autor.

Os dados de rompimento dos corpos de prova estão presentes no Gráfico 1. No Gráfico 2 os mesmos dados são postos de maneira simplificada e em escala cartesiana afim de mostrar o comportamento excepcional de aumento da resistência à compressão do concreto com TUF, que segue uma tendência aproximadamente linear.

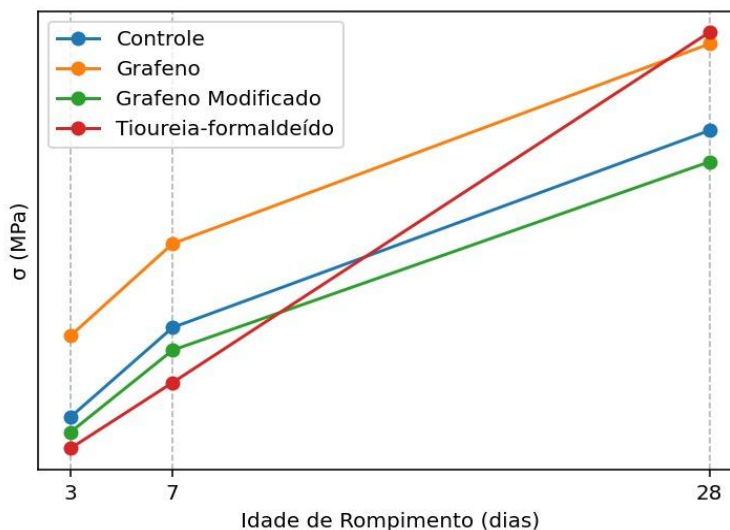
Gráfico 1 – Resistência à compressão dos corpos de provas em função da idade de rompimento em escala Log-Log.



Fonte: Próprio autor.

Estes resultados mostram que o GM apresentou um desempenho significativamente inferior ao grafeno, possuindo resistência de 28 dias menor que o concreto controle. Em contraste, o concreto com TUF apresentou baixa resistência inicial, mas superou o concreto com grafeno na idade de 28 dias. O grafeno elevou a resistência à compressão do concreto em 13,15% em relação ao controle, e o TUF em aproximadamente 14,91%.

Gráfico 2 – Resistência à compressão dos corpos de provas em função da idade de rompimento em escala cartesiana.



Fonte: Próprio autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GM mostrou-se um material de baixo desempenho quando comparado ao grafeno, não justificando sua aplicação enquanto aditivo para o concreto. Entretanto, o TUF se mostrou um aditivo promissor, tendo em vista que foi capaz de oferecer uma resistência levemente superior a do grafeno (aproximadamente 1,5% maior), bem como melhorar levemente a trabalhabilidade do concreto, em contraste com o grafeno, que a piorou. Concluímos que o potencial do polímero formol-tioureia deve ser mais investigado e de forma mais pormenorizada em trabalhos futuros para melhor avaliação desta aplicação.

Agradecimentos

À equipe de estudantes. Ao apoio financeiro recebido do FINEP, CAPES, PROEXT/UFT. PROPESQ/UFT, FAPTO, FAPT.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação Da Massa Unitária e Do Volume de Vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 9775**: Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

CUNNINGHAM, Lee S. et al. Practical application of graphene-enhanced concrete. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Construction Materials**, p. 1-5, 2023.
DONG, Biqin et al. Self-healing features in cementitious material with urea–formaldehyde/epoxy microcapsules. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 608-617, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.140>.

GINIGADDARA, Thusitha et al. An Introduction to High Performance Graphene Concrete. **Electronic Journal of Structural Engineering**, v. 22, n. 3, p. 11-18, 2022.

GUO, Y. et al. Synthesis and Application of Urea-Formaldehyde for Manufacturing a Controlled-Release Potassium Fertilizer. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 57, n. 5, p. 1593–1606, 2018.

LI, Houxuan; ZHAO, Ge; ZHANG, Hong. Recent Progress of Cement-Based Materials Modified by Graphene and Its Derivatives. **Materials**, v. 16, n. 10, p. 3783, 2023.
LIN, Youli; DU, Hongjian. Graphene reinforced cement composites: A review.

SCHAUMANN, Ernst. Sulfur is more than the fat brother of oxygen. An overview of organosulfur chemistry. **Sulfur-Mediated Rearrangements I**, p. 1-34, 2007.