

INVESTIGAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ADERÊNCIA ENTRE CONCRETO E METAREFORÇO POR MEIO DE ENSAIOS PULL-OUT E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS: UMA ALTERNATIVA INOVADORA

Leticia Beatriz C. Sampaio¹ (IC), Paulo C. Gonçalves (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Aderência aço-concreto. Análise computacional. Metamateriais. Pull-out.

Introdução

Ao longo dos anos, observa-se uma crescente busca por materiais que ofereçam maior resistência, proporcionando mais segurança e durabilidade às estruturas. Nesse contexto, um dos parâmetros essenciais para viabilizar essa busca é o controle da aderência na ligação aço-concreto. Segundo Clímaco (2005), a aderência é uma propriedade fundamental para garantir a integridade da estrutura na seção transversal até o ponto de ruptura, assegurando uma distribuição adequada das fibras em relação à linha neutra. A aderência da ligação aço-concreto garante resistência tanto à tração quanto à compressão, além do concreto proteger o aço, aumentando sua longevidade. Diante disso, estudos recentes têm procurado alternativas de materiais que possam reforçar essa propriedade. Nesse sentido, foram aplicados os princípios de metamateriais, que consistem em uma nova forma de arranjo geométrico de um material, visando obter resultados físicos ou químicos distintos dos convencionais. Este estudo priorizou a observação da aderência por meio da geometria de um vergalhão com Metareforço, comparando-o ao modelo tradicional. A comparação foi possível a partir de análises numéricas com o auxílio do software Ansys, utilizando o método dos elementos finitos, que possibilita uma análise detalhada da deformação, uma vez que o sistema de nós examina diversos micropontos da estrutura. A análise computacional consiste na simulação de um ensaio de Pull-out, no qual as barras convencionais e as de Metareforço são extraídas de um corpo de prova de concreto, determinando a resistência máxima que a ligação entre ambas pode suportar.

Metodologia

Foram realizadas simulações numéricas de um ensaio de Pull Out, por meio do software de elementos finitos Ansys, com um vergalhão convencional (Figura 1a) e com uma barra de Metareforço, tendo sua geometria escalonada, idealizada por Ramirez et.al. (2022) (Figura

1b), ambas com um corpo de prova de concreto convencional de 200x200x100 mm (Figura 2). Em seguida, comparou-se os resultados do deslocamento relativo, tensão de atrito e pressão de contato.

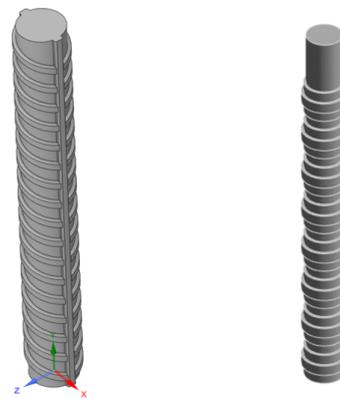


Figura 1 - a) Geometria espacial do Vergalhão de aço (Ansys); b) Geometria espacial do Metareforço (Ansys)

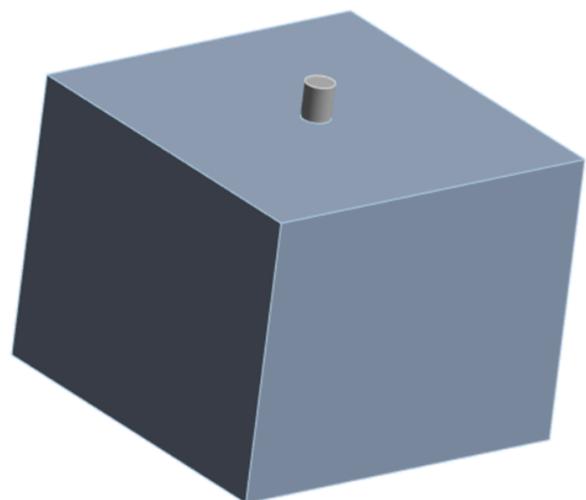


Figura 2 – Modelo do bloco de concreto com metareforço

Resultados e discussão

Ao analisar os resultados das simulações, é evidente que

o parâmetro de deslocamento relativo (conforme mostrado nas Figuras 1 e 6) entre a barra do modelo de Metareforço e o concreto na interface de contato é ligeiramente inferior ao do modelo de vergalhão convencional. Por outro lado, nos resultados referentes ao contato entre a barra de reforço e a matriz cimentícia, observou-se que as tensões de atrito (apresentadas nas Figuras 4 e 7) e a pressão de contato (conforme ilustrado nas Figuras 5 e 8), obtidas pelo modelo que utiliza o vergalhão convencional, foram superiores em comparação aos resultados do modelo que emprega o Metareforço.

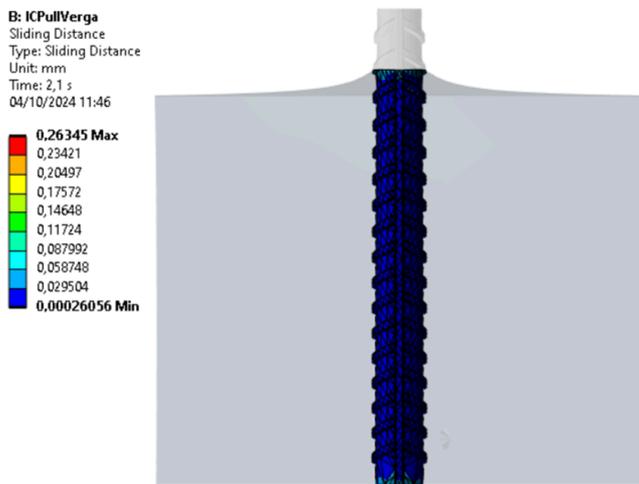


Figura 3 – Deslocamento relativo do vergalhão convencional

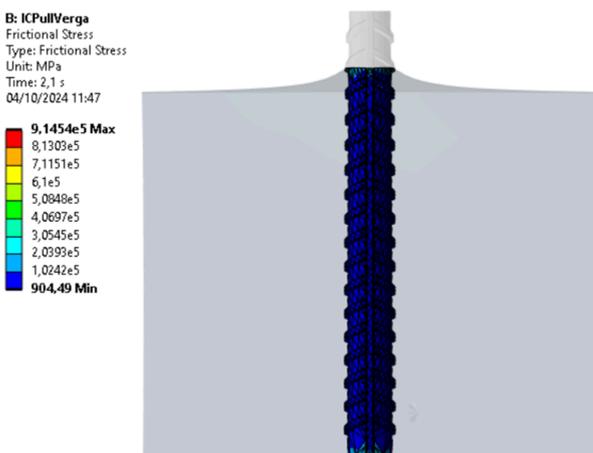


Figura 4 – Tensão de atrito do vergalhão convencional

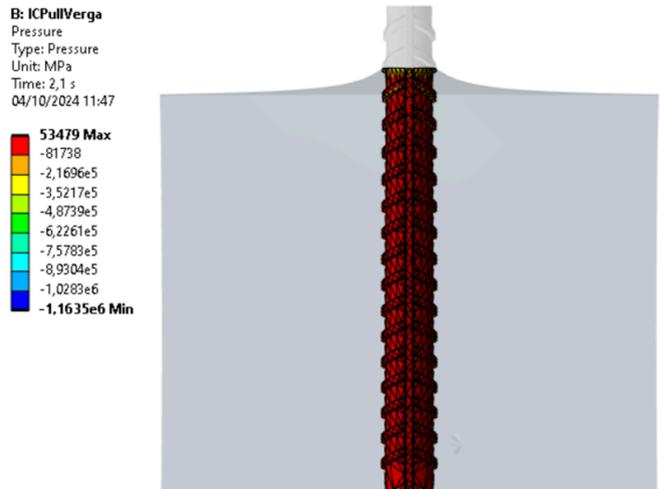


Figura 5 – Pressão de contato do vergalhão convencional

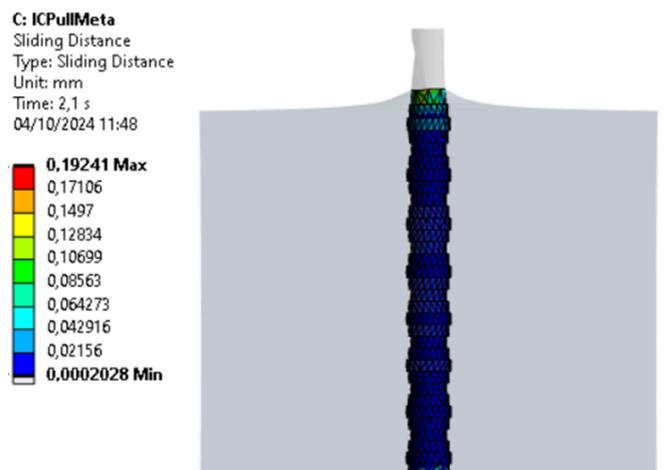


Figura 6 – Deslocamento relativo do metareforço

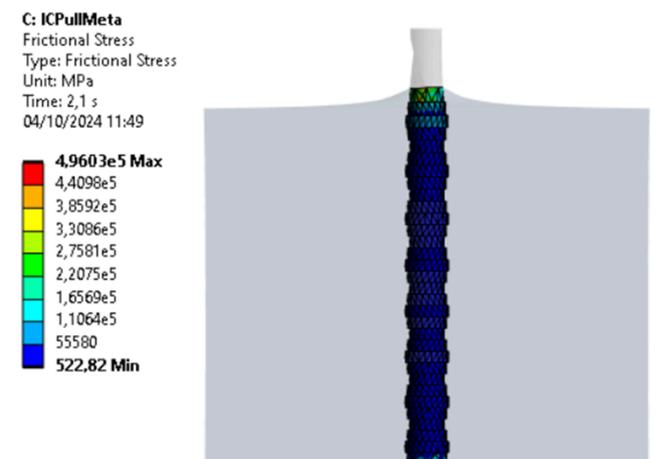


Figura 7 – Tensão de atrito do metareforço

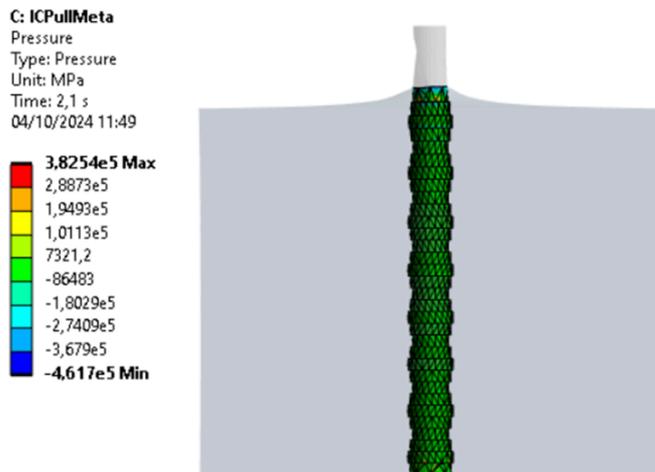


Figura 8 – Pressão de contato do metareforço

Portanto, o modelo que utiliza o Metareforço apresenta um desempenho superior em aderência em comparação ao modelo com vergalhão, como evidenciado pelo deslocamento relativo médio na interface de contato. Embora os valores médios de tensão de atrito e pressão de contato do Metareforço sejam inferiores, ele consegue manter uma aderência eficiente. Isso sugere que o Metareforço possui características de superfície que favorecem a resistência de aderência.

A relação entre a força de atrito e a pressão de contato é significativa, uma vez que uma maior pressão tende a gerar maior tensão de atrito. No modelo com Metareforço, os valores médios de tensão de atrito e pressão de contato apresentaram uma diferença inferior a 1%, indicando que a pressão está sendo convertida em tensão de forma eficaz. Essa proximidade sugere uma interação equilibrada na interface entre a barra de aço e o concreto, resultando em uma resistência adequada ao deslizamento.

Conclusões

Os resultados da análise de contato entre a barra de reforço e o concreto na modelagem de Pull-Out mostram que o metareforço é uma alternativa promissora para o reforço de estruturas, oferecendo aderência superior em comparação ao vergalhão convencional. A aplicação de metamateriais aprimorou a distribuição das pressões de contato e reduziu o deslizamento na interface, garantindo maior resistência ao escorregamento e melhor desempenho estrutural. Assim, o metareforço se destaca como uma solução inovadora para aumentar a aderência em estruturas de concreto, com potencial para reduzir falhas por escorregamento e melhorar a durabilidade das

construções.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá), à FAPEMIG, financiadora desta pesquisa, e ao grupo de pesquisa MSU (Metamaterials And Structures) por viabilizarem este trabalho.

Referências

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

SEOK, Seungwook; HAIKAL, Ghadir; RAMIREZ, Julio A.; LOWES, Laura N.; LIM, Jeehee. *Finite element simulation of bond-zone behavior of pullout test of reinforcement embedded in concrete using concrete damage-plasticity model 2 (CDPM2)*. Engineering Structures, v. 221, 15 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto -Procedimento. Rio de Janeiro, 4ª ed. 2023.

MARTINS, João V. R.; JACINTHO, Ana E. P. G. A. Estudo da aderência entre concreto e aço pelo ensaio pullout utilizando concreto de alta resistência. In: Anais do XIX Encontro de Iniciação Científica e do IV Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 23 e 24 set. 2014, PUC Campinas, SP.

DAL BOSCO, Victor Ivan; SILVA, Bruno do Vale; TROIAN, Paula; BARBOSA, Mônica Pinto; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. Experimental comparative between the test methods pull-out and push-out for determining the bond stress steel-concrete. In: Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC2012), out. 2012.

SÁNCHEZ, Jesús Antonio García; QUINTERO RAMÍREZ, Carolina; GONÇALVES, Paulo Cesar; BEGAMBRE, Oscar Javier. Bond behavior of auxetic bars in reinforced concrete – a numerical study. Latin American Journal of Solids and Structures, São Paulo, SP, Brasil, 08 abr. 2024.

AYALA, Igor Carlos Alarcón. Customização do software Ansys para análise de lajes de concreto protendido pelo método dos elementos finitos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.