

AUTOMAÇÃO · UFC · 22 DE JUNHO DE 2026

Statistical modeling of shear strength in RC beams strengthened with EB-FRP: a comparative study with international standards

Por Francisco Lucas de Oliveira Freire, Jerfson M. Lima e Jonathas Iohanathan Felipe de Oliveira

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
7 ^{/10}	8 ^{/10}	6 ^{/10}	Alta

Desenvolvimento de um modelo estatístico (M11) superior para previsão de resistência ao cisalhamento em vigas de concreto armado reforçadas com PRFC, superando normas internacionais (ACI, fib) ao reduzir o erro em 28% e incorporar variáveis críticas de armadura longitudinal.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Desenvolvimento de um software SaaS ou plugin para plataformas BIM (Building Information Modeling) que automatize o cálculo de reforço estrutural com PRFC utilizando o modelo M11, oferecendo maior precisão que as ferramentas atuais baseadas em normas antigas.

Aplicações práticas

Aplicação direta em projetos de engenharia estrutural e reabilitação de infraestruturas (pontes, viadutos, edifícios), permitindo dimensionamento de reforços com PRFC mais seguro, econômico e confiável.

Potencial de mercado

Alto potencial no setor de Construção Civil e Engenharia de Infraestrutura, especificamente no nicho de reabilitação estrutural e retrofitting, onde a precisão no cálculo de reforços é crítica para segurança e custo.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

As formulações normativas atuais (ACI 440.2R-17 e fib Bulletins) apresentam alta dispersão de resultados e tendem a superestimar a capacidade de cisalhamento, negligenciando parâmetros influentes como a armadura longitudinal interna.

Metodologia

Compilação e curadoria de um banco de dados com 524 resultados experimentais, utilização de análise de sensibilidade e regressão linear múltipla com eliminação backward (backward elimination) para selecionar variáveis estatisticamente significativas.

Principais descobertas

O modelo M11 com 11 preditores demonstrou maior coeficiente de determinação e precisão superior às normas internacionais. A inclusão das características da armadura longitudinal é crucial para a acurácia, especialmente para vigas com resistência abaixo de 400 kN.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Atualização das normas técnicas brasileiras (NBR) e diretrizes de licenciamento para obras de reabilitação estrutural, incorporando modelos estatísticos avançados para elevar os padrões de segurança da engenharia nacional.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Colaboração entre a UFC e empresas de engenharia consultiva ou fabricantes de compósitos de fibra (PRFC) para validação prática do modelo e integração em softwares de cálculo estrutural comercial.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

3 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO MÉDIO · SOFTWARE

SaaS de Cálculo Estrutural Avançado

Plataforma web focada em engenheiros estruturais para cálculo de reforço em vigas de concreto utilizando o algoritmo estatístico M11, integrável com softwares CAD/BIM via API.

PARCERIA · IMPACTO ALTO · INDÚSTRIA 4.0

Validação de Modelo em Obras de Retrofit

Parceria UFCEmpresa com grandes construtoras para testar o modelo M11 em campo, permitindo o ajuste fino do algoritmo e geração de casos de sucesso para marketing técnico.

Modernização de Normas de Segurança Estrutural

Adotar a metodologia estatística proposta como base para revisão das normas técnicas locais, visando aumentar a segurança e reduzir custos em obras públicas de manutenção.

ABSTRACT ORIGINAL

Abstract The accurate estimation of shear strength in reinforced concrete beams strengthened with externally bonded Fiber-Reinforced Polymers (EB-FRP) remains a challenge in structural engineering. Current standard formulations, such as ACI 440.2R-17 and fib Bulletins, often exhibit high scatter in results and tend to overestimate shear capacity, frequently neglecting influential parameters such as internal longitudinal reinforcement. This study proposes an improved prediction model grounded in rigorous statistical analyses. To this end, a comprehensive database containing 524 experimental results was compiled and curated. The methodology employed sensitivity analyses and multiple linear regression using backward elimination to identify statistically significant variables. The results culminated in the development of a model with 11 predictors (M11), which demonstrated superior performance compared to the evaluated international standards, yielding a higher coefficient of determination and an approximately 28.17% reduction in Root Mean Square Error (RMSE) relative to the average of the standards. The proposed model highlighted that the inclusion of longitudinal reinforcement characteristics is essential for calculation accuracy, offering a more robust alternative, particularly for beams with shear strength below 400 kN. This research enabled the construction of an experimental database, providing a relevant contribution to future investigations on shear behavior in these elements. Additionally, it allowed for the reduction of the problem's dimensionality, simplifying the modeling of complex relationships between parameters. Regarding the developed models, the M11 model surpassed the accuracy of current standards, providing a practical formulation for straightforward application in engineering design.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Novo modelo matemático promove maior precisão no reforço de estruturas de concreto

O cenário atual

Na engenharia estrutural, calcular a força necessária para que vigas de concreto armado resistam a esforços de cisalhamento (forças que tendem a cortar o material) é um desafio complexo. Muitas vezes, essas estruturas precisam ser reforçadas com polímeros reforçados com fibras (FRP) colados externamente. Atualmente, as normas internacionais utilizadas para esses cálculos, como as da ACI e do fib, apresentam resultados com muita variação e tendem a superestimar a capacidade real das vigas. Além disso, essas fórmulas frequentemente ignoram a influência da armadura longitudinal interna, o que pode comprometer a segurança das construções.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) propuseram um novo modelo matemático para prever essa resistência de forma mais precisa. Para isso, eles compilaram e organizaram um banco de dados abrangente contendo 524 resultados experimentais. A metodologia utilizou análises de sensibilidade e regressão linear múltipla com um método de eliminação de variáveis para identificar quais fatores são realmente importantes para o cálculo.

Como funciona na prática

O estudo analisou diversas variáveis estatísticas para filtrar o que é relevante. O resultado foi o desenvolvimento de um modelo que utiliza 11 preditores (denominado M11). A principal novidade é a inclusão das características da armadura longitudinal interna, um fator que os padrões internacionais anteriores costumavam negligenciar. O

modelo também simplifica as relações complexas entre os parâmetros envolvidos na estrutura.

Resultados e evidência

O modelo M11 demonstrou um desempenho superior às normas internacionais avaliadas. Ele atingiu um coeficiente de determinação mais alto, o que indica maior precisão nas previsões. Em termos de erro, o novo modelo obteve uma redução de aproximadamente 28,17% na Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) em comparação com a média dos padrões atuais. O estudo destacou que o modelo é uma alternativa mais robusta, especialmente para vigas com resistência ao cisalhamento abaixo de 400 kN.

Implicações práticas

Para a engenharia, o desenvolvimento deste modelo oferece uma ferramenta prática e mais assertiva para o projeto de reforço estrutural. O uso do M11 pode evitar superestimativas de capacidade, aumentando a segurança das edificações e pontes que utilizam essa tecnologia de reforço. Além disso, a criação do banco de dados experimental serve como base para futuras investigações sobre o comportamento desses elementos estruturais.

Limitações e próximos passos

O paper não detalha limitações específicas do modelo M11 além de indicar sua robustez para vigas com força abaixo de 400 kN. O trabalho focou na validação estatística e na comparação com normas existentes. Os próximos passos naturais, sugeridos pela disponibilização do banco de dados, envolvem o uso desse material para novas pesquisas que possam aprofundar ainda mais o comportamento ao cisalhamento dessas estruturas.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por Francisco Lucas de Oliveira Freire, Jerfson M. Lima e Jonathas Iohanathan Felipe de Oliveira, afiliados à Universidade Federal do Ceará (UFC). O paper não fornece informações detalhadas sobre a formação acadêmica específica, títulos ou trajetória profissional prévia dos autores, limitando-se a identificá-los como os responsáveis pela compilação do banco de dados experimental, pela análise estatística e pelo desenvolvimento do modelo de predição proposto na pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE

Statistical model · Shear strength (soil) · Reinforced concrete · Shear (geology) · Statistical analysis · Standard deviation · Regression analysis · Linear regression · Mean squared error