



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

Modelagem numérica de um banco de praça reforçado com tecidos vegetais

Pedro Henrique Oliveira Caldas¹; Paulo Roberto Lopes Lima²

1. Pedro Henrique Oliveira Caldas, PIBIC/CNPq, ENGENHARIA CIVIL, e-mail: pedro.caldas12@hotmail.com

2. Paulo Roberto Lopes Lima, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA, e-mail: prllima@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos; Fibras vegetais; Modelagem Computacional

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais construtivos sustentáveis tem impulsionado a pesquisa de compósitos cimentícios reforçados com fibras e tecidos vegetais, que se mostram alternativas promissoras e de baixo impacto ambiental. Contudo, o desenvolvimento e a validação desses novos materiais são frequentemente limitados pelos altos custos e pelo tempo demandado por ensaios experimentais. A modelagem computacional surge como uma ferramenta estratégica para superar esse desafio, permitindo prever o comportamento mecânico de elementos construtivos e otimizar seu design, reduzindo a necessidade de protótipos físicos. Diante disso, este trabalho teve como objetivo central desenvolver e validar um modelo numérico em Elementos Finitos (MEF), utilizando o software SAP2000, para a análise de um banco estrutural feito de compósito cimentício reforçado com fibras vegetais, buscando prever seu comportamento e estimar sua capacidade de carga.

METODOLOGIA

A metodologia adotada integrou a análise numérica por MEF com a validação a partir de dados experimentais de referência (OLIVEIRA, 2025). A partir dos ensaios de ruptura em dois protótipos em escala reduzida, foram obtidas as curvas características de força versus deslocamento (Figura 1) e as respectivas cargas de ruptura.

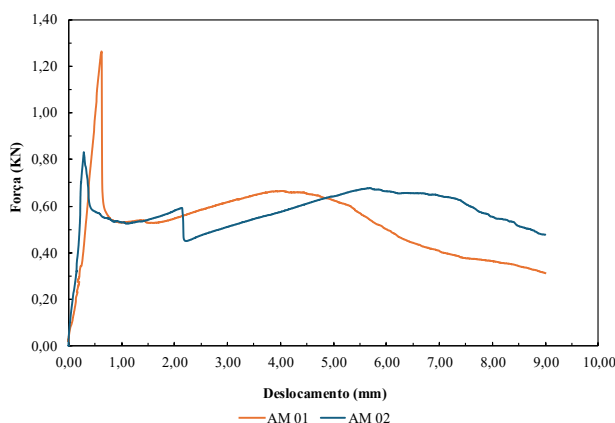


Figura 1 – curva carga (kN) x deslocamento (mm)

FONTE: Oliveira (2025)

O modelo computacional foi desenvolvido no software SAP2000, utilizando o elemento finito de casca (*shell*) para representar a geometria do banco. Para garantir a precisão dos resultados, realizou-se um estudo de convergência de malha, definindo-se uma malha otimizada de 160 elementos (Figura 2) como ideal para o equilíbrio entre acurácia e custo computacional. O modelo estrutural considerou apoios de segundo gênero na base.

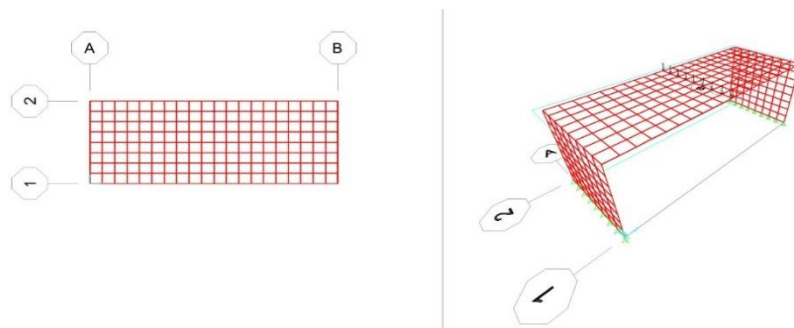


Figura 2 – malha do banco

A etapa crucial consistiu na calibração do Módulo de Elasticidade (E) por meio de retroanálise. A carga de ruptura experimental foi aplicada ao modelo numérico, e o valor de E foi ajustado iterativamente (Tabela 1) até que o deslocamento máximo da simulação coincidissem com o medido em laboratório. Com o modelo calibrado, estabeleceu-se uma tensão de ruptura de referência. Por fim, um modelo em escala real foi criado para estimar sua capacidade de carga sob um carregamento de serviço simulado.

Tabela 1 – módulo de elasticidade

Tentativas	Primeira Amostra		Segunda Amostra	
	E (kN/mm ²)	Deslocamento (mm)	E (kN/mm ²)	Deslocamento (mm)
1	14,5	0,2427	10	0,2636
2	10	0,3519	9,5	0,2775
3	7	0,5027	8,8	0,2996
4	6	0,5865	8	0,3295
5	5,6	0,6284	5,6	0,4707

Para avaliar o impacto de imperfeições, inerentes ao processo construtivo, no desempenho do banco, foi realizada uma análise paramétrica. Neste estudo, foram simulados três cenários de espessura para cada amostra, utilizando o valor médio medido, o valor médio acrescido de um desvio padrão ($m+dp$) e o valor médio reduzido de um desvio padrão ($m-dp$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração do modelo revelou uma variabilidade de rigidez de 57% entre as amostras experimentais ($E = 5,6$ GPa e $E = 8,8$ GPa), validando a importância da caracterização individualizada. Na simulação do banco em escala real, sob uma carga de 240 kg, a análise de deformação (Figura 3) mostrou o comportamento esperado de um pórtico, com flecha máxima no centro do assento.

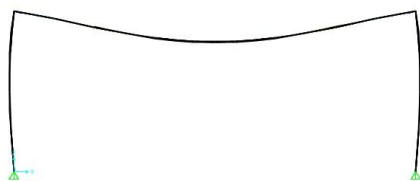


Figura 3 – vista lateral da estrutura deformada

Para avaliar o impacto de imperfeições, inerentes ao processo construtivo, no desempenho do banco, foi realizada uma análise paramétrica. Neste estudo, foram simulados três cenários de espessura para cada amostra, utilizando o valor médio medido, o valor médio acrescido de um desvio padrão ($m+dp$) e o valor médio reduzido de um desvio padrão ($m-dp$).

Os resultados (Tabela 2) demonstraram de forma clara que a espessura exerce um papel decisivo na rigidez da estrutura. Elementos de menor espessura apresentaram deslocamentos significativamente maiores sob a mesma carga, mesmo quando a variação esteve dentro do limite de um desvio padrão. Por exemplo, na primeira amostra sob uma carga de 1 kN, a variação de espessura entre os cenários $m+dp$ e $m-dp$ causou uma diferença de aproximadamente 41% no deslocamento.

Tabela 2 – análise paramétrica com a variação da espessura

Carga (kN)	Primeira Amostra			Segunda Amostra		
	$m+dp$	média	$m-dp$	$m+dp$	média	$m-dp$
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,2168	0,2564	0,3065	0,1540	0,1800	0,2157
1	0,4340	0,5134	0,6136	0,3083	0,3604	0,4318

Essa análise quantificou o impacto que pequenas variações dimensionais podem ter na segurança e no desempenho do elemento, ressaltando a importância de considerar tais incertezas na fase de projeto.

A análise dos esforços internos foi coerente, as pernas apresentaram compressão (F22), e o assento, momento fletor positivo máximo (MMax) na região central (Figura 4), indicando a necessidade de reforço na face inferior.

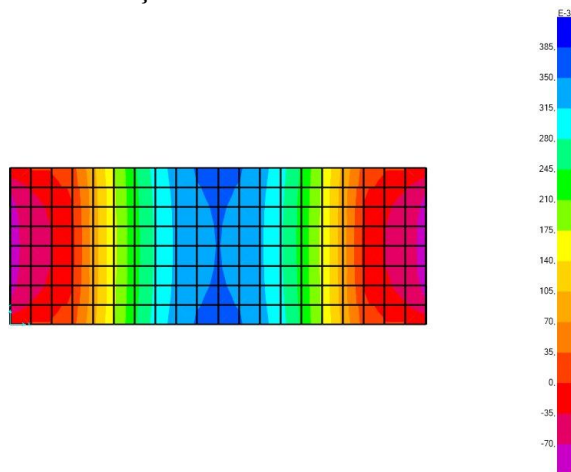


Figura 4 – mapa de momento fletor positivo máximo no assento

A tensão máxima resultante na estrutura foi de 0,861 MPa. Comparado à tensão de ruptura de referência de 4,773 MPa, obteve-se um elevado fator de segurança de 5,5, comprovando a robustez do projeto para a carga de serviço proposta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo atingiu seus objetivos ao desenvolver e validar um modelo numérico para a análise de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais. A metodologia que integra dados experimentais e simulações por MEF, especialmente a calibração por retroanálise, mostrou-se decisiva para garantir a precisão do modelo. O modelo validado confirmou, através de um elevado fator de segurança, a viabilidade e a robustez do elemento construtivo proposto. Conclui-se que a simulação computacional é um caminho eficaz e econômico para acelerar a inovação e validar o uso de materiais sustentáveis na engenharia civil.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA FILHO, A. B.; ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, F. S. Effect of number of layers on tensile and flexural behavior of cementitious composites reinforced with a new sisal fabric. *Textiles*, v. 4, n. 1, p. 40-56, 2024.
- ABRISHAMI, H.; KOBAYASHI, T.; YAMAMOTO, K. Design of reinforced concrete bridges. Toronto: Brid&E, 2017. 314 p.
- ALI, M.; HUSSAIN, S.; KHAN, A. SAP2000 analysis of seismic reinforcement using carbon fiber reinforced polymer and textile reinforced mortar jacketing. *J. Struct. Eng.*, 2023.
- CODISPOTI, R.; OLIVEIRA, D. V.; LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. *Compos. Part B: Eng.*, v. 77, p. 74-83, 2015.
- FANG, D.; LI, J.; ZHANG, Y. Parametric structural design for high-performance buildings. *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, 2021.
- FISH, J.; BELYTSCHKO, T.; ELKADY, A. Um primeiro curso em elementos finitos. Hoboken: Wiley, 2009.
- FRAZÃO, C.; LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Development of sandwich panels combining sisal fiber-cement composites and fiber-reinforced lightweight concrete. *Cem. Concr. Compos.*, v. 86, p. 206-223, 2018.
- LIMA, P. R. L.; BARROS, J. A. O. Exploring the use of cement-based materials reinforced with sustainable fibres for structural applications. In: Recent advances on green concrete for structural purposes: the contribution of the EU-FP7 Project EnCoRe. p. 403-424, 2017.
- LIMA, P. R. L.; ARRUDA FILHO, A. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Experimental and numerical analysis of short sisal fiber-cement composites produced with recycled matrix. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, v. 23, n. 1, p. 70-84, 2019.
- LIMA, P. R. L.; VALENTE, L. N.; TOLEDO FILHO, R. D. Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs. *Constr. Build. Mater.*, v. 187, p. 620-634, 2018.
- PEREIRA, L. F. C.; ALMEIDA, J. R.; OLIVEIRA, T. S. Simulação por elementos finitos do comportamento mecânico. *Rev. Bras. Constr. Sustent.*, 2024.