



## EFICIENTE SISTEMA HÍBRIDO DE REFORÇO AO CORTE E FLEXÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

Joaquim A. O. Barros, Professor Catedrático, ISISE, Univ. Minho  
Tiago Valente, Doutor em Engenharia Civil, CiviTest  
Inês Costa, Doutora em Engenharia Civil, CiviTest

A intenção de aumentar a capacidade de elevação e movimentação de cargas num edifício industrial conduziu à elaboração de um projeto de reforço estrutural. A estrutura existente é formada por dois pórticos paralelos afastados de cerca de 14 m, sendo cada pórtico constituído por pilares e vigas em betão armado com 8.0 m de vão (Figura 1). Os pórticos dão suporte à cobertura metálica do edifício, bem como a um conjunto de pontes rolantes. A zona a intervir é limitada a 11 vãos que suportam a ponte rolante cuja capacidade de carga se pretendia aumentar em cerca de 60%, bem como outras pontes rolantes que servem a zona. O projeto foi decomposto nas seguintes etapas: realização de inspeção, levantamento e caracterização da estrutura existente; avaliação da capacidade de carga da estrutura existente; elaboração de solução de reforço estrutural.

### INSPEÇÃO, LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA EXISTENTE

Foi realizado o levantamento geométrico e deteção de armaduras dos elementos estruturais, que permitiu concluir que a estrutura fora construída de acordo com o projeto de execução, datado de 1974. Foram realizados

ensaios esclerométricos nos elementos em betão que apresentaram resultados condizentes com a classe de resistência definida em projeto [B225 - Decreto n.º 47 723 de 1967]. Durante a inspeção estrutural não foram identificadas patologias que pudessem ser consideradas como diminutivas do desempenho estrutural do sistema construtivo.

### AValiação DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTRUTURA EXISTENTE

A capacidade de carga da estrutura existente foi determinada tendo em conta as propriedades geométricas e materiais registadas, e a sua adequabilidade face às solicitações existentes e a aplicar, nomeadamente do aumento da capacidade portante das novas pontes rolantes, foi avaliada recorrendo a software desenvolvido na CiviTest. As verificações de segurança para os estados limite últimos (ULS) e de serviço (SLS) foram realizadas de acordo com os Eurocódigos Estruturais, com especial destaque para o Eurocódigo 1-3 [1].

Análise do comportamento estrutural foi efetuada utilizando modelos tridimensionais de análise estática, através de um programa de cálculo automático baseado no Método dos

Elementos Finitos. Foi admitido o comportamento linear e elástico dos materiais.

Os resultados permitiram concluir que as vigas que suportam as pontes rolantes (viga V2) não verificavam os critérios de segurança para os ULS, dado que apresentavam insuficiente capacidade resistente à flexão e ao corte. Desta forma, foi preconizada uma solução de reforço estrutural.

### SOLUÇÃO DE REFORÇO ESTRUTURAL

A solução de reforço estrutural apresentou como especiais condicionantes a minimização dos tempos necessários para a execução das soluções de reforço; a limitação da interferência com a operação industrial e a compatibilidade da solução de reforço com a estrutura, equipamentos e infraestruturas existentes. Para o aumento da resistência à flexão das vigas V2 foi definida uma solução de reforço constituída pela aplicação de polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP) na forma de laminados aplicados segundo a técnica NSM (Near Surface Mounted) na face inferior das vigas, bem como pela aplicação de chapa de aço na zona superior das faces laterais das vigas. Nos vãos de extremidade, o reforço com CFRP-NSM é formado por oito laminados com secção de 20x1.4 mm<sup>2</sup>, do tipo SM 150/2000 (S&P C-laminate), colados com adesivo epóxi S&P Resin 220, enquanto nos vãos com continuidade o reforço é de apenas quatro laminados. Para o reforço aos momentos negativos foi prevista a colocação de uma chapa de aço, da classe S275, com secção transversal de 10x150 mm<sup>2</sup>, colada às faces laterais das vigas com adesivo epoxi do tipo S&P Resin 220 e com ancoragens mecânicas com espaçamento longitudinal de 200 mm, dado que a existência do carril da ponte rolante não permitia a utilização de laminados de CFRP.

Para o aumento da resistência ao corte foi projetada uma solução de reforço que passa pela aplicação de mantas de CFRP segundo a técnica EAR (Externally Applied Reinforcement), em



> Figura 1: a) Vista da estrutura existente em betão armado; b) corte transversal do pórtico de betão armado (dimensões em mm).

forma de U nas faces laterais e inferiores das vigas. Em cada um dos vãos da viga são aplicados oito reforços (espaçamento longitudinal de 900 mm) com uma camada de mantas de CFRP do tipo C-Sheet 240 300 g/m<sup>2</sup>, com 0.168 mm de espessura e 300 mm de largura.

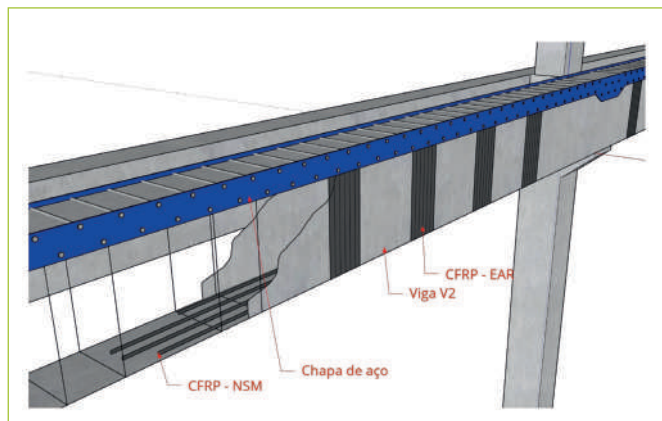
Na Figura 2 é apresentada a solução de reforço preconizada.

Para o dimensionamento das soluções de reforço em CFRP foram desenvolvidas aplicações de cálculo automático que adotam as recomendações definidas no fib Bulletin 90 [2]. O dimensionamento das soluções em estrutura metálica foi realizado de acordo com o Eurocódigo 3 [3].

### CONCLUSÕES

Neste trabalho é descrita uma solução híbrida suportada em laminados de CFRP aplicados segundo a técnica NSM para o aumento da resistência aos momentos positivos, chapas de aço para o reforço aos momentos negativos e faixas de manta de CFRP com configuração U

aplicados segundo a técnica EAR para o reforço ao corte de uma estrutura de betão armado de um edifício industrial em que se pretende substituir as atuais pontes rolantes por umas novas de muito maior capacidade de carga. Foram desenvolvidas ferramentas de cálculo que permitiram o dimensionamento integrado das soluções de reforço segundo as formulações do fib bulletin 90. Com recurso a 108 kg de CFRP foi possível reforçar uma estrutura com cerca de 138 768 kg de betão armado, garantindo o cumprimento das condicionantes do projeto. ■



> Figura 2: Solução de reforço à flexão e corte da viga de betão armado.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Committee for Standardization, *Eurocode 3: Design of steel structures Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*, vol. EN 1993-1-3. 2006.
- [2] S. Matthys et al., *Externally applied FRP reinforcement for concrete structures*, Technical Report., vol. fib 90 Bulletin. Task Group 5.1, 2019.
- [3] European Committee for Standardization, *Eurocode 3: Design of steel structures Part 1-1: General rules and rule for buildings*, vol. NP EN 1993-1-1. 2010.

pub



[www.sp-reinforcement.pt](http://www.sp-reinforcement.pt)

### Sistemas de Reparação, Protecção e Reforço S&P

Produtos S&P reparação, protecção e reforço foram desenvolvidos, testados e fabricados de forma a promover soluções de alta performance e com resultados que perduram no tempo.

[info@sp-reinforcement.pt](mailto:info@sp-reinforcement.pt)  
linha de apoio: 212 253 371

