

# INFLUÊNCIA DE TEMPERATURAS ELEVADAS NO COMPORTAMENTO DE REFORÇOS EXTERIORES DE BETÃO ARMADO

Influence of high temperatures in externally bonded reinforcement for concrete structures



**Nelson Vaz**  
Engenheiro Civil Estagiário  
Universidade do Minho  
nelson\_vaz@civil.uminho.pt



**J. B. Aguiar**  
Professor Associado  
Departamento Eng.<sup>a</sup> Civil, UM  
aguiar@civil.uminho.pt



**Aires Camões**  
Professor Auxiliar  
Departamento Eng.<sup>a</sup> Civil, UM  
aires@civil.uminho.pt

## Resumo

Hoje em dia, há a necessidade de resolver problemas em estruturas de betão armado. O reforço por adição de armaduras exteriores à base de materiais compósitos é uma das técnicas que tem vindo a adquirir cada vez mais potencial.

A união entre o reforço e o suporte, geralmente é realizada com colas de base epoxídica. Contudo, é nesta fracção do sistema que a integridade do reforço pode ser afectada. Entre várias razões, destaca-se a exposição a temperaturas elevadas.

Para estudar a variação do comportamento do sistema de reforço perante o aumento da temperatura ambiente, foram produzidas várias vigas de betão armado onde foram colados laminados CFRP. Após exposições térmicas cíclicas de 25 dias com uma temperatura máxima de a 20°C, 40°C, 60°C e 80°C, as vigas foram ensaiadas à flexão.

Os resultados demonstram que a melhoria conseguida com o reforço à temperatura ambiente, se torna menos expressiva com o aumento da temperatura ambiente.

A resistência térmica deste sistema de reforço não é muito elevada, pelo que a sua aplicação em locais quentes, requer cuidados especiais.

**Palavras-chave:** Durabilidade, temperatura, colagem, reforço, resina epoxídica.

## Abstract

Nowadays, there is a need to solve problems of reinforced concrete structures. The external reinforcement of concrete with composite materials is a technique that has acquired more and more potential.

The bond between the reinforcement and the support is usually accomplished with epoxy adhesives. However, it is in this part that the integrity of the system can be affected, namely by exposure to high temperatures, amongst various other reasons.

In order to study the behaviour of the external reinforcement with the increase of air temperature, several beams were prepared and strengthened with bonded CFRP laminates. After cyclical thermal exposure of 25 days with maximum temperatures of 20°C, 40°C, 60°C and 80°C, the beams were subjected to bending tests.

The results demonstrate that the improvement achieved with the reinforcement, at air temperature, have no significance with the increase of the environment's temperature.

The thermal resistance of this strengthened system is not very high, thus special needs are to be taken in to account when applied in warm locations.

**Keywords:** Durability, temperature, bond, reinforcement, epoxy resin.

## 1 Introdução

Durante o período de vida útil para que as estruturas de betão armado são dimensionadas, elas devem apresentar níveis confortáveis de segurança, funcionalidade e de durabilidade. No entanto inúmeras falhas, ao nível do projecto, da construção ou da utilização, podem pôr em risco alguma destas exigências.

A maior frequência de avarias conduziu ao aumento da severidade dos códigos e do leque de soluções de reparação e reforço. O mau estado dos nossos edifícios, pontes e viadutos é uma realidade que irá captar uma parcela cada vez maior do mercado da construção civil. Contudo não são apenas os erros que conduzem a esta necessidade. Em certas estruturas, pretende-se modificar a sua utilização e o reforço é fundamental para que ela desempenhe com eficácia a sua nova função.

Perante este cenário, tem-se vindo a assistir a um desenvolvimento de técnicas de reforço de aplicação simples e rápida e com um mínimo de interferência na arquitectura. Nestas exigências, enquadra-se perfeitamente o princípio, já com mais de 40 anos, da colagem de armaduras exteriores. A evolução aconteceu nos materiais usados sobretudo na passagem das chapas metálicas para materiais compósitos. Assim, a colagem de sistemas compósitos reforçados com fibras de carbono (CFRP), aparece como uma solução que se enquadra nos objectivos referidos e é um dos materiais “novos” e altamente promissores [1].

### 1.1 Durabilidade

A durabilidade pode ser entendida como a capacidade de um material ou componente resistir a mudanças nas suas propriedades, quando submetido a determinadas condições de exposição. O comportamento de um sistema de reforço de CFRP colado pelo exterior de uma estrutura de betão armado depende muito da acção da envolvente ambiental. Neste contexto, destacam-se os efeitos da temperatura e da humidade, para além dos efeitos da radiação, de agressões químicas ou da erosão [2].

Nestes reforços, existem duas fracções poliméricas, a do FRP e a do adesivo. A temperatura que transforma o material polimérico numa massa macia designa-se por temperatura de transição vítrea (Tg) [3]. Após esta ser ultrapassada, as propriedades mecânicas do

polímero, tal como a resistência, o módulo de elasticidade e, consequentemente, a rigidez, e diminuem bruscamente. Além disso, esta temperatura (Tg) pode ser diminuída quando o polímero absorve humidade. Esta interacção com a humidade envolvente resulta ainda numa redução das outras propriedades mecânicas.

Por esta razão, sugere-se que o limite superior da amplitude térmica esperada numa construção deve ser 10°C a 20°C inferior a Tg.

### 1.2 Aderência

As resinas sintéticas, são os materiais de colagem mais correntes nomeadamente as resinas epoxídicas. O sistema mais utilizado é o bicomposto, constituído por uma base e um endurecedor, que devem ser misturados no momento da aplicação. Cada vez mais, as resinas epoxídicas não estão no seu estado puro, mas associadas a outros produtos para facilitar a aplicação ou ajustar as suas propriedades. Estes aditivos podem ser: plastificantes, solventes, aceleradores ou cargas minerais. Estes últimos originam argamassas epoxídicas que reduzem o custo do produto e contribuem com relevâncias técnicas sendo de destacar: a diminuição da retracção e do coeficiente de dilatação linear, o aumento da viscosidade, da duração da aplicação, das resistências mecânicas (salvo ao choque), da aderência quando o suporte está húmido e da resistência ao calor.

Os materiais adesivos assumem um papel importante no bom desempenho do reforço exterior [4]. Com a multiplicidade de materiais a que se pode recorrer, resultado de várias origens e composições, é concedida a oportunidade de adequar o melhor possível um tipo de adesivo a uma situação concreta.

### 1.3 Tratamento das superfícies

A eficaz transferência de tensões é fundamental para o bom aproveitamento do reforço [5] pelo que se deve conceder especial atenção às superfícies que vão ser unidas.

O grau de aderência depende muito das propriedades do betão solicitado, ou seja, quanto menor for a sua resistência mais fraca será a aderência. Por esta razão, quando a camada solicitada for incapaz de suportar as acções transmitidas, é conveniente removê-la e refazer a

superfície com uma argamassa hidráulica ou com um produto de origem sintética. É favorável conferir alguma rugosidade quando ela não existe e efectuar uma limpeza profunda.

Os laminados de CFRP, após o seu armazenamento, contêm camadas indesejáveis de poeiras e gorduras que devem ser removidas. Se a superfície for protegida com um filme plástico é só removê-lo, caso contrário será aconselhável usar um produto de limpeza recomendado pelo fornecedor do sistema. Antes da aplicação do reforço deve-se proceder a uma última inspecção, controlando a temperatura e a humidade.

## 2 Ensaios

Para se verificar a influência da temperatura nos reforços externos de elementos de betão armado, procurou-se cumprir um programa de ensaios laboratoriais que fornecesse resultados simples de retirar ilações comparativas.

### 2.1 Degradações

Numa primeira fase, após se decidir os materiais a aplicar, elaborou-se um programa de degradações para submeter várias vigas de betão armado.

Como a  $T_g$  da cola é de aproximadamente 63°C ficou claro que uma das temperaturas de exposição teria que ser próxima dessa. Igualmente importante seria ultrapassar significativamente a referida temperatura e estudar o comportamento no ambiente do laboratório de trabalho em que a temperatura normal ronda os 20°C. A decisão final das exposições térmicas, baseada em trabalhos anteriores [6] e numa norma europeia [7], conduziu às exposições indicadas no Quadro 1. Cada subgrupo (dois betões distintos cada qual com vigas reforçadas e sem reforço) de uma série de ensaios é composto por três provetes.

### 2.2 Vigas de betão armado

Com o objectivo de fornecer mais resultados, optou-se por utilizar dois betões distintos para a produção das vigas: um designado por *corrente* (BCorr) e outro de *elevado desempenho* (BED).

Por imposição da geometria da câmara de degradação, as vigas foram produzidas com as dimensões de 65x15x10 cm<sup>3</sup>.

A armadura convencional (Figura 1), igual nos dois tipos de vigas, foi produzida com varões

longitudinais de 6 mm de diâmetro (A400) e estribos de 3 mm de diâmetro (A500).

O betão corrente apresenta uma resistência média aos 28 dias de 30,0 MPa e o BED de 90,0 MPa.

Quadro 1 – Exposições térmicas.

Exposição (°C)		Degradação	Tempo ciclo (horas)	N.º de Ciclos
Max.	Mín.			
20	20	SD	6+6	50
40	20	T40	6+6	50
60	20	T60	6+6	50
80	20	T80	6+6	50

O processo de cura compreendeu a manutenção dos provetes no local da betonagem durante 24 horas e posterior desmoldagem com conservação nos 20 dias seguintes num tanque de água aproximadamente à temperatura de 20°C. De seguida, secavam à temperatura ambiente para se proceder à colagem do reforço, aos 28 dias de idade total.

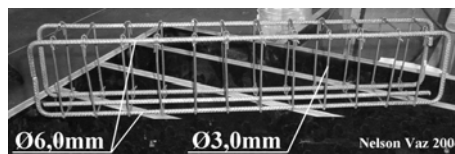


Fig.1 – Armadura da viga.

### 2.3 Aplicação do reforço

Passados 28 dias da betonagem as vigas estão prontas para receber o reforço.

#### 2.3.1 Preparação da superfície

Para preparar a superfície da viga de betão, recorreu-se a um disco de diamante e um abrasivo, a jacto de ar e a uma escova macia. Recursos semelhantes permitem retirar a leitada de cimento, descofrante e poeiras, ao mesmo tempo que confere rugosidade à superfície extremamente lisa (Figura 2) das vigas.

A face do laminado destinada a receber a cola, foi limpa imediatamente antes de se aplicar a cola, com o soluto de limpeza indicado pelo fornecedor.

#### 2.3.2 Colagem

A localização do reforço à flexão para as vigas está indicada na figura 3. A cola seleccionada foi uma argamassa epoxídica, que deve ser misturada na

altura da aplicação na razão 3:1 (peso ou volume de base e endurecedor, respectivamente). Este adesivo tem como carga mineral um filler calcário.



Fig.2 – Superfície inicial e tratada.

A aplicação envolveu o espalhamento de cola nas duas superfícies, com especial cuidado no suporte, para preencher todos os poros. O posicionamento e compressão uniforme do laminado na viga não devem permitir a formação de vazios e ser tal que a espessura da lâmina de cola seja aproximadamente 1 mm. A secagem decorreu num ambiente com a temperatura de 20°C durante 7 dias, após os quais se pode iniciar a degradação.

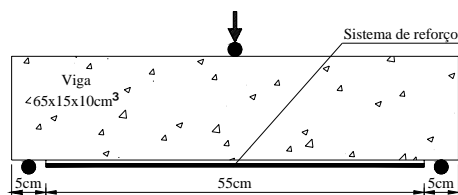


Fig.3 – Localização do reforço na viga.

## 2.4 Ensaios finais

Decorridos os 50 ciclos [7] de exposição térmica, as vigas foram ensaiadas à flexão (Figura 4).

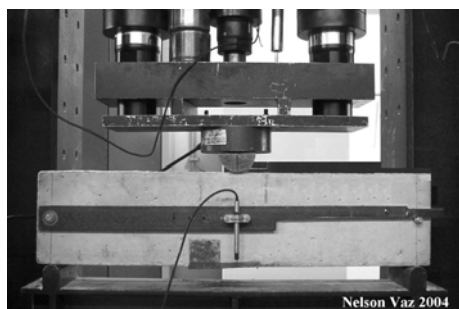


Fig.4 – Ensaio de uma viga

O ensaio efectuou-se com um sistema servo-controlado garantindo uma velocidade a meio vão de 10  $\mu\text{m/s}$  e decorreu à temperatura de exposição máxima sendo para isso assegurado que após retirar as vigas da câmara de degradação, o arrefecimento até ao final do ensaio não fosse significativo ( $<5^\circ\text{C}$ ).

## 3 Resultados

A avaliação dos ensaios é feita em duas perspectivas, uma relativa aos resultados numéricos e outra alusiva à análise visual do comportamento das vigas durante a degradação e após o teste final.

### 3.1 Temperatura na cola durante o dia

Também foram medidas as temperaturas presentes na camada de cola durante a exposição solar de uma peça de betão durante um dia (Figura 5).

As leituras foram realizadas através de um sensor colocado muito próximo da face de uma peça de betão.

O vento arrefece a superfície e como tal realizaram-se medições num elemento protegido e noutra exposto.

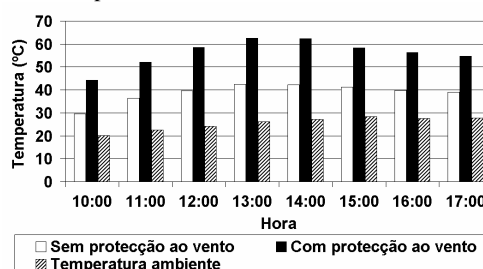


Fig.5 – Medição das temperaturas na cola.

Observando as temperaturas durante um dia de Verão medianamente quente e ventoso, pode-se constatar que se atingem temperaturas na superfície do betão muito próximas dos 60°C.

### 3.2 Ensaios de flexão

Nas figuras 6 a 9 estão representadas as curvas médias, representativas dos ensaios para cada uma das exposições térmicas.

No gráfico da figura 10, apresenta-se a evolução dos momentos máximos resistentes para as diferentes degradações.

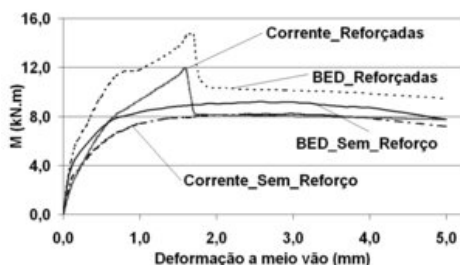


Fig. 6 – Curvas momento deformação, SD.

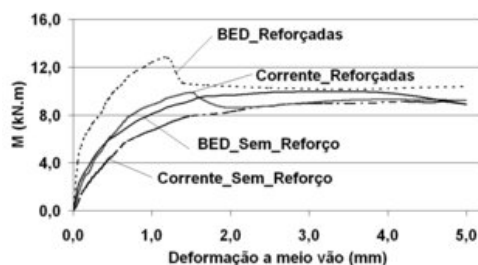


Fig. 8 – Curvas momento deformação, T60

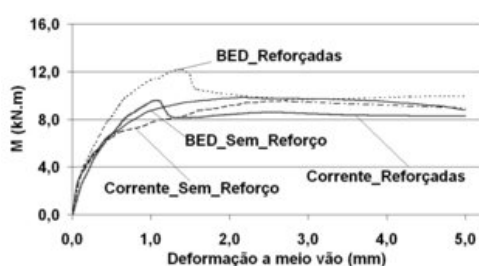


Fig. 7 – Curvas momento deformação, T40.

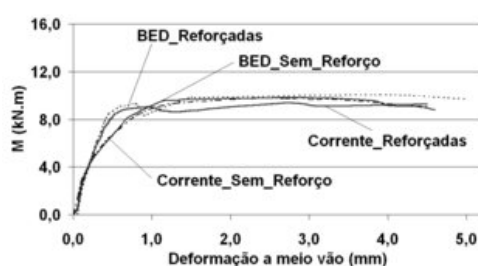


Fig. 9 – Curvas momento deformação, T80.

### 3.3 Interpretação de resultados

Como era esperado, o aumento da agressividade térmica implica uma diminuição da eficiência do reforço.

Quando se ultrapassou a temperatura de transição vítrea da cola, isto é, com as exposições T60 e T80, começaram a verificar-se descolagens.

Por observação das curvas momento x deformação verifica-se que com o aumento da temperatura envolvente, o comportamento das vigas reforçadas tende a ir de encontro ao das sem reforço.

Na série de ensaios sem degradação e com a exposição T40, as roturas nas vigas sem reforço deram-se por flexão (Figura 11) e nas vigas com reforço aconteceram devido à delaminação causada pela rotura do betão de recobrimento (Figura 12). Quando a agressividade da exposição foi próxima da  $T_g$  do adesivo, verificaram-se algumas descolagens nas extremidades do reforço. Nestas situações, a descolagem aconteceu na interface betão cola.

Na exposição mais rigorosa, observaram-se descolagens coesivas completas do reforço dos provetes de BED (Figura 13). No betão corrente os resultados visuais não foram tão perceptíveis.

### 4 Conclusões

Este tipo de reforço sem dúvida alguma que tem inúmeras vantagens. Contudo, quando aplicado num ambiente quente, carece de cuidados especiais. Numa simples exposição solar de uma peça de betão, é possível registar-se temperaturas bastante elevadas e capazes de levantar problemas. Estes ensaios incidiram apenas perante as acções da temperatura e de carga, mas elas normalmente não actuam sozinhas. Pode, também, existir, em simultâneo, humidade ou o meio ser quimicamente agressivo. Por esta razão, é aconselhável que a cola utilizada possua uma temperatura de transição vítrea  $10^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  superior à temperatura máxima prevista no local, que se prevejam sistemas de protecção e que durante os trabalhos de reforço exista supervisão. Este acompanhamento deve incidir especialmente na avaliação do meio ambiente, na mistura da cola, na preparação das superfícies, aplicação do reforço e condições de secagem.

Apesar das vigas de betão de elevado desempenho manifestarem sempre melhores resultados que as restantes, a colagem de reforços neste género de betão, menos poroso, carece de mais cuidados.

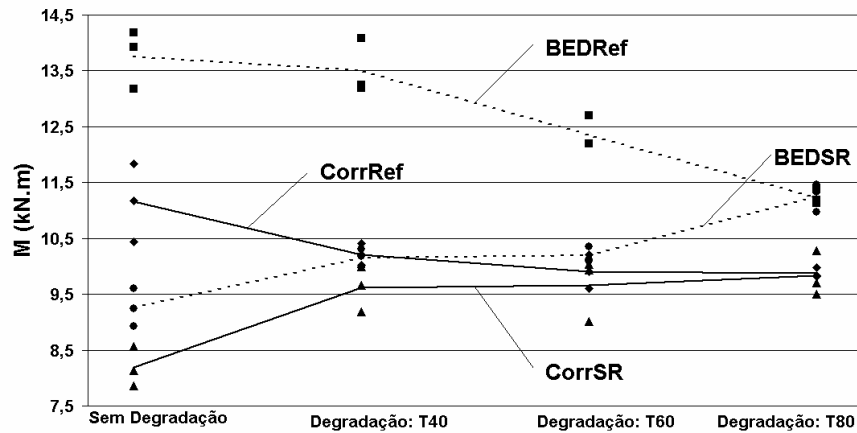


Fig. 10 – Evolução dos momentos máximos com o aumento da severidade da exposição térmica.

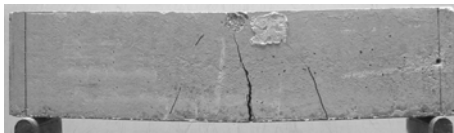


Fig. 11 – Rotura por flexão.

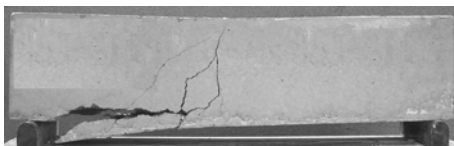


Fig. 12 – Delaminação.

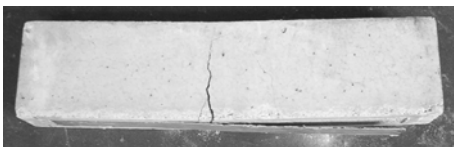


Fig. 13 – Descolagem do reforço.

### Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, foi indispensável a colaboração da Sika Portugal, S.A., da Socitrel Soc. Ind. Trefilaria, S.A. e da Secil – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

### Referências

[1] FIB Bulletin, *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures*, International

Federation for Structural Concrete (FIB), Lausanne, FIB, 2001.

[2] Anne Beeldens, Van Gemert D.; Aguiar B., *Aging factors affecting Adhesion*; RILEM TC 151, Adhesion Technology: Physical and Chemical Aspects, Chapter 6, 2000.

[3] Hutchinson A. R.; Quinn J., *Strengthening of Reinforced Concrete Structures, using externally-bonded FRP composites in structural and civil engineering*, Cambridge, 2000.

[4] Araújo, C. M., *Reforço de vigas de concreto à flexão e ao cisalhamento com tecidos de fibra de carbono*, Dissertação de Doutoramento, Universidade federal do Rio de Janeiro, 2002.

[5] ACI 50R-93, *Use of epoxy compounds with concrete*, American Concrete Institute, ACI Committee 503. 1993.

[6] Vaz N., *Análise do comportamento de reforços exteriores de betão armado submetidos a elevadas temperaturas*, Projecto Individual, Universidade do Minho, 2003.

[7] CEN, European Committee for Standardisation – EN 13733, *Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test Methods – Determination of the durability of structural bonding agents*, 2002.