

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE REFORÇOS EXTERIORES DE BETÃO ARMADO SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS

Nelson Vaz<sup>1</sup>, José Aguiar<sup>2</sup> e Aires Camões<sup>3</sup>

### RESUMO

O reforço e reabilitação de estruturas de betão armado recorrendo a chapas metálicas coladas, assume-se como umas das técnicas mais utilizadas. Para isso contribuem factores como a rapidez de execução e a pouca influência na arquitectura. A aplicação das chapas metálicas nos elementos da estrutura é normalmente feita através de colas de base epoxídica.

A integridade do sistema pode ser afectada por várias situações, em que se destaca a exposição a ambientes agressivos, nomeadamente pela presença de temperaturas elevadas.

Para se estudar a influência do aumento da temperatura neste tipo de reforço foram aplicadas chapas metálicas em provetes de argamassa. Após uma exposição térmica de 24 horas a 20°C, 40°C e 60°C os provetes foram ensaiados à flexão à mesma temperatura.

Os resultados demonstram que à temperatura ambiente, 20°C, os provetes reforçados apresentam maior resistência à flexão. Contudo com o aumento da temperatura, as roturas que a 20°C se verificaram pela argamassa, deram lugar, cada vez com maior incidência, à descolagem do reforço.

A resistência térmica deste sistema de reforço externo não é muito elevada. Por esta razão a sua aplicação em locais onde se prevejam elevadas temperaturas carece de protecção.

### 1. INTRODUÇÃO

O aumento da decadência das estruturas é na maior parte das vezes resultado das estruturas já não responderem às acções para que foram dimensionadas. Por conseguinte, de alguns anos a esta parte, em todo o mundo, a posição de um engenheiro civil relativamente às estruturas foi renovada.

A reabilitação, o reforço ou o melhoramento de estruturas tem como propósito recuperar e/ou adaptar estruturas existentes, visando respeitar as condições mínimas de segurança. Podem ser enumeradas várias razões que afastem a segurança de uma construção

<sup>1</sup> Eng.º Civil, Bolseiro Investigação, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

<sup>2</sup> Professor Associado, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

<sup>3</sup> Professor Auxiliar, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

tais como: a idade da construção e exposição ambiental com a conseqüente degradação dos materiais; a exposição a acções acidentais; equívocos no planeamento, no projecto ou na execução; utilização de materiais de má qualidade; agravamentos no valor da carga actuante por modificação da utilização da construção ou mesmo resultante de alterações nos códigos.

Até ao momento as técnicas utilizadas em trabalhos em betão armado, são sobretudo a injeção de caldas de cimento e de resinas epoxídicas nas fissuras, reforço com aplicação de elementos estruturais adicionais, aplicação de cabos de pré-esforço exteriores, encamisamento e reforço com a colagem de chapas de aço.

Com a necessidade de se reforçar uma estrutura, a escolha do sistema pode ser justificada por várias razões destacando-se o aspecto económico, a possibilidade da aplicação simples e rápida, que afecte o menos possível a arquitectura, que os materiais usados sejam leves, logrem de boas características mecânicas e sejam duráveis.

## 2. REFORÇO COM CHAPAS METÁLICAS COLADAS

O reforço e reabilitação de estruturas com o recurso a chapas metálicas coladas, assume-se como umas das técnicas mais utilizadas em peças do betão armado quando elas apresentam deficiência nas armaduras e/ou se pretende modificar a capacidade de carga.

Este sistema apresenta inúmeras vantagens tais como a rapidez de execução com recurso a instalações simples, a ausência de materiais que exigem longos períodos de cura e permite reforços que ficam despercebidos e sem inconvenientes arquitectónicos.

Apesar da experiência resultante de muitas aplicações, existem problemas e limitações associados a este tipo de solução. Sendo o sistema composto por elementos de aço, está sujeito à corrosão. Ela pode ser problemática em duas situações, a primeira é anterior à colagem e diz respeito à acumulação de detritos, além de poeiras, durante o período de armazenagem, que devem ser oportunamente limpos. Quanto à segunda situação é posterior à colagem na presença de ambientes que facilitem a corrosão. Por esta razão é conveniente proteger o reforço contra a humidade. Uma outra problemática diz respeito às dimensões que se consegue atingir com estes reforços. Normalmente os elementos a reforçar são maiores do que os reforços, como tal serão necessárias juntas. Por outro lado as dimensões das chapas implicam dificuldades no transporte e na colocação uma vez que os espaços podem ser restritos.

Neste tipo de reforço a formação do conjunto com recurso a um elemento adesivo é fundamental e deve ser alvo de particular atenção pois é o elemento que assegura a formação da ligação entre o elemento de betão e a chapa. A escolha da cola deve ter em conta a compatibilidade com o betão e a chapa, o processo de colagem e as situações desfavoráveis a que vai ser exposta. As colas à base de resinas epoxídicas são muito utilizadas. Contudo a adição de cargas minerais originando argamassas epoxídicas, reduz substancialmente o custo e facilita a aplicação<sup>1</sup>.

## 3. MATERIAIS ADESIVOS

Em tempos, já se pensou que a acção de uma cola era puramente mecânica, isto é, que quando aplicada formava um entrelaçado conseqüência da sua penetração nos poros e irregularidades das duas peças a unir após a sua compressão e secagem. Actualmente, os fenómenos de adesão são interpretados no sentido das ligações à escala molecular<sup>2</sup>.

O próprio material pode funcionar portanto como colante, mas a interposição de uma substância apropriada entre os aderendos a par de uma preparação das suas superfícies vem tornar a união mais fácil<sup>3</sup>.

Os materiais adesivos assumem um papel importante no bom desempenho do reforço exterior. 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.

Como material de colagem, as resinas sintéticas são muito utilizadas, em que se destacam as epoxídicas. O sistema mais utilizado é o bicomposto constituído por uma base e um endurecedor, a serem misturados no momento da aplicação. Muitas vezes as resinas epoxídicas não estão no seu estado puro, mas associadas a outros produtos para facilitar a aplicação ou ajustar as suas propriedades a uma dada situação. Estes aditivos podem ser: plastificantes, solventes, aceleradores ou cargas minerais. Estes últimos aditivos originam argamassas epoxídicas. Além de reduzirem o custo do produto 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.

Um dos aspectos aqui em destaque é o efeito da temperatura<sup>4</sup> sobre este tipo de reforço, especialmente nos elementos adesivos de origem polimérica. Quando se verifica a aproximação da temperatura do nível designado por Temperatura de Transição Vítreia, Tg, é provocado neles uma diminuição das principais propriedades mecânicas como a resistência e a rigidez. Sugere-se que o limite superior da amplitude térmica esperada numa construção deve ser 10°C a 20°C inferior a Tg.

A escolha do material ou materiais a utilizar é o resultado de uma análise das suas características, das acções em questão e das condições em que a obra se insere. A qualidade deste tipo de materiais depende indispensavelmente da aderência e da durabilidade. Contudo podem ser discriminados mais alguns factores influentes no bom comportamento da colagem ao longo da sua vida, presentes aquando da aplicação como se pode ver na tabela 1.

Tabela 1 – Factores que contribuem para uma boa colagem.

Factor	Exigência
Aderência	Boa
Retracção	Baixa
Trabalhabilidade	Fácil
Permeabilidade	Reduzida
Compatibilidade térmica	Boa
Resistência mecânica	Alta

#### 4. TRATAMENTO DAS SUPERFÍCIES

Para uma eficaz transferência de tensões e consequente bom aproveitamento do reforço é indispensável disponibilizar especial atenção às superfícies que vão ser unidas.

O grau de aderência de um sistema colado depende muito da capacidade do betão solicitado. Quanto menor for a sua resistência mais fraca será a aderência. Quando este for incapaz de suportar as acções transmitidas pelo reforço pode-se proceder à remoção de uma camada. Além desta exigência, avaliada em fase de projecto, antes da aplicação será necessário efectuar verificações à superfície do suporte. É então conveniente conferir alguma rugosidade quando ela não exista, efectuar uma limpeza profunda e verificar a temperatura e a humidade no suporte.

As chapas de aço, após o seu armazenamento, podem ter à superfície camadas indesejáveis, resultado da corrosão, de poeiras e gorduras acumuladas. A sua remoção deve

ser imediatamente anterior à aplicação e mais uma vez a temperatura da chapa deve ser também verificada nessa altura, particularmente se o depósito tiver sido ao sol.

## 5. ENSAIOS

Ao ser estabelecido o procedimento do ensaio, optou-se por utilizar argamassa em vez de betão, aceitando-se contudo que não diferem significativamente no estudo em causa. As dimensões dos provetes,  $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ , não são adequadas à utilização de betão que inclusivamente facilitaria a rotura pelo inerte mais grosso. Recorrendo a provetes de dimensões reduzidas é permitido efectuar um maior número de ensaios. O que terá mais relevância nas conclusões finais, será a forma como é efectuada a colagem quer ao nível do tratamento das superfícies quer quanto ao material adesivo a ser aplicado.

Com o objectivo de degradar o sistema de reforço, os provetes produzidos são submetidos a ensaios de flexão a três pontos às temperaturas de  $20^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$  e  $60^\circ\text{C}$  após um aquecimento de 24 horas à mesma temperatura. Para estabelecer comparação também foram ensaiados, apenas à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , provetes sem reforço. Após o ensaio de cinco provetes em cada situação, a carga e tipo de rotura foram registados.

### 5.1 Preparação de Provetes

A produção dos provetes foi baseada numa argamassa normalizada<sup>5</sup>. As quantidades, por amassadura, destinadas à produção de três provetes foram: 450 g de cimento, 1350 g de areia e 275 g de água.

Os provetes permaneceram nos moldes 24 horas na câmara húmida. Depois da desmoldagem conservaram-se dentro de água durante 20 dias. Posteriormente secaram à temperatura ambiente durante 7 dias até se poder proceder à colagem dos reforços.

### 5.2 Reforços e Cola Utilizados

A cola utilizada foi uma argamassa epoxídica. Trata-se de uma argamassa adesiva com dois componentes, à base de epoxi, isenta de solventes com uma temperatura de vitrificação de  $62^\circ\text{C}$ . Uma vez que é uma argamassa epoxídica, seria de esperar que o produto fosse comercializado em três componentes – a base, o endurecedor e as cargas minerais. Apesar de o produto ser comercializado em dois componentes contém um filler silicioso. Desta forma simplifica-se a sua utilização dispensando em obra misturas mais demoradas e complicadas. A aplicação da cola foi realizada segundo a ficha técnica do produto, sendo a proporção de mistura – Componente A : Componente B = 3 : 1 (em volume e em peso). As chapas de aço utilizadas são de aço Fe360. Foram cortadas com as dimensões de  $40.0 \times 40.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ .

### 5.3 Colagem de Reforços

A actividade de colagem de reforços foi precedida da preparação de ambas as superfícies a unir. Nos provetes procedeu-se à remoção da leitada de cimento, que se depositou na sua superfície durante a cura, com uma lixa grossa ou com um disco abrasivo, conferindo-lhe em simultâneo alguma rugosidade. Por fim com um jacto de ar, retirou-se o melhor possível, todo o género de poeiras existentes na peça. Nas chapas de aço já cortados, apenas se efectuou uma primeira limpeza com o jacto de ar e depois com álcool.

A cola foi misturada nas proporções e condições indicadas pelo fabricante. Em seguida, com uma espátula, foi aplicada nas duas superfícies, isto é, no provete (suporte) e na

chapa, com o cuidado que todos os poros do suporte sejam preenchidos. De seguida o reforço foi posicionado (Fig.1) e pressionado contra o suporte até que o excesso de cola seja forçado a sair pelos lados e a espessura de cola seja aproximadamente 1 mm. A cola expulsa foi removida.

O endurecimento decorre durante 7 dias à temperatura ambiente do laboratório.

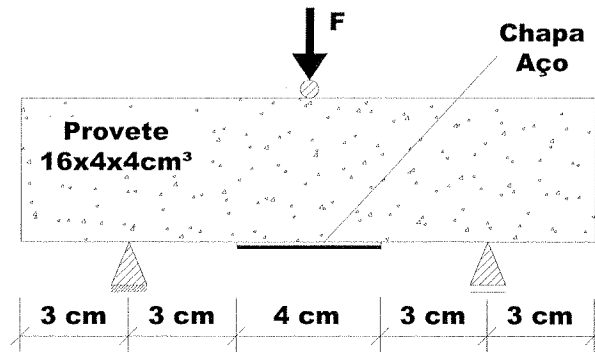


Fig. 1 – Localização do reforço no provete

#### 5.4 Ensaio dos Provetes

Terminado o endurecimento da cola, os provetes são colocados num aquecimento de 24 horas, após o qual estão prontos para o ensaio na câmara climatizada.

Com base numa norma relativa a argamassas<sup>5</sup>, a velocidade de carregamento para o ensaio à flexão é de  $50 \pm 10$  N/s e a distância entre apoios é de 10 cm (Fig.2).

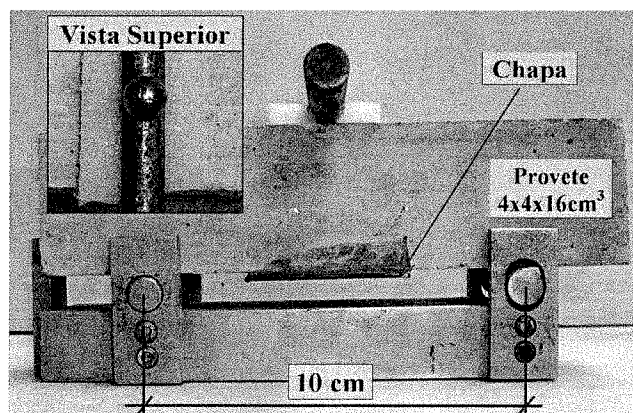


Fig. 2 – Esquema de ensaio, sistema de apoios e varão com esfera para o carregamento

O ensaio decorre às temperaturas pré-definidas até à rotura. A 20°C, a máquina não necessitava de ambientação e o tempo de espera não existe. Quando a temperatura deixa de ser a ambiente, os provetes são retirados da estufa de pré-aquecimento e antes dos ensaios colocados dentro da câmara previamente aquecida. Sempre que um novo provete é submetido ao carregamento, deixa-se a temperatura estabilizar com alguns minutos de espera.

Durante o carregamento, a máquina indica o valor da carga aplicada ao longo do tempo, donde é possível verificar o crescimento do carregamento e a deformação do provete. O valor limite ao qual existe a rotura da peça é facilmente detectável.



## 6. RESULTADOS

A interpretação dos resultados mais do que efectuar as leituras das cargas de rotura e das deformações a meio vão, envolve a observação do tipo de rotura.

Após o carregamento, são de esperar dois tipos de rotura dos provetes reforçados: pela argamassa (Fig.3a) ou adesiva por descolagem do reforço (Fig.3b).

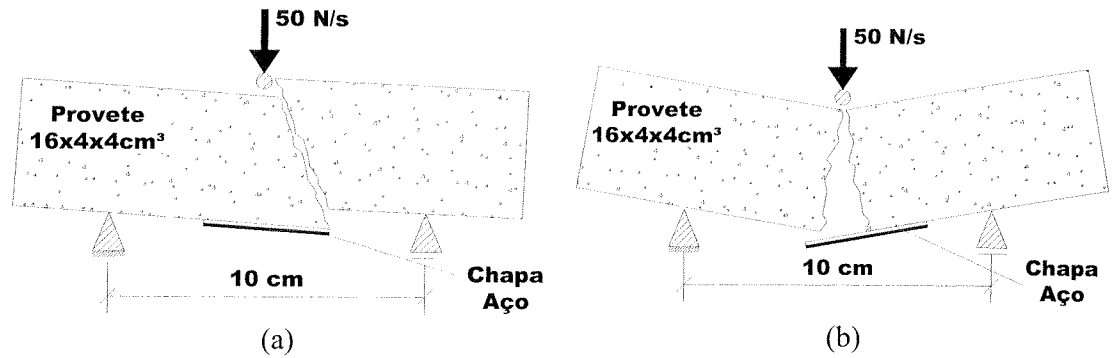


Fig. 3 – Tipos de rotura.

### 6.1 Provetes sem Reforço a 20°C

Nos ensaios a esta temperatura perante os provetes sem reforço a rotura foi perfeitamente normal como se pode ver na figura 4. Este ensaio, apenas serviu como base de comparação às etapas seguintes, no sentido de se caracterizar a argamassa.

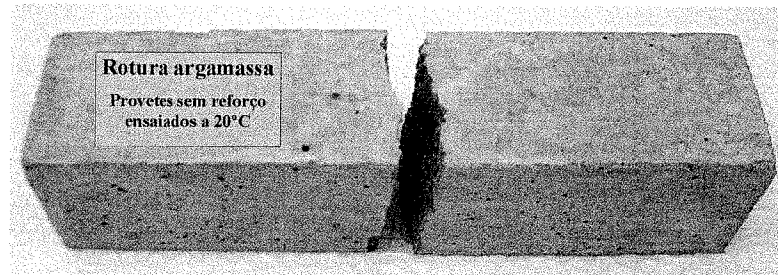


Fig. 4 – Rotura tipo dos provetes não reforçados.

### 6.2 Provetes Reforçados a 20°C

Ao se efectuar o primeiro ensaio com os provetes reforçados, é possível verificar aquilo que na teoria se havia referido. Observam-se predominantemente roturas pela argamassa e por esforço transversal. O provete rompeu com a formação de uma linha de rotura entre o ponto de carga e o extremo da chapa como se pode observar na figura 5.

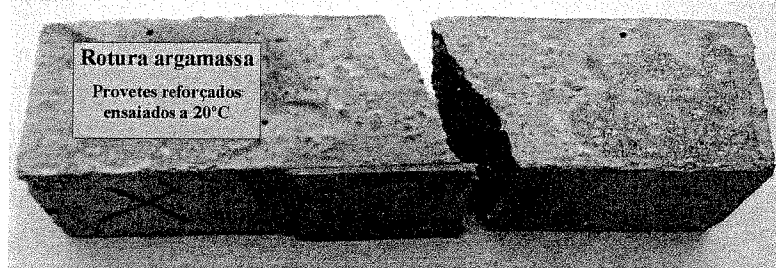


Fig. 5 – Rotura pela argamassa dos provetes reforçados e ensaiados a 20°C.

### 6.3 Provetes Reforçados a 40°C

Quando o carregamento passou a ser feito na presença de uma temperatura de 40°C, dois dos cinco provetes ensaiados tiveram uma rotura com a descolagem do reforço na interface argamassa/cola. É de salientar que a linha de rotura nesta situação não foi vertical mas ligeiramente inclinada (Fig.6). Maioritariamente, os provetes romperam pela argamassa, apesar de o tempo de carregamento ser inferior aos ensaios decorridos a 20°C.



Fig. 6 – Rotura tipo adesiva dos provetes reforçados e ensaiados a 40°C.

### 6.4 Provetes Reforçados a 60°C

A esta temperatura, semelhante à temperatura de transição vítrea da cola (62°C), os provetes romperam maioritariamente com a descolagem do reforço (Fig.7). Todavia não é de ignorar que dois dos cinco provetes tiveram uma rotura pela argamassa.



Fig. 7 – Rotura adesiva tipo dos provetes reforçados e ensaiados a 60°C.

### 6.5. Resumo dos Resultados

Com a reunião das cargas máximas aplicadas (Tabela 2) e após a interpretação gráfica (Fig.8) dos resultados, observa-se que o reforço à mesma temperatura conduziu a um aumento de cerca de 30% da tensão de rotura. Nesta fase, isto é, com uma exposição à temperatura ambiente, as roturas acontecem todas pela argamassa e com a formação de uma linha de rotura entre o ponto de carregamento e o extremo do reforço.

Com a transição da temperatura para o patamar seguinte, 40°C, já se presenciaram roturas adesivas, com a descolagem do reforço. Com esta exposição térmica, a aproximar-se da temperatura de transição vítrea, o estado da cola vai-se alterando, manifestando-se da forma como o provete de ensaio rompe.

Com a degradação e ensaio efectuados a temperaturas de 60°C, constata-se a mudança para uma predominância de roturas do tipo adesivo. O bom estado da colagem já não se confirma, visto que a tensão de rotura é apenas ligeiramente acima da dos provetes não reforçados ensaiados à temperatura ambiente.

Tabela 2 -Resumo das tensões, deformações e tipos de roturas dos provetes às várias temperaturas de ensaio.

Temperatura	Reforço	Rotura			
		Força Média (kN)	Tensão Média (MPa)	Deformação meio vão (mm)	Tipo de rotura predominante
20°C	Não	3,22	7,54	0,231	Argamassa
	Reforçado	4,19	9,81	0,328	Argamassa
40°C	Reforçado	3,76	8,81	0,291	40% Adesiva
60°C	Reforçado	3,29	7,70	0,254	60% Adesiva

### Tensões de rotura

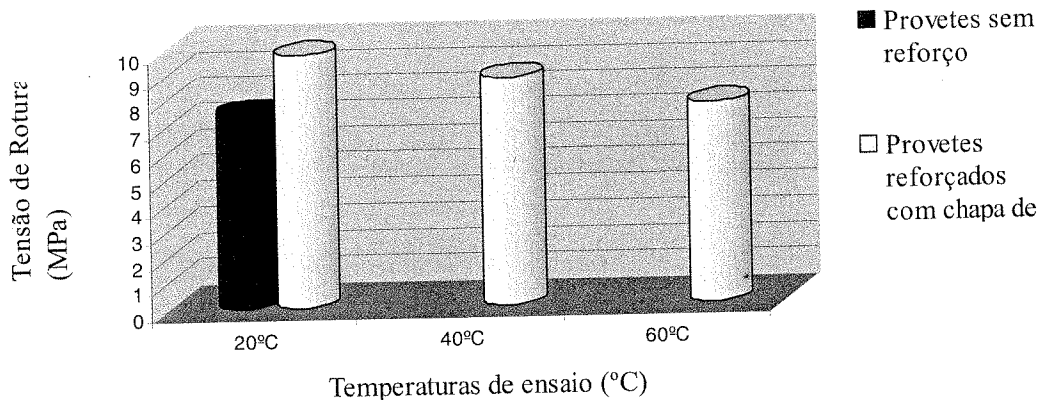


Fig. 8 – Variação das tensões de rotura médias de acordo com o reforço e temperatura de ensaio.

## 7. CONCLUSÕES

O reforço conduziu a um aumento em cerca de 30% da carga de rotura a 20°C com os provetes a romperem pela argamassa. Com o aumento da temperatura para 40°C a carga de rotura foi menor e já aconteceram 40% de roturas com a descolagem do reforço. Na exposição e ensaio a 60°C presenciaram-se 60% de roturas adesivas com uma carga de rotura apenas ligeiramente superior à dos provetes sem reforço.



A resistência térmica destes reforços externos não é muito elevada. No local da aplicação, a temperatura é um dos factores que mais afecta o bom desempenho do sistema. Estes ensaios foram apenas perante as acções da temperatura e de carga, mas elas normalmente não actuam sozinhas, pode também existir em simultâneo humidade ou meio ser quimicamente agressivo. Por esta razão, é aconselhável que a cola utilizada possua uma temperatura de transição vítrea 10°C a 20°C superior à máxima temperatura prevista no local, que se prevejam sistemas de protecção e durante a execução dos trabalhos 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.

## REFERÊNCIAS

- [1] Dias, E., "Verificação experimental do reforço com CFRP de estruturas de betão armado", Tese de mestrado, FEUP, Porto, 2001.
- [2] LNEC, "Introdução ao estudo e ensaio das colas orgânicas - 2º relatório - O problema da adesão", Lisboa, 1969.
- [3] Comyn, J; "Adesion science", RSC Paperbacks, Cambridge, UK, 1997.
- [4] Hutchison, A. R e Hollaway L. C., "Environmental durability", Externally bonded FRP reinforcement for RC structures - Using externally-bonded FRP composites in structural and civil engineering", Cambridge England, pp. 156 - 182, 1999.
- [5] I.P.Q., "Métodos de ensaio de cimentos", Norma Portuguesa NP-EN 196 - 1, Caparica, 1990.