Optimização e Dimensionamento de Blocos de Ancoragem de Pré-Esforço em Pontes de Betão com Secção Transversal em Caixão

Carla Marchão

Motivação

⇨ Continuam a verificar-se situações de rotura em zonas de ancoragem de cabos de pré-esforço

- O dimensionamento dos blocos de ancoragem de pré-esforço interior e de continuidade deve ter em conta que se tratam de ancoragens intermédias e excêntricas;

Motivação

⇨ Continuam a verificar-se situações de rotura em zonas de ancoragem de cabos de pré-esforço

- As formulas simplificadas para dimensionamento da armadura necessária para resistir às tensões transversais que se geram devido à aplicação de cargas pontuais, preconizadas pela regulamentação actual, não são suficientes por não terem em consideração todos os efeitos que requerem armadura;

- Elevada densidade de armadura nos blocos de ancoragem.

Objectivos

- Desenvolvimento e caracterização de um betão autocompactável de elevado desempenho reforçado com fibras metálicas (HPFRC), para reduzir as dimensões da secção transversal de betão e a quantidade de armadura necessária nas zonas de ancoragem.

- Implementação de um programa experimental para aferir a segurança das zonas locais de ancoragem em relação aos estados limites últimos e de utilização.

- Implementação de um programa experimental para estudar:

  - a transmissão de tensões dos blocos de ancoragem à laje de fundo e alma da secção
  - Aferir modelos de dimensionamento de blocos de ancoragem
  - Avaliar a viabilidade de utilização de betões de elevado desempenho apenas nos blocos de ancoragem.

Betão de elevado desempenho (HPFRC)

Composição

O betão auto-compactável de elevado desempenho com e sem fibras metálicas (HPFRC e HPC, respectivamente) foi desenvolvido em colaboração com o LABEST/FEUP

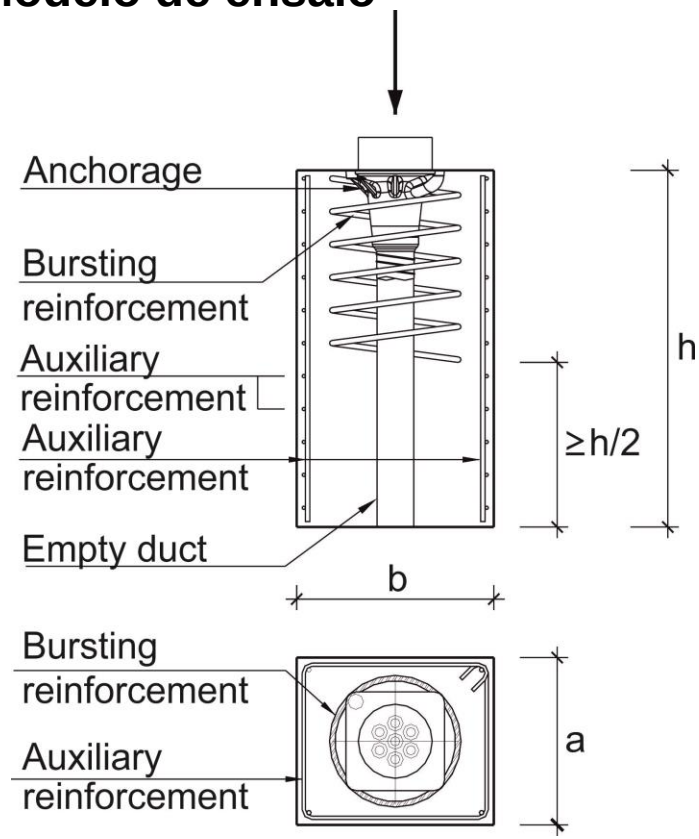
Materiais	Quantidades (kg/m^3)	
	HPFRC	HPC
Cimento	810.60	810.60
Sílica de fumo	81.06	81.06
Fíler calcário	317.58	317.58
Areia	961.10	1040.00
Água	156.80	156.80
Superplastificante	11.16	11.16
Fibras de aço	235.50	-
Razão w/c	25%	25%

⇨ Para o HPFRC, f_{cm} = 107.3 MPa e f_{ctm} = 9.4 MPa

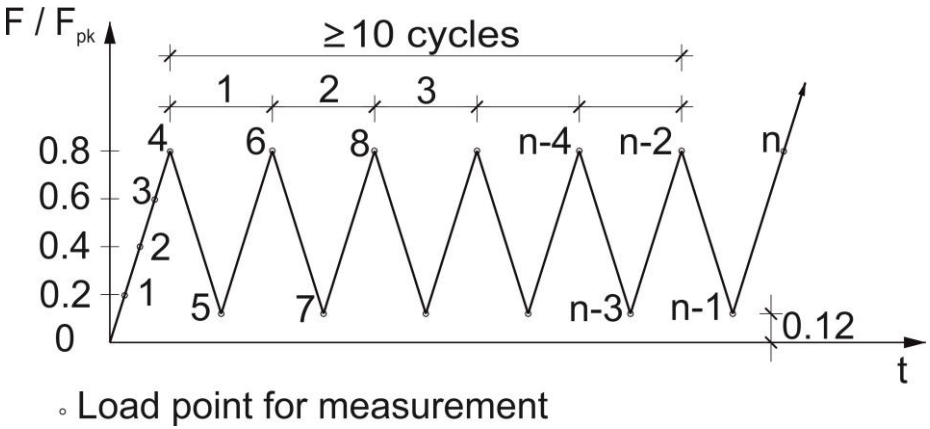
Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Ensaio de transferência de carga de acordo com a ETAG (2002)

Modelo de ensaio



Procedimento do ensaio



Critério de aceitação

Máxima abertura de fendas w (mm)			Pu (kN)
Prim. $0.8F_{pk}$	Últ. $0.12F_{pk}$	Últ. $0.8F_{pk}$	
0.15	0.15	0.25	$1.1F_{pk}$

Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Geometria dos modelos

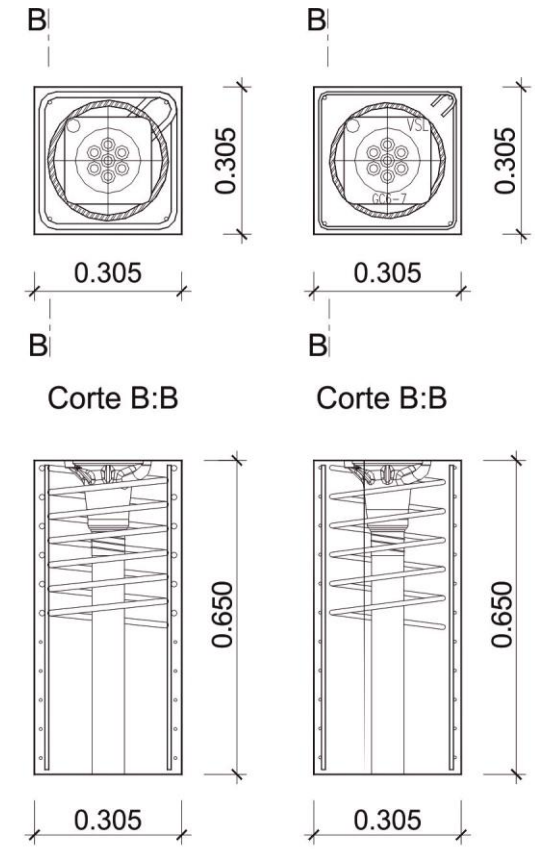
- O programa experimental incluiu oito modelos prismáticos de betão armado (ORC) – modelos P1 e P2 – e oito modelos prismáticos de HPFRC – modelos P3 to P6;

- Utilizaram-se ancoragens de pré-esforço VSL do tipo GC para sete cordões de 0.6", com placa de 180 × 180 mm^2. Adoptaram-se baínhas de fita metálica com diâmetros interior e exterior de 60mm e 67mm, respectivamente.

Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Geometria dos modelos

Modelos de ORC



a) Modelos P1 ORC

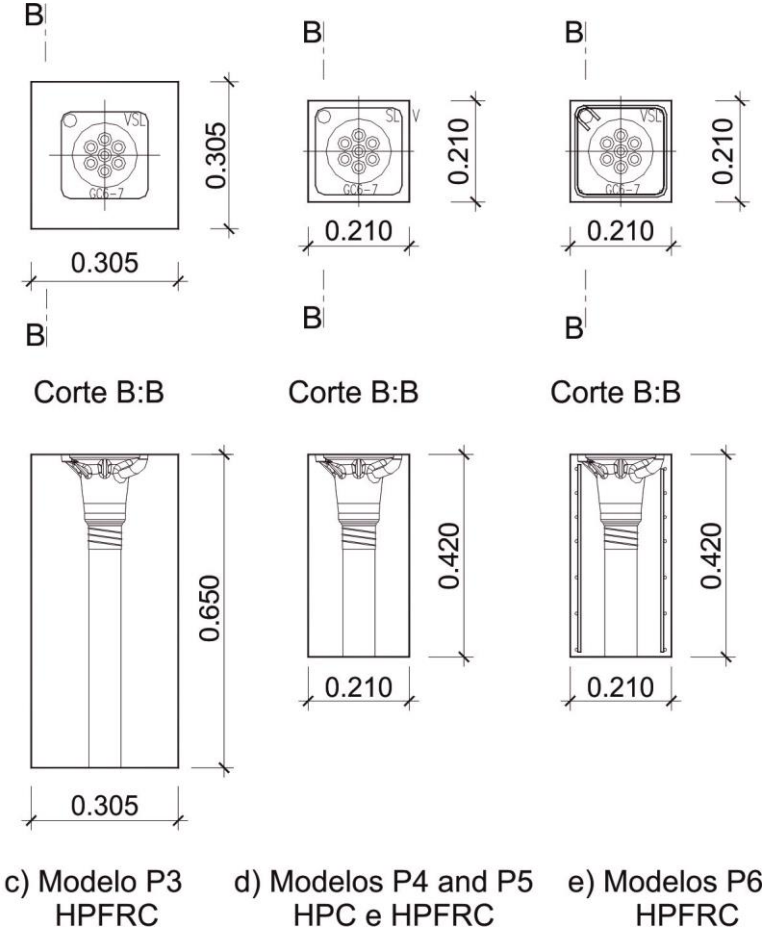
b) Modelos P2 ORC

		P1	P2
	Dimensões (mm³)	305 x 305 x 650	
Armadura helicoidal	ϕ (mm)	12	10
	D(mm)	250	230
	s (mm)	60	60
	nº voltas	6	6
Estribos	ϕ(mm)	12	-
	s (mm)	60	-
	nº estribos	6	-
Armadura adicional	ϕ (mm)	6	6
	s (mm)	60	60
	nº estribos	5	11

Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Specimen geometry

Modelos de HPFRC

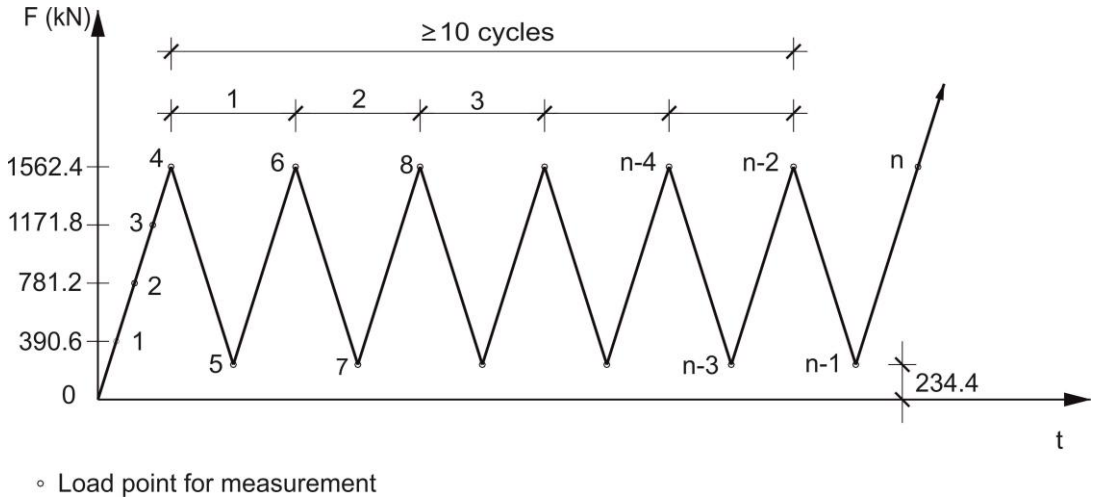


	P3	P4, P5, P6
Dimensões (mm^3)	305 x 305 x 650	210 x 210 x 420

		P6
Estribos	ϕ (mm)	6
	s (mm)	50
	nº estribos	4
Armadura adicional	ϕ (mm)	6
	s (mm)	75
	nº estribos	3

Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Procedimento do ensaio



Critério de aceitação

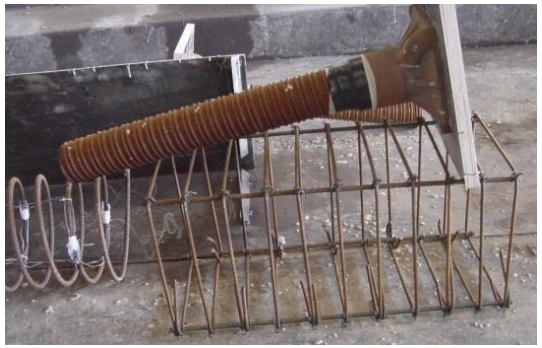
Máxima abertura de fendas w (mm)			Pu, min (kN)
Prim. 1562.4kN	Últ. 234.4kN	Últ. 1562.4kN	
0.15	0.15	0.25	2148.3

Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Equipamento utilizado e medições

- Utilizou-se uma máquina de compressão servo-controlada com capacidade de carga até 3000kN e capacidade de deslocamento até 50mm.

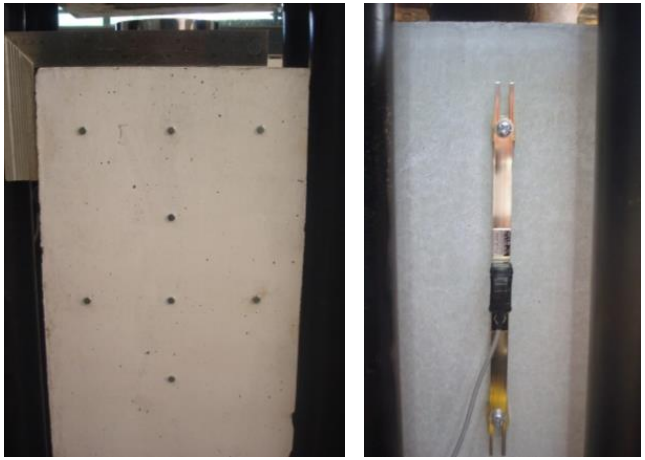
- Foram instalados dezasseis extensómetros nos modelos P1 e P6, e oito extensómetros nos modelos P2. Os extensómetros foram colados aos pares, em lados diametralmente opostos das armaduras que se pretendiam monitorizar.



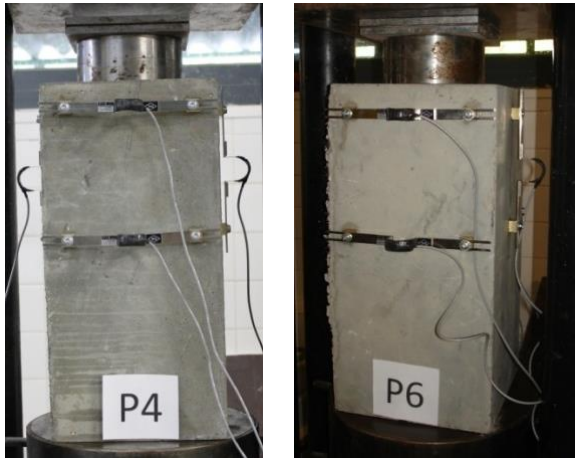
Programa experimental – Ensaio de Transferência de carga

Equipamento utilizado e medições

- Nos modelos P1, P2 e P3, as extensões verticais na superfície do betão foram medidas com transdutores de deslocamento, em duas faces, e as extensões horizontais com extensómetros mecânicos.



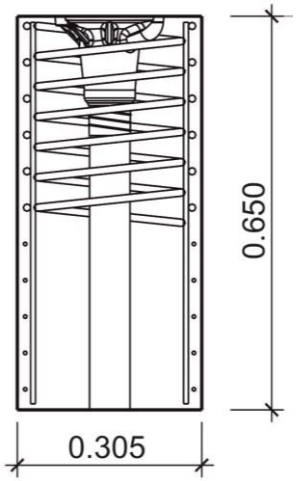
- Nos modelos P4, P5 e P6, as extensões verticais e horizontais foram ambas medidas com transdutores de deslocamento em faces opostas do modelo.

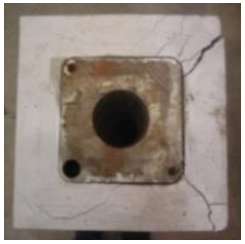


Resultados experimentais – Ensaio de Transferência de carga

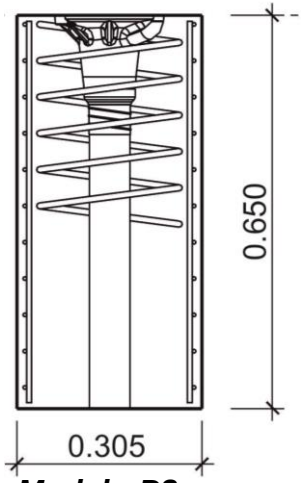
Modelos P1 e P2

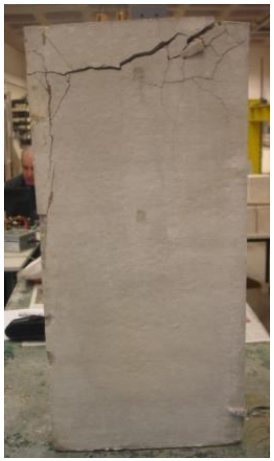
- Todas as fendas que se desenvolveram durante os ciclos de carga estavam localizadas na metade superior dos modelos
- Relativamente às primeiras fendas, as com orientação vertical surgiram no meio do modelo e as com orientação horizontal surgiram a uma distância de, aprox., 7 cm do topo
- Na rotura, as fendas propagaram-se para a metade inferior do modelo e também se desenvolveram na face superior.





Modelo P1





Modelo P2

Resultados experimentais – Ensaio de Transferência de carga

Modelos P1 e P2

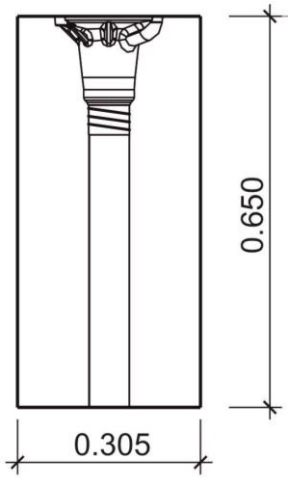
Características do betão, abertura de fendas e carga de rotura dos modelos

Modelo	Caract. do betão		Abertura de fendas w (mm)			Pu (kN)	Aceitação
	f_{ccm} (MPa)	$f_{ct,spl}$ (MPa)	Primeiro $0.8F_{pk}$	Último $0.12F_{pk}$	Último $0.8F_{pk}$		
P1	65.2	4.7	0.02	0.00	0.05	2965.8	Passou
P1A	36.7	3.2	0.15	0.15	0.20	2406.6	Passou
P1B	38.6	2.8	0.10	0.10	0.20	2460.0	Passou
P1C	38.6	2.8	0.10	0.10	0.15	2504.9	Passou
P2	65.2	4.7	0.05	0.05	0.10	2604.3	Passou
P2A	36.7	3.2	**0.20**	**0.30**	**0.40**	2118.3	**Falhou**
P2B	34.4	2.6	-	-	-	**1495.8**	**Falhou**
P2C	34.4	2.6	**0.40**	-	-	**1563.5**	**Falhou**

Resultados experimentais – Ensaio de Transferência de carga

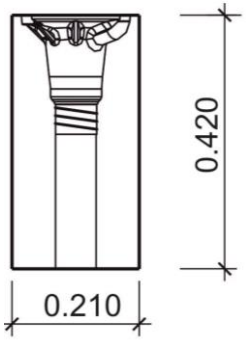
Modelo P3

- O modelo atingiu a máxima capacidade da máquina de compressão sem fendilhar ou atingir a rotura



Modelo P4

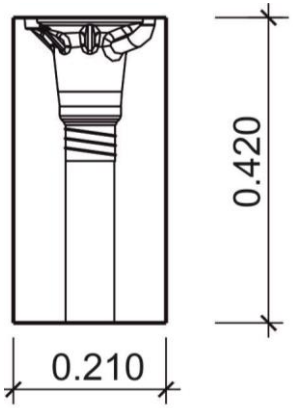
- O modelo atingiu a rotura repentinamente, com fragmentação do betão. A rotura foi frágil e explosiva.

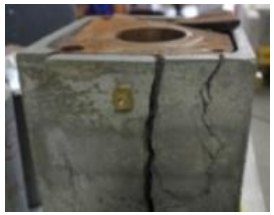


Resultados experimentais – Ensaio de Transferência de carga

Modelo P5

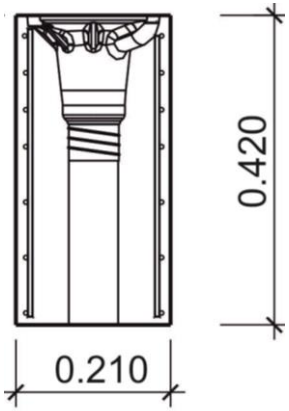
- Durante a aplicação do primeiro carregamento, desenvolveu-se uma fenda vertical a meio do modelo, ao longo de toda a altura, em duas faces opostas
- A presença de fibras impediu o aumento da abertura de fendas e ajudou a manter a integridade do modelo.





Modelo P6

- Ao longo do ensaio, e no que respeita à abertura de fendas, este modelo comportou-se melhor que o modelo P5
- Na rotura observaram-se várias fendas.



Resultados experimentais – Ensaio de Transferência de carga

Modelos P3 a P6

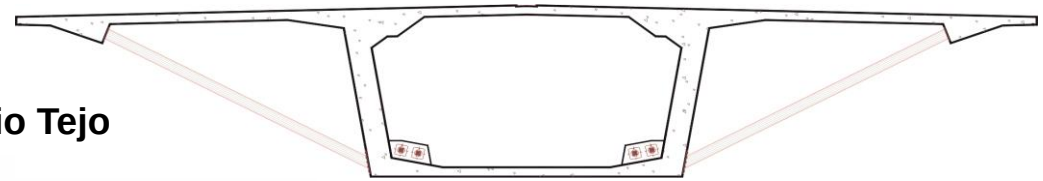
Características do betão, abertura de fendas e carga de rotura dos modelos

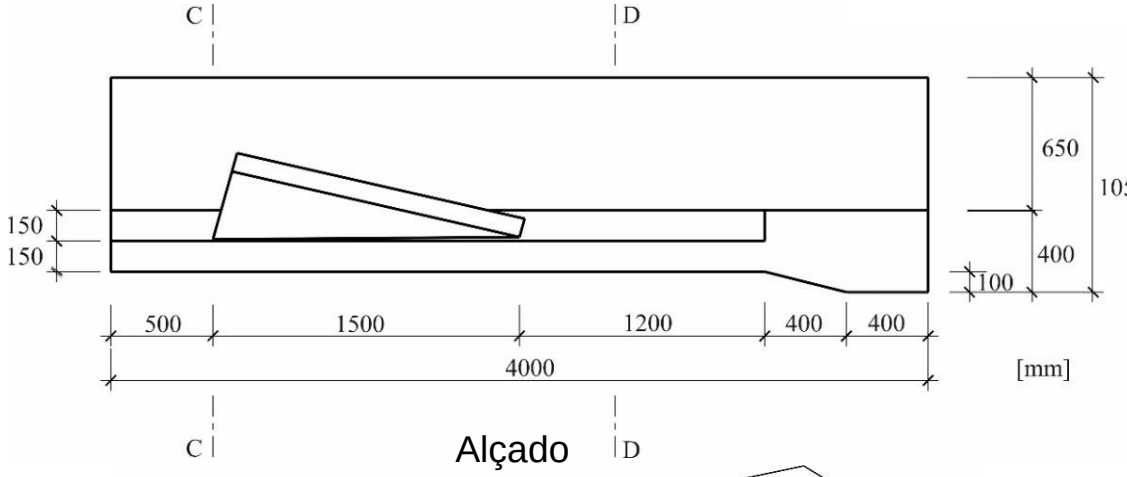
Modelo	Caract. do betão		Abertura de fendas w (mm)			Pu (kN)	Aceitação
	f_{ccm} (MPa)	$f_{ct,spl}$ (MPa)	Primeiro $0.8F_{pk}$	Último $0.12F_{pk}$	Último $0.8F_{pk}$		
P3	118.5	9.6	0	0	0.05	3039.0	Passou
P4	114.1	3.7	-	-	-	**1524.0**	**Falhou**
P5	134.0	13.6	**0.35**	**0.25**	**0.45**	2367.0	**Falhou**
P5A	112.7	11.1	**0.35**	**0.25**	**0.40**	**2087.9**	**Falhou**
P5B	112.7	11.1	**0.20**	0.15	**0.30**	**2117.4**	**Falhou**
P6	118.5	9.6	0	0.05	0.075	2593.0	Passou
P6A	103.2	8.8	0.15	0.15	0.25	2371.1	Passou
P6B	103.2	8.8	0.05	0.05	0.10	2403.8	Passou

Modelos dos blocos de ancoragem – Dimensionamento

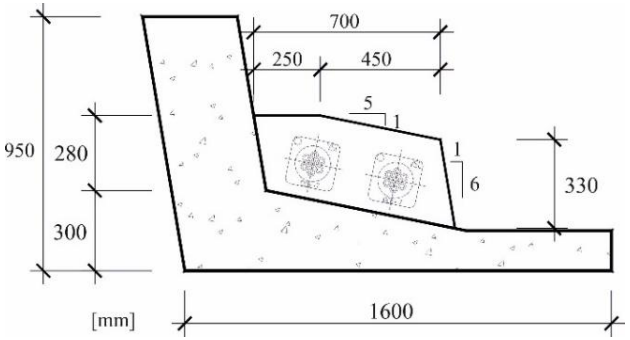
Geometria dos modelos

Protótipo ⇨ Ponte da Lezíria sobre o Rio Tejo

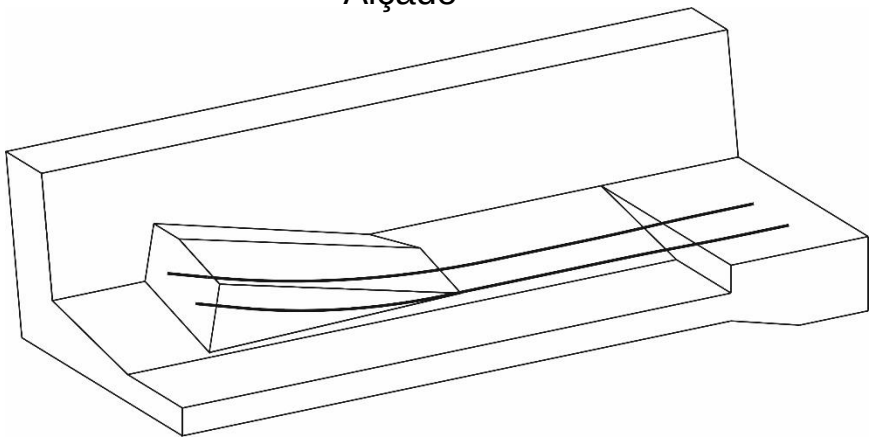


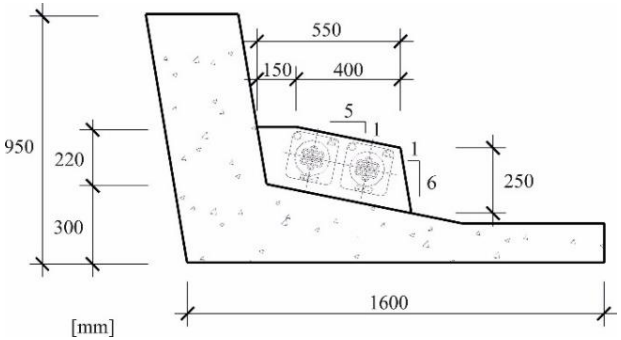


Alçado



Modelo de referência - Corte C-C

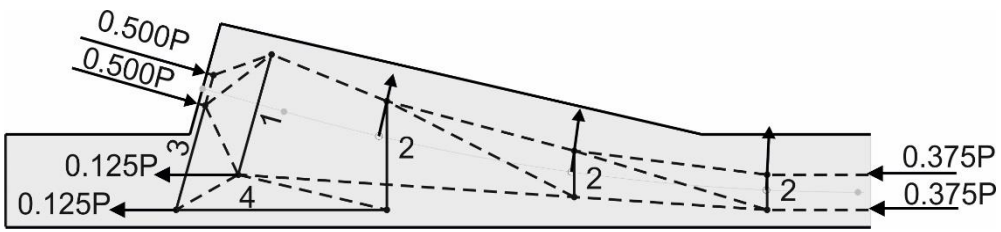




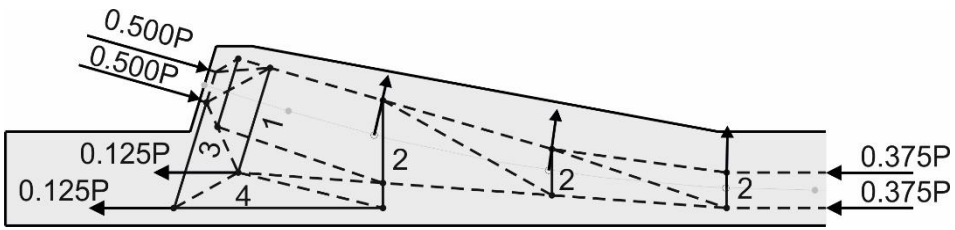
Modelo com bloco em HPFRC - Corte C-C

⇨ Modelo à escala 1:2, auto-equilibrado com ancoragens nas duas extremidades

Modelos de escoras e tirantes



Modelo de referência

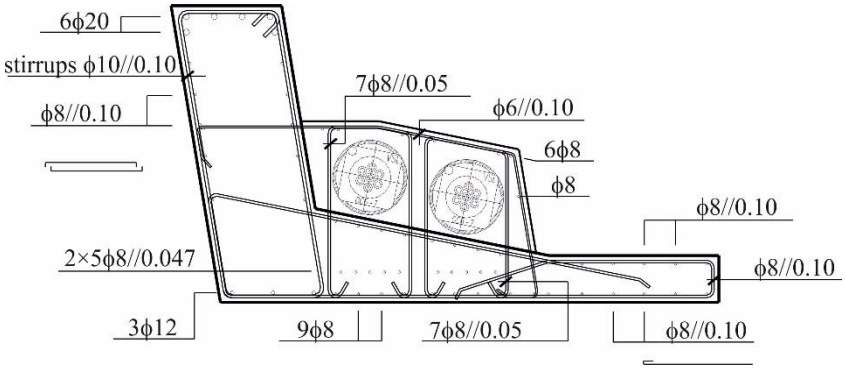


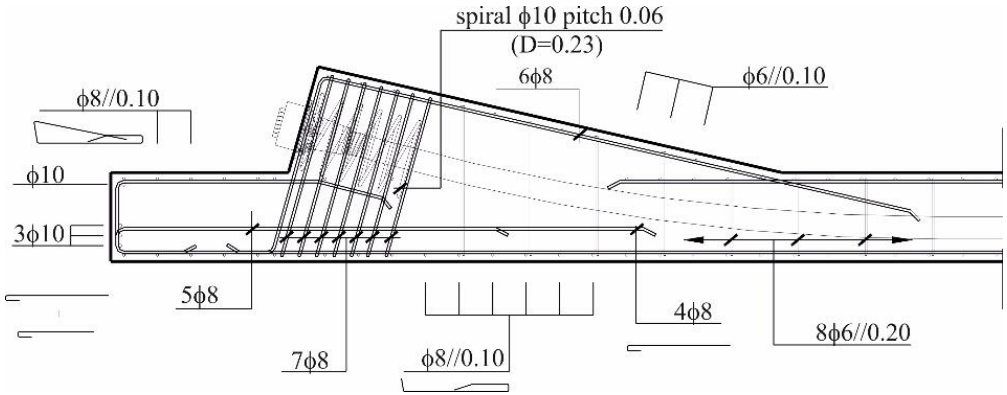
Modelo com bloco em HPFRC

tirante 1 – degradação da força concentrada
tirante 2 – desvio do cabo
tirante 3 – efeito de consola curta
tirante 4 – flexão local

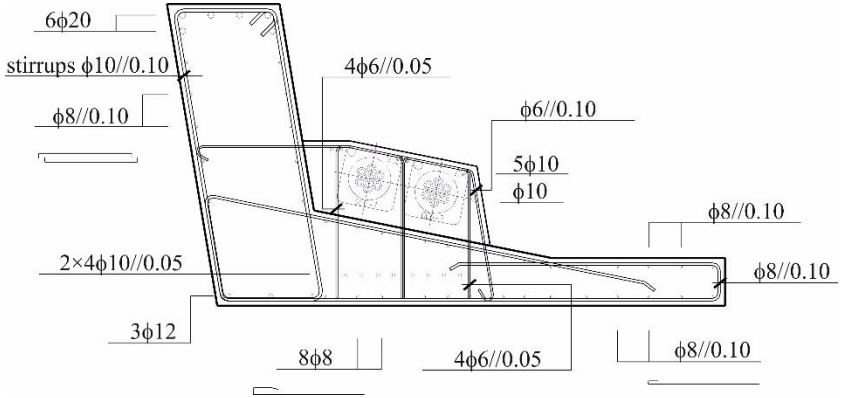
Armadura adoptada

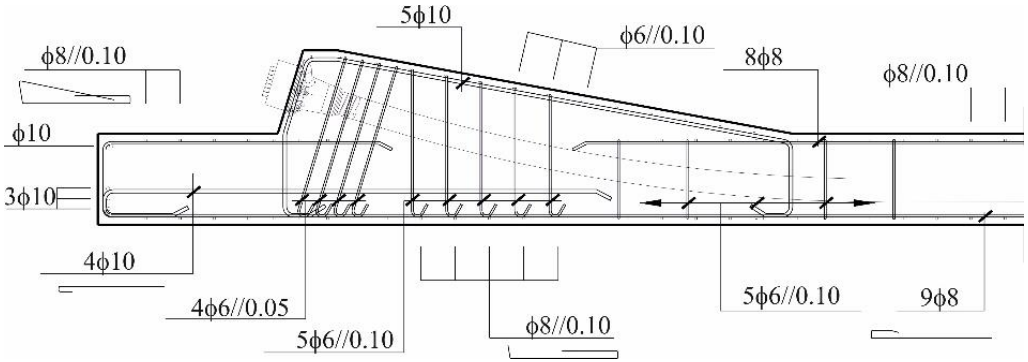
Modelo de referência





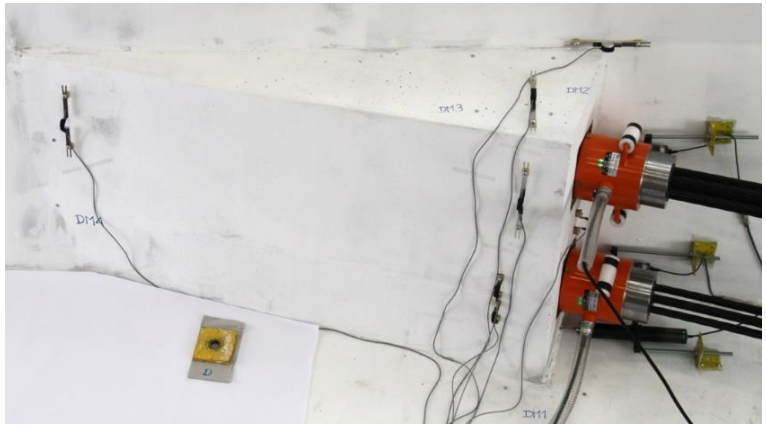
Modelo com bloco em HPFRC





⇨ Armadura dimensionada para uma força de pré-esforço de 46% da força de dimensionamento e f_y = 600 MPa

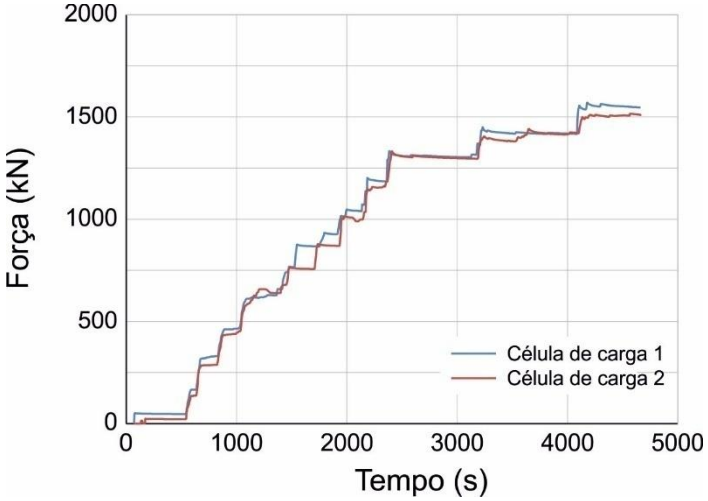
Sistema de ensaio e equipamento de medição



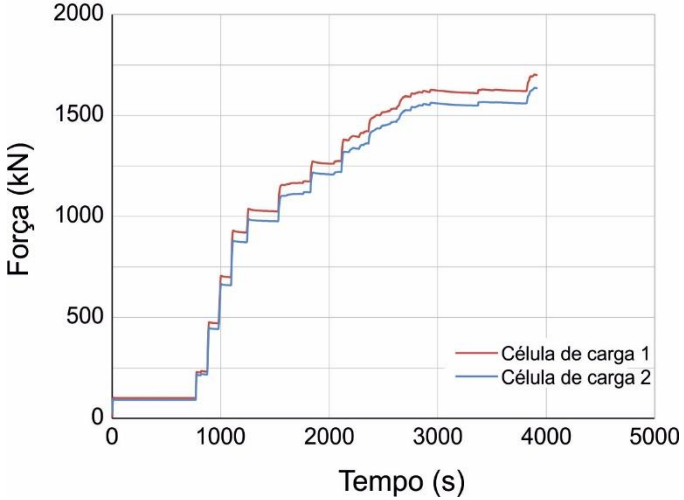
- 9 transdutores de deslocamentos relativos no modelo de referência e 8 transdutores nos outros modelos
- 3 deflectómetros
- 66 extensómetros no modelo de referência e 8 extensómetros nos outros modelos
- 2 células de carga com capacidade de 2000 kN

Resultados experimentais – Modelo de referência

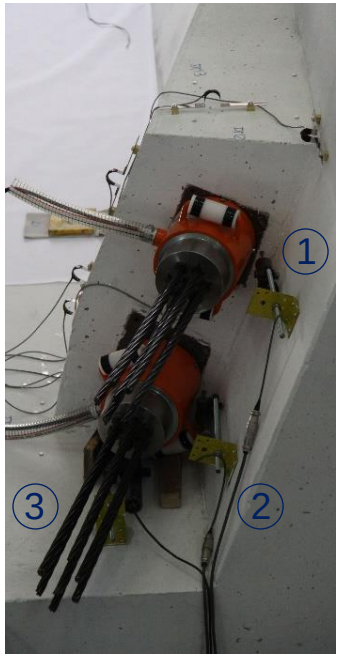
1ª Fase do Ensaio – 7 cordões de 0.6”

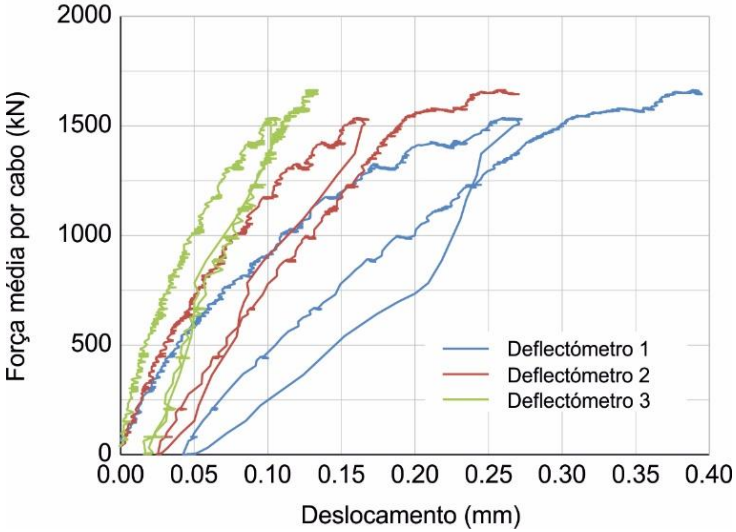


2ª Fase do Ensaio – 9 cordões de 0.6”



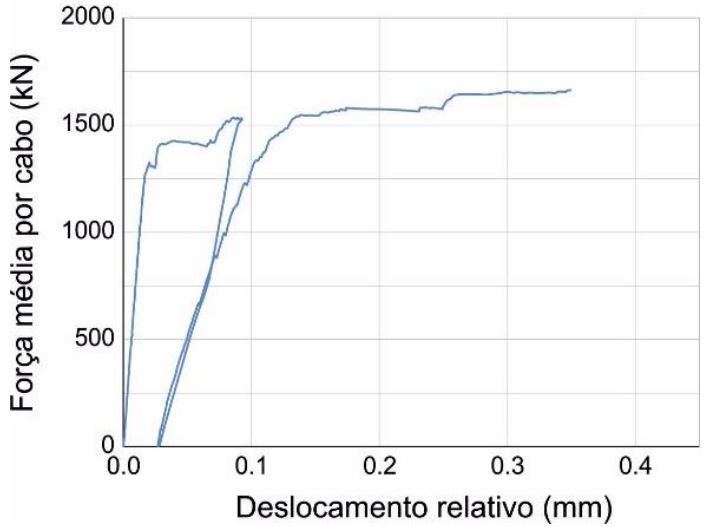
⇨ Força máxima aplicada na 2ª fase condicionada pela avaria da bomba de óleo dos macacos hidráulicos



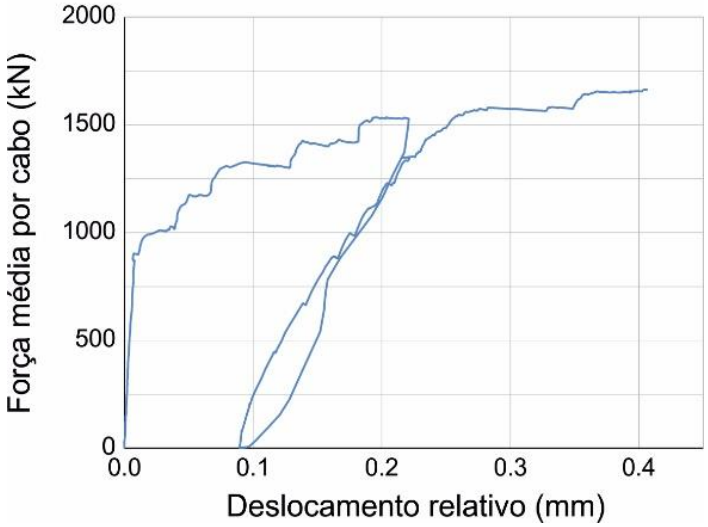


⇨ Deslocamentos medidos são maiores no deflectómetro mais afastado da alma

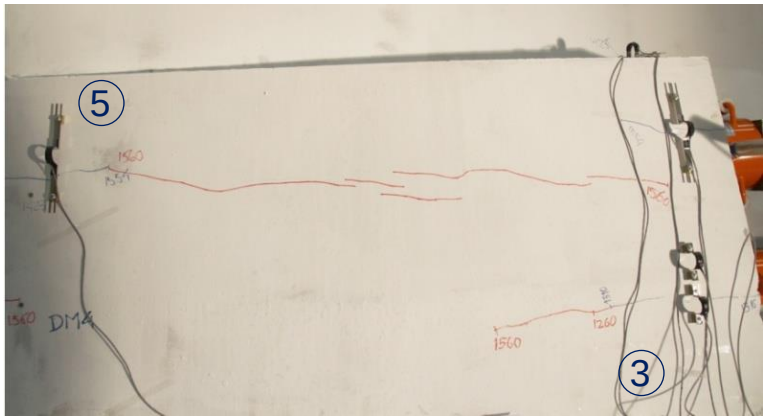
Resultados experimentais – Modelo de referência



Transdutor 3

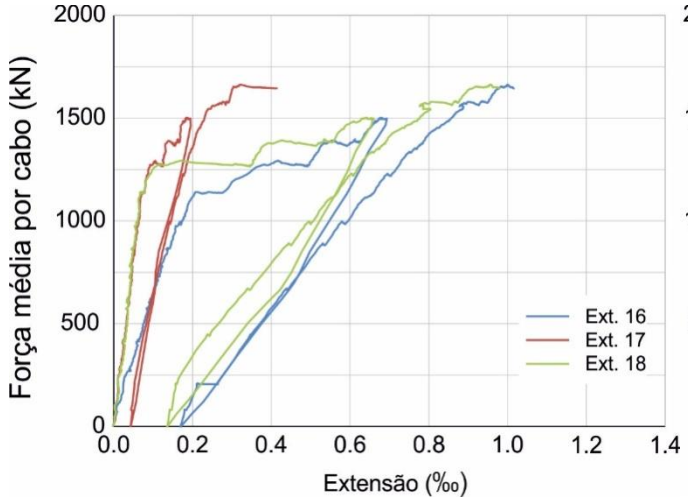


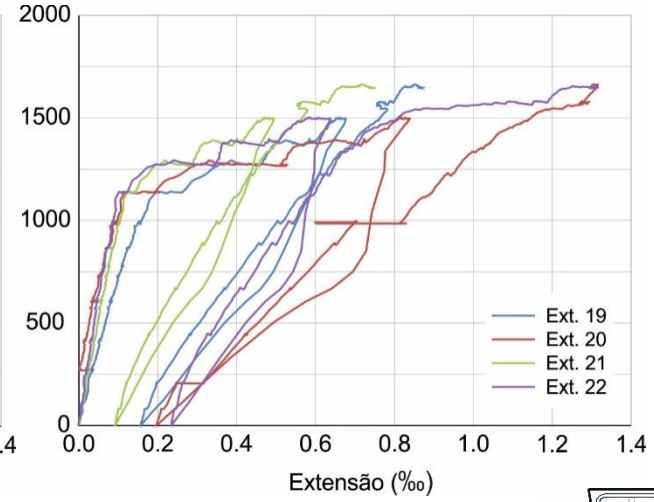
Transdutor 5

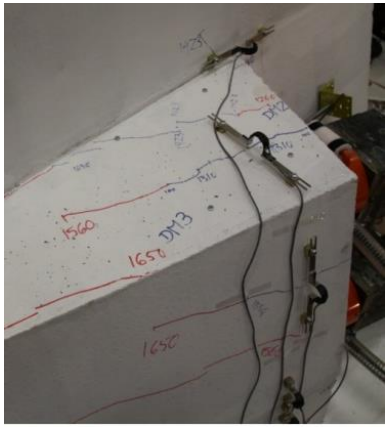


⇨ Deslocamentos relativos medidos maiores nos transdutores 3 e 5

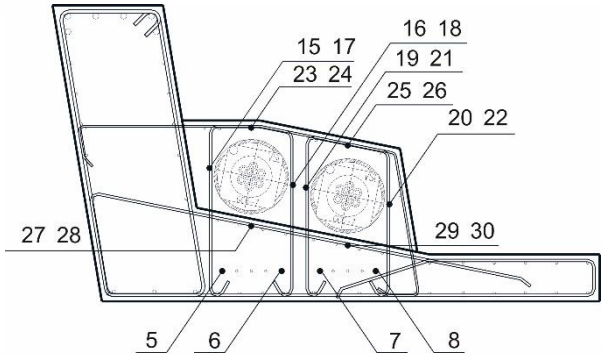
Resultados experimentais – Modelo de referência

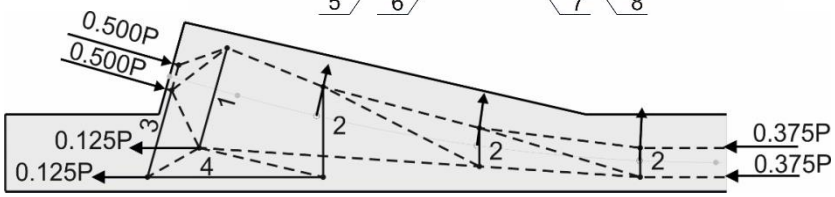




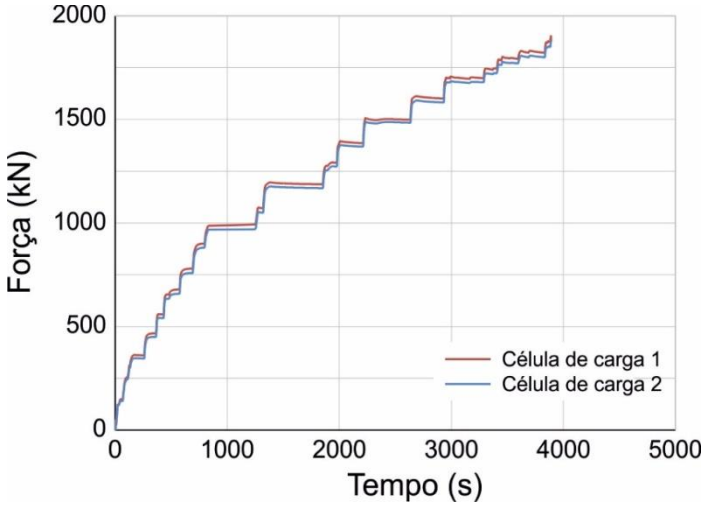


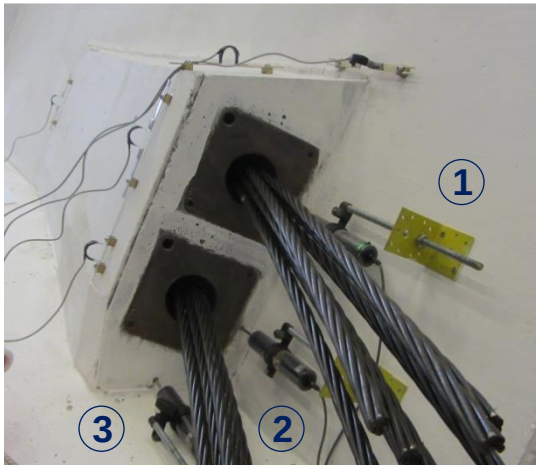
- Extensómetros 16 a 22 – tirante 1
- Extensómetros 20 e 22 - zona da fenda na face lateral do bloco
- Extensómetros 16, 18, 19 e 21 - zona do estribo entre as duas ancoragens
- Armaduras não atingem a cedência



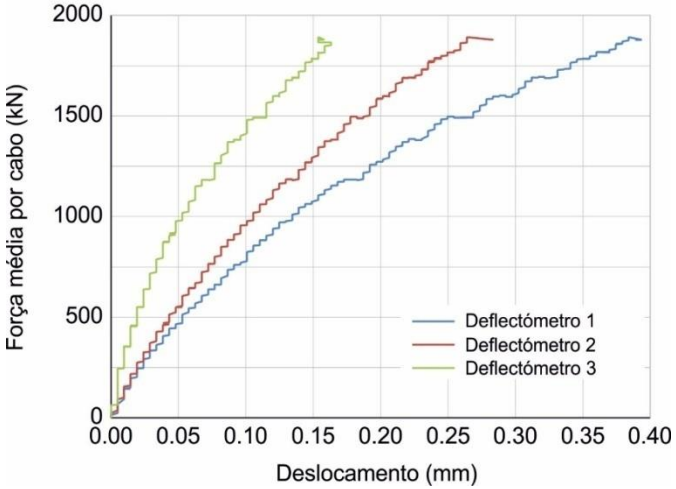


Resultados experimentais – Modelo com bloco em HPFRC



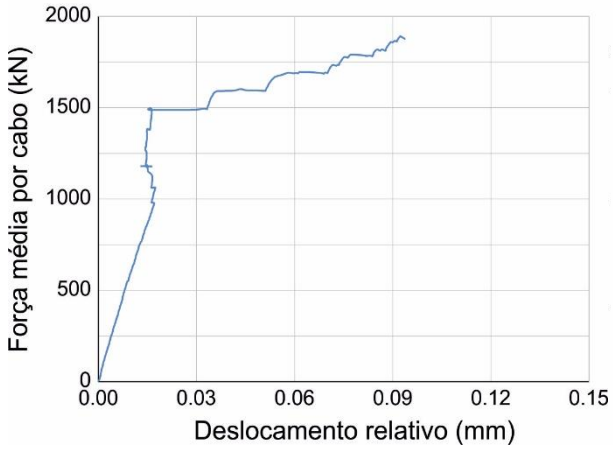


- Força aplicada condicionada pela rotura de um fio em dois cordões de pré-esforço

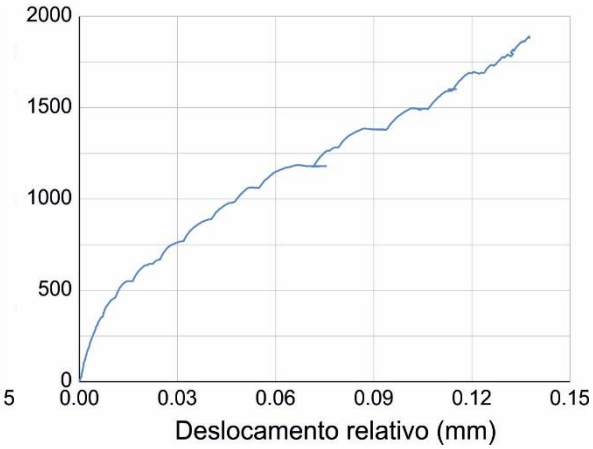


- Deslocamentos medidos são maiores no deflectómetro mais afastado da alma

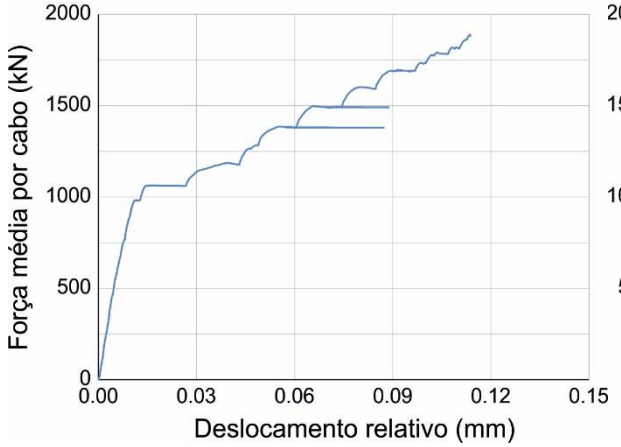
Resultados experimentais – Modelo com bloco em HPFRC



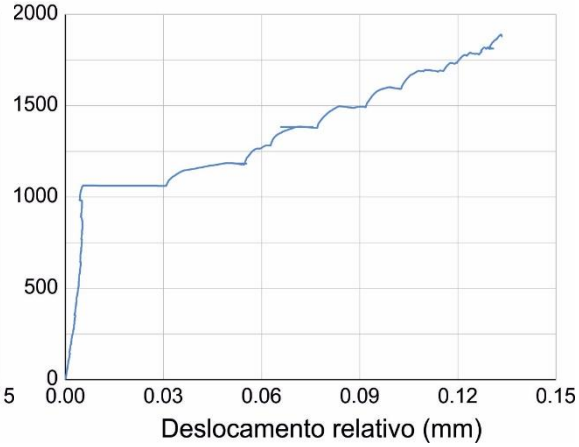
Transdutor 3



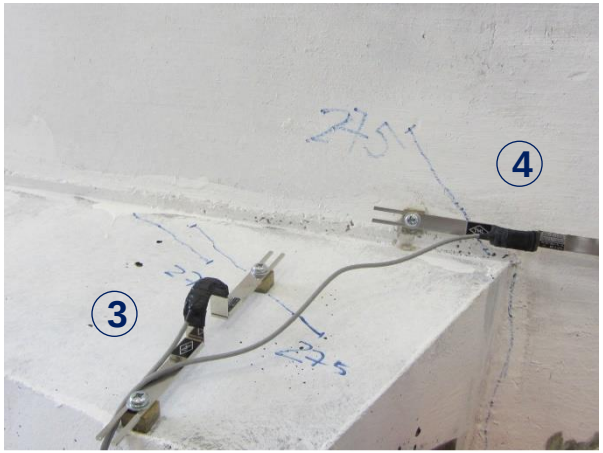
Transdutor 4

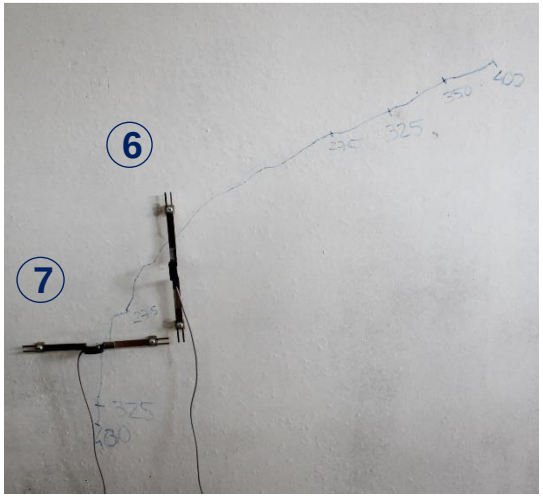


Transdutor 6



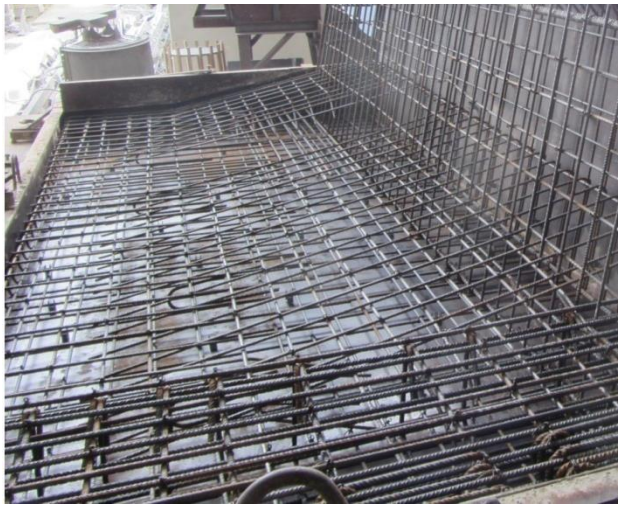
Transdutor 7



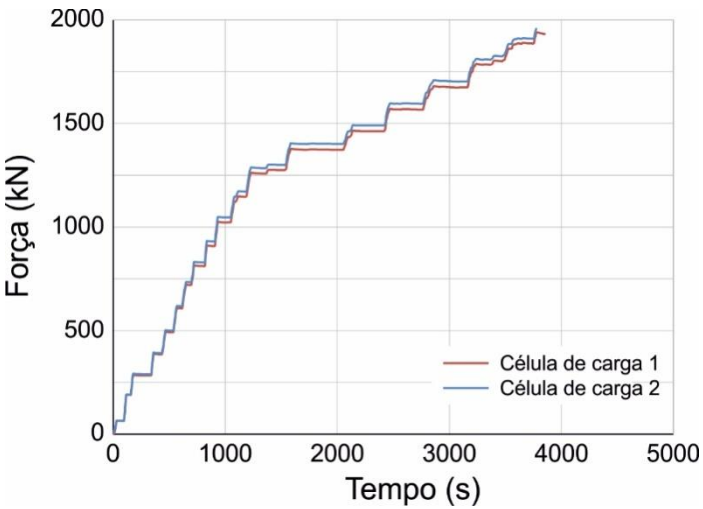


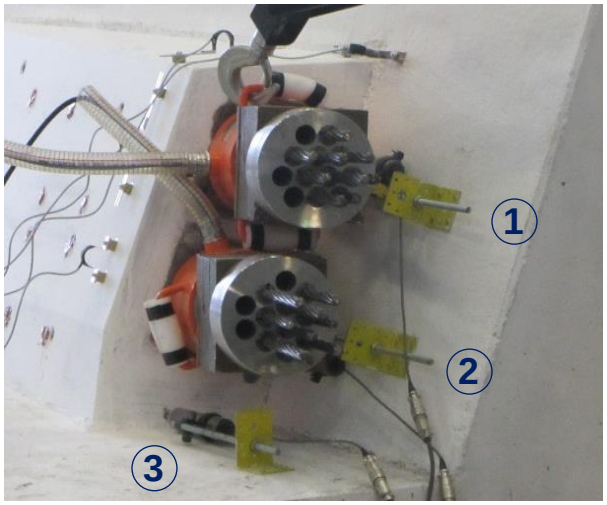
➡ Deslocamentos relativos medidos maiores nos transdutores 3, 4, 6 e 7

Modelo com bloco pré-fabricado em HPFRC – Execução do modelo

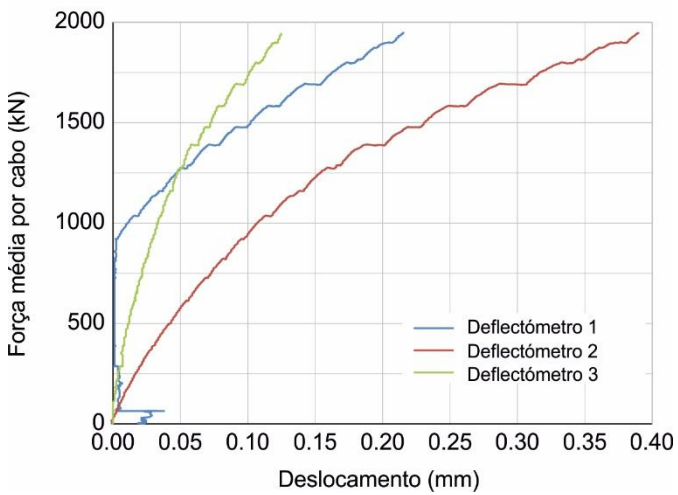


Resultados experimentais – Modelo com bloco pré-fabricado

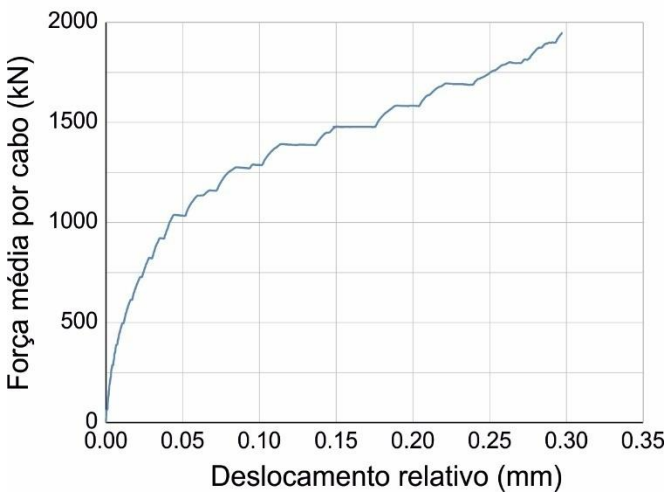


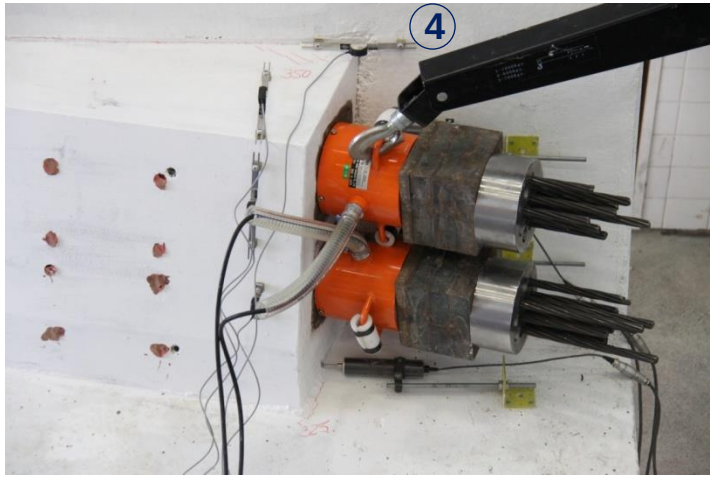


- Força aplicada condicionada pela rotura de dois fios num cordão de pré-esforço



Resultados experimentais – Modelo com bloco pré-fabricado





- Deslocamento relativo medido no transdutor 4 significativamente maior que os restantes
- Restantes deslocamentos semelhantes ao modelo com o bloco betonado em simultâneo

Conclusões – Ensaios de transferência de carga

- A utilização de HPFRC permite a supressão da armadura de confinamento, para o tipo de ancoragem utilizada, se a dimensão da secção de betão for a que é especificada para betão armado normal.

- A utilização de HPFRC permite não só a redução da armadura de confinamento, mas também a redução das dimensões da secção transversal.

- A supressão da totalidade da armadura não é aconselhável dada a orientação preferencial das fibras no betão, que pode conduzir à formação de fendas com abertura excessiva.

Conclusões – Modelos dos blocos de ancoragem

- Nos modelos com o bloco em HPFRC, o valor de dimensionamento da força de pré-esforço foi atingido com níveis aceitáveis de fendilhação para uma situação de serviço.

- A utilização de HPFRC em blocos de ancoragem é uma solução muito interessante no que respeita à economia de materiais e redução da densidade de armadura na zona local de ancoragem, com vantagens óbvias na qualidade da betonagem.

- A adopção de soluções com blocos pré-fabricados de HPFRC evita a produção e betonagem com dois tipos de betão diferentes. Esta solução pode também ser vantajosa no que respeita ao controlo de qualidade na execução dos blocos em HPFRC e redução do tempo de execução.

Agradecimentos

VSL

FCT
Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

CONCREMAT
SOLUÇÕES DE BETÃO

Sika®

OMYA

MC

SECIL

krampe harex®

Obrigada pela vossa atenção!