

A Utilização da Argamassa na Reparação de Pilares de Concreto Armado

M. Margarida Corrêa (1); João Carlos Vinagre (2); Regina Helena Souza (2)

(1) Mestre, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
mmcorrea@telcel.net.ve

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
joao.vinagre@estbarreiro.ips.pt

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói
regsouza@nitnet.com.br

Rua Miguel de Frias, 77/1304 - Bloco 2 Niterói (RJ) 24.220-008

Palavras Chaves: concreto armado; reparação; desempenho estrutural

Resumo

Este trabalho visa analisar o comportamento de pilares de concreto armado reparados com argamassa, considerando a importância das propriedades dos materiais envolvidos neste tipo de intervenção.

Para tal, procedeu-se a moldagem e reparação estrutural de modelos reduzidos de pilares de concreto armado e posterior ensaio até a ruptura. Foram avaliados dois tipos de argamassas de reparação, uma cimentícia e outra polimérica.

O estudo consistiu na análise dos resultados dos ensaios através da comparação entre as diferentes soluções de reparação testadas (tipos de argamassas adotadas) verificando-se a qualidade e a eficácia do funcionamento do conjunto e do comportamento da interface de ligação à compressão.

Sendo de grande importância as propriedades dos materiais envolvidos na interação entre o concreto e o material de reparação, foram realizados ensaios de caracterização desses materiais, assim como a avaliação da aderência entre a argamassa e o substrato de concreto e a retração das argamassas e do concreto ao longo do tempo.

1 Introdução

A reabilitação de estruturas apresenta inúmeras vantagens sendo de realçar, em termos econômicos, a possibilidade de prolongar a vida útil das estruturas e, em termos ambientais, evitar o consumo desnecessário de energia e materiais.

Apesar de se verificar constante evolução das técnicas e dos materiais de reparação, muitas estruturas estão sendo re-reparadas. Além das dificuldades provenientes da carência de mão de obra especializada, que pode comprometer a qualidade da aplicação de tais produtos, os fabricantes dos sistemas de reparação nem sempre fornecem todas as informações técnicas necessárias. Por isso, muitos estudos ainda devem ser implementados, principalmente no que se refere ao comportamento estrutural da reparação.

O trabalho ora apresentado é parte de um programa de investigação realizado no Instituto Superior Técnico de Lisboa, relativo ao comportamento de pilares de concreto armado reparados com argamassa. Ao todo foram ensaiados onze pilares e testados dois tipos distintos de argamassa de reparação: uma cimentícia (Tipo 1) e outra polimérica (Tipo 2). Desses onze pilares um modelo era de referência (não reparado), cinco modelos foram reparados na região central, em duas faces opostas (Tipo A) e os outros cinco modelos foram reparados também na região central, mas em todo o seu perímetro (Tipo B). No presente artigo serão apresentados somente os resultados dos modelos Tipo A, reparados com os dois tipos de argamassas (Tipo 1 e do Tipo 2), comparados com o pilar de referência.

2 Objetivos

Avaliar, experimentalmente, o comportamento estrutural à compressão simples de pilares de concreto armado reparados com argamassa, verificando se esta solução é capaz de restabelecer a capacidade resistente do elemento estrutural.

3 Definição e Execução dos Modelos

3.1 Definição dos Modelos

Foram executados seis pilares em concreto armado de 1,40 m de altura e com uma seção transversal de 0,15 x 0,15 m², alargada nas extremidades para 0,15 x 0,25 m². Esta geometria foi adotada para afastar a zona de ruptura das extremidades dos corpos de prova e garantir a não existência de efeitos localizados. Por outro lado,

estes cabeçotes permitiriam melhor apoio na prensa, melhorando a distribuição de tensões e a transmissão do carregamento. Os pilares assim descritos foram moldados deixando, na região central, uma seção transversal de $0,15 \times 0,40 \text{ m}^2$ e $0,035 \text{ m}$ de espessura, preenchida com EPS⁽¹⁾(poliestireno expandido), afim de simular a zona a ser reparada e facilitar os trabalhos de corte de concreto.

A geometria do modelo está indicada na Figura 1. Este modelo foi designado por Tipo A, sendo a reparação localizada em duas faces opostas, na zona central do pilar. O pilar de referência para estudos comparativos está apresentado na Figura 2.

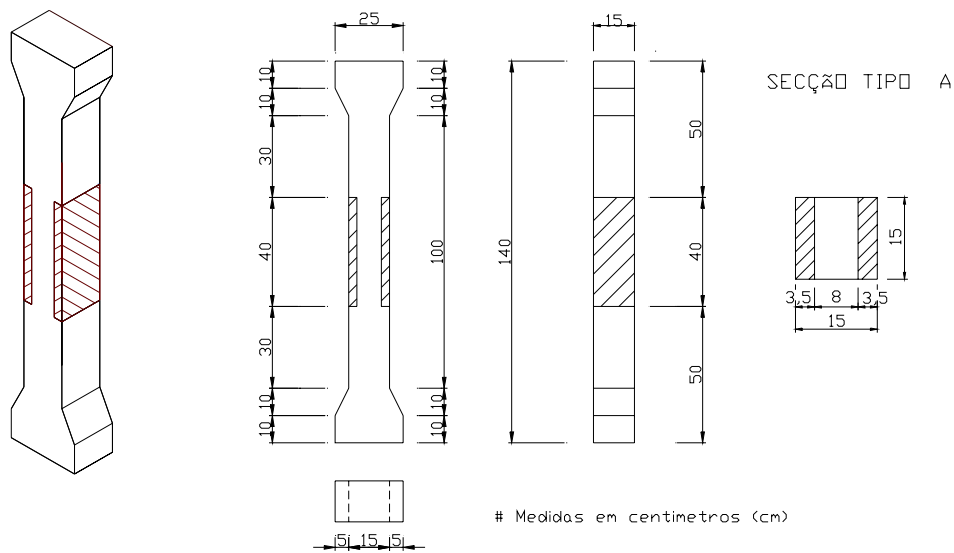


Figura 1 - Vista e seção longitudinal do pilar com seção Tipo A.

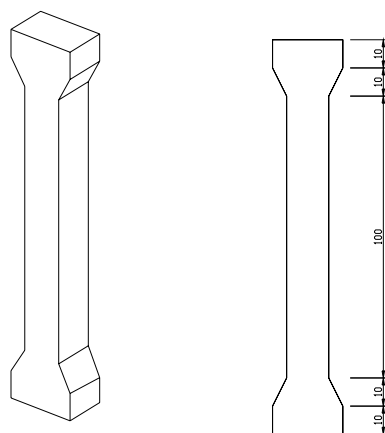




Figura 2 – Geometria do pilar de referência (PR)

3.2 Nomenclatura Adotada

Tabela 1 - Nomenclatura dos pilares.

Tipo de Geometria	Argamassa de Reparação	
	Argamassa 1 (cimentícia)	Argamassa 2 (polimérica)
Tipo A 	P1A1 P2A1	P1A2 P2A2 P3A2
PR 	Pilar de referência (sem reparação)	

3.3 Material de Reparação Adotado

Foram utilizadas argamassas de alta resistência, não retrácteis, reoplásticas e tixotrópicas, com boa trabalhabilidade e aderência às superfícies a reparar. Estas argamassas foram designadas por Tipo 1, argamassa cimentícia e por Tipo 2, argamassa polimérica.

3.4 Execução dos Modelos

O detalhamento das armaduras foi o mesmo para todos os pilares.

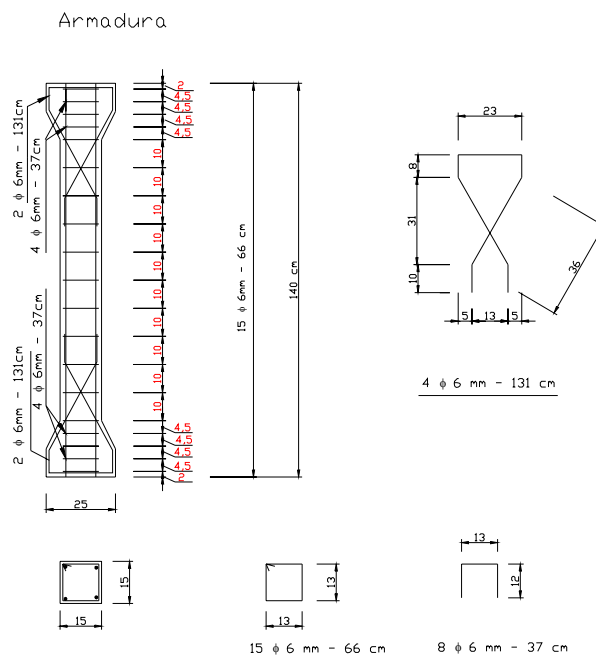


Figura 3 - Detalhamento das armaduras dos pilares.

Tendo em conta as dimensões do modelo reduzido, a execução da zona de reparação foi simulada através da colocação de negativos de EPS (poliestireno expandido). Esta solução permitiu obter modelos para reparação sem a necessidade de intervenção posterior (trabalhos de remoção de concreto) e, conseqüentemente, sem introdução de danos no elemento. Optou-se pela execução de uma fôrma única para limitar dificuldades de concretagem. Conseguiu-se, assim, obter maior rigidez do conjunto e, conseqüentemente, contribuir para uma melhor qualidade dos elementos produzidos. A fôrma foi disposta horizontalmente para facilitar a concretagem e preenchimento de todo o pilar, assegurando-se que o concreto preenchesse toda a peça, sem deixar vazios.



Figura 4 - Forma conjunta de todos os pilares.

O concreto empregado na execução dos modelos teve boa consistência plástica e foi satisfatoriamente colocado e compactado com o auxílio de um vibrador. A cura do concreto foi controlada através de molhagens sucessivas e da aplicação de membranas adequadas.

3.5 Reparação dos Pilares

Vinte e oito dias após a concretagem, o poliestireno expandido foi removido e a superfície do concreto nessa região foi preparada com martelo de agulhas, conforme ilustra a Figura 5, de modo a obter-se uma rugosidade que, não devendo ser excessiva, aumentasse a superfície de contacto e melhorasse a aderência da argamassa de reparação ao concreto. Antes da colocação da argamassa de reparação, a superfície assim preparada e limpa de todo o pó foi saturada de água, até atingir uma cor mate, sendo removido o seu excesso com uma esponja. A argamassa de reparação foi preparada conforme as recomendações do fabricante e aplicada de modo a imprimir boa compactação, para garantir uma boa aderência e

continuidade entre os materiais, conforme observa-se na Figura 6.

Todas as superfícies livres foram cuidadosamente curadas através de mangueiras com temporizadores e cobertas com plástico, mantendo as superfícies úmidas.



Figura 5 – Aspecto da superfície do pilar após a retirada do poliestireno expandido⁽¹⁾ e preparação da superfície, a ser reparada, com martelo de agulhas.



Figura 6 – Reparação dos pilares.

4 Sistema de Ensaio e Instrumentação

4.1 Instrumentação

Com o objetivo de se verificar a eficiência do reforço, os pilares foram instrumentados externa e internamente, permitindo obter os deslocamentos (verticais e transversais) e as deformações do concreto, da argamassa e das armaduras, ao longo dos ensaios.

A Figura 7 apresenta um desenho esquemático do posicionamento dos transdutores verticais e horizontais utilizados para o registo dos deslocamentos nos modelos.

Para melhor compreensão dos gráficos posteriormente apresentados foi adotada como positiva (+) a direção da seta indicativa dos transdutores.

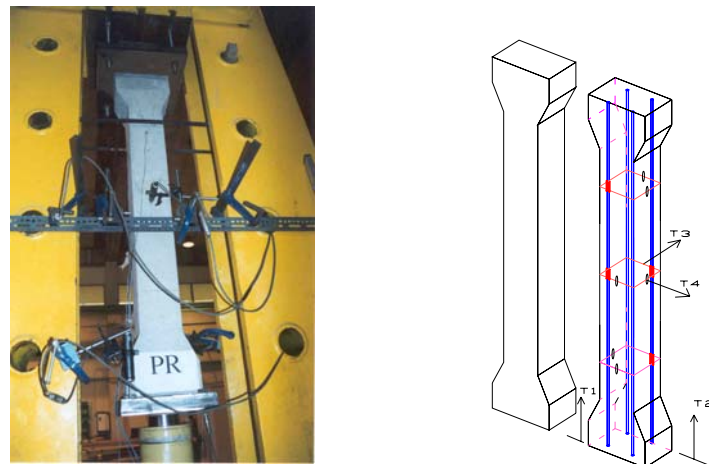


Figura 7 - Localização dos transdutores verticais (T1, T2) e transversais (T3, T4)

Com a finalidade de se obter informações sobre deformações médias das fibras do concreto e das argamassas foram instalados extensômetros elétricos de resistência nestas superfícies.

As medidas das deformações médias nas armaduras foram também obtidas através de extensômetros elétricos dispostos na seção central (zona reparada) e em duas seções próximas das extremidades do pilar.

Para a execução dos gráficos adotou-se como direção positiva (+) as deformações nas armaduras, nas fibras do concreto e da argamassa, associadas a uma tensão de compressão.

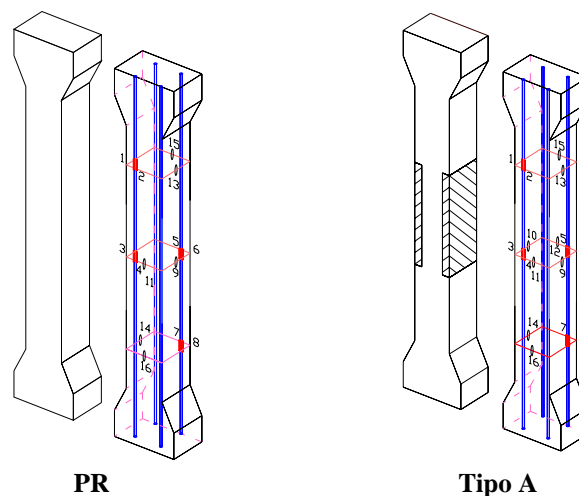


Figura 8 - Localização dos extensômetros nas armaduras longitudinais, e nas superfícies de concreto e de argamassa nos diversos modelos de pilares.

4.2 Sistema de Ensaio

Para a realização dos ensaios à compressão dos modelos recorreu-se a um sistema de carga que permitisse realizar ensaios à compressão até um limite de 100 kN.

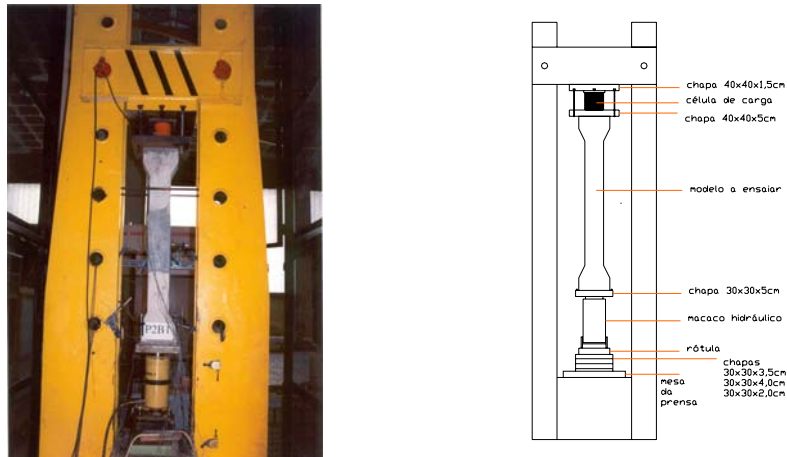


Figura 9 - Esquema e vista geral do sistema de ensaio à compressão dos pilares.

5 Caracterização dos Materiais

Foram testados corpos de prova do concreto e das argamassas, retiradas das amassaduras de execução dos pilares e amostras das barras de armadura, do mesmo lote dos utilizados na produção dos modelos. Estes ensaios foram executados respeitando-se todas as normas vigentes.

Foram realizados ensaios para avaliar as resistências à compressão, à tração por compressão diametral, o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson, a aderência (pull-of-test) e a retração. Os corpos de prova de retração foram acondicionados em dois ambientes: ambiente de laboratório e em câmara condicionada com 50% de U.R.

Tabela 2 - Características mecânicas dos aços, obtidas experimentalmente.

Diâmetro (mm)	Tipo	Seção (mm ²)	f_{sy} (MPa)	f_{su} (MPa)
6	400NR	28,3	726	743
10	400NR	78,5	630	664

f_{sy} = tensão de escoamento à tração

f_{su} = tensão de ruptura à tração

Tabela 3 - Características dos materiais obtidos com os ensaios.

Material	Idade (dias)	f_{cm} (MPa)	$f_{ctm,ts}$ (MPa)	$f_{ctm,fl}$ (MPa)	E_{cm} (GPa)	ν	τ_{ad} (MPa)	Retração (28dias)	
								($\times 10^{-3}$)*	($\times 10^{-3}$)**
Concreto	28	28,3	2,3					0,486	0,407
	50	32,7							
	74	33,4	2,6		33,7	0,26			
Argamassa 1	15	62,9	5,2	7,7				-0,948	-0,885
	21	65,1	5,7	8,5					
	41	66,1	6,4	9,6	26,9	0,20	0,83		
Argamassa 2	13	44,2	4,8	7,2				-0,969	-0,635
	19	50,1	6,0	8,9					
	39	48,5	5,8	8,7	23,5	0,21	0,81		

f_{cm} = resistência média à compressão (concreto em cilindros e argamassas em cubos de 4 cm)

$f_{ctm,ts}$ = resistência média à tração simples

$f_{ctm,fl}$ = resistência média à tração, por flexão

E_{cm} = módulo de elasticidade em compressão

ν = coeficiente de Poisson

τ_{ad} = tensão de aderência das argamassas ao substrato de concreto

* câmara condicionada (50%U.R)

** ambiente de laboratório

6 Análise e Interpretação dos Resultados

Através dos ensaios realizados nos pilares foram obtidos deslocamentos e deformações que caracterizaram o comportamento dos modelos experimentais.

Seguidamente procedeu-se a uma análise comparativa de todos os ensaios realizados, procurando verificar-se a influência da geometria do modelo e dos materiais utilizados, de forma a avaliar a eficácia das reparações efetuadas.

6.1 Análise dos Resultados Experimentais

Neste item é apresentada uma análise comparativa dos pilares reparados com o pilar de referência, considerando os materiais utilizados na reparação (Argamassas Tipo 1 e Tipo 2).

6.1.1 Aspecto da Ruptura

Nas figuras 10, 11 e 12 apresentam-se o aspecto da ruptura do pilar de referência e dos pilares reparados.



Figura 10 – Ruptura do pilar de referência (PR)



Figura 11 – Ruptura dos pilares P1A1 e P2A1. Argamassa Tipo 1.

Tabela 4 – Valores das cargas de ruptura dos pilares

Modelo	Carga de Ruptura (kN)
PR	650
P1A1	701
P2A1	800
P1A2	675
P2A2	724
P3A2	625

Conforme é possível observar nas fotos das Figuras 10 e 11, os pilares reparados com argamassa Tipo 1 apresentaram o mesmo tipo de ruptura, tendo a carga última ultrapassado a do pilar de referência. Os pilares reparados com argamassa Tipo 2 apresentaram o mesmo tipo de ruptura, conforme vê-se nas fotos da Figura 12 e carga última próxima à do pilar de referência, porém, inferiores aos pilares reparados com a argamassa Tipo 1, como pode-se verificar na Tabela 4.

Todos os modelos reparados com argamassa Tipo 2 apresentaram perda de aderência, deslocamento da argamassa na interface e escorregamento de um estribo na seção de ruptura.



Figura 12 – Ruptura dos pilares P1A2, P2A2 e P3A2. Argamassa Tipo 2.

6.1.2 Deformações na argamassa

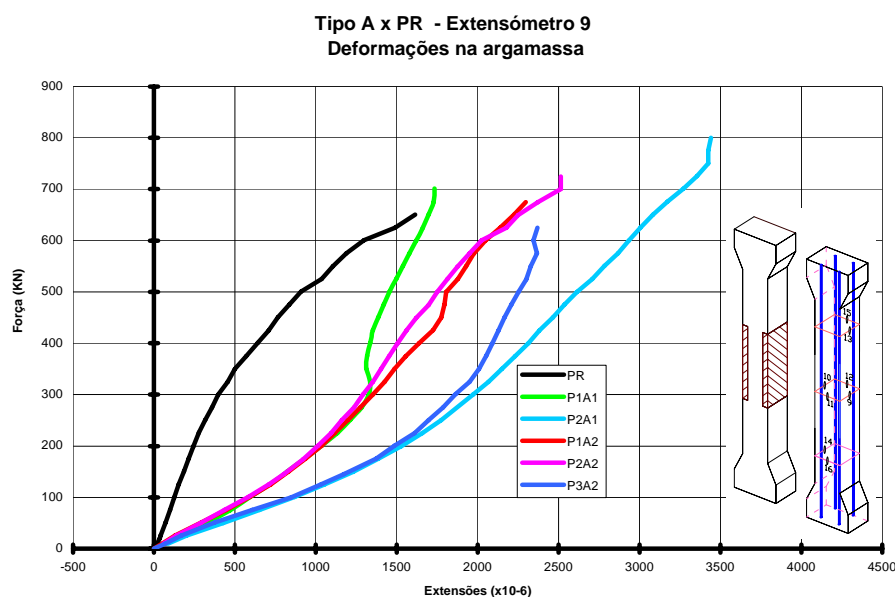


Figura13 – Deformações nos pilares Tipo A e no pilar de referência, no extensômetro 9.

No gráfico da Figura 13 observa-se que a concavidade das curvas de deformação indica uma excessiva deformação inicial das argamassas, seguida de uma diminuição, a qual deverá ter correspondido a um aumento das tensões no concreto.

6.1.3 Deslocamentos Verticais

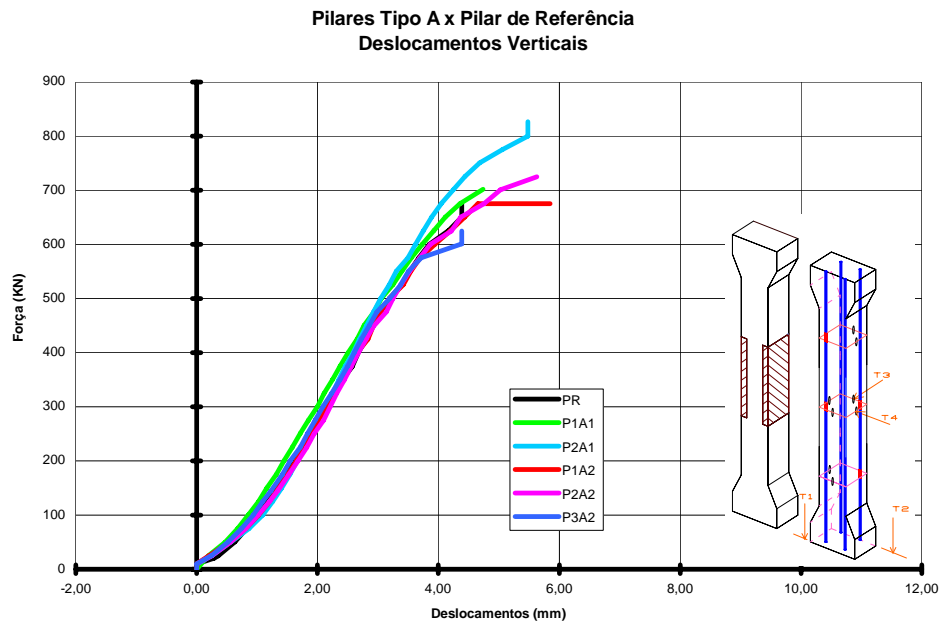


Figura 14 – Deslocamentos verticais médios dos pilares Tipo A e do pilar de referência.

Como é possível observar no gráfico da Figura 14, todos os ensaios apresentaram curvas idênticas de deslocamento vertical, podendo considerar-se correto o funcionamento do sistema de carregamento aplicado.

6.1.4 Deformações na Seção Reparada

Neste item faz-se uma comparação dos resultados médios dos deslocamentos e das deformações (da armadura, do concreto e da argamassa) na seção reparada dos pilares reparados com a mesma argamassa.

Os deslocamentos e as deformações médias foram obtidos a partir do cálculo das respectivas médias dos pilares com idêntica geometria e reparação.

O gráfico da Figura 15 apresenta as deformações da seção reparada em uma das faces das argamassas e na face de concreto correspondente, no pilar de referência. Neste gráfico observa-se que ambas as argamassas deformaram-se bem mais que o concreto, provavelmente devido aos menores valores do módulo de elasticidade dessas argamassas.

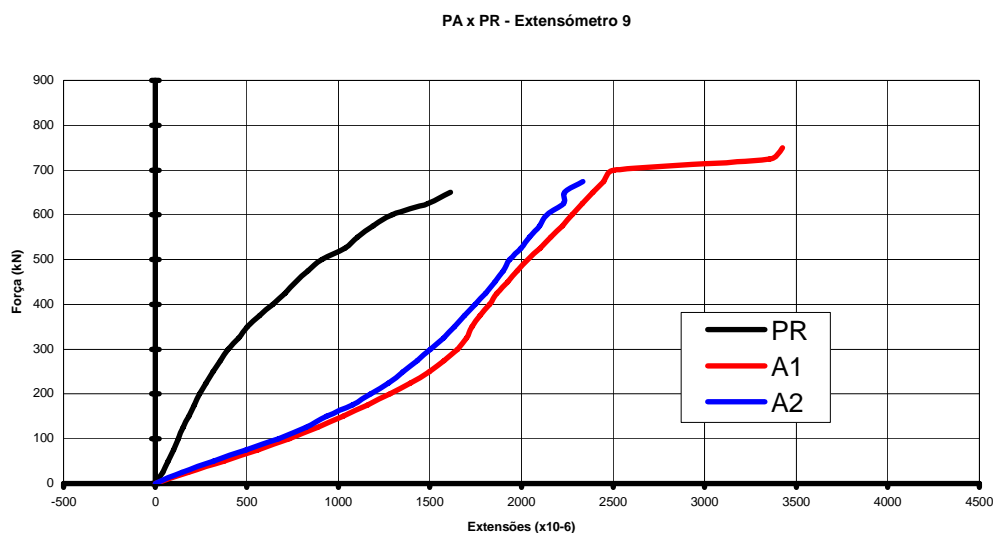


Figura15 – Comparação das deformações na região central dos pilares (Extensômetro 9).

7 Conclusões

Da análise efetuada pode-se dizer que:

- o modelo escolhido mostrou-se adequado para o estudo;
- o sistema de ensaio adotado foi eficiente;
- as propriedades mecânicas obtidas para as argamassas foram semelhantes àquelas verificadas na literatura técnica;
- os modelos reparados apresentaram resultados com cargas de ruptura iguais ou superiores ao pilar de referência;
- os diferentes valores dos módulos de elasticidade do concreto e das argamassas não podem deixar de ser considerados na análise do comportamento da reparação;
- apesar dos altos valores da retração e baixas resistências de aderência verificados, ambas as argamassas mostraram-se eficientes para a reparação dos pilares, embora a argamassa cimentícia tenha apresentado melhor comportamento;
- verificou-se a carência de documentos normativos e a necessidade de maior transparência dos dados técnicos fornecidos pelos fabricantes;
- considera-se importante a realização de novos estudos, principalmente análises teóricas sofisticadas, para verificação da compatibilidade dos materiais envolvidos na reparação.
- considera-se importante a realização de novos estudos, principalmente análises teóricas sofisticadas, para verificação da compatibilidade dos materiais envolvidos na reparação.

8 Referências

DESSA AGUIAR, S.; ROSSETTI, R. J. F.. **Importância da compatibilidade entre os materiais de reparação e o concreto armado existente.** Encontro Nacional Sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, REPAR 2000, Lisboa.

EMBERSON N. K.; MAYS G. C.. **Polymer mortars for the repair of structural concrete the significance of property mismatch.** Proc. ICPIIC 87: 5th Int. Cong. on Polymers in concrete. Brighton, Sept. 1987.

EMBERSON, N. K.; MAYS, G. C.. **Significance of property mismatch in the path repair of structural concrete. Part 1 - Properties of repair systems.** Magazine of concrete Research, Vol 42, Nº 152, Set/90.

EMBERSON, N. K.; MAYS, G. C.. **Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete. Part 2 - Axially loaded reinforced concrete members,** Magazine of concrete Research, Vol 42, Nº 152, Set/90.

SANTOS, J. V. N.. **Avaliação dos efeitos de 2ª ordem em edifícios de concreto armado.** 1997, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, IST, UTL, Lisboa.

SOUZA, R. H. F.. **Análise do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas à flexão e ao esforço transverso.** Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, IST, UTL, Lisboa, 1990.

SOUZA, R. H. F.. **Reparação estrutural em pilares de concreto armado, sistema de ensaios dos pilares, instrumentação, interpretação de dados.** Relatórios nº 1, 2 e 4, mar/01, UFF, Niterói.

Os autores manifestam sua gratidão às empresas Sika Industrias Químicas S/A e a Bettor MBT Portugal pela doação das argamassas e ao Grupo Estruturas de Concreto Armado e Pré Esforçado, do Instituto Superior Técnico, pelo fornecimento de material e mão de obra para a execução dos pilares e realização dos ensaios.