

# RESISTÊNCIA AO ATAQUE POR ÁCIDO SULFÚRICO DE ARGAMASSAS MODIFICADAS E IMPREGNADAS COM POLÍMEROS

**FERNANDO TORGAL**

Investigador Auxiliar, Eng.º Civil

C-TAC, UM

[torgal@civil.uminho.pt](mailto:torgal@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

**SAID JALALI**

Prof. Catedrático, Eng.º Civil

UM

[said@civil.uminho.pt](mailto:said@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

## SUMÁRIO

Neste artigo apresentam-se resultados sobre a resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros. Foi também analisada a influência da utilização de cimentos resistentes aos sulfatos e da incorporação de cinzas volantes na resistência química das argamassas. Os resultados indicam que a impregnação com polímeros nas condições utilizadas neste trabalho não é muito eficaz, sendo que a utilização de cimentos resistentes aos sulfatos apresenta resultados mais promissores.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros em materiais contendo ligantes hidráulicos, remonta a 1923 quando pela primeira vez foi patenteado um betão para pavimentos contendo látex natural, sendo que o cimento portland era utilizado como filler. Somente em 1924 é que seria emitida a primeira patente sobre betões de ligantes hidráulicos modificados com polímeros [1]. Foi contudo na década de 50, que se assistiram às primeiras utilizações de betões modificados com polímeros, nomeadamente na reabilitação de estruturas de betão [2]. As referências a betões e a polímeros misturam por vezes conceitos que importa desde logo clarificar. Os betões modificados com polímeros, também designados por “polymer modified concrete” - PMC ou por “polymer cement concrete” - PCC, são compostos por agregados e por uma matriz ligante onde coexistem fases geradas pela hidratação do cimento portland em conjunto com fases poliméricas. Já o grupo de betões designado por “polymer impregnated concrete” - PIC, designa os betões que são impregnados por um monómero de baixa viscosidade, usualmente metilo de metacrilato, de forma a colmatar a sua estrutura porosa. Quanto aos betões compostos por agregados e por uma matriz polimérica sem cimento portland, recebem usualmente a designação de “polymer concrete” - PC [3]. Como os materiais à base de cimento, correntemente utilizados ao nível da indústria da construção, apresentam uma elevada quantidade de cal, que é facilmente susceptível de ataque químico e como além disso o cimento portland não consegue uma boa aderência aos agregados, o que induz elevados níveis de permeabilidade que facilitam o ingresso de água, gases e substâncias agressivas, que contribuem para a sua rápida deterioração, estes materiais padecem de problemas de durabilidade que sucessivas investigações têm tentado resolver. A utilização de polímeros em betões e argamassas à base de ligantes hidráulicos, tem vindo por isso nas últimas três décadas a merecer uma atenção crescente quer por parte da comunidade científica, quer também já por parte do mercado da construção, sendo que a mais-valia associada à utilização de polímeros, tem que ver com o facto de permitirem a obtenção de desempenhos superiores em termos dos parâmetros de durabilidade como seja uma menor porosidade e permeabilidade [4-7] ou uma maior resistência ao ataque químico. As investigações no campo do ataque químico não são no entanto escassas, sendo-o mais ainda em termos de argamassas ou betões impregnados com polímeros, as quais se tem debruçado com mais frequência somente no estudo do comportamento à água daqueles materiais [8,9]. No presente trabalho assim, avalia-se de que forma a adição e impregnação com recurso a polímeros contribui para o aumento da resistência ao ataque químico por ácido sulfúrico de argamassas à base de cimento portland. Sendo certo que não se pode a partir destes resultados obtidos em argamassas, inferir do comportamento de betões, o que se fica a dever ao papel desempenhado pelos agregados e pela fase pasta-interface, pode contudo ter-se desde logo uma expectativa de desempenho daqueles materiais.

## 2. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

A presente investigação consistiu no ensaio de quatro misturas. As duas primeiras tiveram como objectivo analisar o desempenho das argamassas quando o polímero é adicionado ou utilizado na forma de impregnação. A terceira diz respeito á utilização de dois cimentos resistentes aos sulfatos e a quarta diz respeito ao uso de cinzas volantes. Na execução das argamassas foi utilizada uma areia grossa com um módulo de finura de 3,478 uma absorção de água por imersão de 0,9% e uma massa volúmica de 2538 kg/m<sup>3</sup>. O polímero utilizado quer como adição ou para a impregnação foi uma melamina que possui um pH=10. As características dos cimentos e das cinzas volantes são apresentadas na Tabela 1.

**Resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros**

Tabela 1: Características químicas, físicas e propriedades mecânicas dos cimentos e das cinzas volantes

	CEM 32,5 IV	CEM 42,5 I SR-MR	CEM 42,5 II	Cinzas volantes
Composição química (%)				
L.O.I.	3,38	2,61	4,95	3,30
SiO <sub>2</sub>	33,57	20,32	18,50	54,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,46	4,34	5,00	25,76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,63	4,26	2,90	8,43
CaO(total)	36,08	62,26	62,80	2,56
MgO	2,56	2,72	1,40	2,14
Na <sub>2</sub> O	*	*	0,30	0,71
NO <sub>3</sub>	*	*	0,70	*
SO <sub>3</sub>	2,00	2,46	2,75	0,47
TiO <sub>2</sub>	*	*	*	1,14
K <sub>2</sub> O	*	*	*	3,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*	*	*	1,10
MnO <sub>2</sub>	*	*	*	0,08
Cl	*	*	0,01	*
CaO(free)	0,95	1,22	*	*
Características físicas				
IR (%)	33,15	0,19	0,70	*
Superfície específica (cm <sup>2</sup> /kg)	4405	4007	3700	*
Tempo de presa				
Inicial	4h10m	3h42m	2h30m	*
Final	5h10m	4h30m	3h49m	*
Resistência à compressão (MPa)				
2 Dias	16,8	28,8	28,0	*
7 Dias	26,9	43,3	*	*
28 Dias	36,0	51,9	52,0	*

A composição das argamassas é apresentada na Tabela 2. As composições com 0,8ml de melamina e uma razão A/C=0,5 tem a designação P.Mod\_0,8\_0,5. A terceira mistura inclui duas composições, respectivamente com dois tipos de cimentos resistentes aos sulfatos (Ref.<sup>a</sup> SR-MR e Ref.<sup>a</sup> 32,5IV), as mesmas composições após serem impregnadas são designadas por (SR-MR\_Impr. e 32,5IV\_Impr.). A quarta mistura inclui 20% de cinzas volantes (Ref.<sup>a</sup> Cinzas Vol), sendo a designação para a variante após impregnação de Cinzas IV\_Impr. A resistência química foi aferida em provetes com 40x40x40 mm<sup>3</sup> curados a 40 °C durante 9 dias, o que em termos de maturidade corresponde a 28 dias com uma temperatura de 18±1 °C. As misturas sujeitas a impregnação foram curadas ao ar durante 48 horas para permitir a polimerização das melaminas. A resistência química foi avaliada imergindo os provetes numa solução de ácido sulfúrico com um pH=0,7 sendo os provetes posteriormente ensaiados em termos de redução de massa e resistência à compressão de acordo com a norma ISO4012.

Tabela 2 – Composição das argamassas

		Cimento (g)	Areia 2-3 mm (g)	Melaminas (ml)		Água (ml)	W/C
				Sólidos	Líquido		
1ª e 2ª Misturas	Ref. <sup>a</sup>	450	1350	0		225	0,5
	P.Mod._0.8-0,5	450	1350	3.8		221.2	
				0.8	3		
	P.Mod._0.8-0,4	450	1350	3.8		177	0,4
				0.8	3		
P.Mod._2.0-0,5	450	1350	9		216	0,5	
			1.9	7.1			
P.Mod._2.0-0,4	450	1350	9		171	0,4	
			1.9	7.1			
3ª Mistura	Ref. <sup>a</sup> SR-MR	450	1350	-	-	225	0,5
	Ref. <sup>a</sup> 32,5 IV			-	-		
4ª Mistura	Cimento 42,5 II com 20% de cinzas volantes	450	1350	-	-	225	0,5

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Na Figura 1 apresenta-se a redução de massa das argamassas modificadas com melaminas. Com exceção dos resultados para os 28 dias de imersão, a composição com 2ml de melamina e A/C=0,4 apresenta sempre piores desempenhos que a argamassa de referência. Somente as composições com A/C=0,5 apresentam um desempenho que no global se pode considerar melhor que a argamassa de referência. Para estas composições parece que a variação do teor de melamina não é relevante em termos de perda de massa. Para a composição com 2ml de polímero uma redução na quantidade de água, passando de um valor de A/C de 0,5 para 0,4 leva a um pior desempenho. Os melhores resultados em termos do uso de argamassas com polímero variam entre 9 a 18% comparativamente à argamassa de referência. Os resultados da resistência à compressão das argamassas modificadas com melamina, após imersão em meio ácido são apresentados na Figura 2. Somente as argamassas contendo 2 ml de polímero conseguem um melhor desempenho que a argamassa de referência, sendo que para estas a redução da quantidade de água utilizada de A/C=0,5 para A/C=0,4 se traduz num aumento substancial do desempenho, o que faz prever que o efeito da redução da porosidade pela diminuição da água dos poros é potenciado pelo uso do polímero. Contudo, importa ressaltar que a mistura que apresentou o pior comportamento em termos de redução de massa, contendo 2ml de melamina e A/C=0,4 é também aquela que apresenta os melhores resultados em termos de resistência à compressão.

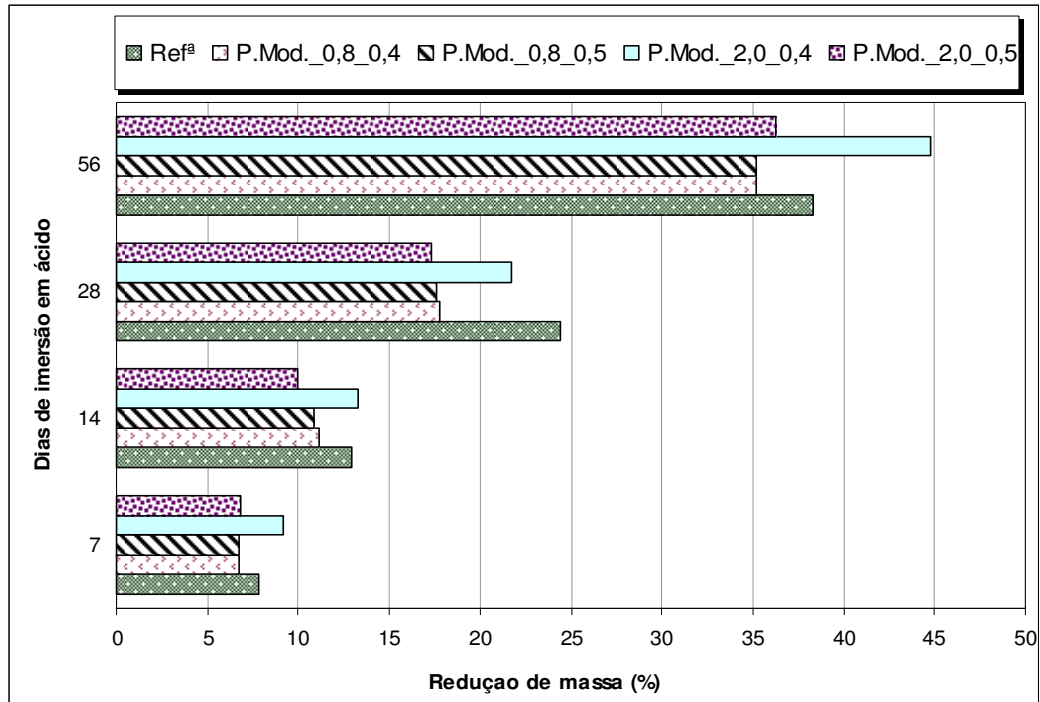


Figura 1 – Redução de massa em argamassas modificadas com polímeros

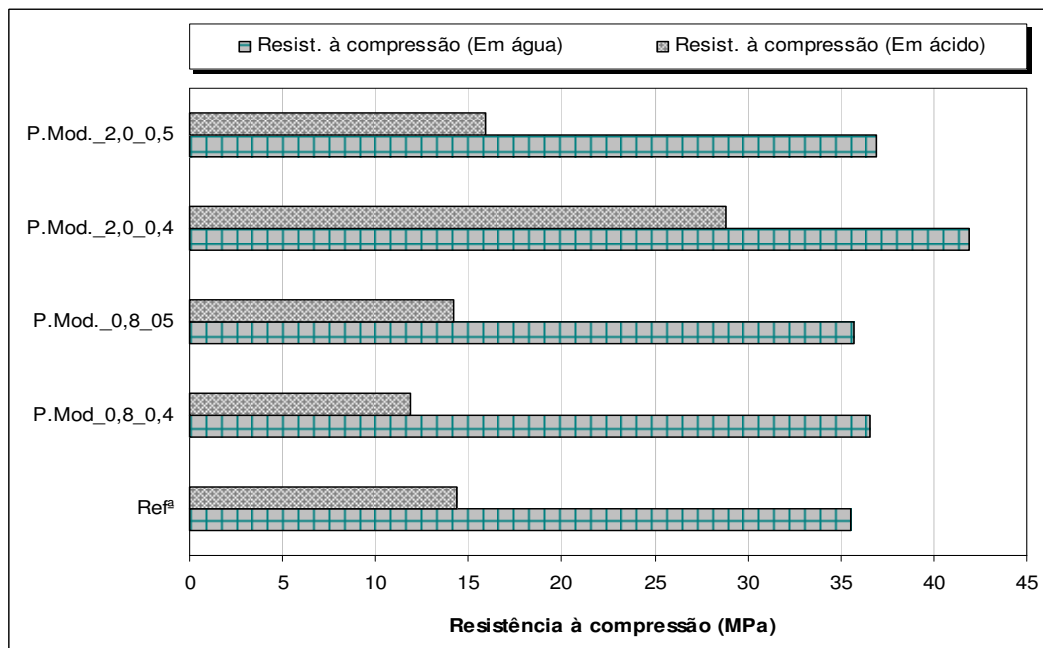


Figura 2 – Resistência á compressão em argamassas modificadas com polímeros

Como a perda de massa parece fornecer uma medida mais fiável da resistência ao ataque em meio ácido, porquanto não se sabe de que forma a resistência é influenciada pela alteração química dos provetes, os resultados da resistência devem ser olhados com alguma precaução. As composições contendo somente 0,8ml de melamina, apresentaram um pior desempenho que a argamassa de referência o que demonstra a ineficácia da utilização de baixas quantidades de polímero. Embora para estas composições a variação da razão A/C não implique alterações substanciais dos resultados, fenómeno diverso sucede no entanto para as composições com 2ml de polímero, onde a

## Resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros

utilização de uma razão  $A/C=0,5$  apresentou um fraco desempenho. Na Figura 3 apresentam-se os resultados da resistência à compressão das argamassas impregnadas com polímeros. Pode constatar-se que a impregnação não é muito eficaz já que todas as composições apresentam um desempenho pior que a argamassa de referência. Pode contudo adiantar-se da comparação entre as Figuras 2 e 3 que a impregnação apresenta melhores resultados que a simples adição do polímero às argamassas. A exceção é no entanto a composição com 2ml de melamina e  $A/C=0,4$  a qual piora o desempenho quando impregnada. O que pode explicar-se à conta do facto de possivelmente ser aquela onde a impregnação conseguiu ser menos efectiva pelo facto de ter uma estrutura mais densa, este comportamento da efectividade da impregnação permite explicar o bom resultado da argamassa de referência que é aquela com a maior porosidade aberta e logo susceptível de ter ficado bem impregnada de polímero. Compreende-se por isso porque razão a redução da quantidade de água da mistura de  $A/C=0,5$  para  $A/C=0,4$  seja responsável por uma redução substancial da resistência. Na Figura 4 apresenta-se a redução de massa das argamassas impregnadas com polímeros. Os resultados obtidos evidenciam que a argamassa de referência apresenta uma redução de massa menor que as restantes composições após imersão em na solução de ácido sulfúrico.

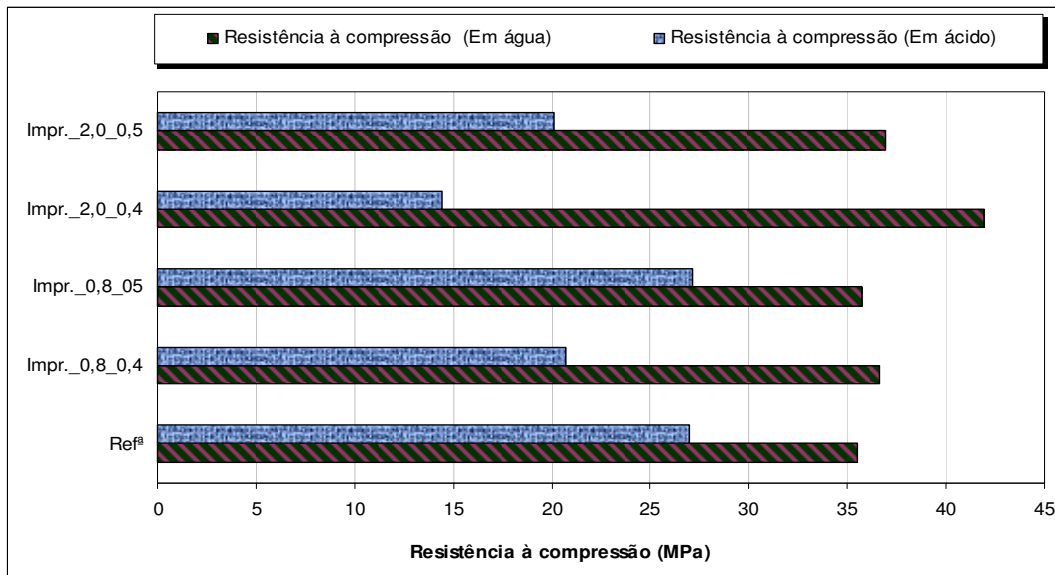


Figura 3- Resistência á compressão em argamassas impregnadas com polímeros

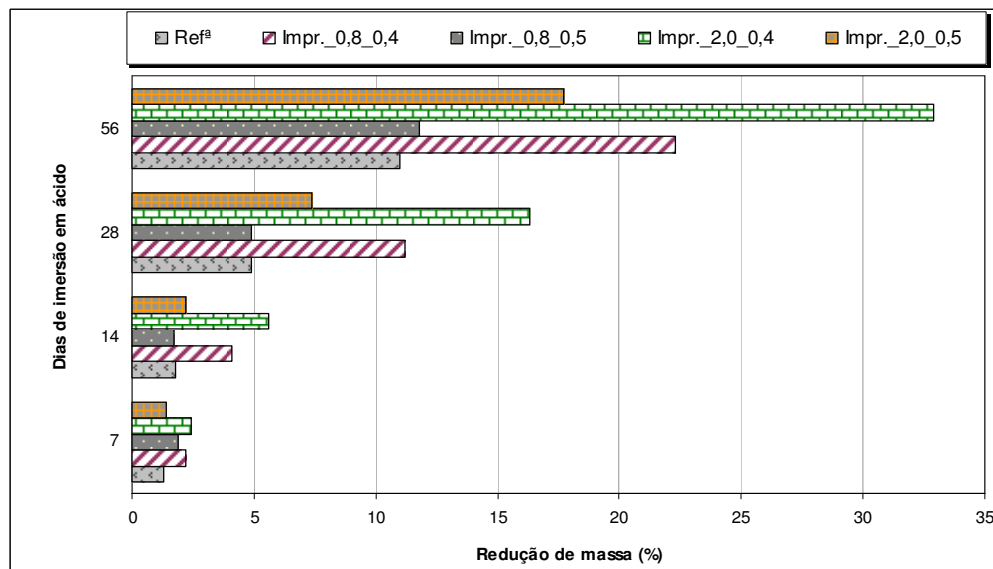


Figura 4- Redução de massa em argamassas impregnadas com polímeros

## Resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros

A explicação terá que ser feita à custa da maior porosidade que corresponderá a uma impregnação mais efectiva. Os piores resultados da redução de massa pertencem à composição com A/C=0,4 e 2ml de melamina, a mesma que já tinha apresentado os piores resultados em termos de resistência à compressão, mantendo-se a explicação com o baixo nível de porosidade que impedirá uma boa impregnação. Valendo raciocínio similar para a composição com 0,8ml de polímero e A/C=0,4 a qual é a segunda pior em termos de desempenho. A Figura 5 apresenta a influência da utilização de cimentos resistentes aos sulfatos e de cinzas volantes na resistência de argamassas após imersão em meio ácido. A composição com cinzas impregnada com polímero apresenta pior resultado do que a composição sem impregnação, o que significa que a utilização de cinzas não é positiva para o aumento da resistência química. Tendo em conta que a utilização de cinzas está associada a um redução da fase solúvel de hidróxido de cálcio por formação de fases de CSH, um tal resultado só pode entender-se como levando a uma microestrutura mais densa que dificulta a impregnação. Já o uso de argamassas impregnadas com cimentos resistente a sulfatos mostra ser uma boa solução no aumento da resistência das argamassas ao ataque por ácido sulfúrico, tanto para o cimento SR-MR com para o cimento 32,5IV. A Figura 6 apresenta a redução de massa das mesmas argamassas após imersão em meio ácido. A redução de massa confirma, desta vez de forma mais evidente para elevados tempos de exposição que a utilização de cinzas volantes não se afigura como uma boa solução face concorrencialmente aos cimentos especiais, na resistência ao ataque químico, embora seja de realçar que a perda de massa das composições com cinzas volantes é inferior às perdas de massa apresentadas na Figura 4. A perda de massa de argamassas com a utilização de cimentos resistentes a sulfatos é mais evidente neste caso do que para a perda de resistência. Além disso a avaliação da perda de massa, permite distinguir o desempenho dos diferentes tipos de cimentos entre si, sendo que as argamassa com o cimento 32,5 IV, dão melhores resultados que aquelas com o cimento SR-MR, pois as primeiras estão associadas a perdas de massa negativas. Este desempenho é quase independente da impregnação, pois em ambos os casos a perda de massa é negativa. Já para as argamassas com cimento SR-MR, a opção de impregnação é melhor somente até 14 dias de imersão, pois os resultados para 28 dias são melhores para a opção sem impregnação.

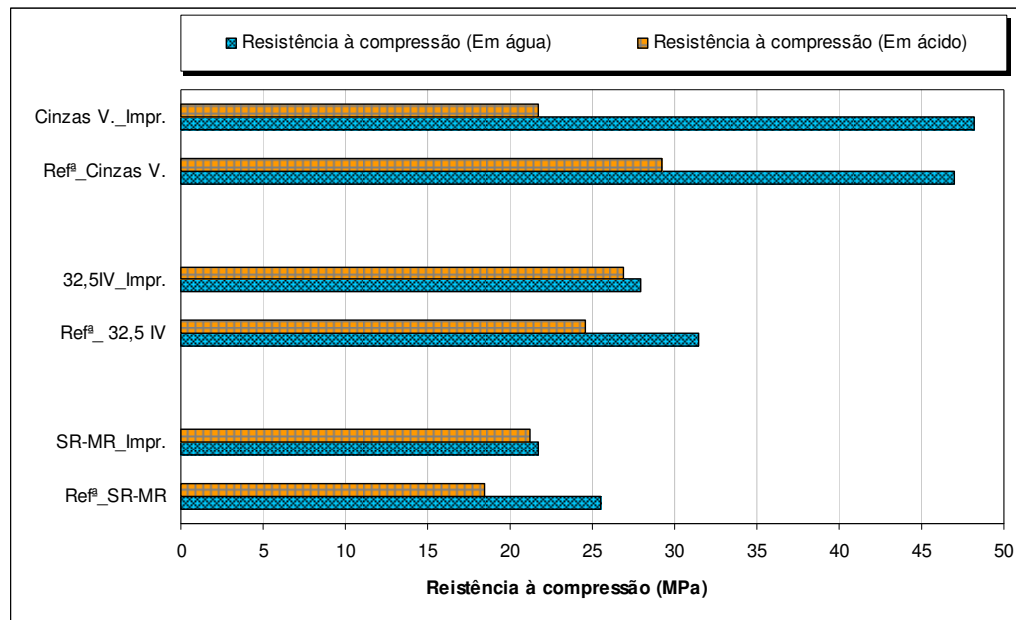


Figura 5 – Resistência á compressão em argamassas com cimentos resistentes a sulfatos e com cinzas volantes. Composições com e sem impregnação.

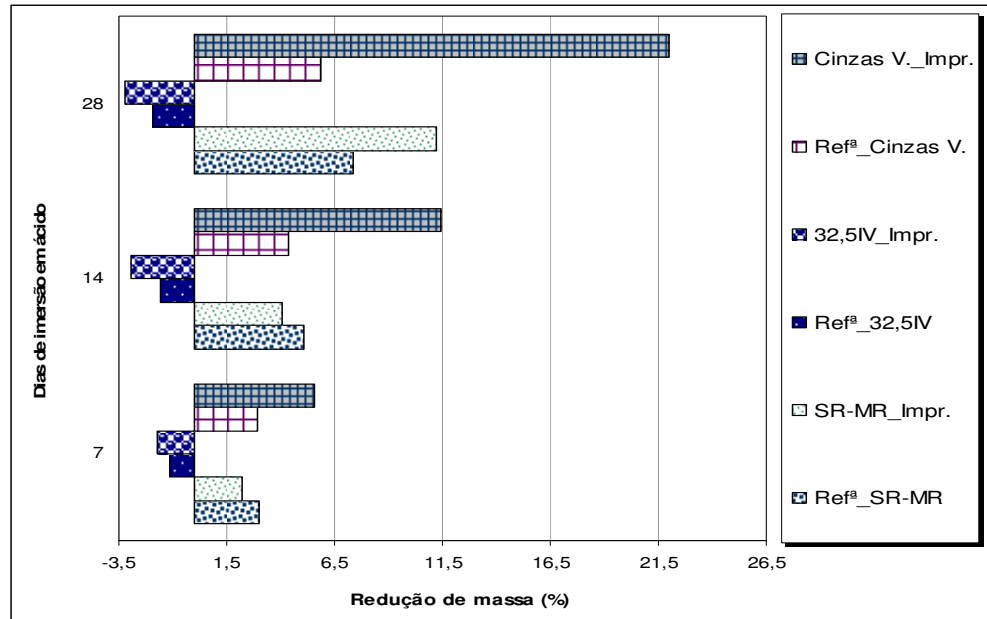


Figura 6: Redução de massa em argamassas com cimentos resistentes a sulfatos e com cinzas volantes. Composições com e sem impregnação.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a impregnação com polímeros nas condições utilizadas neste trabalho não é muito eficaz embora seja preferível à simples adição. Os resultados permitem constatar que utilizações de argamassas impregnadas contendo cimentos resistentes aos sulfatos particularmente o cimento 32,5 IV são opções bastante promissoras e que a utilização de cinzas volantes não é para o presente caso aconselhável. Além disso e tendo em conta a diferença de custos associada a cada uma das opções (adição ou impregnação por polímeros) torna-se necessário futuramente investigar este aspecto, para que a decisão a fazer entre essas duas opções possa estar economicamente fundamentada.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Ohama, Y. – “Polymer-based admixtures”. *Cement and Concrete Composites* Vol.20, 1998, pp.189-212, 1998.
- [2] Storte, M – “Látex estireno-butadieno. Aplicação em concretos de cimento polímero”. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, 1991.
- [3] Fowler, D.W. – “Polymers in concrete: a vision for the 21st century”. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, pp.449-452, 1999.
- [4] Yang, Z.; Shi, X.; Creighton, A.; Peterson, M. - “Effect of styrene-butadiene rubber latex on the chloride permeability and microstructure of Portland cement mortar”. *Construction and Building Materials* Vol. 23, 2009, pp.2283-2290.
- [5] Wang, R.; Wang, P.M.; Li, X.G. – “Physical and mechanical properties of styrene-butadiene rubber emulsion modified cement mortars”. *Cement and Concrete Research* 35, pp.900-906, 2005.
- [6] Al-Zahrani, M.; Maslehuddin, M.; Al-Dulaijan, S.; Ibrahim, M. – “Mechanical properties and durability characteristics of polymer and cement-based repair materials”. *Cement & Concrete Composites* 25, 2009, pp.527-537.
- [7] Torgal, F.P.; Jalali, S. – “Durabilidade de betões modificados com polímeros. *Revista Construção Magazine*, 2009.



- [8] Moreira, P.; Aguiar, José B.; Aires Camões – “Systems for superficial protection of concrete”. ISPIC 2006 International Symposium on Polymers in Concrete, Guimarães, Portugal, pp.225-236, 2006.
- [9] Shirai, A.; Kano, K.; Nagai, K.; Ide, K.; Ogawa, H; Ohama, Y. – “Basic properties of barrier penetrants as polymeric impregnants for concrete surfaces”. 12Th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, 607-615, 2007.



**FERNANDO TORREAL**

Investigador-Auxiliar, Eng.º Civil  
C-TAC (UM)

[torgal@civil.uminho.pt](mailto:torgal@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

Projectista e Director de Obras (1993-2003), Mestre em Eng.ª Civil (FCTUC-2002), Doutor Eng.º Civil (UBI-2007), autor de aprox. 105 artigos e comunicações, sendo 17 artigos em revistas ISI com 40 citações (Índice h=5)



**SAID JALALI**

Professor Catedrático, Eng.º Civil  
UM

[said@civil.uminho.pt](mailto:said@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

Projectista e Director de Obras (1969-1984), Mestre em Eng.ª Civil (U. Nova-1985), Doutor Eng.º Civil (Coventry-1991), Professor Catedrático (U. Minho), autor de aprox. 230 artigos e comunicações, incluindo 30 artigos em revistas internacionais

