

betão

nº 18 Maio 2007

Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

Obras:

Betão Pronto na Auto-estrada A10 •

Ambiente:

Central do Tojal: Uma nova geração •
A Declaração Ambiental do Produto •

Técnica:

• Betão Projectado (parte 2)
• O Ensaio Esclerométrico

Normalização:

A Marcação CE e o Betão



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DAS EMPRESAS DE BETÃO PRONTO

Sumário

05

Vida Associativa

O Grupo João Salvador
e a Política Integrada da Qualidade

11

Normalização

Marcação CE dos produtos da construção
Eng.º João Carlos Duarte

15

Ambiente

Central de Betão do Tojal:
a propósito das centrais "discretas"!

19

Ambiente

A Declaração Ambiental do Produto e o Betão Pronto
Dra. Maria João Carvalho

27

Técnica

O ensaio esclerométrico: "como e quando o utilizar"
Eng.º João André

39

Técnica

Betão Projectado
Parte II: Formulação de composições - Noções gerais
Eng.º Luís Saraiva

47

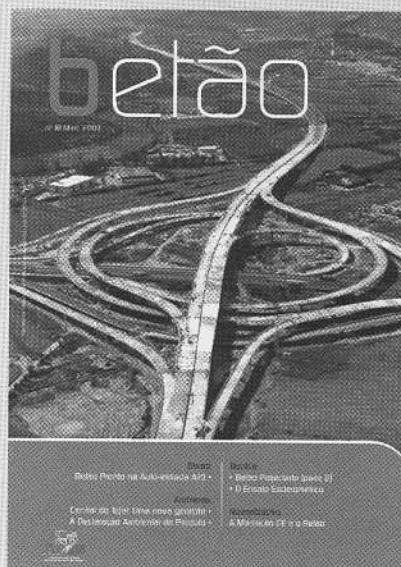
Técnica

Desempenho de ligantes geopoliméricos
na reparação de estruturas de betão
Eng.º Fernando Torgal, Eng.º J. P. de Castro-Gomes,
Eng.º Said Jalali

57

Obra

Betão Pronto na A10



Fotografia da capa: Nô do Carregado

61

Transporte e Bombagem

Putzmeister Portugal

64

Notícias

Associados da APEB

Betaneros, Betão Liz, Betecna, Brivel, Cimpor Betão, Concretepe, Duarbel, Eurobetão, Ibera, Jomatel, Lenobetão, Lisconcreto-Unibetão, Lusobetão, Madeira Inerte, Marques Britas, Prebel, Precore, Qualibetão, Salvador & Companhia, Sicóbetão, Unibetão.

betão



propriedade APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto • Av. Conselheiro Barjona de Freitas, 10-A, 1500-204 Lisboa • t. 217 741 925/932 • f. 217 785 839 • e-mail: apeb@mail.telepac.pt • internet: www.apeb.pt **director** Jorge Reis **director executivo** Jorge S. Pato **coordenador editorial** João André
produção, design e publicidade Companhia das Cores - Design e Comunicação Empresarial, Lda. • Rua de Artilharia Um, 101 - 5º, 1070-012 Lisboa • t. 213 825 610 • f. 213 825 619 • e-mail: design@companhiadascors.com • depósito legal 209441/04
Os artigos assinados são da responsabilidade dos seus autores.

Com o apoio de:



prime
Programa de Incentivos à
Modernização da Economia

Desempenho de ligantes geopoliméricos na reparação de estruturas de betão



Eng.º F. Pacheco Torgal
Doutorando em Materiais
de Construção
Depart. Eng. Civil
EST-IPCB



Eng.º J.P. Castro-Gomes
Professor Associado
Depart. Eng. Civil
e Arq. - UBI



Eng.º Said Jalali
Professor Associado
com Agregação
Depart. Eng. Civil - UM

Sumário

Apresentam-se, neste artigo, alguns resultados sobre o desenvolvimento de um novo material ligante geopolimérico, obtido por activação alcalina de lamas residuais das Minas da Panasqueira (AALRM) e a possibilidade da sua utilização como material de reparação de estruturas de betões de cimento portland normal (CPN). Foi investigada a aderência entre betões CPN e três materiais de reparação; um ligante geopolimérico AALRM e dois produtos comerciais. A aderência foi avaliada através da quantificação da resistência ao corte com o ensaio "slant shear", tendo sido utilizados vários tipos de acabamento da superfície do betão do substrato. Os resultados obtidos indicam que provetes reparados com os ligantes geopoliméricos AALRM, revelam uma resistência ao corte mais eficaz do que a apresentada pelos provetes reparados com produtos comerciais correntes, com a vantagem adicional de apresentarem um custo bastante inferior.

1. Introdução

As investigações sobre cimentos activados alcalinamente, tiveram um desenvolvimento com alguma expressão na antiga União Soviética, nos países escandinavos e em alguns países do Leste da Europa [1]. Em 1978, Davidovits criou a designação "geopolimero", para caracterizar novos materiais com a capacidade para se transformarem, policondensarem e adquirirem forma rapidamente

a baixas temperaturas como os "polímeros" [2]. O processo de polimerização envolve uma reacção química, sob condições de elevada alcalinidade com minerais aluminosilicatados, originando ligações poliméricas Si-O-Al-O com uma fórmula empírica $Mn[-(Si-O_2)_z-Al-O]n \cdot xH_2O$, em que n é o grau de polimerização, z é 1, 2 ou 3, e M é um catião alcalino, como o sódio ou potássio [3]. A geopolimerização requer a utilização de matérias-primas contendo quantidades significativas de sílica e alumina em estado amorfo, como as cinzas volantes, as escórias de alto forno ou resíduos de minas e pedreiras após o seu tratamento térmico.

Em Portugal, o volume de produção de escórias e de cinzas volantes é em termos globais de apenas 0,4 milhões de ton. (Mt) por ano, no entanto o volume de produção de resíduos industriais de minas e pedreiras é de aproximadamente 16 Mt/ano representando 58% do total de resíduos industriais [4, 5]. Adicionalmente importa ter presente que uma tão elevada quantidade de resíduos minerais, significa a inutilização de vastas áreas para a sua deposição. Tal facto constitui-se como um entrave ao cumprimento das Directivas Aves e Habitats [6,7], que prevêem um aumento das áreas protegidas do território português dos actuais 7,2% para 21,3% no âmbito da Rede Natura 2000 [8]. Note-se que a Rede Natura 2000 representa não a maximização de áreas fundamentais para a conservação da natureza, mas antes uma tentativa de equilíbrio entre essas necessidades, as necessidades da produção agrícola e florestal e as áreas que a sociedade actual entende serem necessárias à expansão urbana. Alguns investigadores acham até que

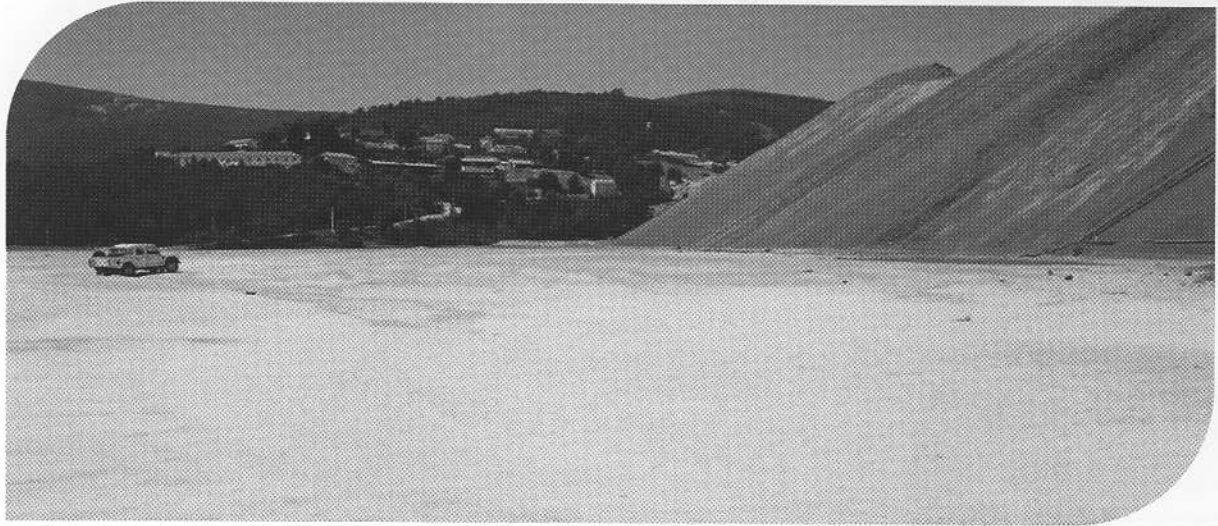


Figura 1 – Vista de um dos lagos de lamas residuais das Minas da Panasqueira

a área necessária para se reduzir, de forma significativa, o ritmo actual de extinção de espécies animais e vegetais oscila entre 50-70% dos territórios nacionais [9]. Para Portugal e atendendo a que mais de 75% do território nacional está englobado em apenas 1,4% do planeta, necessário para conservar 44% das plantas vasculares e 35% dos vertebrados a nível mundial, estima-se que sejam necessários 77% do território para que as espécies consideradas persistam com um grau de probabilidade de 90%, mesmo descontando uma margem de erro que decorre dos métodos, da escala e da qualidade dos dados [10]. Essa área representaria 10 vezes a área protegida actual e seria 4 vezes superior ao somatório das áreas protegidas com a Rede Natura-2000, o que mostra bem da necessidade do reaproveitamento dos resíduos de minas e pedreiras.

As Minas da Panasqueira, ainda hoje em actividade estão localizadas no distrito de Castelo Branco, próximo do parque natural da Serra da Estrela e junto à Paisagem protegida da Serra do Açor. Este complexo mineiro gerou ao longo do séc. XX alguns milhões de toneladas de lamas residuais, que se encontram depositadas em vários lagos de superfície considerável e com um impacto ambiental muito significativo, como se pode ver na Figura 1. Investigações recentes mostram que a partir da activação das lamas residuais das Minas da Panasqueira é possível sintetizar um ligante de características geopoliméricas, com elevadas resistências iniciais, baixa absorção e elevada durabilidade [11-14], no entanto e

atendendo a que actualmente não existe qualquer benefício económico para a utilização de resíduos minerais, constata-se que o fabrico de ligantes geopolimérico com lamas residuais apresenta um custo superior aos dos ligantes tradicionais, o que se fica a dever ao custo relativamente elevado das soluções alcalinas de activação à base de hidróxidos e silicatos. É no entanto expectável que a longo prazo esta situação se possa inverter, muito por força do aumento do custo dos ligantes tradicionais devido à contabilização do custo de emissões de carbono [15]. Dessa forma e a curto prazo a utilização de ligantes do tipo geopolimérico passará necessariamente por aplicações alternativas a materiais de elevado custo como sejam os produtos de reparação de estruturas de betões CPN, tendo algumas investigações preliminares revelado que os ligantes AALRM apresentam um desempenho bastante promissor nesse área específica [16]. A aderência entre o material de reparação e o betão da estrutura a reparar é uma das mais importantes propriedades dos materiais de reparação. Esta aderência depende não só das características do material de reparação, mas também da rugosidade da superfície do betão do substrato. Para quantificar o nível de aderência tem sido utilizados vários ensaios, como o ensaio de "pull-off", o ensaio de compressão, de flexão ou o ensaio de "slant shear", os quais são influenciados quer pelo material de reparação quer pelo estado de tensão na superfície de reparação [17,18]. O ensaio "slant shear" foi adoptado em várias normas, havendo contudo diferenças

significativas, quer ao nível da dimensão dos provetes, do ângulo de ligação e do acabamento das superfícies. A norma NFP 18-872 [19] utiliza prismas de betão com 100x100x300 mm serrados num ângulo de 60°, sendo as partes reparadas com betão fresco ou colando-as entre si. Já a norma italiana [20] utiliza prismas de 70x70x200 mm com uma superfície de ligação inclinada de 73°. De acordo com a norma ASTM C882-91 [21], a quantificação da aderência é feita através de ensaio de resistência ao corte com cilindros de 152 mm de altura por 70 mm de diâmetro, com uma superfície de ligação inclinada a 60° e sujeita a um tratamento por jacto de areia ou com berbequim acoplado a escova de aço. Já a norma BS 6319: Part 4 [22] utiliza provetes com superfícies fracturadas obtidos a partir de placas de betão com 150x150x55mm. As meias placas são depois reparadas com uma ligação a 60°.

O ensaio "slant shear" tem mostrado ser um ensaio significativo, sendo um ensaio económico, sensível à rugosidade da superfície de ligação e apresentando uma boa correlação com o ensaio de pull-off [23].

2. Programa experimental

2.1 Materiais

2.1.1. Betão do substrato

Na Tabela 1 apresentam-se as características dos agregados utilizados no fabrico do betão do substrato. Usando o método das curvas de referência de Faury [24,25] foi feito o estudo da composição de um betão da classe de resistência C30/37. Na Tabela 2 são apresentados elementos relativos ao betão do substrato, quer em termos da sua composição como das suas propriedades mecânicas. Os provetes de betão foram curados em água durante 3 meses, pois este período de cura leva a um processo de hidratação quase completo à semelhança do que acontece em betões já com alguma idade das estruturas deterioradas, como referem alguns autores [26].

Tabela 1 – Características dos agregados

	Percentagem de retidos	
	Areia	Agregados
9,5 mm	0	0
4,76 mm	0	35,4
2,38 mm	0	91,5
1,19 mm	13,9	97,2
590 µm	61,6	98,5
297 µm	97,3	99,2
149 µm	99,7	99,4
74 µm	99,9	99,6
(< 74 µm)	0	0,4
Módulo de finura	2,72	5,2
Dmáx. (mm)	2,38	9,52
Absorção (%)	1,0	0,4
Densidade (Kg/m ³)	2624	2689

Os peneiros utilizados pertencem à série ASTM

Tabela 2 – Características do betão do substrato

Componentes	C30/37
Cimento II 32,5 (Kg/m ³)	504
Areia	417
Agregados	1154
Razão A/C	0,43
f _{c_{28d}} ^a (MPa)	37,8
f _{t_{28d}} ^b (Mpa)	8,7

^aValor médio para 3 provetes com (150x150x150 mm³)

^bValor médio para 6 provetes com (40x40x160 mm³)

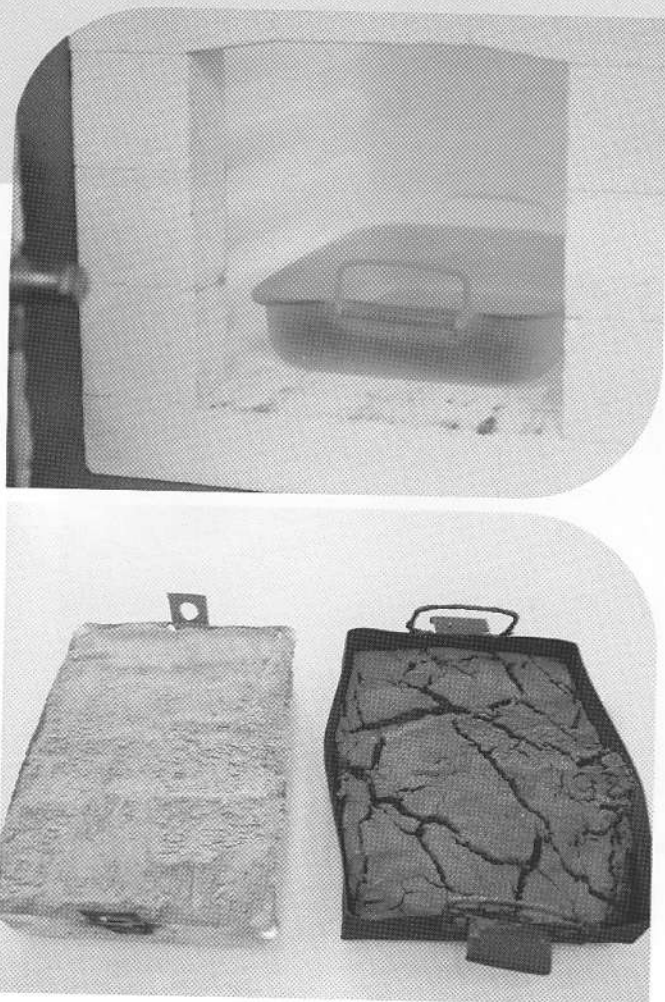


Figura 2 – Tratamento térmico das lamas

2.1.2. Produtos comerciais de reparação de betão CPN

Foram utilizados dois produtos comerciais correntemente utilizados para reparação de estruturas de betão, aqui genericamente designados somente por R1 e R2. Os produtos comerciais de reparação de estruturas, são fornecidos como misturas pré-preparadas de areia fina ($D_{máx}=2$ mm), cimento, sílica de fumo e outros aditivos bastando misturar água, sendo a densidade do material fresco de 2100 Kg/m^3 . As suas características mecânicas, fornecidas pelo fabricante, são as seguintes:

Material R1 - $f_{c_{28d}} = 45 \text{ MPa}$, $f_{t_{28d}} = 9 \text{ MPa}$

Material R2 - $f_{c_{28d}} = 49 \text{ MPa}$, $f_{t_{7d}} = 6 \text{ MPa}$, $f_{t_{28d}} = 8 \text{ MPa}$

Tabela 3 – Composição química das lamas (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Mg O	S O ₄	Ti O ₂	As	Outros óxidos
53,48	16,66	12,33	7,65	0,62	1,27	3,10	1,39	1,28	2,22

2.1.3. Ligante AALRM

O ligante geopolimérico AALRM utilizado no presente trabalho como material de reparação, foi obtido a partir da activação de lamas residuais das Minas da Panasqueira. Em termos mineralógicos as lamas são constituídas por moscovite e quartzo. A composição química das lamas é apresentada na Tabela 3, podendo constatar-se que as lamas são constituídas essencialmente por sílica e alumina, contaminadas por sulfuretos e arsénio e com elevados teores de ferro e de potássio. A razão molar Si/Al ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) é de 5,5, maior que 2, valor sugerido por Davidovits, para a execução de ligante e betão geopolimérico. Contudo a razão final no ligante endurecido depende em grande parte da reactividade de Al-Si, porque nem toda a sílica e a alumina são reactivas; por isso e apesar destes elementos se dissolvem sincronicamente do mineral original quando submetido a uma solução alcalina, não se pode esperar que a razão molar Si/Al no ligante endurecido seja idêntica à da matéria-prima. Na verdade, a maioria dos minerais não é sequer capaz de fornecer sílica suficiente para iniciar uma reacção de geopolimerização, razão pela qual se torna necessário a adição de sílica solúvel para o fabrico deste tipo de ligantes.

As lamas foram submetidas previamente a um tratamento térmico com uma temperatura de $950 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas, a fim de se conseguir aumentar a sua reactividade por desidroxilação (Figura 2). As transformações estruturais provocadas pela fase de calcinação foram publicadas noutro artigo [11]. Para aquelas condições térmicas, a análise da difracção de raios-X revela a formação de uma fase amorfa que ocorre predominantemente no intervalo entre os $850 \text{ }^\circ\text{C}$ e os $950 \text{ }^\circ\text{C}$. A calcinação não provoca no entanto o colapso integral da estrutura de moscovite. Análises relativas à dimensão do principal pico de moscovite revelaram que após a fase de tratamento térmico continua a persistir um pico correspondente a 12% do inicial.

O ligante AALRM é constituído por uma mistura de agregados, lamas, hidróxido de cálcio, activador alcalino e água. Os agregados foram os mesmos já descritos para a execução do betão do substrato. A razão mássica entre agregados, lamas e activador alcalino é 1,5:1:1. O hidróxido de cálcio é utilizado numa percentagem de 10%, devido ao facto de investigações relacionadas com o estudo da composição deste tipo de ligante, terem revelado que esta percentagem conduz à optimização da resistência à compressão [12]. O activador

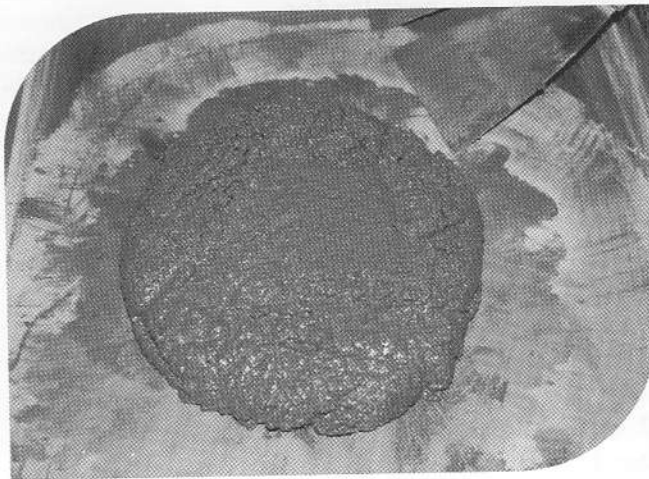


Figura 3 – Ligante AALRM após a sua amassadura

alcalino é constituído por hidróxido de sódio com uma concentração de [24M] e silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{O}=8,6\%$, $\text{SiO}_2=27,8\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=0,4\%$ e água=63,2%), sendo utilizados numa proporção mássica de 1:2,5. Investigações sobre os ligantes AALRM demonstraram que estas condições de composição revelaram ser aquelas que maximizam a resistência de longo prazo [27]. A execução do activador alcalino inicia-se com a operação de dissolução do hidróxido de sódio em palhetas, tendo-se utilizado água destilada para evitar o efeito de contaminantes desconhecidos da água da rede. O activador alcalino é composto por silicato e hidróxido de sódio, sendo preparado previamente pela mistura dos dois compostos, antes da sua mistura aos componentes sólidos. Os agregados, as lamas e o hidróxido de cálcio são misturados à parte antes da adição do activador alcalino, pelo facto desta ordem de mistura dos componentes se ter revelado como a mais adequada. Para a obtenção de uma mistura com alguma trabalhabilidade, utilizou-se água extra, água que é adicionada à mistura, após todos os componentes já estarem misturados (Figura 3). A razão mássica água/sólidos foi de 4%. O desempenho mecânico desta mistura em termos de resistência à compressão e à flexão é o seguinte:

$$f_{c_{1d}} = 47\text{MPa}, f_{c_{7d}} = 60,3\text{MPa}, f_{c_{28d}} = 78,3\text{MPa}$$

$$f_{t_{1d}} = 7\text{MPa}, f_{t_{7d}} = 11,5\text{MPa}, f_{t_{28d}} = 10,7\text{MPa}$$

2.2. Ensaio "slant shear"

A quantificação da aderência entre o betão do substrato e os produtos de reparação foi levada a cabo através da análise da resistência ao corte no ensaio "slant shear". O ensaio utiliza provetes prismáticos, compostos por duas metades, uma de betão CPN e outra de material de reparação, sendo submetidas a um esforço de compressão. A dimensão dos provetes é de $50 \times 50 \times 125 \text{ mm}^3$, com uma superfície de ligação fazendo um ângulo de 30° com a vertical (Figura 4).

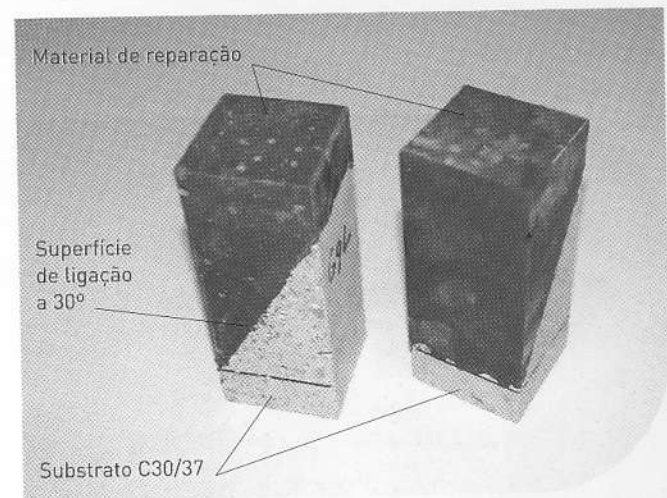


Figura 4 – Provetes utilizados no ensaio "slant shear"

A resistência ao corte foi calculada, dividindo a carga máxima de rotura pela área da superfície de ligação e foi obtida da média do ensaio de 4 provetes para cada idade de cura. Os provetes foram ensaiados para as idades de cura de 1, 3, 7 e 28 dias. Com o objectivo de se aumentar a superfície específica do betão do substrato, algumas superfícies do betão do substrato, foram tratadas com uma solução ácida. A superfície dessas metades de betão foi imersa numa fina lâmina líquida, com 5% de ácido clorídrico durante 5 minutos, sendo posteriormente lavadas para assegurar a remoção do CaCl_2 resultante da reacção entre o ácido HCl e o Ca(OH)_2 , presente na superfície do betão do substrato. De acordo com alguns investigadores este procedimento conduz a um aumento da micro-rugosidade do betão [28]. Os provetes aparecem referenciados ao material de reparação utilizado e ao acabamento da superfície de ligação. Os provetes reparados com ligan-

tes AALRM aparecem designados por GP, enquanto os reparados com os produtos comerciais aparecem designados por R1 e R2. Os diferentes tipos de superfície do betão do substrato, aparecem referenciados com as seguintes designações:

NTS – Superfície serrada sem tratamento

ES – Superfície serrada sujeita a tratamento químico

MF – Superfície betonada sobre cofragem metálica

WF – Superfície betonada sobre cofragem de madeira de pinho

Na Figura 5, apresentam-se alguns tipos de acabamentos da superfície do betão do substrato.

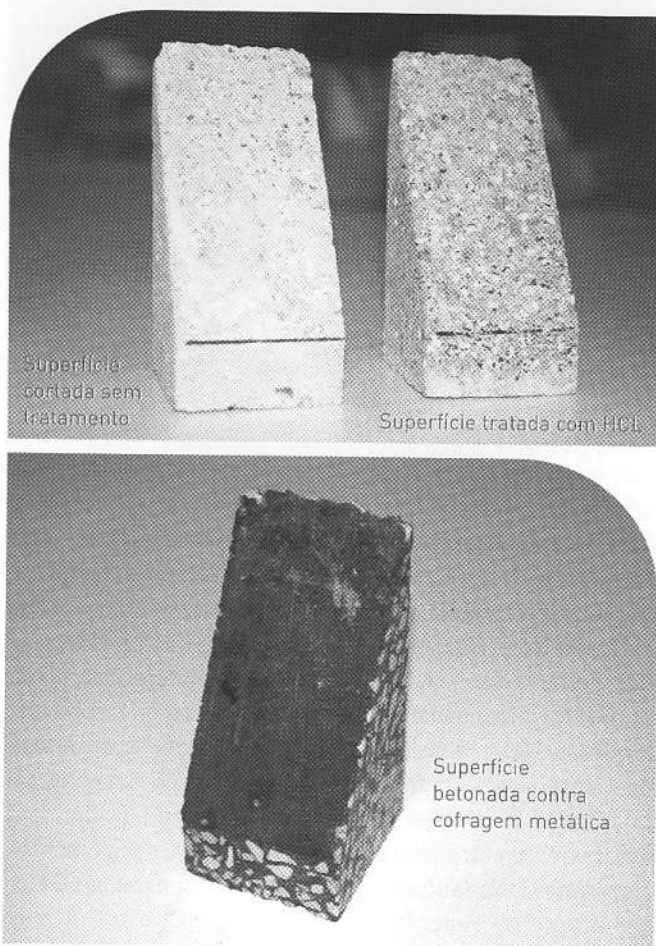


Figura 5 – Acabamento da superfície do betão do substrato

3. Análise dos resultados

No Gráfico 1 são apresentados os resultados da resistência ao corte para as diversas soluções de reparação.

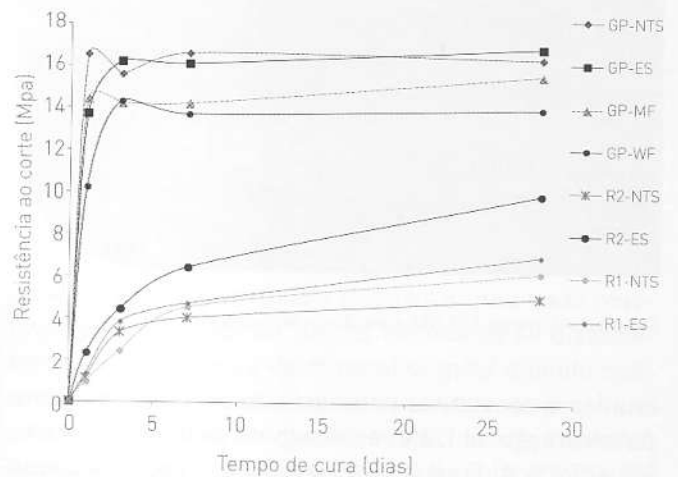


Gráfico 1 – Resistência ao corte no ensaio "slant shear"

Pode constatar-se que os valores da resistência ao corte por aderência nos provetes reparados com ligantes AALRM, apresentam altas resistências logo a partir do primeiro dia, apresentando nessa idade uma resistência superior aos provetes reparados com produtos comerciais ensaiados aos 28 dias. São ainda, bastante superiores ao valor mínimo recomendado para a resistência à adesão pela Concrete Society [29] de 0,8MPa no ensaio de (pull-off test), valor que corresponde a aproximadamente 5MPa no ensaio de "slant shear" de acordo com a correlação obtida por Júlio et al. [23]. A resistência ao corte nos provetes reparados com ligantes AALRM não é influenciada pelo tratamento químico da superfície serrada do betão do substrato, pois os resultados são idênticos para a superfície serrada com e sem tratamento químico, mas sim pelo uso de provetes de substrato com superfícies betonadas contra cofragem. Nestes dois casos a resistência diminui ligeiramente. A justificação para este comportamento tem que ver com o facto deste tipo de superfície ser composta essencialmente por hidróxido de cálcio, sem agregados expostos, cuja dissolução permite um aumento da resistência da ligação entre os materiais como acontece nos provetes de betão serrados. Estes resultados confirmam investigações relacio-

nadas com a influência dos agregados [27]. O desempenho em termos de aderência dos provetes reparados com produtos de reparação comerciais é muito dependente do tempo de cura, pelo que isso constitui um obstáculo quando se pretendem altas aderência iniciais. Os resultados mostram que a utilização do produto R2 é claramente influenciada pelo tipo de tratamento da superfície do betão do substrato, evidenciando um ganho de resistência muito substancial (quase o dobro) relativamente à adesão sobre superfície serrada. Por seu lado o produto R1, apresenta em superfícies sem tratamento um valor de aderência superior ao produto R2, contudo o nível de aderência pouco cresce com o aumento da rugosidade da superfície. Porque sendo uma rugosidade quase microscópica, deverá influenciar de forma pouco significativa a capacidade adesiva deste produto, porquanto deve só ser utilizado em superfícies de elevada rugosidade, sujeitas aos tratamentos de superfícies convencionais, com escova de aço ou a jacto de areia. A Tabela 5 apresenta o coeficiente de variação (COV) da resistência ao corte no ensaio de *slant* de acordo com a idade de cura.

Tabela 5 – Coeficiente de variação [%]

		Material de reparação e tipo de superfície do substrato							
		R1		R2		GP			
		ES	NTS	ES	NTS	ES	NTS	MF	WF
Curing days	1	23	33	22	27	7	7	13	15
	3	13	21	20	24	6	6	8	6
	7	9	18	14	20	6	6	8	6
	28	10	16	12	16	6	6	7	1

Os resultados mostram que o COV decresce com a idade de cura e com o aumento da resistência ao corte, excepto para os provetes cuja superfície foi alvo de tratamento químico e que foram reparados com ligante AALRM. Os provetes reparados com os produtos comerciais R1 e R2 apresentam elevados COV nas idades iniciais; contudo ao fim de 28 dias de cura apresentam já valores aceitáveis. Para ambos os produtos comerciais, os resultados do COV

são influenciados pelo tipo de acabamento da superfície do betão do substrato. Os provetes reparados com ligante AALRM apresentam baixos valores de COV, mesmo para idades de cura iniciais, não sendo influenciados pelo tipo de tratamento da superfície do betão a reparar. Quando se comparam os COV dos produtos comerciais com os deste ligante geopolimérico, conclui-se que esta solução de reparação é estatisticamente muito mais fiável. A explicação para este fenómeno parece ficar a dever-se ao facto das superfícies do betão do substrato serem ricas em hidróxido de cálcio, que reagem com a estrutura geopolimérica. O que tem que ver com a necessidade da presença de iões positivos como os Ca^{++} neste tipo de estrutura molecular, por forma a compensarem a carga negativa dos iões Al^{3+} . A que se soma ainda um acréscimo na ligação mecânica devido à dissolução de sílica da superfície dos agregados quando em contacto com o activador alcalino.

4. Considerações económicas

Com o objectivo de analisar a eficiência económica das diversas soluções de reparação, comparam-se na Tabela 6 os custos das diferentes argamassas em termos de custos nominais.

Tabela 6 – Custo das diversas soluções de reparação

Solução de reparação	Custo dos materiais (€ / ton.)						Custo total		
	AALRM ^a (25 € / ton)	Agregados (7,7 € / ton)	Silicato de sódio (428 € / ton)	Hidróxido de sódio (728 € / ton)	Hidróxido de cálcio (100 € / ton)	Argamassa R1 (910 € / ton)	Argamassa R2 (1646 € / ton)	(€/ton.)	(€/m ²)
Argamassa AALRM	6,3	3,3	85,6	28,5	2,8	-	-	126,5	263
Argamassa R1	-	-	-	-	-	910	-	910	1820
Argamassa R2	-	-	-	-	-	-	1646	1646	3292

^aInclui os custos de tratamento térmico e de moagem

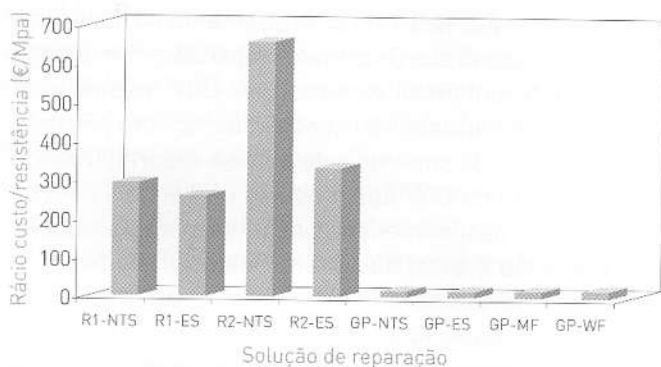


Gráfico 2 – Rácio custo/resistência ao corte para as diversas soluções de reparação analisadas

Mesmo que os produtos comerciais de reparação (R1 e R2), apresentassem o mesmo desempenho em termos de aderência a betões CPN, as soluções de reparação com ligantes AALRM eram 6,9 vezes mais económicas que a solução envolvendo o produto comercial de reparação com o menor preço. Quando a comparação é feita em termos de rácio custo/resistência ao corte as diferenças tornam-se bastante maiores, neste caso a solução envolvendo o produto comercial mais barato é 13,8 vezes mais cara que a solução com ligantes AALRM. (Gráfico 2), o que é indicativo da capacidade concorrencial evidenciada por este tipo de ligantes.

5. Conclusões

Os ligantes AALRM apresentam uma elevada aderência a betões CPN logo a partir do primeiro dia de cura, não estando dependentes da rugosidade da superfície. Já os produtos comerciais utilizados na reparação de betão, revelaram que a sua aplicabilidade se restringe a superfícies com um determinado nível de rugosidade, além do que o seu desempenho é bastante influenciado pelo tempo de cura, não sendo por isso adequados a situações em que se exige um elevado nível de aderência logo a seguir à operação de reparação. Além das vantagens mecânicas, os ligantes AALRM, caracterizam-se ainda por apresentarem um custo bastante mais baixo do que o dos produtos comerciais.

6. Referências bibliográficas

- [1] Roy, Della M. ; "Alkali – activated cements. Opportunities and challenges". *Cement and Concrete Research* 29 (1999) 249-254.
- [2] Davidovits, J.; "Geopolymers: Inorganic polymeric new materials". *Journal of Thermal Analysis* 37 (1991) 1633-1656.
- [3] Davidovits, J.; "Chemistry of geopolymeric systems, Terminology". *Proceedings of Geopolymer 1999 International Conference*. France.
- [4] Instituto Português de Resíduos, "Produção de escórias e cinzas no ano 2002". 2004.
- [5] Instituto Português de Resíduos, "Estudo de avaliação dos resíduos industriais. Relatório final." 2004.
- [6] Directive (79/409/CEE); "Wild birds conservation".
- [7] Directive (92/43/CEE); "Natural habitats preservation".
- [8] www.naturlink.pt/
- [9] Soulé, M.; Sanjayan, M.; "Conservation targets: do they help?" *Science* 279 (1998) 2060-2061.
- [10] Myers, N.; "Biodiversity hotspots for conservation priorities" *Nature* 403: 853-858 (2000).
- [11] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Geopolymeric Binder Using Tungsten Mine Waste: Preliminary Investigation" In *Proceedings of Geopolymer 2005 World Congress*, pp.93-98. S. Quentin, France.
- [12] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Effect of mixture composition on the early age strength of alkali-activated mine waste mud mortars". *Construction and Building Materials*. Elsevier Science Ltd (in press).
- [13] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Properties of tungsten mine waste geopolymeric binder". *Construction and Building Materials* (in press).
- [14] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Alkali-activated Tungsten Mine Waste mud Binder versus OPC concrete. Acid and abrasion resistance". *Alkali Activated Materials - Research, Production and Utilization 3rd International Conference*. Praga, República Checa 2007.
- [15] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Cimento Portland versus ligantes geopoliméricos: Considerações económicas sobre as implicações do mercado de carbono no custo dos betões". *Engenharias 2005*. Universidade da Beira Interior. Covilhã.

- [16] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro-Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Bond strength between concrete substrate and repair materials. Comparisons between Tungsten mine waste geopolymeric binder versus current commercial repair products". (2006) 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, nº 482, 10 p, Turquia.
- [17] Austin, S.; Robins; Pan; Youguang; "Shear bond testing of concrete repairs". Cement and Concrete Research 29 (1999) 1067-1076.
- [18] Momayez, A.; Ehsani, M.; Ramezaniapour, A. A.; Rajaie, H.; "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials". Cement and Concrete Research 35 (2005) 748-757.
- [19] Paillere, A.M.; Rizouliere, J.; "Criteria for evaluation of materials for concrete repair". In Proceedings of an international conference on Gestion des Ouvrages d'art, vol.2, Editions Anciens ENPC, 1981 pp. 479-484.
- [20] Camomilla, G.; "General Report." In Proceedings of an international conference on Gestion des Ouvrages d'art, vol.2, Editions Anciens ENPC, 1981 pp. 105-136.
- [21] ASTM C882-91; "Standard test method for bond strength of epoxy resin system used with concrete by slant shear" 1991.
- [22] British Standard Institution; "Testing of resin compositions for use in construction. Method for measurement of bond strength (slant shear method)" BS 6319: Part 4, 1984.
- [23] Julio, E.N.B.S.; Branco, F.A B.; Silva, V.D.; "Concrete to concrete bond strength. Influence of the roughness of substrate surface". Construction and Building materials 18 (2004) 675-681.
- [24] Faury, J.; "Le Beton. Influence de ses constituents inerts. Regles á adopter pour sameilheure composition. Sa confection et son transport sur les chantier". 3rd ed. Paris, Dunod, 1958.
- [25] Lourenço, Jorge; Coutinho José; "Automatic calculations for concrete mix selection. Faury and Bolomey methods". Comissão de Coordenação da Região Centro. Monografias Técnicas, Coimbra, 1986.
- [26] Hassan, K.E.; Brooks, J.J., Al-Alawi, L.; "Compatibility of repair mortars with concrete in a hot-dry environment". Cement & Concrete Composites 23 (2001) 93-101.
- [27] Torgal, F. M. Alves S. P.; Castro-Gomes, J. P.; Jalali, Said; "Effect of aggregates on strength and microstructure of geopolymeric mine waste mud binders". Cement and Concrete Research. (in press).
- [28] Xiong, G.; Cui, Y.; Chen, Liqiang; Jiang, Hao; "Influence of hydrochloric acid etching on bond strength between concrete substrate and repair materials". Cement & Concrete Composites 26 (2004) 41-45.
- [29] Concrete Society; "Patch repair of reinforced concrete. Model specification and method of measurement". Concrete Society Technical Report nº 38 (1991).



**ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DAS EMPRESAS DE BETÃO PRONTO**

BETÃO PRONTO

ONTEM como HOJE, na CONSTRUÇÃO

do FUTURO de PORTUGAL

sede: Av. Conselheiro Barjona de Freitas, 10A • 1500-204 Lisboa
t. 217 741 925/32 • f. 217 785 839

delegação norte: Zona Industrial da Carriça, Lote 17 • 4745-312 Muro
t. 229 867 400 • f. 229 867 408

<http://www.apeb.pt> • e-mail: apeb@mail.telepac.pt