

GRAUTES PARA REPARO

L. Tula¹; P.S.F. Oliveira²; P. Helene³

1, 2. Denver Global, Av. João Batista Fitipaldi, 500, Suzano, 08675-970, SP, Brasil.

3. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, PCC / USP, Caixa Postal 61.548, São Paulo, 05424-970, Brasil.

RESUMO

São várias as manifestações físicas da inadequação dos grautes para reparos hoje comercializados. Algumas muito óbvias, como a fissuração e o descolamento do substrato, outras menos evidentes, que só irão se manifestar ao longo do tempo, como por exemplo, as relacionadas com a incompatibilidade dimensional, o que pode afetar a durabilidade e o trabalho conjunto dos materiais nas áreas de intervenção.

Mais do que um resgate das origens, é a formulação dos requisitos de desempenho, a partir das experiências acumuladas e dos novos conhecimentos decorrentes do conceito de vida útil, o que vai permitir a elevação do nível de qualidade das obras de recuperação.

Como argumentação à proposta, é apresentado um estudo experimental, onde se formula um graute de baixo módulo com a adição de polímeros, destinado a reparos de grande área superficial, onde deverá se priorizar a maior resistência à fissuração, inclusive a provocada pela retração da pasta de cimento.

Palavras chaves: Graute, reparo, módulo de deformação, resistência à retração, aditivos poliméricos

ABSTRACT

There are some manifestations of unsuitability of today-commercialized grouts, including special grouts for repairs. Some manifestations are very obvious like cracks and the delamination of the concrete from the substrate; other ones are more hidden and will appear only after long time, for example, the dimension incompatibility, that affects the durability and the combined work of materials in the repair site.

More than an origin saving, the suggested performance requirements for repair grouts, considering the gather experience and the new knowledge related with the service-life concepts will allow increasing of quality for repair works.

As a support for the suggestion the experimental study is presented, which target to formulate low modulus of elasticity grout, using polymers added. This kind of grout was developed for repairs whit large surface, where the high crack resistance and shrinkage resistance are requested.

Keywords: Grout, repair, modulus of elasticity, shrinkage resistance, polymer admixtures

INTRODUÇÃO

Alguns materiais já tradicionais têm mostrado uma sensível redução de desempenho, infelizmente por se tornarem mais atrativos aos olhos do mercado, principalmente dos aplicadores, muitas vezes sem que sejam levados em conta os interesses e as expectativas do consumidor final. O que acontece com os grautes de reparo é interessante. Prevalece a idéia de que o importante é garantir altos valores de resistência inicial e final. Pouco se investe em garantir baixa retração, boa aderência e compatibilidade com as propriedades mecânicas do substrato e ainda, com as mudanças volumétricas, de temperatura e de umidade da estrutura; questões que em muitos casos são decisivas para o sucesso do reparo. Neste contexto, há ainda que se considerar que alguns profissionais preferem formular seus próprios materiais na obra. Não há nada de errado nisso, desde que sejam estabelecidas normas e procedimentos eficazes para a obtenção de um melhor controle de desempenho dos materiais produzidos em obra e pela indústria. Portanto aí reside a grande importância de submeter ao meio técnico a discussão dos requisitos de desempenho dos materiais para reparo e proteção de estruturas de concreto armado, de forma a evitar a possibilidade de generalização e banalização da qualidade.

O que se entende por graute de reparo?

Um graute de reparo é de preferência um microconcreto uma vez que as argamassas tixotrópicas de preenchimento são ideais para espessuras menores, pois dispensam a necessidade de fôrmas; pode ou não apresentar expansão, dependendo do tipo de reparo. Em alguns casos a expansão pode até ser prejudicial, deixando o material susceptível à fissuração por retração.

Uma atenção especial deverá ser dada à compatibilidade com o substrato, no que se refere ao comportamento das propriedades mecânicas (resistência e deformabilidade) entre o graute e o concreto da peça que está sendo reparada. Outros aspectos importantes podem estar relacionados com problemas estéticos como: cor, acabamento, ou ainda outras propriedades mais específicas como resistência a altas temperaturas, resistência à abrasão/cavitação, resistência química, etc.

O que exigir de um graute de reparo?

Não existem no Brasil normas nem procedimentos que permitam especificar e controlar os materiais para reparo. HELENE e LEVI, 1998 recomendaram uma série de especificações para vários materiais de reparo, inclusive grautes, algumas das quais foram utilizadas na Tabela 1, que se apresenta para discussão.

Os materiais de reparo, de forma geral, são classificados em: materiais com função estrutural e materiais sem função estrutural. Os primeiros irão participar ativamente da nova capacidade estrutural que o elemento irá adquirir após o reparo. Dos segundos, exige-se apenas estabilidade e capacidade de proteção das armaduras.

É útil uma classificação para grautes de reparo?

Considerando que um graute de reparo pode ser solicitado para diferentes situações, é justificável que se encontrem disponíveis no mercado uma grande variedade de produtos. Provavelmente esta condição propiciou o desenvolvimento de produtos industriais de características diferentes, sem seguir um padrão determinado. A classificação dos grautes de reparo (ver Tabela 2) ajudaria a organizar o mercado, serviria como uma ferramenta de especificação e permitiria o desenvolvimento de materiais de maneira mais adequada. Evidentemente esta classificação também facilitaria a normalização destes materiais.

Tabela 1: Grupos de requisitos a serem especificados e controlados para um graute de reparo.

	Requisitos iniciais de utilização	Requisitos de durabilidade
Segurança estrutural	<p>Módulo de deformação – de 100% a 110% do módulo do substrato</p> <p>Coeficiente de dilatação térmica – da mesma ordem de grandeza</p> <p>Temperatura de trabalho – dentro da faixa correspondente (até 280°C, até 500°C, até 800°C, até 1200°C)</p> <p><i>Aplicações estruturais:</i> Resistência à compressão – mín. 17 MPa aos 3 dias, - mín. 27,5 MPa aos 28 dias, outros valores deverão ser especificados pelo projetista (POSTON et al, 2001)</p> <p>Resistência à tração por compressão diametral – mín. 2,5 MPa aos 28 dias, outros valores deverão ser especificados pelo projetista (HELENE e LEVI, 1998)</p> <p><i>Aplicações estruturais:</i> Resistência à tração aos 28 dias – mín. 8% da resistência à compressão aos 28 dias, com cura recomendada pelo fabricante (POSTON et al, 2001).</p> <p>Aderência ao substrato NBR 13.528 – mínima 1 MPa - <i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998)</p> <p>Compensação da retração plástica, sem segregação no “flow table”</p> <p>Água de exsudação - menor que 0,2%</p>	<p>Compatibilidade com o substrato – <i>e.f.</i>: Fluência, Resistência à fadiga, Resistência a ciclos de temperatura, Resistência à abrasão/cavitação, etc.</p> <p>Retração total aos 28 dias (50% UR, 23°C) - máx. 4×10^{-4} mm/mm. Retração em 1 ano – máx. 2 vezes a retração aos 28 dias – <i>e.f.</i> (POSTON et al, 2001). Ensaio de retração restringida (Anel de Coutinho¹ ou <i>Ring Test</i>²) sem fissuração em 28 dias (POSTON et al, 2001).</p> <p>Resistência à corrosão das armaduras:</p> <p>Absorção capilar - máximo de 0,250 g/cm² e altura de 2 cm - (HELENE e LEVI, 1998)</p> <p>Resistividade mínima – 200 kΩcm (DURAR, 1997)- <i>e.f.</i></p> <p>Coeficiente de carbonatação máximo (k) inferior a $2,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{ano}}$ a 25°C, UR de 70% a 85% e concentração de CO₂ em torno de 0,03% -<i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998)</p> <p>Penetração de íons cloretos – máxima 4000 C (ASTM C 1202/91 adaptado) -<i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998)</p> <p>Teor de cloretos menor que 0,03% (HELENE e LEVI, 1998)</p>
Conforto visual	<p>Cor e textura superficial esperados</p> <p>Preenchimento de vazios (possibilidade de abrigar densidade de armadura máxima)</p>	<p>Mudanças de cor (resistência a UV)</p> <p>Resistência à lixiviação, estimada pela resistência a penetração de água – 20 m coluna de água.</p>
Economia	<p>Adequação ao capital inicial disponível</p> <p>Disponibilidade do produto</p> <p>Relação custo/benefício global levando em consideração: mão-de-obra, tempo de execução e outros indicadores</p>	<p>Relação custo/benefício ao longo da vida de serviço, levando em consideração: ciclo de manutenção, custo de intervenção, inflação e depreciação entre outros indicadores econômicos</p>
Manuseio	<p>Peso de embalagem não maior que 25 kg</p> <p>Fácil mistura e colocação</p> <p>Dimensão máx. característica do graúdo 9,5 mm</p> <p>Teor máximo de material orgânico</p> <p>Teor de ar incorporado - máximo de 5%</p> <p>Fluidez e auto-adensamento</p> <p>Espalhamento “flow table” maior que 240 mm</p> <p>Manutenção da fluidez: Espalhamento após 45 min. à 25°C maior que 240 mm</p> <p>Tempo de expansão de 0 a 30 min.</p>	

e.f. - ensaios facultativos

¹ Equipamento descrito por COUTINHO, 1974.

² Equipamento descrito por SHAH et al, 1992.

Tabela 2. Proposta de classificação para grautes de reparo

Classe	Características principais	Uso preferencial
Estrutural de elevada resistência	Argamassa ou microconcreto Expansão controlada $f_{ck28} > 60$ MPa	Preenchimento de vazios confinados ou semi-confinados: bicheiras, recomposição de seção de pilares e similares
Estrutural de elevada resistência inicial	Microconcreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck3 \text{ horas}} > 15$ MPa	Reparos emergenciais Reparos localizados de pavimentos com liberação do tráfego após 2 a 3 horas
Estrutural de resistência média	Micro-concreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck28} =$ de 35 a 50 MPa	Reparos localizados de 25 a 300 mm de profundidade em estruturas de concreto com resistência abaixo de 40 MPa Pequenos reparos de piso
De baixo módulo	Microconcreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck28} > 30$ MPa $E_{28} < 27$ GPa	Reparos generalizados com elevada relação área/volume. Reparo de pavimentos Reparo de fundo de vigas e similares
De uso especial * (por exemplo os de elevada temperatura de trabalho)	Classificáveis em faixas de trabalho: até 500°C, até 800°C, até 1200°C	Reparo e manutenção de estruturas em indústrias siderúrgicas e similares

* Entre os grautes de uso especial podem ser classificados outros, como por exemplo: os grautes para reparos submersos; os grautes de injeção, de baixa ou alta pressão, muito utilizados na indústria de pré-moldados e na perfuração de poços de petróleo, dentre outros.

Tabela 3. Requisitos para um microconcreto de reparo de baixo módulo.

Propriedades	Graute de reparo		
	de baixo módulo	de elevada resistência	de resistência média
Espalhamento (NBR 7215 adaptado)	> 240 mm	> 240 mm	> 240 mm
Módulo de deformação E_{28} (NBR 8522/1984)	≤ 27 GPa	≥ 33 GPa	≥ 30 GPa
Resistência à compressão característica $f_{ck 28}$ (NBR 5739/94)	> 20 MPa	> 60 MPa	de 35 a 50 MPa
Resistência à tração f_{t28} (NBR 7222/94)	> 4,5 MPa	> 3,5 MPa	> 2,5 MPa
Relação f_{t28}/E_{28} em $[\text{mm/mm} \times 10^{-6}]^3$	> 150	> 100	> 85
Retração livre aos 28 dias (NBR 8490/1984, ASTM C 157/89 e ASTM C 596/94)	$< 2 \times 10^{-4}$	$< 4 \times 10^{-4}$	$< 4 \times 10^{-4}$
Retração restringida em 28 dias (SHAH et al, 1998)	Sem fissuras	--	--

O que seria um graute de reparo de baixo módulo?

A demanda por microconcretos de reparo de baixo módulo ainda é muito limitada, pois o mercado técnico ainda dá pouca importância ao valor do módulo de deformação dos materiais de reparo, priorizando a resistência à compressão. Em contrapartida, é estimulante saber que alguns projetos, geralmente assinados por especialistas de maior renome, requerem, com ênfase, a compatibilidade das deformações do material de reparo com as da estrutura.

Outras razões de força que levam solicitar esse material estão relacionadas ao melhor desempenho perante deformações de curto e longo prazo, impostas pela retração, a fluência, as cargas térmicas, cíclicas, etc.

Um microconcreto de reparo de baixo módulo deverá ser especificado em condições de confinamento mínimo, geralmente em locais onde a relação área/volume está acima do que poderia ser admitido para um graute comum, sem que haja risco da ocorrência de fissuras de

³ Calculado e adaptado da metodologia proposta por GARDNER & LOCKMAN, 2001.

retração que comprometam o desempenho esperado. Poderão ser especificados, por exemplo, no reparo de pisos e canaletas, em revestimento de túneis, nos revestimentos para o reforço de paredes e pilares, com ou sem armaduras de cintoamento.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O objetivo foi definir o traço de um microconcreto de reparo de baixo módulo para produção industrial. Este programa foi dividido em três etapas chamadas de “experimentos”, que foram desenvolvidas ao longo de três anos, com o envolvimento de várias instituições. A particularidade do traço desenvolvido é referente à utilização de polímeros com o objetivo de aumentar a deformabilidade do material e torná-lo mais resistente à retração. Os polímeros testados foram: um éter de polipropileno glicol (EPG), uma emulsão 50% de estireno butadieno (SBR) e uma emulsão à 48% de copolímero de acrílico estirenado (AR).

No avanço da pesquisa, foi testada a adição de um superplastificante à base de uma mistura de naftaleno e melamina sulfonados⁴, o que permitiu ainda a redução da quantidade de ar incorporado. Finalmente, um aditivo expensor à base de pó de alumínio ativo foi introduzido como um elemento a mais para combater a retração total, sem que houvesse expansão.

Foram utilizados: um cimento de alta resistência inicial (CP V ARI); uma areia pré-misturada, visando o máximo empacotamento das frações comerciais 80/100 (30%), 40/60 (30%) e 20/30 (40%); um pedrisco com dimensão máxima característica de 9,5 mm.

Para a definição da família de concretos de mesma consistência a ser trabalhada, foram realizadas dosagens experimentais com consumo máximo de 450 kg/m³ de cimento, buscando determinar o teor de argamassa requerido (HELENE & TERZIAN, 1993). De posse do “diagrama de dosagem”, foram escolhidas as relações água/cimento (a/c) 0,35 e 0,50 para o estudo de comportamento destes materiais.

Os traços de partida foram:

- 1:1,2:1,8 para a relação a/c 0,35 (Teor de agregado, m = 3)
- 1:1,88:2,82 para a relação a/c 0,50 (Teor de agregado, m = 4,7)

Experimento 1 – Adicionando polímeros

Para estudar melhor as variáveis do experimento foram utilizados traços isentos de outros aditivos - pastificante ou expensor (GARCIA, 2001), conseqüentemente com “*slump zero*”.

Tabela 4. Variáveis dependentes do experimento 1.

Relação a/c	Polímero	Teor de polímero (sólidos em relação à massa cimento)
0,35	EPG	3 teores: 1,0%; 1,5%; 2,0%
	SBR	3 teores: 1,0%; 2,0%; 5,0%
0,50	AR	4 teores: 1,0%; 1,5%; 3,0%; 5,0%

Nesta etapa foram verificadas as principais propriedades do concreto no estado fresco e, no estado endurecido, aquelas de interesse às etapas consecutivas do estudo. Por motivos de limitação de espaço são apresentados apenas os seguintes resultados: absorção capilar; retração livre (NBR 8490/1984); retração restringida (Anel de Coutinho); resistência à compressão (NBR 5739/1994); resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/1994); e, módulo de deformação secante (NBR 8522/1984).

⁴ O teor de melamina sulfonada é bastante baixo, apenas suficiente para conferir coesão à mistura e menor tendência à exsudação. A composição deste aditivo foi baseada na experiência acumulada na produção de outros grautes.

Foram moldados diferentes corpos-de-prova, seguindo as metodologias de ensaio normalizadas. Após 24 horas, realizada a desforma, os corpos-de-prova foram mantidos em ambiente de laboratório (23°C, 75% de U.R.). Já no caso dos corpos-de-prova usados para retração livre, todos foram colocados na câmara climática (23°C, 50% de U.R.) assim que moldados. Somente um dos grupo moldados foi desformado após 7 dias.

Experimento 2 – Fluidificando o microconcreto

A adição do superplastificante, com o objetivo de atingir o limite mínimo de espalhamento de 240 mm, foi feito somente no traço com relação $a/c = 0,35$. As variáveis “polímero” e “teor de polímeros” se mantiveram conforme o realizado no experimento 1. Nesta etapa foram determinados apenas: resistência à compressão, módulo de deformação e resistência à tração por compressão diametral, segundo os procedimentos mencionados no próprio experimento 1.

Experimento 3 – Necessidade do expansor

Já nesta etapa o número de variáveis dependentes foi reduzido a apenas uma: determinou-se o teor de aditivo expansor que compensaria a retração plástica (sem provocar expansão), em três recipientes cilíndricos: $(5 \times 10) \text{cm}^2$, $(10 \times 20) \text{cm}^2$ e $(15 \times 10) \text{cm}^2$ (relação diâmetro/altura do cilindro).

No microconcreto utilizado nesta etapa foi adotado o traço com relação $a/c = 0,35$, modificado com 1,5% de polímero AR e superplastificante. A adição de expansor contribui para a fluidificação da mistura, que foi ajustada com a redução do teor de superplastificante. Para este traço foram utilizados três teores de aditivo expansor, mantendo a mistura de referência sem expansor.

Foram moldados corpos-de-prova para a medida de resistência à compressão, resistência à tração e módulo para as idades de 3, 7, 14, 28 e 91 dias, os quais foram curados segundo os procedimentos expostos no experimento 1. Foram moldados os corpos-de-prova para a determinação da retração livre, com desforma à 24 horas. Estes corpos-de-prova foram mantidos em câmara climática, como descrito no experimento 1. Já os anéis de Coutinho moldados, foram expostos a diferentes condições, como se descreve na Tabela 6.

RESULTADOS

A redução da absorção capilar com a introdução dos polímeros SBR e AR é evidente (ver Tabela 5), sem que fossem verificadas diferenças significativas entre um e outro polímero. Já o EPG produz um efeito claro de redução da absorção, apenas no traço com relação $a/c = 0,35$. A efetividade do EPG para a redução da absorção deve estar associada ao diâmetro dos poros maiores da estrutura capilar, que influenciam significativamente na absorção, porém com menor influência na retração e na fluência.

Com a adição de SBR ou AR em teores acima de 1,5%, a absorção capilar cai pela metade. Atribui-se esse efeito ao entupimento dos poros capilares, onde provavelmente aparecem membranas de polímeros formadas com a coalescência.

Com relação à resistência à compressão (ver Tabela 5) verifica-se, em todos os casos, a perda da resistência, principalmente com a adição de polímero SBR e AR. Esta manifestação é ainda mais intensa para relação $a/c = 0,5$ e melhora com a adição de superplastificante ao traço. Contrariamente, na adição de EPG, verificaram-se resultados os piores resultados com menor relação a/c . De qualquer modo, o traço contendo polímeros EPG, SBR ou AR e ainda aditivo superplastificante apresentam perdas entre 10% a 15% da resistência à compressão do concreto de referência.

Tabela 5. Resistência à compressão em MPa aos 28 dias;
(Módulo de deformação secante em GPa aos 28 dias);
[Resistência à tração por compressão diametral em MPa aos 28 dias];
{ Absorção capilar após 70 horas em relação à referência, em % }.

Polímero	Relação a/c	Superplastificante	Ensaio	Teor de polímero					
				0%	1%	1,5%	2,0%	3,0%	5,0%
EPG	0,5	--	f_{cm28}	47,5	44,0	46,0	44,5		
			E_{m28}	(32,5)	(30,5)	(28,9)	(28,0)	--	--
			f_{tm28}	[6,8]	[6,6]	[6,25]	[6,3]		
			Absorção	{1,0}	{1,15}	{0,67}	{1,05}		
	0,35	--	f_{cm28}	69,0	63,0	59,0	56,5		
			E_{m28}	(33,5)	(31,4)	(30,7)	(29,7)	--	--
0,35	sim	f_{cm28}	72,0	65,0	63,0	61,0			
		E_{m28}	(36,5)	(34,7)	(35,2)	(33,0)	--	--	
SBR	0,5	--	f_{cm28}	47,5	40,0		17,5		14,0
			E_{m28}	(32,5)	(29,8)	--	(25,0)	--	(24,0)
			f_{tm28}	[6,8]	[6,0]	--	[3,4]	--	[2,5]
			Absorção	{1,0}	{0,53}		{0,44}		{0,32}
	0,35	--	f_{cm28}	69,0	60,0		56,5		54,5
			E_{m28}	(33,5)	(30,7)	--	(29,0)	--	(28,0)
0,35	sim	f_{cm28}	72,0	66,0		64,0		61,0	
		E_{m28}	(36,5)	(31,3)	--	(30,0)	--	(28,5)	
AR	0,5	--	f_{cm28}	47,5	42,0	36,0		30,0	28,0
			E_{m28}	(32,5)	(28,4)	(28,0)	--	(26,8)	(26,0)
			f_{tm28}	[6,8]	[6,7]	[6,2]	--	[4,7]	[3,5]
			Absorção	{1,0}	{0,55}	{0,52}		{0,42}	{0,35}
	0,35	--	f_{cm28}	69,0	63,0	60,5		54,0	56,0
			E_{m28}	(33,5)	(29,4)	(29,2)	--	(27,8)	(26,6)
0,35	sim	f_{cm28}	72,0	69,0	65,0		67,0	65,0	
		E_{m28}	(36,5)	(30,0)	(29,4)	--	(28,0)	(27,0)	
0,35	sim	f_{tm28}	[7,7]	[7,5]	[7,7]		[7,7]	[7,8]	

De modo semelhante ao que ocorre com a compressão, há uma queda do módulo de deformação (ver Tabela 5), notadamente maior no caso dos polímeros SBR e AR e tão maior quanto maior for o teor de polímero. Isto é amenizado pela introdução dos aditivos superplastificantes e expensor. Aparentemente, para iguais teores de polímero SBR e AR há uma queda maior do módulo utilizando AR no concreto com relação a/c = 0,35. A adição de 5% de polímero SBR ou AR pode reduzir o módulo do concreto de referência da ordem de 20% a 25%.

Curiosamente verifica-se que em todos os casos a alteração da resistência à tração é mínima (ver Tabela 5).

A partir desse instante, a característica que mais chama a atenção é a relação E_m/f_{tm} que definiria uma certa deformação crítica teórica (ξ) em [mm/mm] (ver Figura 1). Esse valor

caracteriza a tolerância do concreto a deformações impostas (SUJJAVANICH & LUNDY, 1998; TANGO, 2001), inclusive pela retração - *Deformabilidade*. (RAHMAN, et al, 1999).

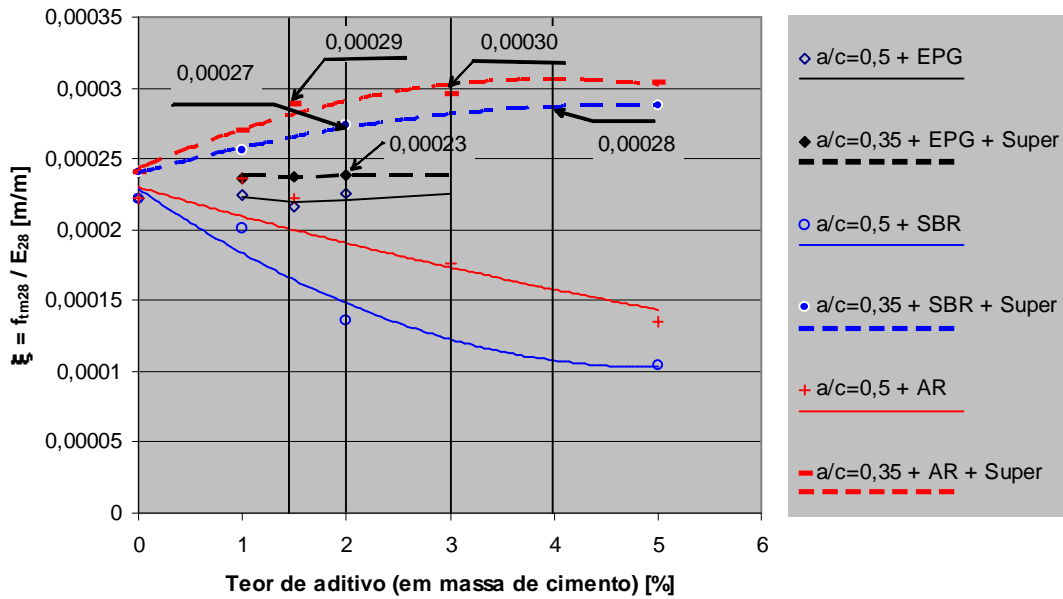


Figura 1. Deformação crítica calculada (ξ) para cada teor de polímero.

Os resultados da retração livre (ver Figura 2) mostram que no caso dos polímeros SBR e AR há uma expansão entre 2 e 4 dias, provavelmente ligada ao período de coalescência.

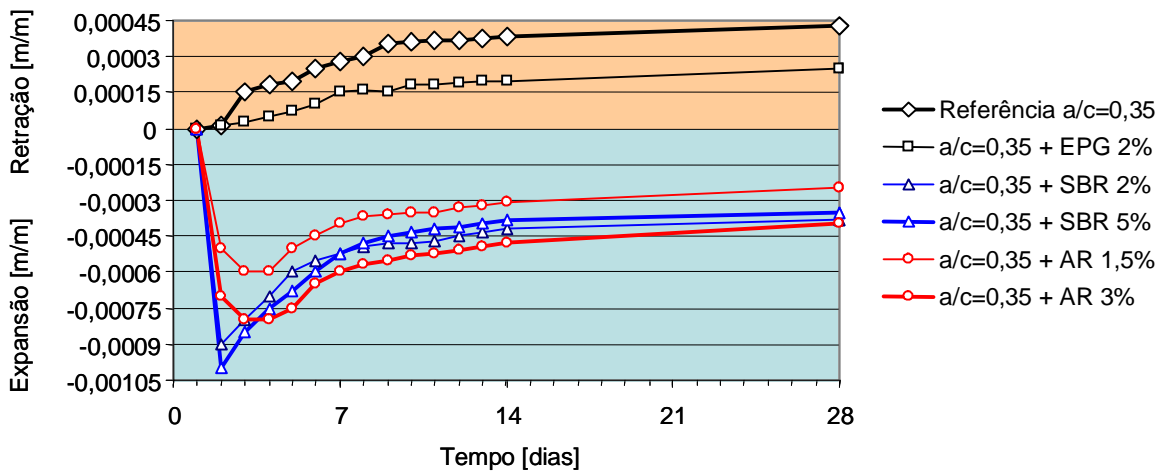


Figura 2. Retração a partir do dia da desforma.

Ao avaliar a retração dos corpos-de-prova com desforma após 7 dias observou-se que o melhor desempenho foi obtido pelo EPG (2%), seguido pelo AR (1,5%) e pelo SBR (5%), nessa ordem. Verificou-se uma perda da capacidade de redução da retração dos polímeros SBR e AR à longo prazo, com o aumento destes polímeros na composição, sem que se tenha uma explicação clara para tal.

Avaliados os resultados de retração livre das misturas contendo 1,5% de AR, superplastificante e aditivo expansor, considerou-se importante fazer uma comparação com a deformabilidade estimada ao longo do tempo (ver Figura 3), através da deformação crítica calculada nas diferentes idades ($\xi(t)$), segundo a expressão:

$$\xi(t) = f_{tm}(t)/E_m(t)$$

onde: $f_{tm}(t)$ e $E_m(t)$ são os valores de resistência à tração e módulo de deformação respectivamente, nas diferentes idades.

Segundo a Figura 3, a fissura de retração poderá acontecer entre 56 e 63 dias de idade, que é quando a deformação por retração supera a deformabilidade do concreto. Trata-se de uma aproximação grosseira, que segundo KOVLER 1995 poderia ser considerada com certo grau de certeza, em concretos com menos de 28 dias de idade.

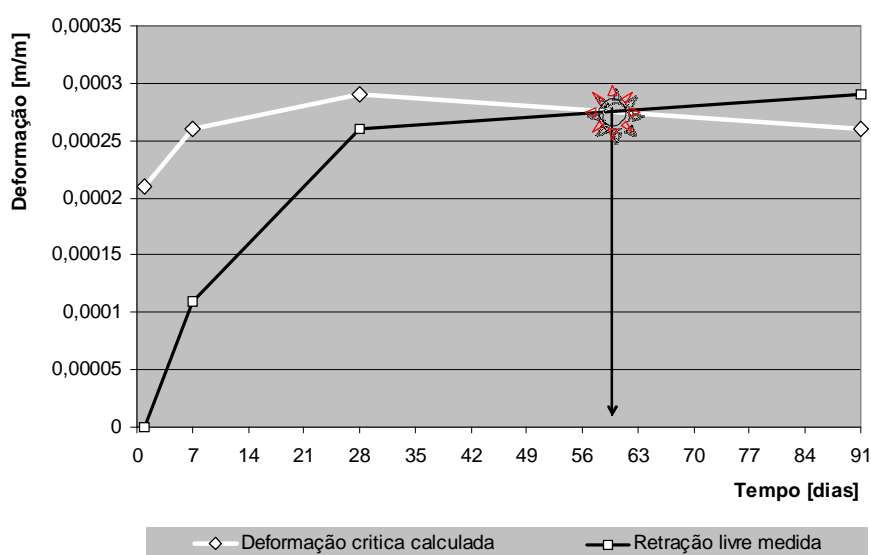


Figura 3. Determinação teórica do momento de fissuração para o microconcreto com relação $a/c = 0,35$, modificado com 1,5% de AR, superplastificante e expansor.

Tabela 6. Ensaio de retração restringida (Anel de Coutinho).

Condição de exposição	Classe de microconcreto de reparo ⁵			
	De elevada resistência	De resistência média	De baixo módulo	
			AR 1,5% + Super	AR 1,5%+ Super+Expansor
15 dias no laboratório (23°C, U.R.=85%)	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração
45 dias no exterior (25°C, UR = 87%, 8 dias de chuva, total 12 horas de chuva)	1 ^{era} fissura	Microfissuras superficiais Após 5 dias.	Sem alteração	Sem alteração
		Fissura de retração Após 11 dias.		
		Aos 35 dias		
	Abertura total	< 0,3 mm	0	0
Estufa 65°C a 70°C	1 ^{era} fissura	28h a 38h	50h	46h
	Abertura total	≈ 0,5 mm	≈ 0,3 mm	< 0,3 mm
				75h a 87h
				≈ 0,3 mm

⁵ Os microconcretos utilizados para comparação na Tabela 9 foram: um microconcreto industrializado de elevada resistência ($f_{cm28} = 70$ MPa) e um microconcreto industrializado de resistência média ($f_{cm28} = 50$ MPa).

Houve uma correspondência aceitável entre os resultados teóricos da Figura 3 e os da Tabela 6, com a avaliação da retração restringida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É muito importante levar à discussão pelo meio técnico, a questão dos requisitos de desempenho que deverão ser exigidos dos materiais de reparo. A resistência à compressão deverá deixar de ser o único parâmetro a ser levado em conta na escolha ou preferência por um ou por outro material de preenchimento. As conclusões deste trabalho sugerem uma tendência tecnológica evidente, relacionada ao desenvolvimento de grautes e microconcretos de reparo de comportamento mais compatível com o do substrato e menos sujeitos à fissuração e à delaminação. A pesquisa experimental apresentada aborda apenas o aspecto deformabilidade. Outras propriedades deverão ser avaliadas em novos trabalhos.

A análise dos resultados aqui expostos demonstra que não há dificuldade para se garantir a compatibilidade dimensional quando este quesito for requerido, passando pelo necessário controle da retração, em situações com relação área/volume muito elevada.

Recomenda-se para a redução da retração, o uso de aditivos à base de EPG, SBR ou AR.

Foi verificada a total compatibilidade entre os aditivos poliméricos, o superplastificante e o agente expensor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições que de forma direta ou indireta contribuíram para este trabalho: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Fosroc Reax e Denver Global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.S. Coutinho, **Fabricação e propriedades do betão**. Vol. 2. LNEC, Curso 120, (Lisboa, 1974).
2. DURAR. Red Temática XV. B. Durabilidad de la Armadura. “**Manual de Inspeção, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión de Estructuras de Hormigón Armado**”. CYTED, (1997).
3. M.L.G. Garcia, “**Avaliação de Comportamento de Aditivos Redutores de Retração**” Relatório EPUSP à FAPESP. Processo No. 00/05408-8, Set. (2001).
4. N.J. Gardner, M.J. Lockman, “Design Provision for Drying Shrinkage and Creep of Normal-Strength Concrete”. **ACI Material Journal**, v. 98, No. 2, March-Apr. (2001), p. 159-67
5. P. Helene, P. Terzian, “**Manual de dosagem e controle do concreto**”. (São Paulo, Pini, 1993).
6. P. Helene, S.M. Levi, **Metodologia - Especificações técnica e composições unitárias para reparos de recuperação e proteção das estruturas de concreto armado de unidades escolares** – Relatório 10124, Convênio USP/FDE. Fundação Desenvolvimento do Ensino do Estado de São Paulo, (1998).
7. K. Kovler, “Interdependence of Creep and Shrinkage for Concrete Under Tension”. **Journal of Materials in Civil Engineering**, (1995). p. 96-101.
8. R.W. Poston, K. Kesner, J.E. McDonald, A.M. Vaysburd, P.H. Emmons, “Concrete Repair Material Performance-Laboratory Study”. **ACI Material Journal**, V. 98, No. 2, Mar-Apr (2001), p. 137-47.
9. M.K. Rahman, M.H. Baluch, A.H. Al-Gadhib, “Modeling of Shrinkage and Creep Stresses in Concrete Repair”. **ACI Material Journal**, v. 96, No. 5, Set-Out. (1999), p. 542-50.
10. S.P. Shah, M.E. Karagular, M. Sarigaphuti, “Effect of Shrinkage – Reducing Admixtures on Restained Cracking of Concrete”. **ACI Material Journal**, v. 89, No. 3, May-Jun. (1992), p. 289-95.
11. S. Sujavanich, J.R. Lundy, “Development of Strength and Fracture Properties of Styrene-Butadiene Copolymer Latex-Modified Concrete”, **ACI Material Journal**, v. 95, N 2, Mar-Apr (1998), p 131-43.
12. C.E.S. Tango, **Relatório IPT No. 56078**, Acesso Restrito. (Documento inédito). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, SP, (2001).