

ARGAMASSAS TÉCNICAS MULTIFUNCIONAIS – BETONILHAS AUTONIVELANTES COM BORRACHA

Gina Matias¹
ginamatias@itecons.uc.pt

Isabel Torres^{2,1}
itorres@dec.uc.pt

Filipe Rei³
fr.primefix@gmail.com

Filipe Gomes³
das@primefix-technik.com

ÁREA: 3.3 SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES REVITALIZADAS

Resumo

A preparação e regularização de pavimentos com argamassas multifuncionais autonivelantes facilita o processo construtivo e/ou de recuperação do edificado, podendo contribuir, de forma significativa, para uma melhoria no desempenho global do edifício, principalmente em termos mecânicos e térmicos. O estudo apresentado resulta do desenvolvimento de argamassas para betonilhas, com capacidade autonivelante, com incorporação de resíduos de borracha. Pretende-se que estas apresentem, para além de um carácter sustentável, ecológico e multifuncional, um desempenho mecânico e físico melhorado face aos produtos actualmente existentes. Avaliou-se o tempo de presa das argamassas e também o seu desempenho mecânico e físico, através de ensaios de resistência à flexão e compressão, retracção linear, resistência adesiva em diferentes suportes, resistência ao desgaste e condutibilidade térmica. Foram obtidos resultados bastante satisfatórios, que permitem enquadrar as argamassas no contexto actual dos requisitos para marcação CE de argamassas para betonilhas.

Palavras-chave: Argamassa ecológica
Multifuncionalidade
Betonilha autonivelante
Argamassa térmica

¹ ITeCons - Institute for Research and Technological Development in Construction, Energy, Environment and Sustainability

² Department of Civil Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra; ADAI/LAETA, Association for the Development of Industrial Aerodynamics, University of Coimbra, Portugal

³ Primefix - Colas e Argamassas Técnicas, Lda.



ARGAMASAS TÉCNICAS MULTIFUNCIONALES - BETONILLAS AUTONIVELANTES CON BORRACHA

Gina Matias⁴

ginamatias@itecons.uc.pt

Isabel Torres^{5,1}

itorres@dec.uc.pt

Filipe Rei⁶

fr.primefix@gmail.com

Filipe Gomes³

das@primefix-technik.com

AREA: 3.3 SOSTENIBILIDAD EN LAS EDIFICACIONES REVITALIZADAS

Resumen

La preparación y regularización de pavimentos con morteros multifuncionales autonivelantes facilita el proceso constructivo y / o de recuperación del edificado, pudiendo contribuir de forma significativa a una mejora en el desempeño global del edificio, principalmente en términos mecánicos y térmicos. El estudio presentado resulta del desarrollo de morteros para hormigón, con capacidad autonivelante y con incorporación de residuos de caucho. Se pretende que estas presenten, además de un carácter sostenible, ecológico y multifuncional, un rendimiento mecánico y físico mejorado frente a los productos actualmente existentes. Se evaluó el tiempo de presa de los morteros y también su desempeño mecánico y físico, a través de ensayos de resistencia a la flexión y compresión, retracción lineal, resistencia adhesiva en diferentes soportes, resistencia al desgaste y conductividad térmica. Se obtuvieron resultados muy satisfactorios, que permiten encuadrar los morteros en el contexto actual de los requisitos para el marcado CE de morteros para hormigón.

Palabras clave: Mortero ecológico
Multifuncionalidad
Solera autonivelante
Mortero térmico

⁴ ITeCons - Institute for Research and Technological Development in Construction, Energy, Environment and Sustainability

⁵ Department of Civil Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra; ADAI/LAETA, Association for the Development of Industrial Aerodynamics, University of Coimbra, Portugal

⁶ Primefix - Colas e Argamassas Técnicas, Lda.

Introdução

As atuais exigências ambientais têm levado ao estudo e desenvolvimento de argamassas ecológicas, com incorporação de subprodutos provenientes da indústria. O processamento de matérias-primas para a indústria gera toneladas de resíduos que são muitas vezes incinerados ou depositados em aterro. Estes processos apresentam, por isso, uma “pegada ecológica” considerável, que pode ser minimizada pela introdução destes desperdícios noutras atividades produtivas. Têm surgido no mercado produtos de base cimentícia como blocos, betões e argamassas com incorporação de resíduos de vidro, cerâmica (1, 2), cortiça (3-5), borracha, materiais poliméricos, entre outros (6). Para além das vantagens ecológicas que a utilização destes subprodutos acarreta, poderão também ser registados benefícios em termos de desempenho higrotérmico (7-9), acústico (10) ou mecânico dos betões e argamassas. O desenvolvimento das argamassas técnicas multifuncionais, passíveis de aplicação em novas construções ou para a reabilitação de edifícios, carece de avaliação da viabilidade da incorporação de subprodutos, tendo em conta a sua disponibilidade regional e nacional.

A utilização de pneus usados pode envolver três vias: a sua reutilização, reciclagem, ou valorização energética. Qualquer uma delas permite reduzir o impacto ambiental associado ao longo ciclo de vida destes produtos. A incorporação de resíduos de borracha em argamassa insere-se na primeira ou segunda vias, ou seja, na sua reutilização ou reciclagem.

A bibliografia dedicada a estudos sobre a produção de argamassas com borracha de pneu é relativamente extensa e a utilização deste material como substituinte parcial dos agregados de origem natural está bem documentada e é apoiada pelos resultados experimentais (11-16). Este resíduo tem cada vez mais aceitação na construção civil devido às suas características inerentes, nomeadamente leveza (menor densidade), maior elasticidade, e grande absorção de energia, além de conferir propriedades térmicas e acústicas melhoradas. A granulometria e percentagem de incorporação dos agregados de borracha tem uma grande influência nas mais diversas propriedades da argamassa, tanto em estado fresco como endurecido. As propriedades de algumas argamassas deste tipo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Principais propriedades das argamassas com borracha de pneu moída

Propriedade	Efeito da substituição
Absorção de água	Dados não consensuais
Massa volúmica	Diminui com o aumento da % de substituição
Trabalhabilidade	Diminui com o aumento da % de substituição (quanto maior a granulometria, menor a trabalhabilidade)
Resistência à compressão	Diminui com o aumento da % de substituição (a granulometria é inconclusiva)
Teor de ar	Aumenta com o aumento da % de substituição
Resistência à tração	Diminui com o aumento da % de substituição (a granulometria não tem influência)
Capacidade de isolamento térmico	Aumenta com o aumento da % de substituição

Os agregados de borracha de pneu podem ser obtidos por duas vias: trituração mecânica e trituração criogénica. No processo mecânico, a borracha é fragmentada numa série de trituradoras e moinhos, sendo o aço retirado por separação magnética e o têxtil separado por diferença de densidades. Posteriormente, o granulado de borracha é dividido

em várias gamas, consoante a sua granulometria, através de crivos com diferentes dimensões de malha. No processo criogénico, é utilizado azoto líquido para congelar a borracha, o que permite a fragmentação da borracha e conseqüente produção de granulado de borracha fino. O pneu sofre uma primeira trituração mecânica, sendo, em seguida, transportado para o túnel criogénico, onde a temperatura de entrada do azoto é de, aproximadamente, -192°C , e a temperatura de saída é de cerca de -80°C . Após a passagem pelo túnel criogénico e pelos martelos pneumáticos, o aço e o têxtil do pneu são separados da borracha por separação magnética e por aspiração, respetivamente.

Destacam-se algumas das propriedades mais interessantes do agregado de borracha:

- Não flutuante ou de flutuabilidade reduzida;
- Estável no local e no tempo;
- Muito boa resposta elástica por unidade de massa;
- Supera o teste ao teor de PAH's (inocuidade/toxicologia);
- Inócuo para a saúde – conforme OSHA OMB N.º 1218-0072;
- Resistente à compactação e à fricção;
- Cumpre a norma DIN V 18035-7 relativa à emissão de lixiviados de metais pesados e orgânicos poluentes;
- Odor a borracha quase nulo;
- Não liberta negro de fumo (não suja a pele nem a roupa);
- Resistente à radiação UV;
- Resistente ao impacto climático;
- Resistente à abrasão.

Pretendeu-se, com o estudo apresentado, elaborado no âmbito do projecto co-financiado “EFTM - Ecological and Functional Technical Mortars”, desenvolver uma argamassa ecológica, com capacidade autonivelante, passível de aplicação em diferentes tipos de suportes. Foi, para o efeito, analisada uma composição com incorporação de borracha, para a qual foi avaliado o tempo de presa e também o seu desempenho mecânico e físico, através de ensaios de resistência à flexão e compressão, retracção linear, resistência adesiva em diferentes suportes, resistência ao desgaste e condutibilidade térmica. Perante os atuais requisitos para a marcação CE de betonilhas, foi também realizado o enquadramento das argamassas com a norma de especificação correspondente. Os resultados obtidos e a análise efectuada são apresentados seguidamente.

Desenvolvimento experimental

Caracterização da argamassa autonivelante

Foi caracterizada 1 composição de betonilha autonivelante, após vários testes preliminares em laboratório com diversas percentagens de borracha. A composição seleccionada foi a que apresentou, após uma análise empírica, baseada na inspecção visual das misturas, características mais próximas das desejadas para uma betonilha autonivelante (fluidez, período de endurecimento, resistência superficial, etc.).

O pó de borracha utilizado nas argamassas formuladas, foi obtido por processos criogénicos, o que lhe confere propriedades interessantes. O arrefecimento criogénico dos polímeros constituintes da borracha, por acção do azoto líquido, e posterior granulação, por alto impacto em moinhos de martelos (sem desenvolvimento de fricção, esforços de corte ou atrito no material), resulta em grânulos com uma morfologia do tipo cubóide, de faces lisas, praticamente sem poros. Este processo não degrada química nem termicamente

as cadeias moleculares dos polímeros de borracha, nem o seu estado de vulcanização. As suas propriedades elásticas (absorção de impactos; recuperação elástica) não são alteradas, mantendo-se intactas ao longo do tempo. Os agentes protectores existentes na borracha (antioxidantes, estabilizantes aos UV e outros) mantêm-se eficazes, resultando numa elevada resistência ao envelhecimento atmosférico.

A distribuição granulométrica do pó utilizado foi de (0,18-0,6) mm, a densidade do material foi calculada em 0,454 g/cm³, e o seu aspeto é ilustrado pela Figura 1.



Figura 1: Pó de borracha

Na Tabela 2 são apresentados todos os ensaios de caracterização realizados sobre a betonilha com borracha e respectivas normas de ensaio.

Tabela 2: Ensaio de caracterização da betonilha com borracha.

Parâmetro	Norma de ensaio
Caracterização no estado fresco	
Consistência normal (mm)	
Início de presa (min)	Determinação da consistência normal e tempo de presa (NP EN 196-3:2005+A1:2009)
Fim de presa (min)	
Caracterização mecânica	
Resistência à flexão - R_F (N/mm ²)	Determinação da resistência à flexão e da resistência à compressão de argamassas (EN 13892-2:2002)
Resistência à compressão - R_C (N/mm ²)	
Resistência adesiva - f_u (N/mm ²)	Determinação, em laboratório, da resistência adesiva de argamassa de reboco (EN 1015-12:2000)
Caracterização física	
Retração linear	Determinação da retração de argamassas de juntas (EN 12808-4:2009; EN 12808-4:2009/AC:2011)
Condutibilidade Térmica a 10°C [W/(m.°C)]	Determinação do coeficiente de condutibilidade térmica de materiais de construção (EN 12664:2001; ISO 8302:1991)
Condutibilidade Térmica - cálculo EN 1745 - $\lambda_{23,dry,mat}$ [W/(m.K)]	

Caracterização no estado fresco

Foi determinada a consistência normal da argamassa, para obter a quantidade de água necessária para uma penetração adequada. Foi obtido um teor em água de 16%.

Para o teor em água referido, o tempo de início de presa foi de 50 min e o tempo de fim de presa de 90 min.

Verifica-se, deste modo, que o produto analisado adquire presa rapidamente, necessitando de uma quantidade de água relativamente reduzida.

Caracterização mecânica

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos para a caracterização mecânica da argamassa para betonilha com incorporação de borracha. São indicados, adicionalmente, o desvio padrão dos resultados e o respectivo coeficiente de variação.

Os ensaios de resistência adesiva foram realizados sobre diferentes suportes, com e sem aplicação de primário.

Tabela 3: Ensaio de caracterização mecânica da betonilha com borracha.

Caracterização mecânica				StD	C.V. (%)	
R_F (N/mm²)				1,0	11,5	
R_C (N/mm²)				3,1	16,6	
f_u (N/mm²)	Compósito cimentício madeira	Aplicação directa	0,37	Fractura B	0,06	17,7
		Primário Epoxi+sílica	0,29	Fractura B	0,04	15,6
		Primário aquoso	0,34	Fractura B	0,06	17,7
	Betão maciço	Aplicação directa	0,35	Fractura B	0,02	5,5
		Primário Epoxi+sílica	0,18	Fractura B	0,15	84,6
		Primário aquoso	0,34	Fractura B	0,07	19,4
	ICB	Aplicação directa	0,06	Fractura C	0,01	16,4
		Primário Epoxi+sílica	0,14	Fractura A	0,04	25,9
		Primário aquoso	0,13	Fractura C	0,01	10,0
	Contraplacado bétula	Aplicação directa	0,19	Fractura B	0,06	29,8
		Primário Epoxi+sílica	0,19	Fractura B	0,06	29,8
		Primário aquoso	0,24	Fractura B	0,02	8,2

Os resultados obtidos foram analisados e foi estabelecida a relação entre as características da argamassa e a norma de especificação para a marcação CE de para revestimentos contínuos para pavimentos, EN 13813.

No que respeita à resistência à flexão e compressão, os resultados da betonilha com borracha ficaram aquém do expectável. A classe mínima para a resistência à compressão é C5, no entanto a resistência à compressão é inferior a 5 N/mm². Relativamente à resistência à flexão, o valor obtido é superior à classe mínima F1.

Em termos de resistência adesiva, o desempenho foi bastante satisfatório nos casos em que a argamassa foi aplicada em suportes de compósito de madeira e betão maciço. Verificou-se, para ambos, que a utilização prévia de primário de epóxi com sílica leva à redução da resistência adesiva. Nos casos em que a betonilha foi aplicada em ICB e

contraplacado de bétula a aplicação prévia de primário contribuiu para o aumento da resistência adesiva. Em todos os casos, excepto no ICB, foram registadas fraturas de adesão, com um valor de ensaio equivalente ao valor da resistência adesiva. No caso particular dos suportes de ICB, que, por si só, tem resistência mecânica reduzida, verificou-se que a rotura foi do Tipo C, isto, é, ocorreu no suporte, excepto no caso em que foi aplicado primário de epóxi com sílica. Neste, foi observada fratura de coesão, que indica um valor da resistência adesiva superior ao valor do ensaio.

Na Figura 2 é apresentada, como exemplo, a amostra do ensaio de resistência adesiva correspondente ao suporte de ICB com aplicação direta, sem primário.

Figura 2: Resistência adesiva da betonilha com borracha em suporte de ICB (aplicação direta, sem primário).



Caracterização física

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para a caracterização física da betonilha com incorporação de borracha, incluindo o desvio padrão dos resultados obtidos e o respectivo coeficiente de variação.

Tabela 4: Ensaio de caracterização física das argamassas com cortiça.

Caracterização física		StD	C.V. (%)
Retracção (mm/m)	0,16	0,012	7,8
Condutibilidade Térmica a 10°C [W/(m.°C)]	0,221	0,009	4,1
$\lambda_{23,dry,mat}$ [W/(m.K)] EN 1745	0,368	-	-

Relativamente às propriedades físicas das argamassas, verificou-se que a retracção após 28 dias é pouco expressiva.

Em termos de condutibilidade térmica, a norma de especificação EN 13813 indica apenas que deverá ser declarado o valor da resistência térmica do produto. Analisando a norma aplicável a argamassas de revestimento, EN 988 -1, a argamassa analisada não poderá ser classificada como argamassa térmica, no entanto, o valor obtido para a

condutibilidade térmica é bastante próximo do máximo necessário para classificação como T2 (0,2 W/(m.K)).

Conclusões

No âmbito do projecto “EFTM - Ecological and Functional Technical Mortars”, com o qual se pretende desenvolver argamassas ecológicas, com propriedades melhoradas, sobretudo do ponto de vista térmico e acústico, passíveis de aplicação em diferentes tipos de suportes, foram estudadas betonilhas autonivelantes com incorporação de borracha. Estas argamassas foram caracterizadas em laboratório, no estado fresco e no estado endurecido, do ponto de vista mecânico e físico. Os resultados obtidos permitiram, não só, avaliar o desempenho global da betonilha desenvolvida, mas também enquadrá-la na classificação para marcação CE de revestimentos contínuos de pavimento.

Verificou-se que o desempenho global da argamassa com borracha é bastante satisfatório, no entanto deverá ser melhorado, sobretudo no que respeita à resistência à compressão. Os resultados obtidos para a resistência adesiva permitiram identificar a compatibilidade da argamassa com diferentes tipos de suporte, aspecto que permitirá dar resposta aos requisitos de multifuncionalidade, sustentabilidade e versatilidade.

Perante os resultados obtidos verificou-se, no entanto, a necessidade de alargar o estudo deste produto, nomeadamente no que respeita à resistência à abrasão, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, absorção sonora e reação ao fogo. Neste sentido, encontra-se ainda em curso uma campanha experimental, que incidirá na alteração da composição para melhoramento da resistência à compressão e que permitirá aferir dados adicionais a respeito da betonilha com borracha apresentada.

Agradecimentos

O trabalho apresentado está enquadrado no projeto CENTRO-01-0247-FEDER-017657 (EFTM), inserido no programa Portugal 2020, financiado pelo COMPETE 2020.

Bibliografia

- (1) MATIAS, G., FARIA, P., TORRES, I. *Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review*. Construction and Building Materials 73, 125-136, 2014.
- (2) MATIAS, G., FARIA, P., TORRES, I. *Lime mortars with ceramic wastes: Characterization of components and their influence on the mechanical behavior*. Construction and Building Materials, Vol. 73, 523-534, 2014.
- (3) ANTÓNIO, J., TADEU, A., MOREIRA, A. *Impact sound transmission provided by concrete layers incorporating cork granules*. Noise Control Engineering Journal, Vol. 61, n.º 5, 458 – 468, 2013.
- (4) TADEU, A., MOREIRA, A., ANTÓNIO, J., SIMÕES, N., SIMÕES, I. *Thermal delay provided by floors containing layers that incorporate expanded cork granule waste*. Energy & Buildings, vol. 68, 611-619, 2014.
- (5) MOREIRA, A., ANTÓNIO, J., TADEU, A. *Lightweight screed containing cork granules: Mechanical and hygrothermal characterization*. Cement & Concrete Composites, vol. 49, 1-8, 2014.
- (6) LUCAS, D., BENATTI, C. *Utilização de resíduos industriais para a produção de artefactos cimentícios e argilosos empregados na construção civil*. Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, 405-418, 2008.



- (7) ŠKERGET, L.; TADEU, A. *BEM numerical simulation of coupled heat and moisture flow through a porous solid*. Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 40, 154–161, 2014.
- (8) SIMÕES, I., SIMÕES, N., TADEU, A. *Thermal Delay Simulation in Multilayer Systems using Analytical Solutions*. Energy and Buildings, Vol. 49, 631–639, 2012.
- (9) TADEU, A., STANAK, P., SLADEK, J., SLADEK, V., PRATA, J., SIMÕES, N. *A coupled BEM-MLPG technique for the thermal analysis of non-homogeneous media*. CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, vol. 93, n.º 6, 489-516, 2013.
- (10) TADEU, A., STANAK, P., SLADEK, J.; SLADEK, V. *Coupled BEM-MLPG acoustic analysis for non-homogeneous media*. Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 44, 161-169, 2014.
- (11) KRISTIAWAN, S., HAPSARI, A. *Delamination tendency of repair mortar incorporating crumb rubber*. Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials, SCESCM 2016, Procedia Engineering 171, 734-743, 2017.
- (12) JEVTIĆ, D., ZAKIĆ, D., SAVIĆ, A. *Cement Based Composites Made With Recycled Rubber Aggregate*. Hem. ind. 66 (4), 609–617, 2012.
- (13) MEDINA, N. et al. *Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling*. Construction and Building Materials 144, 563–573, 2017.
- (14) TURATSINZEA, A., BONNETA, S., GRANJUA, J. *Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres*. Building and Environment 40, 221–226, 3, 2005.
- (15) ANGELIN, A, et al. *The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber*. Construction and Building Materials 151, 534–545, 2017.
- (16) MERINO, M., ASTORQUI, J., CORTINA, M. *Viability analysis and constructive applications of lightened mortar (rubber cement mortar)*. Construction and Building Materials 21, 1785–1791, 2007.