

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/284283155>

Argamassas de Revestimento com Nanoaerogel de Sílica

Conference Paper · December 2012

DOI: 10.13140/RG.2.1.4351.5928

CITATIONS

0

READS

97

4 authors, including:



[António Soares](#)

15 PUBLICATIONS 19 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Inês Flores-Colen](#)

Technical University of Lisbon

94 PUBLICATIONS 396 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Jorge de Brito](#)

University of Lisbon

1,161 PUBLICATIONS 5,980 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PhD Thesis [View project](#)



external factors affecting building project performance during construction stage? [View project](#)

All content following this page was uploaded by [Jorge de Brito](#) on 21 November 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file. All in-text references [underlined in blue](#) are added to the original document and are linked to publications on ResearchGate, letting you access and read them immediately.

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM NANOAEROGEL DE SÍLICA

A. Soares^{1*}, J. Feiteira¹, I. Flores-Colen¹ e J. de Brito¹

1: Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
e-mail: ortiz.soares@gmail.com; j.feiteira@gmail.com; ines@civil.ist.utl.pt; jb@civil.ist.utl.pt

Palavras-chave: Argamassas de revestimento, Aerogel, Nanotecnologia, Desempenho

Resumo. *Actualmente, procura-se reduzir o impacte do sector da construção, no ambiente com o desenvolvimento de materiais ecologicamente adequados. A aplicação da nanotecnologia aos materiais cimentícios permite melhorar algumas das suas propriedades através do estudo e modificação da sua estrutura ou através da adição de nanopartículas ou materiais com nanoestruturas. Deste último exemplo faz parte o nanoaerogel, um material sintetizado geralmente a partir da sílica, sendo actualmente um dos sólidos conhecidos mais leves, com níveis de porosidade que podem ultrapassar 90%.*

A aplicação do nanoaerogel no âmbito dos materiais de construção tem tirado partido essencialmente do seu elevado desempenho térmico, sendo um dos exemplos mais recorrentes a utilização de grânulos de nanoaerogel em fachadas de vidro. Existem também exemplos de utilização de nanoaerogel em argamassas de revestimento, mas a informação e resultados disponíveis são ainda escassos.

Com o propósito de aprofundar o conhecimento nesta área, está a ser estudado, no Instituto Superior Técnico, ao abrigo do projeto NANORENDER financiado pela FCT, o desempenho de argamassas de revestimento com nanoaerogel. Pretende-se, assim, determinar o tipo, granulometria e dosagem de partículas de aerogel que conduzam a argamassas com desempenho térmico e acústico significativamente melhoradas, sem detrimento das restantes propriedades importantes de uma argamassa de revestimento. Dadas as características únicas do aerogel, prevê-se que a utilização de argamassas de revestimento com nanoaerogel melhore o desempenho térmico e a eficiência energética dos edifícios, com particular relevância para a reabilitação de edifícios já existentes. Neste sentido, o projeto recorrerá ainda a software e modelos de simulação do impacte destas argamassas no desempenho e conforto térmico e acústico dos edifícios. A sustentabilidade e viabilidade económica da solução serão por sua vez estudadas respetivamente através da avaliação do ciclo de vida (ACV) e da análise do custo do ciclo de vida (CCV).

Para além do estado da arte na área da utilização de nanoaerogel nos materiais de construção, esta comunicação pretende apresentar o projeto NANORENDER e divulgar as melhorias de desempenho esperadas.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Sustentabilidade em edifícios

O crescimento da população mundial, associado ao aumento dos hábitos de consumo da Sociedade, torna cada vez mais significativo o impacto humano no meio ambiente, verificando-se que a utilização de recursos pelos edifícios, durante a sua vida útil, gera resíduos e emissões. O sector da construção também utiliza uma elevada quantidade de produtos químicos dos quais, mais de um terço causa alergias, doenças oncológicas, efeitos teratogénicos e bioacumulação. Tais impactos não só diminuem a qualidade do ambiente como também reduzem a qualidade de vida [1].

Actualmente, procura-se reduzir o impacto do sector da construção no ambiente com o desenvolvimento de materiais ecologicamente correctos e a realização de estudos sobre reciclagem, redução de desperdícios e de energia; recurso a fontes renováveis; aproveitamento de resíduos e especificação de materiais e componentes que necessitem de menor consumo energético na sua produção e utilização. Neste sentido, tem-se apostado na introdução de materiais novos ou menos correntes, especialmente naturais e de origem sustentável, na constituição da argamassa com o objectivo melhorar o seu comportamento [2, 3].

1.2. Incorporação de agregados na argamassa para melhoria do seu desempenho

No âmbito do aproveitamento de resíduos para incorporação como agregados de argamassas, Canova et al. [4], ao adicionarem pó de borracha de pneus, verificaram que, no estado endurecido, o mesmo contribuiu para a redução do módulo de deformação, da retracção por secagem e principalmente para a redução da fissuração visível. Por sua vez, Dias et al. [5] estudaram a introdução de fibras de sisal na argamassa como meio de evitar a fendilhação de rebocos, tendo verificado para adições de 5 e 6% de fibras que, apesar de uma diminuição na resistência à compressão, as argamassas apresentavam um aumento significativo da resistência à flexão, resultando num melhor comportamento quando sujeitas a esforços excessivos provenientes da alvenaria, devido a uma diminuição e dissipação da fissuração.

Sabe-se também que as argamassas de revestimento modificadas com adição de látex apresentam algumas propriedades melhoradas, tais como a resistência mecânica e a absorção de água por capilaridade, conforme estudos de Carbone et al [6]. Verificam-se assim alguns exemplos de como a incorporação de diferentes materiais nas argamassas pode melhorar o desempenho das mesmas, dependendo da finalidade pretendida.

2. NANOTECNOLOGIA NA MELHORIA DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS

2.1. Nanotecnologia

A nanotecnologia pode ser descrita como o emprego da ciência e tecnologia à escala nanométrica com aplicações no mundo real [7] citado por Zhu et al. [8]. A definição de nanotecnologia pode variar, mas normalmente é utilizada para referir a manipulação e compreensão de matéria à escala nanométrica (0,1 a 100 nm), permitindo conceber novos materiais em quase todos os ramos da tecnologia. Ao mesmo tempo, a aplicação da nanotecnologia, conduzirá a processos de produção e produtos melhorados, inteligentes, mais limpos, com menores custos e maior rapidez. Deste modo, a nanotecnologia apresenta potencial na melhoria de muitos materiais de construção [8, 9].

2.2. Nanomateriais

Os materiais de nanopartículas têm mostrado um potencial significativo na protecção ambiente e no melhoramento da sustentabilidade, pelo que, a médio e longo prazo, o desenvolvimento da nanotecnologia conduzirá a novas abordagens no desenvolvimento e produção de materiais / estruturas com uma eficiência energética melhorada [8].

Ao integrar-se nanopartículas nos materiais de construção tradicionais, poder-se-á obter materiais com excelentes propriedades para a construção. No entanto, as aplicações actuais são limitadas, existindo poucos estudos sobre a incorporação de nanopartículas nos materiais de construção à base de cimento [10]. Estes, por possuírem as nanoestruturas complexas do cimento e seus hidratos, apresentam um grande potencial para a manipulação e o controlo de suas propriedades através da nanotecnologia. Deste modo, a nanotecnologia aplicada ao betão e argamassas deverá contribuir significativamente para o desenvolvimento de materiais de construção à base de cimento com características e propriedades desejadas, através da dosagem de nanomateriais [9]. Neste sentido, o projecto a desenvolver visa numa primeira fase a aplicação de nanomateriais em produtos à base de cimento, procurando assim melhorar o desempenho dos mesmos.

2.3. Aerogel e suas aplicações

Uma área importante dos nanomateriais é o desenvolvimento de materiais isolantes como os aerogéis. Estes sólidos por serem altamente porosos e de baixas densidades, devido à forma única e tamanho reduzido (10-100 nm) dos seus inúmeros poros, apresentam excelente desempenho ao nível do isolamento, sendo utilizados em casos onde é necessária uma óptima eficiência energética ou isolamentos com o mínimo de espessura. Estes para além de serem os sólidos, já testados, com menor condutibilidade térmica, apresentam também a menor velocidade do som, índice de refração e constante dieléctrica, pelo que apresentam um grande potencial de aplicação em diversas áreas [8, 11].

Os aerogéis de sílica (Figura 1) estão a entrar lentamente no mercado, verificando-se, por enquanto, a sua aplicação apenas em alta-tecnologia [12]. Os mesmos são não-inflamáveis com a vantagem adicional de serem muito leves (densidades até 500 kg/m³), apresentando excelentes propriedades térmicas e acústicas (condutibilidade térmica na gama de 0.01-0,02 W/mK e impedância acústica na gama 103-106 kg/m²s), o que os coloca em conformidade com as exigências atuais de poupança de energia e redução de ruído.

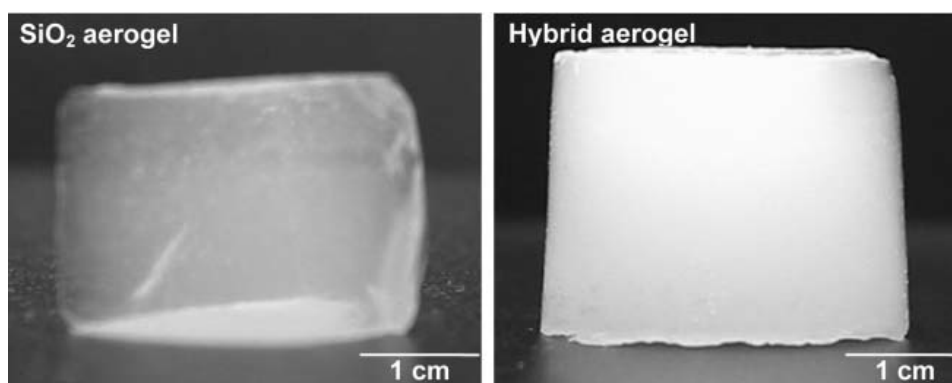


Figura 1. Aerogel sílica puro (esquerda) e híbrido de aerogel (direita) [12].

O aerogel híbrido tira vantagem da sinergia entre as propriedades orgânicas e inorgânicas para melhorar a comportamento mecânico de aerogéis inorgânicos puros, preservando ainda as suas propriedades únicas. A sua produção é ambientalmente benigna, sem risco significativo de produtos secundários, não existindo riscos de saúde ou ambientais associados à sua utilização e a eliminação, uma vez que são completamente não tóxicos e não inflamáveis. Além disso, o método é um processo químico que evita as etapas dispendiosas das tecnologias actuais. Assim, estes aerogéis híbridos podem ser a resposta de baixo custo para um elevado desempenho de isolamentos [12].

Associando a nanotecnologia à necessidade de criar materiais com melhor desempenho térmico, a aplicação do nanoaerogel no âmbito dos materiais de construção tem tirado partido essencialmente

da sua reduzida condutibilidade térmica, sendo um dos exemplos mais recorrentes a utilização de grânulos de nanoaerogel em fachadas de vidro. Assim, o aerogel de sílica pode ser considerado como um material muito interessante para aplicação em janelas de elevada eficiência energética, contribuindo para a redução do consumo da energia de aquecimento e ar condicionado [13-15] citados por Buratti e Moretti [16].

Tem-se observado diversas aplicações de isolantes de aerogel, principalmente quando é necessário obter bom isolamento em espaços reduzidos (como zonas de caixa de estores), ou quando se pretende o isolamento de uma cobertura, pavimento ou paredes rapidamente e sem grande perda de área útil ou do pé-direito, o que se torna relativamente importante nos casos de isolamento de pré-fabricados e de edifícios existentes. Outra aplicação do isolamento com aerogel prende-se com a substituição de telhas pela aplicação de painéis solares superfinos (25 mm) necessitando apenas de 9 mm de isolante de aerogel, ao contrário do que seria necessário no caso de se utilizar isolante de lã mineral (normalmente 50 mm) [17].

De facto, segundo [18], hoje em dia, o custo do isolante de aerogel é cerca de 20 vezes superior ao de produtos isolantes padrão. Assim, a utilização de sistemas de isolamento com aerogel justifica-se com o maior aproveitamento de áreas, a redução do custo de aplicação, a longevidade e a resistência química.

Existem já estudos preliminares sobre a utilização de grânulos de aerogel como agregados em argamassas de revestimento. Por exemplo, no âmbito da reabilitação de edifícios históricos, foi desenvolvido um reboco de isolamento com incorporação de grânulos de aerogel de sílica, tendo obtido o valor de 0,025 W/m.K para a condutibilidade térmica do material com uma densidade de aproximadamente 200 kg/m³, o que lhes confere um bom potencial para utilização como argamassas térmicas [19]. No entanto, os autores não especificam a sua resistência mecânica, bem como outras características de desempenho para argamassas de revestimento, pelo que se torna importante maior investigação neste campo de modo a compreender melhor o campo de aplicação deste material.

3. ARGAMASSAS TÉRMICAS

Com o aumento dos parâmetros de conforto, tem-se verificado um elevado consumo da energia eléctrica associada ao aquecimento e arrefecimento no sector residencial, verificando-se que em muitas zonas do planeta os requisitos reais de isolamento térmico não correspondem às necessidades, o que torna interessante o recurso a soluções construtivas que possibilitem a redução do consumo energético para efeitos de climatização ambiente [18, 20]. Um dos métodos possíveis é o recurso a argamassas térmicas, definidas na EN 998-1 [21] como argamassas com condutibilidade inferior a 0,1 (Classe T1) e 0,2 (Classe T2) W/m.K.

No âmbito da reabilitação, a aplicação de um reboco que diminua as necessidades energéticas do edifício pode não parecer economicamente vantajosa. No entanto, perante o aumento do custo da energia para climatização, a mesma apresenta potencial de utilização, pois o custo do seu investimento inicial pode ser rapidamente amortizado [3].

Com a crescente preocupação da reutilização e reciclagem de materiais, associada à necessidade de reduzir os gastos energéticos com a climatização ambiente, têm surgido estudos sobre argamassas com substituição dos agregados convencionais (areia) por materiais isolantes, de modo a obter argamassas com condutibilidade térmica melhorada.

Surgem, assim, argamassas de revestimento com incorporação de diversos materiais, tais como Poliestireno Expandido (EPS), cortiça entre outros, verificando-se, na Tabela 1, que o valor da condutibilidade térmica diminui com o aumento de incorporação destes materiais no produto, registando-se a menor condutibilidade térmica para argamassas com incorporação de aerogel. No entanto, também é verificada uma redução do valor da resistência à compressão, com o aumento de incorporação de material com características térmicas, o que pode comprometer o bom desempenho destas argamassas.

Tabela 1. Condutibilidade térmica e resistência à compressão de argamassas com substituição de agregados

Constituição	Substituição			λ [W/m.K]	R_c [N/mm ²]	Fonte
	Material	Tipo	Qt. [%]			
Argamassas de cal hidráulica	Regranulado negro de cortiça	Substituição por volume de agregado	60	0,292 e 0,284	1,98 e 1,79	[22]
Argamassas bastardas	Regranulado negro de cortiça	Substituição por volume de agregado	60	0,444 e 0,357	5,96 e 5,92	
			80	0,221 e 0,198	2,35 e 2,45	
Cortiça + argila + terra diatomácea + vários aditivos naturais + fibras de polipropileno	Cortiça	n.d.	n.d.	0,085	3	[23]
		n.d.	n.d.	0,045	1,5	
CEM II B-L 32,5 N + areia siliciosa fina 0/1 + policarboxilato modificado	Granulado branco de cortiça	Substituição por volume de agregado	10	1,47	15,4	[3]
			20	1,31	16,1	
			50	0,74	6,0	
			70	0,54 e 0,48	6,4 e 4,4	
			80	0,47	3,9	
Argamassa de reboco industrial	Aglomerado de cortiça	n.d.	n.d.	0,163	9,8	[24]
CEM II / BL 32,5N + areia fina lavada + areia grossa lavada (1:2:4)	Material fibroso de resíduos da indústria de produção de não-tecidos	Adição por massa de ligante	0	1,06	3,734	[25]
			0,25	0,86	3,406	
			0,5	0,95	3,203	
			1	0,87	2,848	
			1,5	0,85	2,702	
			2	0,79	2,832	
			5	0,81	3,164	
Argamassa de reboco industrial	Poliestireno expandido	n.d.	n.d.	0,07	1	[26]
Argamassa de cimento	Poliestireno expandido	n.d.	n.d.	0,09	0,7	[27]
Argamassa de cimento Portland branco	Poliestireno expandido	n.d.	n.d.	0,069	CS I (0,4 a 2,5)	[28]
Argamassa de cimento Portland CPJ 35	Lã de madeira	Relação em massa (lã de madeira) / (cimento + areia)	0	0,420	n.d.	[29]
			2	0,340	n.d.	
			3	0,305	n.d.	
			4	0,283	n.d.	
Argamassa à base de cimento	Perlite e cortiça	n.d.	n.d.	0,103	n.d.	[19]
	Mineral (n.d.)	n.d.	n.d.	0,099	n.d.	
	Poliestireno expandido	n.d.	n.d.	0,067 e 0,072	n.d.	
	Aerogel	n.d.	60 a 90	0,025 ± 0,002	n.d.	

Legenda: λ - condutibilidade térmica da argamassa; R_c - resistência à compressão; Qt. - quantidade de incorporação de material isolante; n.d. - não divulgado

Verifica-se, deste modo a potencialidade da incorporação de compostos / materiais de reduzida condutibilidade térmica nas composições das argamassas de revestimento para uma melhoria das mesmas no desempenho térmico. Contudo, verifica-se uma redução na resistência mecânica das argamassas com a introdução dos materiais, apresentados na Tabela 1, principalmente para grandes percentagens de substituição, necessárias para se obter argamassas térmicas dentro dos parâmetros da norma EN 998-1 [21], onde se observa que as argamassas com o menor coeficiente de condutibilidade apresentam também as menores resistências mecânicas.

Gonilho-Pereira et al. [26] tiveram também dificuldades em atingir a adequada dispersão das fibras utilizadas na matriz de cimento. Com a introdução de cortiça [23], observou-se, para granulometrias finas de regranulado negro de cortiça, uma maior necessidade de água de amassadura, implicando também um maior tempo de secagem. Por sua vez, Brás et al. [3] observaram uma redução da trabalhabilidade com a introdução de cortiça, com uma elevada redução do tempo aberto da argamassa, necessitando de uma optimização da composição em termos de adjuvante e relação A/L. Deste modo, torna-se importante estudar formulações de argamassas que possam corresponder as exigências térmicas necessárias, mantendo um bom desempenho das restantes propriedades.

4. ESTUDO EM DESENVOLVIMENTO

4.1. Objectivos

Ao constatar bons desempenhos térmicos associados a argamassas de revestimento, com incorporação de compostos / materiais de reduzida condutibilidade térmica nas suas composições, e tendo em conta o elevado potencial do aerogel no isolamento térmico, está a ser estudado, no Instituto Superior Técnico, o desempenho de argamassas de revestimento com incorporação de nanoaerogel, através do projecto NANORENDER financiado pela FCT.

O projecto NANORENDER pretende utilizar como agregado em argamassas um aerogel de sílica ou de sílica / látex, obtido por processos mais económicos e seguros, já testados e patenteados por membros da equipa de investigação. Este projecto encontra-se numa fase inicial com a produção de várias granulometrias e tipos de aerogel para o estudo da trabalhabilidade de diferentes composições de argamassas e respectivos coeficientes de condutibilidade térmica.

Com a incorporação de nanoaerogel na argamassa de revestimento, espera-se uma melhoria significativa no desempenho térmico e acústico, aumentando a eficiência energética dos edifícios. Neste sentido, o projeto recorrerá a *software* e modelos de simulação do impacte destas argamassas no desempenho e conforto térmico e acústico dos edifícios.

No entanto, tendo em vista a sua aplicabilidade, será determinado o tipo, a granulometria e a dosagem de partículas que conduzam ao melhor desempenho térmico e acústico, sem detrimento das restantes propriedades importantes de uma argamassa de revestimento.

Será também realizado um estudo da sustentabilidade e viabilidade económica da solução, de modo a compreender a sua potencialidade a nível comercial, através da avaliação do ciclo de vida (ACV) e da análise do custo do ciclo de vida (CCV).

4.2. Plano de trabalhos

Com o objectivo de investigar o uso de nanoaerogéis à base de sílica em argamassas de revestimento, tendo em vista a formulação de rebocos de desempenho melhorado do ponto de vista térmico, acústico e ambiental, para aplicação em paredes de edifícios, os aerogéis serão incorporados nas argamassas (Figura 2). Para tal, estes serão reduzidos a grânulos com dimensões distintas e incorporadas em diferentes percentagens de substituição de areia por grânulos de aerogel para o mesmo traço.

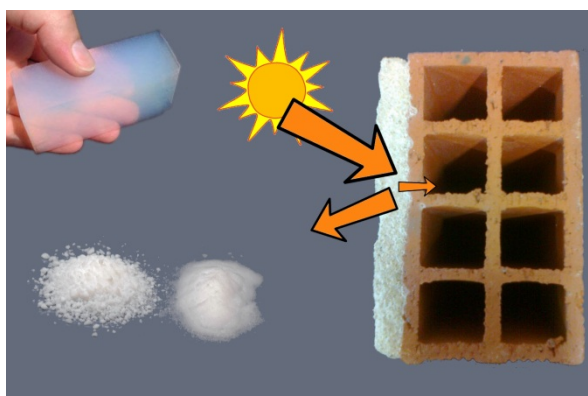


Figura 2. Imagem ilustrativa do objectivo do plano de trabalhos: obter argamassas térmicas para revestimento, através da incorporação de grânulos de nanoaerogel

De seguida, determinar-se-á os dois tipos de aerogel (um inorgânico e um híbrido) que conduzirão às argamassas com melhores características de trabalhabilidade, compacidade e condutibilidade térmica. Para tal, serão efectuados respectivamente ensaios de espalhamento (EN 1015-3 [30]), determinação do volume de vazios da mistura (EN 1097-3 [31]) e ensaios preliminares de condutibilidade térmica das argamassas (ISO 8301 [32]). O valor-alvo para o espalhamento, fixado de acordo com a massa volúmica das argamassas, deverá respeitar a norma EN 1015-2 [33] e será atingido através da variação da relação água / cimento.

Após determinar os dois tipos de aerogel que conduzem à melhor trabalhabilidade da argamassa, serão efectuados ensaios para estudo do seu desempenho. Os ensaios a efectuar deverão determinar as principais propriedades relevantes para argamassas de revestimento em estado fresco e endurecido. De seguida será realizado um estudo do desempenho em serviço com ensaios realizados em paredes de teste de tijolo.

Os valores da condutibilidade térmica e os coeficientes de transferência de calor (valor-U) determinados na fase experimental serão utilizados no *software* de simulação de energia em edifícios, para a avaliação do impacte das argamassas estudadas com melhor desempenho nos consumos de energia e no conforto térmico de edifícios-tipo novos e num cenário de reabilitação. A avaliação será feita por comparação com uma argamassa convencional.

Serão ainda consideradas diversas orientações e regiões climáticas para os edifícios de acordo com o DL 80/2006 (RCCTE). Por sua vez, as propriedades acústicas das argamassas determinadas serão utilizadas para validar modelos de propagação de som, para comparação do desempenho acústico de edifícios com rebocos de argamassa convencional e argamassa com partículas de nanoaerogel, para uma variedade de combinações de elementos de construção e configurações de espaços.

Assim, com este projecto, pretende-se aumentar o escasso conhecimento sobre a incorporação de aerogel em argamassas, ao mesmo tempo que se procura obter alternativas competitivas para a melhoria do desempenho de argamassas de revestimento com menores espessuras e materiais naturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio à FCT / MCTES (PIDDAC), ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE - programa Operacional Factores de Competitividade (POFC) e ao ICIST pelo financiamento e apoio ao projecto.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Milutienė, J.K. Staniškis, A. Kručius, V. Augulienė, D. Ardicikas, “Increase in buildings sustainability by using renewable materials and energy”, *Clean Technologies and Environmental Policy*, doi: 10.1007/s10098-012-0505-2, (2012).
- [2] M.R.P. Rodrigues e O.P. Ferreira, Argamassa com partículas de borracha derivada da reciclagem de pneus inservíveis. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, 2010.
- [3] A.A. Brás, M. Leal, P. Faria, Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. 2ª Conferência Construção e reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono, FCT UNL, 2012.
- [4] J.A. Canova, R. Bergamasco, G. Neto, Estudo comparativo entre dois tipos de argamassa de revestimento com adição de pó de borracha de pneus inservíveis. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba, 2009.
- [5] L. Dias; A. Paiva; J. Vieira, Reforço de rebocos com fibras de sisal. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, 2010.
- [6] C.E. Carbone, H. Santos, R.C. Romano, R.G. Pileggi, Efeito da adição de látex em argamassas de revestimento. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, 2011.
- [7] O. Saxl, “Opportunities for industry in the application of nanotechnology”, The Institute of Nanotechnology, UK (2001).
- [8] W. Zhu, P.J. M. Bartos, A. Porro, “Application of nanotechnology in construction - Summary of a state-of-the-art report”. RILEM TC 197-NCM: “Nanotechnology in construction materials”. *Materials and Structures* Vol. **37** (273), pp. 649-658, (2004).
- [9] P.J.P. Gleize e D.A. Silva, A nanotecnologia aplicada a materiais cimentícios. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.
- [10] H. Li, H. Xiao, J. Yuan, J. Ou, “Microstructure of cement mortar with nano-particles”, *Composites: part B* Vol. **35** (2), pp. 185-189, (2004).
- [11] J. Fricke, T. Tillotson, “Aerogels: production, characterization, and applications”, *Thin Solid Films* Vol. **297** (1 - 2), pp. 212-223, (1997).
- [12] L.M. Ilharco, A. Fidalgo, J.P. Farinha, J.M. Gaspar Martinho, M.E. Rosa, “Nanostructured silica/polymer subcritical aerogels”. *Journal of Materials Chemistry* Vol. **19**, pp. 2195-2198, (2007).
- [13] G.K. Oral, A.K. Yener, N.T. Bayazit, “Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions”. *Building and Environment* Vol. **39** (3), pp. 281-287, (2004).
- [14] A.S. Bahaj, P.A.B. James, M.F. Jentsch, “Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates”. *Energy and Buildings* Vol. **40** (5), pp. 720-731, (2008).
- [15] N.D. Kaushika, K. Sumanthy, “Solar transparent insulation materials: a review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. **7** (4), pp. 317-351, (2003).
- [16] C. Buratti, E. Moretti, “Glazing systems with silica aerogel for energy savings in buildings”. *Applied Energy* Vol. **98**, pp. 396-403, (2012).
- [17] <http://www.aerogel.com> Acesso a 2012/09/21.
- [18] M. Koebel, A. Rigacci, P. Achard, “Aerogel-based thermal superinsulation: an overview”. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, doi: 10.1007/s10971-012-2792-9, (2012).
- [19] Th. Stahl, S. Brunner, M. Zimmermann, K. Ghazi Wakili, “Thermo-hygric properties of a newly developed aerogel based insulation rendering for both exterior and interior applications”. *Energy and Buildings* Vol. **44**, pp. 114-117, (2012).
- [20] S.R. Cunha, V.H. Alves, J.B. Aguiar, V.M. Ferreira, Argamassas térmicas sustentáveis: O contributo dos materiais de mudança de fase. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, 2012.
- [21] CEN, “Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar”. En 998-

1. Brussels: Comité Européen de Normalisation, (2003).
- [22] M. Martins, Comportamento físico de argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil: Instituto Superior Técnico, 119 p., (2010).
- [23] < <http://www.ecodimulti.pt>> Acesso a 2012/09/06.
- [24] D. Frade, A. Tadeu, I. Torres, P. Mendes, N. Simões, G. Matias, A. Neves, Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, 2012.
- [25] C. Gonilho-Pereira, A. Martins, P. Faria, R. Figueiro, Avaliação da introdução de resíduo da indústria têxtil em argamassas. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, 2012.
- [26] <<http://www.conservationtech.ie>> Acesso a 2012/09/06.
- [27] D. Frade, J. Gonçalves, S. Nascimento, A. Sequeira, Argamassa de Reboco com Características Térmicas. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, 2010.
- [28] P. Gonçalves, D. Frade, J. Brites, Argamassas térmicas - Uma solução no cumprimento do RCCTE. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, 2012.
- [29] D. Taoukil, A. El Bouardi, T. Ajzoul, H. Ezbakhe, "Effect of the incorporation of wood wool on thermo physical proprieties of sand mortars". KSCE Journal of Civil Engineering Vol. 16 (6), pp. 1003-1010, (2012).
- [30] CEN, "Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)". EN 1015-3:1999 (Ed.1). Brussels: Comité Européen de Normalisation, (1999).
- [31] BSI, "Test for mechanical and physical proprieties of aggregates - Part 3. Determination of loose bulk density and voids". BS EN 1097-3:1998, London, (1998).
- [32] International Standard, "Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow mete apparatus". ISO 8301
- [33] CEN "Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars". EN 1015-2:1998 (Ed.1). Brussels: Comité Européen de Normalisation, (1998).