REPARAÇÃO DE PAREDE DE TERRA COM ARGAMASSA DE SOLO-CIMENTO

A. P. S. MILANI
Profa.Dra.Eng.Civil
UFMS
Campo Grande/MS; Brasil
ana.milani@ufms.br

F. G. R. DIAS
Eng.Civil
UFMS
Campo Grande/MS; Brasil
flaviagrdias@gmail.com

RESUMO

O solo como esqueleto granular na argamassa pode melhorar a compatibilidade físico-mecânica entre a parede de terra e o sistema de reparo, bem como apresentar maior durabilidade a partir de sua estabilização com cimento. Com base nessas premissas foram estudadas argamassas compostas de solo, cimento e aditivos e analisado o seu comportamento físico-mecânico quando utilizadas para a reparação de construções com terra. Este estudo se deu por meio da aplicação das argamassas de solo-cimento para a reparação do revestimento de terra de painéis de alvenaria de bloco de solo-cimento que sofreram deformações. Estas paredes de terra foram reparadas e posteriormente aplicados os ensaios de resistência de aderência à tração e de suscetibilidade à fissuração. A argamassa na proporção 1:4 (cimento:solo, em massa) aditivada com incorporador de ar apresentou compatibilidade físico-mecânica com o revestimento da parede de terra, pois esta não apresentou problemas significativos de ruptura na capacidade de aderência à tração e tão pouco suscetibilidade à fissuração durante a secagem, mostrando-se adequada para a reparação de construção com terra.
Palavras-chave: Fissuração. Aditivo. Aderência. Construção com terra.

ABSTRACT

The soil as a mortars' aggregate may improve the physical-mechanical compatibility between the coating system and the earth-wall substrate, and it presents a greater durability when stabilized with cement. From these concepts, the physical-mechanical behavior of mortars composed with soil, cement, lime and admixture, were analyzed to be used as repair mortars for earth constructions per applying soil-cement mortars on a soil-cement brick wall and testing its adherence and susceptibility to cracking. Mortars with the proportion of 1:4 (cement:soil, in mass) with admixture shows physical-mechanical compatibility with the earth support, because the mortar did not presented any significant bonding or cracking pathologies.
Keywords: Cracking. Admixture. Bonding. Earth building.

1. INTRODUÇÃO

A terra, como material de construção, é empregada há anos devido a sua acessibilidade, baixo custo e boa capacidade de isolamento térmico e acústico. As principais patologias encontradas em paredes de terra são, segundo Gomes e Faria (2011), fissuras, perda de coesão e desprendimentos, as quais necessitam de intervenções de reconstrução, conservação, recuperação, substituição e/ou reparo, visando garantir o bom desempenho e durabilidade dessas construções.

Apesar do uso do solo na construção ser bem difundido, poucas são as normativas para a sua utilização, desde a escolha e classificação dos materiais até a especificação de seus requisitos físicos e mecânicos para aplicação. Segundo Cid et al. (2011), 79% das normativas de solo no mundo abrangem apenas uma única técnica construtiva, sendo as mais comuns o adobe, a taipa e os blocos de solo-cimento. Além da falta de especificação dada em norma, há pouco estudo do meio científico com relação ao emprego do solo-cimento como argamassa de recuperação, sendo mais disseminadas em estudos de Rodrigues (2008),

Kanan (2008) e Syrmakezis et al. (2013) as argamassas mistas de solo-cal aérea para proteção e conservação de construções em terra.

Gomes e Faria (2011) concluíram em seus estudos que as argamassas de reparo devem possuir propriedades físicas, mecânicas e químicas similares ao suporte de terra. Mateus et al. (2015) definiram algumas características que as argamassas de substituição devem possuir para a reabilitação de construções em terra, visto que em Portugal é comum o uso de revestimentos de proteção exterior em paredes de taipa, compostos tradicionalmente por cal, terra e areia, e produzidos no local de aplicação. Segundo os autores, valores superiores de resistência à compressão dos revestimentos em relação aos seus respectivos suportes, acabam gerando tensões excessivas na interface, com a consequente perda de aderência, fendilhação e destacamento laminar dos revestimentos. Do mesmo modo, a reduzida presença de ligante de cal nas argamassas, traduzida por percentagens elevadas de resíduo insolúvel, poderá significar a presença de material pulverulento, de natureza distinta e de base argilosa, que justifica altas taxas de absorção de água por contato e baixa durabilidade do suporte de aderência.

Sendo assim, a presente pesquisa estudou o desempenho físico-mecânico das argamassas de solo-cimento para a reparação de parede de terra, buscando a melhor compatibilidade entre o suporte de terra e a argamassa de solo-cimento de reparo, bem como a sua capacidade de aderência e o seu comportamento no que toca à fissuração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando as recomendações de Burroughs (2008) quanto ao tipo de solo para melhor estabilização química com cimento Portland, foi utilizado solo oriundo de jazida localizada em Campo Grande/MS, classificado, segundo critérios da AASHTO, como A2-4, apresentando composição granulométrica de 66% de areia, 34% de argila e silte, massa específica dos sólidos de 2,14 g/cm³ e classificação não-plástica (NP).

As argamassas de solo-cimento foram confeccionadas com o cimento CPII Z 32 e; para melhorar sua trabalhabilidade, foram adicionados cal hidratada do tipo CH III, e o aditivo químico incorporador de ar à base de resina vegetal.

As argamassas de solo-cimento utilizadas nesta pesquisa foram escolhidas com base no estudo de dosagem realizado por Milani e Dias (2016), adotando os traços que obtiveram valores mínimos de resistência à compressão simples de 4 MPa e capacidade de retenção de água acima de 75%, que estão organizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Traços de argamassas de solo-cimento (em massa)

Cimento	Cal	Solo	Aditivo (%)	Relação a/c	Consumo cimento (kg/m³)	Classe do traço
1	0,4	4	-	1,10	324,53	Rico
1	0,4	6	-	1,56	233,24	Médio
1	0,6	4	-	1,20	306,10	Rico
1	0,6	6	-	1,56	228,68	Médio
1	1,2	5	-	1,98	217,00	Médio
1	-	4	0,4	0,93	364,37	Rico
1	-	5	0,4	1,05	270,30	Médio
1	-	6	0,4	1,28	260,39	Médio

Fonte: Milani e Dias, 2016.

2.1. 1ª etapa da pesquisa

Foi realizado o estudo mecânico de aderência à tração das argamassas de revestimento de painéis de alvenaria de blocos de solo-cimento, construídos com argamassa de assentamento mista de cimento:cal:solo no traço 1:0,35:6,5 – conforme indicações de Reddy & Gupta (2006) e de Ferreira & Junior (2011) – e exposta a condições controladas de umidade e temperatura (Figura 1a). As argamassas de revestimento apresentadas na tabela 1 foram homogeneizadas e aplicadas na alvenaria em camada única, formando painéis revestidos com dimensões de 40 x 50 cm e espessura de 1,5 cm para cada traço de argamassa de solo-cimento (Figura 1). Esses revestimentos de argamassa de solo-cimento foram curados em ambiente climatizado durante 28 dias, com controle de temperatura de 22,5 ± 1 ºC e umidade relativa do ar de 58 ± 10%. O ensaio de aderência à tração foi realizado com base na NBR 13528 (ABNT, 2010), aos 28 dias de idade, salvo a fixação de apenas seis pastilhas em cada revestimento de argamassa de solo-cimento, coladas por 48 horas com epóxi de baixa viscosidade.

O comportamento físico das argamassas para revestimento foi verificado pela sua suscetibilidade a fissuração durante a secagem. O método de mapeamento de fissuras foi realizado utilizando recomendações de Veraldo e Yuba (2015). Após as argamassas de solo-cimento revestirem os painéis de alvenaria de blocos de solo-cimento, analisou-se o momento de formação das fissuras no revestimento durante as primeiras 24 horas e, aos 28 dias de idade. Foi observada sua orientação, bem como suas dimensões de largura e comprimento, sendo aferidos tais dados com auxílio de fotografia e do software Autocad. Foi calculada, em seguida, a relação entre a soma do comprimento das fissuras existentes no painel revestido (Σf) e área total do revestimento (At), conforme equação 1.

$$F = \Sigma f / At \quad (1)$$

Onde:
F – suscetibilidade a fissuração, em mm/cm²;
Σf – somatória do comprimento das fissuras existentes, em mm;
At - área total do revestimento, em cm².

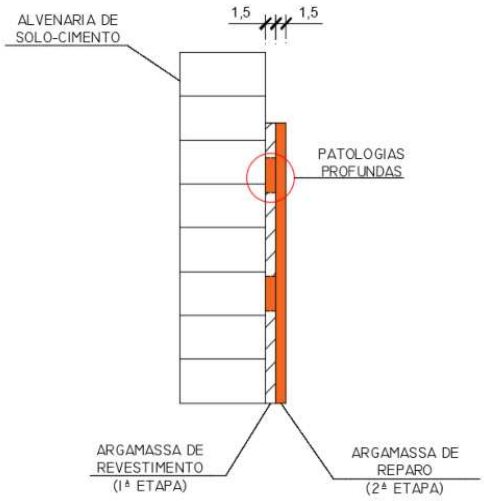
2.2. 2ª etapa da pesquisa

Foi determinado o traço para ser utilizado como argamassa para a reparação das paredes de terra, considerando, dentro das argamassas de solo-cimento estudadas, o valor mínimo de resistência de aderência à tração de 0,20 MPa, o índice de suscetibilidade à fissuração nulo, além das indicações prescritas por Carasek (2007), Oliveira et al. (2015) e Gattesco et al. (2015) como valores mínimos de consumo de cimento por m³ de argamassa, menor consumo de teor de aditivo, evitando o aumento de pulverulência e a redução da resistência de aderência no substrato. Esta argamassa de reparo foi preparada e homogeneizada de forma análoga às argamassas de revestimento da 1º etapa da pesquisa.

Para verificar a capacidade de aderência da argamassa de solo-cimento de reparo, uma camada de 1,5 cm de argamassa foi aplicada no painel revestido e ensaiado na 1º etapa da pesquisa, em camada única, por toda a extensão do painel, inclusive sobre os furos oriundos do ensaio de aderência à tração. Estes furos possuem diâmetro de 5 cm e profundidade de 1,5 cm (Figura 1). O método de aplicação da argamassa de solo-cimento de reparo seguiu prescrições de Gomes et al. (2013), salvo a colocação de cascalho nos furos, já que os autores concluíram que sua utilização não trouxe melhorias no desempenho frente a retração ou à fissuração. Antes da aplicação das argamassas o substrato foi limpo e umedecido, posteriormente a argamassa foi lançada contra o substrato vigorosamente com uma colher de pedreiro; foi sarrafeada e o acabamento da superfície foi realizado com uma esponja.

Após 28 dias do reparo do painel de blocos de solo-cimento, foi aplicado novamente o ensaio de resistência de aderência à tração com base na NBR 13528 (ABNT, 2010), salvo a fixação de apenas seis pastilhas no revestimento de argamassa de solo-cimento de reparo, coladas por 48 horas com epóxi de baixa viscosidade; e também verificado o processo de fissuração durante a secagem deste painel reparado.

Figura 1 – Esquema de aplicação da argamassa de revestimento e de reparo no substrato de terra



Fonte: Autoras

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da 1º etapa da pesquisa, que inclui os ensaios de resistência de aderência à tração e suscetibilidade à fissuração dos painéis revestidos com argamassa de solo-cimento (Figura 1b).

Tabela 2 - Relação entre a média da aderência à tração e fissuração por secagem dos traços de argamassa de solo-cimento aplicados como revestimento de parede

Cimento	Cal	Solo	Aditivo (%)	Resistência média de aderência (MPa)	Suscetibilidade a fissuração (mm/cm²)
1	0,4	4	-	**0,28** ± 0,02 (6,03)	0,697
1	0,4	6	-	**0,22** ± 0,05 (20,69)	0,259
1	0,6	4	-	**0,35** ± 0,05 (15,20)	0,455
1	0,6	6	-	**0,28** ± 0,02 (8,14)	0,820
1	1,2	5	-	**0,04** ± 0,02 (39,80)	-
1	-	4	0,4	**0,28** ± 0,08 (29,05)	0,00
1	-	5	0,4	**0,23** ± 0,02 (8,69)	0,00
1	-	6	0,4	**0,17** ±0,02 (9,58)	0,00

Fonte: Autoras

A aderência é uma característica fundamental para garantir o bom desempenho da argamassa de revestimento, visto que é extremamente solicitada por esforços de cisalhamento e tração, e não recebe cargas externas compressivas significantes. A NBR 13528 (ABNT, 2010) estabelece que 66,67% dos resultados devem ser iguais ou superiores a 0,30 MPa para que a argamassa possa ser utilizada em paredes externas de camada única que receberão cerâmica, pintura ou base para reboco como acabamento; e iguais ou superiores a 0,20 MPa para argamassas de uso interno. Assim, verifica-se na Tabela 2 que as argamassas de solo-cimento adicionadas de incorporador de ar ou de cal hidratada na proporção máxima de 0,6 apresentaram aceitabilidade para uso como argamassa de revestimento interno de construções com terra.

Quanto ao tipo de ruptura no ensaio de aderência à tração, as argamassas de solo-cimento de revestimento apresentaram, em sua maioria, rupturas do tipo adesiva (Figura 3), o que, segundo Carasek (2007) são rupturas ocorridas na interface argamassa/substrato. Logo, apresentam potencial para ocorrência de manifestações patológicas caso obtenham valores abaixo dos recomendados por norma.

Figura 3 – Ruptura na interface bloco/argamassa de revestimento (adesiva)



Fonte: Autoras

Na Tabela 2, salvo o traço com alta proporção de cal, os valores de resistência de aderência das argamassas de solo-cimento não sofreram alterações significativas pelo uso da cal hidratada ou do incorporador de ar. O fator preponderante foi a classificação do traço, ou seja, quanto maior foi a proporção de solo, menor foi a aderência alcançada pelas argamassas.

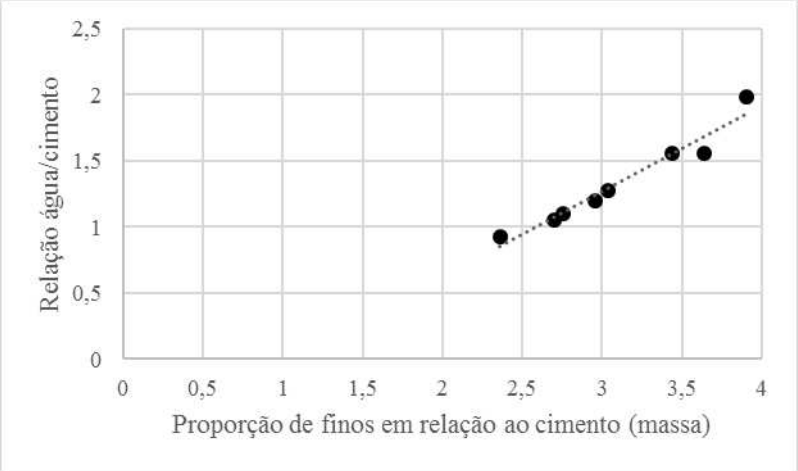
Observa-se na Tabela 2 que os traços de argamassas adicionadas de cal hidratada apresentaram elevada suscetibilidade à fissuração em seus revestimentos (Figura 4b), enquanto que as argamassas com aditivo químico se apresentaram estabilizadas, com aparecimento nulo de fissuras (Figura 4a). O aditivo incorporador de ar reduziu o consumo de água na produção das argamassas, portanto, acredita-se que há menos água livre na mistura para ser evaporada, diminuindo, assim, a variação volumétrica durante a secagem das argamassas com solo-cimento adicionadas de incorporador de ar. A Figura 5 mostra que quanto maior a proporção de finos na argamassa, maior é seu consumo de água.

Figura 4 - (a) Revestimento com suscetibilidade a fissuração nula; (b) Revestimento fissurado.



Fonte: Autoras

Figura 5 – Relação entre a proporção de finos na argamassa e o consumo de água da mistura



Fonte: Autoras

O traço de cimento:solo de 1:4 com aditivo incorporador de ar, por sua vez, apresentou baixa suscetibilidade à fissuração e boa resistência de aderência a tração, portanto foi escolhido para a reparação no painel revestido e ensaiado na 1º Etapa da pesquisa, com o intuito de verificar sua compatibilidade com o substrato de terra, resistência de aderência e capacidade de reparo. A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de solo-cimento para reparo.

Tabela 3 – Resistência de aderência à tração da argamassa de solo-cimento de reparo

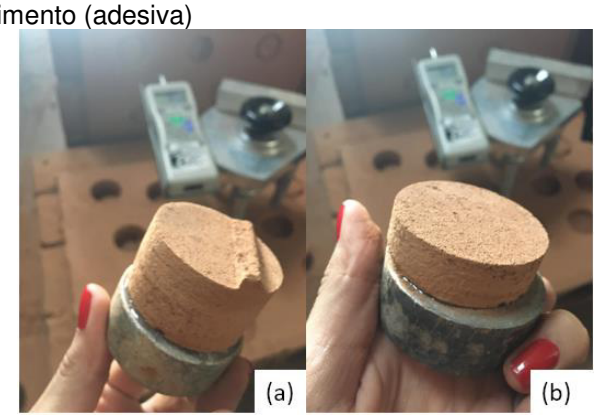
Corpo de prova	Resistência de aderência à tração (MPa)	Local de Ruptura
1	0,105	Bloco/argamassa
2	0,062	Entre argamassas
3	0,111	Cola/Argamassa
4	0,103	Entre argamassas
5	0,116	Bloco/argamassa
6	0,172	Entre argamassas

Fonte: Autoras

A resistência média de aderência à tração da argamassa de reparo foi de 0,11 MPa, com desvio padrão de 0,03 e coeficiente de variação de 31,73%, apresentando uma queda de 39,77% na resistência de aderência quando comparada com a resistência da argamassa de revestimento aplicada sobre o substrato de alvenaria de blocos de solo cimento (0,28 MPa). Este desempenho já era esperado, visto que, apesar das superfícies onde foram aplicadas as argamassas de solo-cimento serem compostas pelo mesmo material - terra estabilizada, o substrato (revestimento de argamassa de solo-cimento) já havia sofrido fissuração e rompimentos nos ensaios executados na 1ª etapa da pesquisa, o que leva este revestimento a apresentar diferentes deformações da camada de argamassa de reparação. Segundo Reddy e Kumar (2011), o comportamento mecânico típico de paredes de terra apresenta uma significativa variação no módulo de elasticidade, podendo ser mínimo de 800 MPa até 6400 MPa.

Destaca-se que a capacidade de aderência das argamassas deve ser também avaliada pelo processo de tipo de ruptura no ensaio de aderência a tração, sendo observado que os corpos de provas situados no centro do painel reparado romperam-se na interface bloco/argamassa de revestimento, configurando ruptura tipo coesiva (Figura 6a); já os corpos de provas situados nas bordas do painel reparado, romperam-se na interface entre as argamassa de revestimento e de reparo, característico de ruptura tipo adesiva (Figura 6b). Esses tipos de rupturas indicam potencial capacidade de aderência das argamassas de solo-cimento para reparação, visto que se as rupturas fossem na interface cola-argamassa, se perceberia a presença de pulverulência e uma inadequada resistência superficial do revestimento.

Figura 6 - (a) Ruptura na interface bloco/argamassa de revestimento (coesiva); (b) Ruptura na interface argamassa de reparo/revestimento (adesiva)



Fonte: Autoras

A argamassa de solo-cimento de reparo não apresentou fissuras, desprendimentos ou outras manifestações patológicas, demonstrando uma boa compatibilidade com a base de solo-cimento, corroborando resultados de Gomes et al. (2013), no sentido de que, quanto mais semelhante for a composição da argamassa de reparo e sua base, melhor será seu comportamento frente a retração por secagem.

4. CONCLUSÕES

A utilização de argamassas de solo-cimento é uma alternativa viável e adequada para a busca do melhor desempenho de reparação de construções com terra. Foi verificada a existência de compatibilidade físico-mecânica entre o suporte de terra e a argamassa de solo-cimento de reparo, sendo indicada a proporção 1:4 (cimento:solo, em massa) aditivada com incorporador de ar, pois a mesma não apresentou problemas significativos de ruptura no processo capacidade de aderência à tração e tampouco suscetibilidade a fissuração durante a secagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

BURROUGHS, S. **Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization.** Journal of Materials in Civil Enginnering, v.20, n.3, p. 264-73, 2008.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Isaia, G, C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: Argamassas. São Paulo: IBRACON, 2007, 2v, Cap. 26, p. 863-904.

CID, J.; MAZARRÓN, F. R.; CAÑAS, I. **Las normativas de construcción com tierra en el mundo.** Informes de la Construcción. v. 63, p 159-169, 2011.

FERREIRA, G. C. S.; JÚNIOR, A. L. M. **Cola à base de PVA e argamassa de solo-cimento como alternativas para o assentamento de alvenaria de tijolos maciços de solo-cimento.** Revista Engenharia Agrícola, v.31, n.2, p.237-248, 2011.

GATTESCO, N.; BOEM, I.; A. Dudine, A. **Diagonal compression tests on masonry walls strengthened with a GFRP mesh reinforced mortar coating.** Bull Earthquake Eng, v. 13, p. 1703–1726, 2015.

GOMES, M. I.; FARIA, P. **Repair mortars for rammed earth constructions.** PROCEEDINGS OF THE 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS.

Freitas V.P., Corvacho H. and Lacasse (eds), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011, Portugal, Volume 2, 689-696.

GOMES, M. I.; GONÇALVEZ, T. D.; FARIA, P. **The compatibility of earth-based repair mortars with rammed earth substrates.** 3rd HISTORIC MORTARS CONFERENCE, 2013, Glasgow.

KANAN, M. I. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal.** Brasília: Iphan / Programa Monumenta, 2008. 172p.

MATEUS, L. P.; VEIGA, M. R.; de BRITO J. **Caracterização de argamassas de proteção exterior de suportes em terra compactada.** In: XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção. 2015. Portugal. Anais. Portugal: ALCONPAT, 2015. Cdrom.

MILANI, A. P. S.; DIAS, F. G. R. **Argamassas de solo-cimento para reabilitação de revestimento de construções com terra.** Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT, 2016, Belém do Pará.

OLIVEIRA, T.; BECK, M. H.; ESCOSTEGUY, P. V.; BORTOLUZZI, E. C.; MODOLO, M. L. **The effect of the substitution of hydrated lime with phyllite on mortar quality.** Applied Clay Science. v. 105–106, p. 113–117, 2015.

REDDY, B. V. V.; GUPTA, A. **Tensile Bond Strength of Soil-Cement Block Masonry Couplets Using Cement-Soil Mortars.** Journal of Materials in Civil Engineering, v.18, n.1, p.36-45, 2006.

REDDY, B. V.; KUMAR, P. P. **Cement stabilised rammed earth.** Part B: compressive strength and stress–strain characteristics. Materials and Structures, v.44, p.695–707, 2011.

RODRIGUES, R. **Caderno de conservação preventiva e preservação arquitetônica.** Rio de Janeiro: Instituto Cultural Cidade Viva. 2008. 60 p.

SYRMAKEZIS, K.; MAVROULI, O.; PAPAEVAGGELIOU, P.; AGGELAKOPOLULOU, E.; BAKOLAS, A. ; MOROPOULOU, A. **Finite element analysis and fragility curves for the evaluation of restoration mortars behavior regarding the earthquake protection of historic structures.** Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v.54, p.61–65, 2013.

VERALDO, A. C.; YUBA, A. N.; MILANI, A. P. S. **Procedimentos expeditos para medição in loco de patologias de paredes de taipa.** In: LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES. 1. 2015. Portugal. Proceedings…Portugal, EUROELECS 2015.