

CÓDIGO 188**CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA, MECÂNICA E FÍSICA DE PAREDES DE ALVENARIA DE GRANITO DO NÚCLEO URBANO ANTIGO DE VISEU, PORTUGAL****Domingues, José C.¹; Ferreira, Tiago M.²; Negrão, João³; Vicente, Romeu⁴**

1: Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Coimbra
e-mail: jcarl.domingues@gmail.com

2: ISISE - Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho
e-mail: tmferreira@civil.uminho.pt, web: <http://tmferreira.weebly.com>

3: Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Coimbra
e-mail: jhnegrao@dec.uc.pt

4: RISCO - Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro
e-mail: romvic@ua.pt

PALAVRAS CHAVE: Núcleos urbanos antigos; Alvenaria de granito; Caracterização mecânica de alvenaria; Campanha experimental *in situ*; Ensaio de macacos planos.

RESUMO

A adequada caracterização construtiva e mecânica das paredes de alvenaria de pedra constitui um passo essencial na definição de estratégias de intervenção conducentes à salvaguarda do edificado presente nos núcleos urbanos antigos, em que a grande maioria dos elementos verticais de suporte é deste tipo.

A realização de ensaios destrutivos, neste contexto, é normalmente desaconselhável, impondo-se a realização de procedimentos semi- ou não-destrutivos que permitam obter, com o mínimo de dano possível, os dados a utilizar nos modelos de análise estrutural para aferição da segurança.

Neste artigo apresentam-se os resultados de uma campanha de caracterização tipológica e experimental *in situ* de paredes de alvenaria de granito presentes no núcleo urbano antigo de Viseu. A análise levada a cabo pretende contribuir para a identificação das tipologias e estimativa das propriedades mecânicas de paredes de alvenaria de pedra presentes no núcleo antigo de Viseu, com vista a informar a intervenção estrutural neste edificado. As propriedades mecânicas das paredes foram estimadas com recurso à técnica de macacos planos, tendo sido estas, adicionalmente, alvo de uma descrição e enquadramento tipológicos, com vista a identificar as técnicas construtivas presentes e melhor compreender a informação obtida experimentalmente.

1. INTRODUÇÃO

Em intervenções sobre edifícios existentes, é da maior importância dispor de informação que represente, de forma fiável, tanto o sistema estrutural como as propriedades dos materiais [1]. Como

princípio geral, as hipóteses assumidas nos modelos de cálculo, em termos de propriedades resistentes e leis constitutivas, deverão replicar o mais fidedignamente possível as características dos materiais, sob pena de se assumirem pressupostos irrealistas que resultem quer em falta de segurança (se a capacidade resistente for sobrestimada), quer em intervenções desnecessárias, antieconómicas ou excessivamente intrusivas (se a capacidade resistente for subestimada) [2]. Isto é ainda mais relevante no caso dos edifícios cujos elementos resistentes verticais consistem em paredes de alvenaria de pedra, situação predominante nos núcleos urbanos antigos portugueses, devido quer à variabilidade das propriedades mecânicas desta tecnologia construtiva (devida não apenas às características dos seus componentes, mas também à forma como os mesmos são dispostos), quer à degradação que porventura tenham sofrido ao longo do tempo. No entanto, a escassez de dados acerca do comportamento mecânico da alvenaria de pedra é uma realidade com a qual os projectistas geralmente se deparam quando lidam com intervenções em construções antigas. Por outro lado, e no caso de edifícios inseridos em conjuntos urbanos de valor patrimonial, a realização de ensaios destrutivos é normalmente desaconselhável, impondo-se a realização de procedimentos semi- ou não-destrutivos que permitam obter, com o mínimo de dano possível, os dados a utilizar nos modelos de análise estrutural para aferição da segurança.

Assim, neste artigo apresenta-se uma campanha de caracterização tipológica e experimental *in situ* de paredes de alvenaria de granito presentes no núcleo urbano antigo de Viseu. A análise realizada pretende contribuir para a identificação das tipologias e estimativa das propriedades mecânicas de paredes de alvenaria de pedra de granito presentes no núcleo antigo de Viseu, com vista a informar a intervenção estrutural neste edificado. Importa salientar a ausência na literatura de informação relativa às propriedades mecânicas das paredes de alvenaria presentes neste núcleo urbano antigo. As propriedades mecânicas das paredes foram estimadas com recurso à técnica de macacos planos. As paredes foram igualmente alvo de uma descrição e enquadramento tipológicos, com vista a, por um lado, identificar as técnicas construtivas presentes, e, por outro, melhor compreender a informação obtida com o ensaio experimental.

2. DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

Os edifícios estudados são propriedade da Câmara Municipal de Viseu, e foram seleccionados para incorporar a primeira fase do projecto Viseu Património [3], com o propósito de acolherem intervenções que se assumam como exemplares do ponto de vista da reabilitação do edificado e ilustrativas de boas práticas de preservação do património. Importa referir que a selecção das paredes a caracterizar foi grandemente condicionada por limitações em termos de acesso.

2.1 Edifício do Orfeão de Viseu

Localizado no número 149 da Rua Direita, este edifício acolheu a sede do Orfeão de Viseu entre 9 de Dezembro de 1955 e 7 de Março de 2006. Trata-se de um edifício de dois pisos, com entrada principal pela Rua Direita, para o piso térreo, e pela Rua Senhora da Boa Morte, para o piso superior, onde se encontra o salão principal. Estruturalmente, segue a tecnologia habitual à data da sua construção, com paredes resistentes de alvenaria de pedra e pavimento e cobertura em madeira (Figura 1 (a)).

2.2 Edifício das Águas de Viseu

O imóvel data dos anos 20 do século passado e ocupa três frentes, confrontando com a rua Dr. Luís Ferreira, a Rua D. Duarte e a Travessa de São Domingos (Figura 1 (b) e (c)). É composto por rés-do-chão (em tempos, com função comercial), três andares e uma cave. A designação “Águas de Viseu” deve-se a estar prevista a instalação dos Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento neste edifício. A Sociedade de Reabilitação Urbana Viseu Novo classificou este edifício como imóvel de “relevante valor arquitectónico e patrimonial”.



Figura 1: Fachadas dos edifícios estudados: (a) edifício do Orfeão de Viseu; e (b) edifício das Águas de Viseu, visto da Rua do Comércio, e (c) visto da Rua D. Duarte.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E TIPOLOGICA

3.1 Edifício do Orfeão de Viseu

Foi caracterizada uma parede interior, resistente, com uma espessura de 50 cm, localizada no salão nobre do 1.º piso e paralela à fachada principal (Figura 2). A alvenaria de pedra encontra-se à vista, sendo possível observar a presença de pedras de granito de cor acinzentada, assentes com argamassa de cor creme. Verifica-se a existência de pedras com faces quer marcadamente rectangular, com um rácio comprimento/altura aproximadamente igual a três, quer aproximadamente quadrangular. Constata-se uma predominância de comprimentos em torno de 70 cm, para as maiores pedras rectangulares, e de cerca de 20 cm, para as pedras mais quadrangulares. O assentamento apresenta alguma irregularidade. A presença de calços de assentamento é pouco significativa. Salienta-se que, devido ao refechamento das juntas, a dimensão aparente das pedras pode não corresponder à sua real dimensão, resultado da sobreposição de argamassa no seu contorno.



Figura 2: Parede caracterizada no edifício do Orfeão de Viseu.

Relativamente à secção transversal, conclui-se tratar-se de uma parede de duas folhas, com fraco a razoável imbricamento, excluindo-se, em todo o caso, a existência de um núcleo central de piores qualidades. Esta última conclusão, em especial, foi reforçada por uma outra observação, com recurso a videoscopia, do interior da parede de fachada desta divisão, que forneceu indicações consistentes com aquela.

3.2 Edifício das Águas de Viseu

Tal como no edifício anterior, foi caracterizada uma parede resistente e interior, desta vez localizada no rés-do-chão, e perpendicular à parede da fachada que confronta com a Rua D. Duarte (Figura 3 (a)). A alvenaria de pedra encontrava-se igualmente à vista, sendo possível constatar a presença de pedras de granito de diferentes tonalidades, desde o cinzento ao amarelado e rosa. A argamassa, de cor acinzentada, parece evidenciar refechamento recente. As pedras são de forma e dimensão irregulares. O assentamento apresenta marcada irregularidade, por vezes com disposição da maior dimensão da pedra na direcção vertical. A presença de calços de assentamento é pouco significativa.

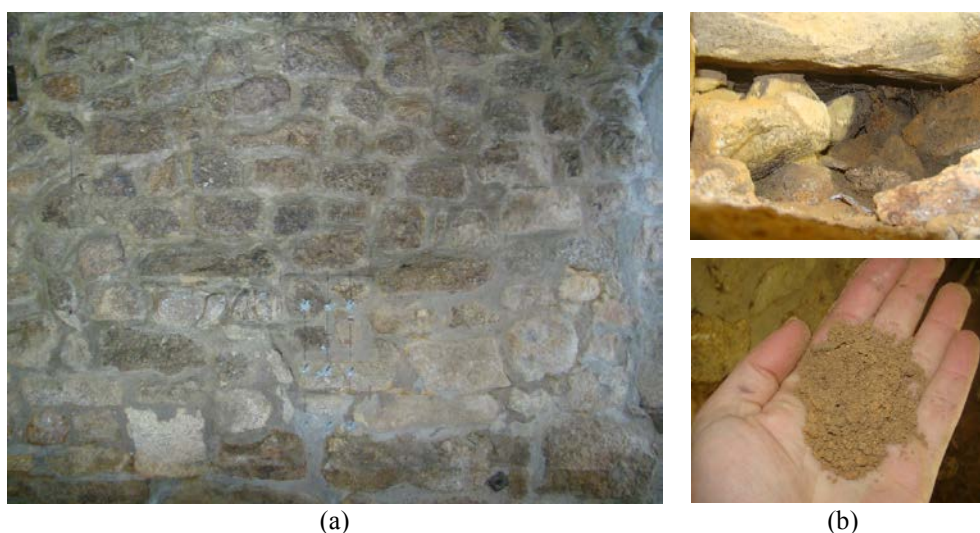


Figura 3: Parede caracterizada no edifício das Águas de Viseu: (a) alçado; e (b) preenchimento do núcleo interior.

Quanto à secção transversal, constatou-se a existência de uma parede de duas folhas exteriores, com um núcleo interior de piores qualidades, sem coesão (alvenaria *a sacco*). Tanto a folha interior como o núcleo central apresentam uma espessura de 25 cm. Não foi possível medir a espessura da folha exterior, afigurando-se, no entanto, como plausível que seja igualmente de 25 cm. Estar-se-ia assim na presença de uma parede com uma espessura total de 75 cm, ao nível do rés-do-chão. Quanto ao núcleo interior, foi possível verificar o seu preenchimento com pedras de granito, de forma grosseira e dimensões entre 10 e 15 cm, dispostas de forma aleatória, e ainda com terra e lascas de madeira (Figura 3 (b)).

4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA — ENSAIO DE MACACOS PLANOS

O ensaio de macacos planos encontra-se descrito nas normas americanas ASTM C1196-91 [4] e ASTM C1197-91 [5], bem como nas recomendações europeias RILEM MDT. D. 4 [6] e RILEM MDT. D. 5 [7]. Nesta campanha foram utilizados macacos planos semicirculares, da marca BOVIAR, modelo MPA-A, com dimensões 350x260x4 mm e pressão máxima de utilização de 60 bar. Para todos os macacos planos utilizados nesta campanha (provenientes do mesmo lote) foi assumido um valor de k_m igual a 0.902, de acordo com o indicado no respectivo certificado de calibração. O sistema hidráulico transmissor de pressões utilizado consiste numa bomba ENERPAC, com capacidade para 500 bar e depósito de capacidade de 3 litros, e manómetros para controlo da pressão. A ligação entre o sistema transmissor hidráulico e os macacos planos é efectuada por meio de tubagem de altas pressões. Para medição da deformação da alvenaria foram utilizados potenciómetros da marca GEFRAN, com fixação por rótulas auto-alinhantes, precisão de 10^{-3} mm e curso de 50 mm. Para a fixação dos potenciómetros na parede, foram empregues varões roscados, com 5 mm de diâmetro, aplicados com bucha química corrente, numa profundidade de 50 mm.

De modo a estimar a área de contacto entre o macaco plano e a alvenaria, adoptou-se o procedimento sugerido em [8]: interpôs-se, entre cada uma das faces do macaco e a alvenaria circundante, uma folha de papel químico envolta em duas folhas de papel. As zonas em que há contacto entre o macaco plano e a alvenaria ficam assim indicadas no papel, sendo possível medir a respectiva área por tratamento informático da imagem (Figura 4 (a)). Devido ao mau estado em que se encontravam alguns registos químicos após a retirada, e tendo em conta a deformação observável nos macacos planos, optou-se nesta ocasião por estimar o coeficiente k_a por observação visual dos macacos.

Foram realizados dois ensaios simples e um ensaio duplo no edifício do Orfeão de Viseu, e um ensaio simples e dois ensaios duplos no edifício das Águas de Viseu (Figura 4 (b) e (c)). Importa referir que, apesar de as mesmas poderem afectar os resultados obtidos [9], não foi possível controlar as condições de humidade e temperatura das paredes ensaiadas. Como a distância inicial entre pontos de referência não é atingida simultaneamente nos vários alinhamentos (devido, entre outros factores, a diferentes distribuições de pedra e argamassa ao longo destes), considerou-se como valor de reposição da configuração inicial a média dos valores que restauram a deformação de cada alinhamento.

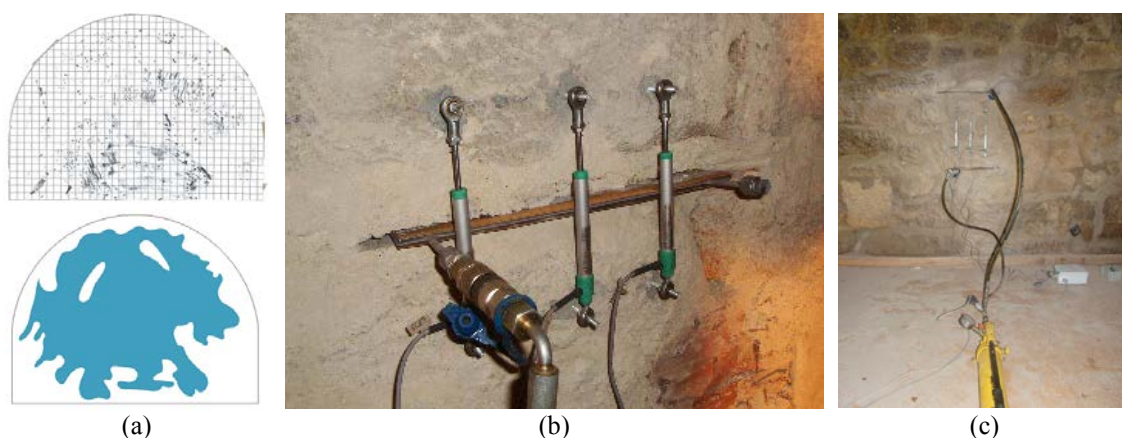


Figura 4: Ensaio de macacos planos: (a) medição da área de contacto entre o macaco plano e a alvenaria; (b) ensaio de macacos planos simples no edifício do Orfeão de Viseu; e (c) duplo, no edifício das Águas de Viseu.

Na Tabela 1 indicam-se os resultados mais importantes da campanha experimental, nomeadamente a tensão instalada *in situ* (σ_i), a tensão máxima atingida (σ_{max}) durante o ensaio de macacos planos duplo, que constitui um limite inferior da capacidade resistente da parede, e o módulo de elasticidade inicial, E_0 , afectado de um factor de redução de 15 % [5].

Tabela 1 – Resultados dos ensaios com macacos planos.

	Orfeão de Viseu			Águas de Viseu		
	Simples 1	Simples 2	Duplo 1	Simples 1	Duplo 1	Duplo 2
σ_i (kPa)	68	70	-	99	-	-
σ_{max} (kPa)	-	-	915	-	1098	1119
E_0 (MPa)	-	-	1994	-	833	1716

Na Tabela 2 indicam-se os valores da tensão máxima atingida e de módulo de elasticidade obtidos em outras campanhas experimentais realizadas em paredes de alvenaria de granito, em Portugal, *in situ* [10] e em laboratório, sobre painéis de paredes recolhidos de edificios existentes [11].

Tabela 2 – Valores da tensão máxima atingida e de módulo de elasticidade obtidos em outras campanhas experimentais realizadas em alvenarias de granito, em Portugal.

	σ_i (kPa)	E_0 (MPa)
Miranda (2011) [10]	49 – 840	800 – 3300
Almeida (2013) [11]	2500 – 3940	220 – 320

Conclui-se que os valores obtidos nesta campanha experimental se enquadram no intervalo de valores obtidos em outras campanhas de caracterização mecânica, de paredes de alvenaria de granito, no território português. Importa referir, no entanto, as diferenças entre as paredes ensaiadas nesta campanha e as paredes analisadas nas restantes campanhas, nomeadamente ao nível de tipologia (sobretudo número de folhas e ligação entre si), um factor que deverá ser tido em conta na comparação de valores das propriedades mecânicas de paredes de alvenaria de pedra.

5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, FÍSICA E VISUAL DA PEDRA

No edifício das Águas de Viseu foi possível recolher algumas amostras de pedra, que viriam a ser posteriormente caracterizadas experimentalmente com o objectivo de estimar as propriedades físicas e mecânicas do granito empregue, nomeadamente a sua resistência à compressão. Para isto, foi preparada em laboratório uma amostra de granito, de modo a proceder a um ensaio de compressão uniaxial, que foi realizado no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e conduzido de acordo com a norma NP EN 1926 [12]. Na Figura 5 apresenta-se a carote ensaiada, o esquema de ensaio adoptado e a aparência final do provete. Na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos, nomeadamente a massa volúmica do provete (γ) e sua resistência à compressão (f_b).

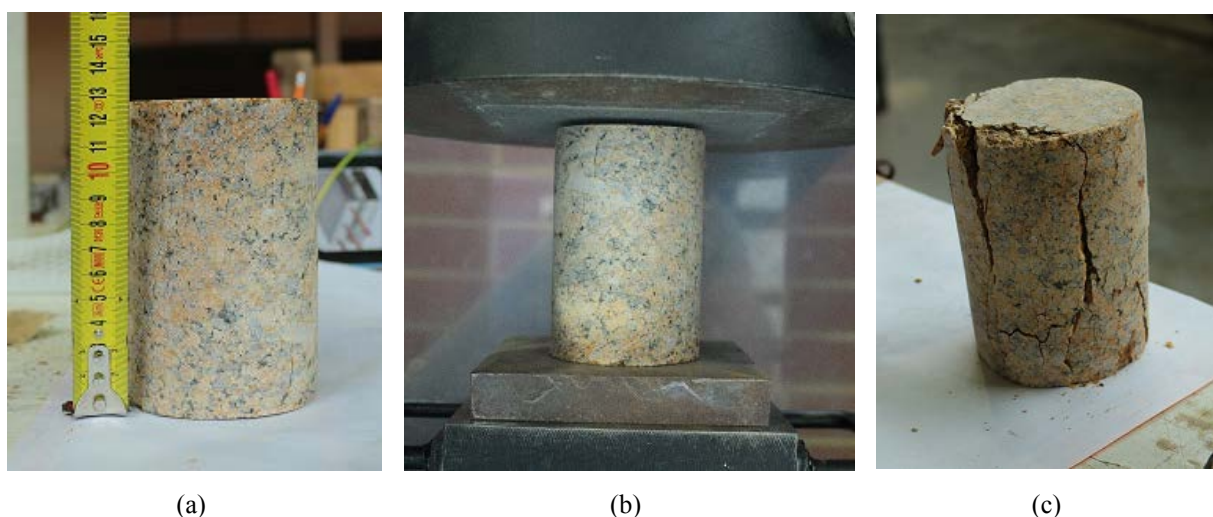


Figura 5: Ensaio de compressão uniaxial: (a) carote ensaiada; (b) esquema de ensaio adoptado; e (c) aparência final do provete.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão uniaxial.

L (mm)	D (mm)	m (kg)	γ (kN/m ³)	f_b (N/mm ²)
126	84	1.77	24.85	32.7

Conclui-se que o valor obtido neste ensaio se enquadra no intervalo expectável para granitos antigos, se bem que próximo do seu limite inferior [13] [14]. Importa no entanto realçar que, por se tratar de um único ensaio, a sua representatividade, em termos do que serão as propriedades mecânicas da pedra existente no local de recolha, não se encontra assegurada.

A observação visual das várias amostras de granito recolhidas confirmou estar-se em presença de diversos tipos de granitos. Foi possível constatar, nomeadamente, a existência de granitos porfiróides, de grão grosseiro, com presença de moscovite (branca), biotite (castanha) e fenocristais de feldspato, bem como de granitos gnaíssicos (visível na orientação dos minerais escuros), de grão médio, igualmente com presença de moscovite e biotite. Em ambas as amostras analisadas se verificou tratar-se de granitos bastante alterados, o que era visível, nomeadamente, na tonalidade amarelada existente em redor dos cristais de biotite, denotando a oxidação dos óxidos ferrosos.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho constituiu um primeiro contributo com vista à caracterização tipológica e mecânica das paredes de alvenaria de pedra de granito presentes no núcleo antigo da cidade de Viseu. A caracterização compreendeu a observação visual do alçado e da secção transversal, a realização de ensaios de macacos planos e a caracterização mecânica da pedra.

Identificaram-se duas tipologias de parede: parede de duas folhas com fraco a razoável imbricamento, de pedras com faces marcadamente rectangular ou aproximadamente quadrangular; e parede de duas folhas exteriores, com um núcleo interior de piores qualidades, sem coesão (alvenaria *a sacco*), constituídas por pedras de forma e dimensão irregulares. Os valores das propriedades mecânicas obtidos nesta campanha experimental enquadram-se no intervalo de valores obtidos em outras campanhas de caracterização mecânica de paredes de alvenaria de granito no território português. O valor obtido no ensaio de caracterização mecânica da pedra empregue enquadra-se no intervalo expectável para granitos antigos, se bem que próximo do seu limite inferior. Verificou-se a presença de diversos tipos de granitos, nomeadamente granitos porfiróides, de grão grosseiro, com presença de moscovite, biotite e fenocristais de feldspato, e granitos gnáissicos, de grão médio, igualmente com presença de moscovite e biotite.

Importa referir que, sendo este um primeiro estudo de caracterização das paredes de alvenaria de pedra de granito do núcleo antigo de Viseu, e tendo a escolha das paredes estudadas neste trabalho sido condicionada em termos de acesso, se impõe a realização de campanhas mais alargadas para caracterização do parque edificado da zona antiga viseense.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ICOMOS. Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios, Paris, 2003.
- [2] Augenti, N., Parisi, F., Acconcia, E. MADA: Online experimental database for mechanical modelling of existing masonry assemblages. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisboa, 2012.
- [3] Câmara Municipal de Viseu. *Plano de Ação VISEU PATRIMÓNIO 2016-2024*. <https://www.cm-viseu.pt/index.php/diretorio/viseu-patrimonio> (13/10/2017).
- [4] ASTM. In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements. C 1196-91, American Society for Testing and Materials, USA, 1991.
- [5] ASTM. In-situ measurement of masonry deformability properties using the flat-jack method. C 1197-91, American Society for Testing and Materials, USA, 1991.
- [6] RILEM. RILEM Recommendation MDT.D.4: In-situ stress tests based on the flat jack. International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures. *Materials and Structures*, Vol. 37 (2004).
- [7] RILEM. RILEM Recommendation MDT.D.5: In-situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack. International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures. *Materials and Structures*, Vol. 37 (2004).
- [8] Lourenço, P. and Gregorczyk, P. A review on flat-jack testing. *Revista do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho*, Vol. 9 (2000).

- [9] Vicente, R. Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana: Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2008.
- [10] Miranda, L. Ensaios acústicos e de macacos planos em alvenarias resistentes. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2011.
- [11] Almeida, C. Paredes de alvenaria do Porto: Tipificação e caracterização experimental. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2013.
- [12] IPQ. Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à compressão. NP EN 1926. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2000.
- [13] Casella, G. *Gramáticas de pedra: Levantamento de tipologias de construção murária*. Centro Regional de Artes Tradicionais, Porto, 2003.
- [14] Vasconcelos, G. Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.