

Ancoragem química em reabilitação de edifícios antigos de alvenaria

Chemical anchors in rehabilitation of ancient masonry buildings

Bárbara Campelo
Vasco Appleton
Nuno Travassos
Teresa Santos

Resumo

Em Lisboa existem numerosos projetos de reabilitação de edifícios de alvenaria antiga. É comum este tipo de projetos requerer várias intervenções no edificado existente e reforços estruturais que implicam ligações da estrutura existente a novos elementos através da selagem de varões.

Os grouts cimentícios são regularmente utilizados neste tipo de aplicações. Este método é moroso e a sua fiabilidade depende significativamente do instalador (Cattaneo, 2019). Adicionalmente não está considerado nas Aprovações/Avaliações Técnicas Europeias (ETAs).

Pela incerteza associada à resistência deste tipo de alvenarias, e na procura de um método mais produtivo e menos influenciado por fatores de instalação a Hilti realizou, em parceria com a A2P, um conjunto de mais de 60 ensaios em duas obras com alvenarias distintas características da cidade de Lisboa. O intuito destes testes foi comparar o desempenho dos grouts cimentícios com sistemas de ancoragem química de injeção (HIT HY 170 e HIT RE 100), especialmente quando sujeitas a cargas ao corte.

Abstract

In Lisbon there are numerous rehabilitation projects of ancient masonry buildings. It is common for this type of projects to require several interventions in the existing building including structural reinforcements that imply connecting the existing structure to new elements through either rebars or threaded rods, both post-installed.

Cementitious grouts are regularly used in this type of application. Grout technology is time-consuming, and its reliability depends significantly on the installer (Cattaneo, 2019). Additionally, it is not considered in the European Technical Approvals/Assessments (ETAs).

Due to the uncertainty in terms of resistance and quality of masonry elements and in search of a more productive method and less influenced by installation factors, Hilti carried out, in partnership with A2P, over 60 tests in two jobsites with distinct traditional rubble masonries in Lisbon. The purpose of these tests was to compare the performance of cementitious grouts and chemical injection anchorage systems (HIT HY 170 and HIT RE 100), especially when subjected to shear loads.

Palavras-chave: Ancoragem química / Reforço estrutural / Reabilitação / Sistemas de injeção / Grout

Keywords: Chemical anchor / Structural reinforcement / Rehabilitation / Injection systems / Grout

Bárbara Campelo

Hilti
Portugal
barbara.campelo@hilti.com

Vasco Appleton

A2P
Portugal
vasco.appleton@a2p.pt

Nuno Travassos

A2P
Portugal
nuno.travassos@a2p.pt

Teresa Santos

Hilti
Portugal
teresa.santos@hilti.com

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

CAMPELO, B. [et al.] – Ancoragem química em reabilitação de edifícios antigos de alvenaria. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 13. ISSN 2183-8488. (julho 2020) 37-44.

1 Introdução

A indústria da construção, tal como tantas outras, atravessa nos dias de hoje um período de transformação a nível tecnológico. Essa transformação verifica-se desde a fase de conceptualização e planeamento do projeto com a adoção de metodologias como o BIM (Building Information Modelling) até à execução dos projetos com a utilização de métodos inovadores que trazem ganhos de produtividade.

Em paralelo, nos últimos 30 anos a Comunidade Europeia tem vindo a desenvolver um conjunto de normas para o setor da Construção que tem elevado o nível de exigência do sector. A publicação do Eurocódigo 2 parte 4 em 2019 (ou norma EN 1992-4) veio unir numa só norma o dimensionamento de diferentes tipos de ligações (químicas, mecânicas, *cast-in*, etc.) em diferentes condições (cargas estáticas, cargas sísmicas, exposição ao fogo, etc.) em estruturas de betão. Em contraste, o nível de conhecimentos de dimensionamento e construção em estruturas de alvenaria está menos desenvolvido a nível europeu [1]. Por exemplo, o Eurocódigo 8 (referente ao dimensionamento sísmico) define orientações específicas para o dimensionamento de ancoragens/selagens sob ação sísmica em betão (capítulo 5.6) mas não fornece este nível de detalhe para ancoragens/selagens em alvenaria [2]. A construção e reabilitação de edifícios em alvenaria sofre ainda de outra incerteza – a elevada variabilidade das características e resistência de diferentes tipos de alvenaria. Em Lisboa conforme a época e zona geográfica pode-se encontrar edifícios de alvenaria muito distintos entre si (Figura 1).



Figura 1 Exemplos de diferentes tipos de alvenarias antigas de Lisboa, projetos A2P

Especificamente na zona de Lisboa, existem muitos projetos de reabilitação de edifícios de alvenaria antiga em que são necessárias várias intervenções no edificado existente e reforços estruturais, que implicam a conexão de novos elementos (e.g. varões de aço, quer

sejam varões roscados ou varões nervurados) à estrutura existente. Os grouts cimentícios são regularmente utilizados neste tipo de ligações.

Para além da baixa produtividade associada ao longo tempo de preparação dos grouts na fase de aplicação, a fiabilidade dos mesmos depende fortemente do instalador. A mistura em obra dos grouts cimentícios (e também outro tipo de grouts, como por exemplo os grouts epoxídicos) depende fortemente de mão humana conferindo ao processo falta de consistência e pouca fiabilidade [3]. Consequentemente este tipo de tecnologia (grouts) não está considerada nas normas europeias mais recentes para aplicações de ancoragem/selagem em alvenaria, nem a nível das normas em si, os Eurocódigos, nem a nível das certificações ETA (Aprovações/Avaliações Técnicas Europeias) (Figura 2).

	Aprovações Grouts			Aprovações Ancoragens Químicas de Injeção		
	Estático	Fogo	Sísmico	Estático	Fogo	Sísmico
Qualificação do Produto	e.g. EN 1504, EN 1881	?		EAD330499-00-0601 2018; EAD330087-00-0601 2018; TR 048 2016		
Dados para cálculo/design		?		ATE / ETA		
Norma de cálculo				EC2 2018; EOTA TR555 2018		

Figura 2 Comparação das aprovações europeias dos grouts e das ancoragens químicas de injeção

É importante também esclarecer alguma inconsistência na utilização do termo resina. O termo resina é frequentemente usado para ancoragens químicas de injeção (um dos tipos de produtos testados nestes ensaios), mas também para produtos completamente distintos utilizados para a reparação de fissuras de betão. Tal como os grouts estes produtos de reparação de betão não estão considerados nas normas europeias mais recentes para aplicações de ancoragem ou selagem. Adicionalmente, este tipo de produtos, pela sua composição e viscosidade, não consegue garantir a formação da ligação à alvenaria.

Pela variabilidade e baixa produtividade associadas à metodologia existente para as aplicações referidas, principalmente sob ações sísmicas, a Hilti realizou, em parceria com a A2P, um conjunto de ensaios em obras com alvenarias características da cidade de Lisboa [4]. O objetivo foi avaliar a *performance* das ligações quando sujeitas a cargas ao corte e comparar o grout cimentício SikaGrout®-213 com as soluções de ancoragem química Hilti (HIT HY 170 e HIT RE 100). Para tal, foi criado um modelo de ensaio que permitisse testar estas ligações em obra, como se poderá ver mais à frente.

Realizaram-se mais de 60 ensaios em duas obras, com alvenarias distintas, na zona do Beato e do Carmo, em Lisboa. As diferentes soluções (HIT HY 170, HIT RE 100 e grout cimentício SikaGrout®-213) foram testadas segundo as condições de aplicação previstas para cada produto.

2 Metodologia

2.1 Descrição da solução para ensaio de resistência ao corte em obra

A aplicação de reforço de paredes de alvenaria exige sobretudo cargas ao corte, sendo que a ação sísmica solicita ainda mais este tipo de cargas ao corte. Também a instalação de elementos singulares, como vigas, envolve a utilização de ligadores ao corte, quer sob ação de cargas estáticas, quer para ação sísmica. Consequentemente o foco deste estudo foi comparar resistência ao corte das diferentes tecnologias testadas.

Estes tipos de ensaios ao corte são bastante mais complexos de realizar, principalmente em obra. Atualmente não há uma metodologia padronizada para a sua realização o que exigiu a criação de um método próprio que permitisse testar os varões ao corte. O desenvolvimento desta metodologia foi inspirado no Anexo A do ETAG 029 [5] e também nos procedimentos publicados para testes de fixações em obra da Construction Fixings Association (CFA) do Reino Unido [6].

Com base nestas normas definiu-se um modelo de teste (Figuras 3 e 4) que utiliza um aparelho de ensaio à tração (usado pela Hilti em ensaios à tração de ancoragem/selagem em obra) de forma adaptada de modo a permitir testar cargas ao corte. O modelo de ensaio consistiu no seguinte:

- Equipamento para introdução da carga de teste ENERPAC RCH302 devidamente calibrado de acordo com o que está previsto no ETAG 029 (alínea a na Figura 3).
- Uma chapa-base, fixa com quatro ancoragens de diâmetro de 12 milímetros, seladas com a ancoragem química HIT HY 170 ou HIT RE 100, de forma a tornar esta chapa o mais imóvel possível. O equipamento de teste está apoiado nesta chapa-base (b na Figura 3).
- Alinhada com esta chapa base, a uma distância de cerca de 50 cm, é colocada uma outra chapa que tem no seu interior o varão que é testado ao corte e que circunda o varão (c na Figura 3). São colocadas adicionalmente uma porca e anilha para fixar o varão a ser testado à chapa, reduzindo possíveis efeitos de flexão ao varão a ser testado (d na Figura 3).
- Por fim é colocado um varão numa direção perpendicular às restantes ancoragens que é tracionado ao equipamento ENERPAC RCH302 (e na Figura 3). Esta ação de tração ao varão perpendicular faz com que a chapa que circunda o varão a ser testado se mova, provocando um esforço de corte no varão alvo de teste, ligador à alvenaria.

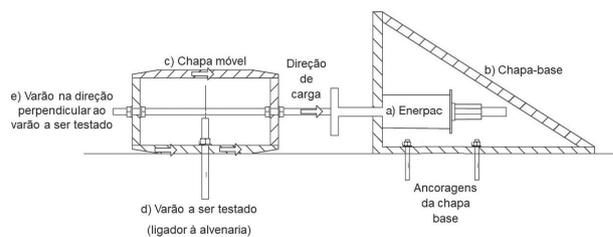


Figura 3 Modelo de ensaio ao corte - teórico



Figura 4 Modelo de ensaio ao corte - prático

Com este método de ensaio conseguiu-se então definir a carga de ensaio através do manómetro analógico do equipamento ENERPAC RCH302, que corresponde à carga de tração que está a ser exercida no varão que atravessa as duas chapas. O valor de cargas obtido foi aproximado em intervalos de 5 kN.

Procurou-se minimizar ao máximo a existência de desalinhamento no sistema de ensaio e com isso procurar garantir a mobilização do varão testado apenas com uma força de corte.

2.2 Descrição das condições de ensaio realizadas

Foram realizados ensaios em duas obras distintas, na zona do Beato e do Carmo, de forma a se testarem os diferentes produtos em alvenarias de pedra representativas da cidade de Lisboa.

As alvenarias encontradas na obra na zona do Beato são típicas do período “gaioleiro”, com blocos de pedra irregular de dimensão e constituição variável, tendo sido usadas pedras de boa qualidade, mais rijas (calcários) a par com outras de má qualidade, mais brandas (margas), com uma percentagem de argamassa na ordem de 20 a 30%. As alvenarias encontradas na zona do Carmo são também de pedra irregular de dimensão variada, mas de melhor qualidade, típicas do período pombalino, bem aparelhadas, com blocos unicamente de calcário, o que melhora substancialmente as características do conjunto bloco-argamassa (da alvenaria).

Como referido anteriormente, para estes ensaios foram seleccionadas três soluções: HIT HY 170, HIT RE100 e grout cimentício. As

soluções de HIT HY 170 e HIT RE 100 são resinas químicas de injeção para ancoragem/selagem de varões roscados ou nervurados (ETA-15/0297 [7] e ETA-15/0883 [8], respetivamente), não devendo ser confundidas com outro tipo de resinas que mais correntemente são utilizadas por exemplo na injeção de fissuras de betão. Como referido anteriormente, o grout cimentício usado foi o SikaGrout®-213.

Foram testados, para cada solução, varões roscados com $\varnothing_v = 10$ mm de diâmetro, de aço zincado, classe 5.8, com embebimentos variáveis, de acordo com a solução utilizada.

No que respeita ao diâmetro de furação \varnothing_f , nas soluções HIT foram seguidas as recomendações das ETAs de cada produto. Para diâmetro $\varnothing_v = 10$ mm de varão a furação a realizar é de $\varnothing_f = 12$ mm. O embebimento da ligação variou entre $h_{ef} = 150$ mm, $h_{ef} = 200$ mm e $h_{ef} = 250$ mm conforme os ensaios. Os furos foram realizados na direção horizontal, tendo sido seguidos todos os parâmetros de acordo com as fichas técnicas dos produtos. No caso do grout seguiu-se a recomendação do estudo de Cook de 2003 que sugere um diâmetro do furo \varnothing_f de 50 a 200 % do diâmetro do varão (Cook *et al.* 2003), tendo sido utilizado um diâmetro de $\varnothing_f = 20$ mm nestes ensaios. É de notar que o diâmetro de furação utilizado é inferior à camada mínima referida na ficha técnica do produto. Todos os ensaios de grout foram realizados com um embebimento de $h_{ef} = 250$ mm com uma ligeira inclinação descendente (cerca de 10° a 20°). A instalação dos grouts é feita tipicamente com uma ligeira inclinação para facilitar a aplicação do produto.

No primeiro conjunto de ensaios, realizado na zona do Beato, os produtos HIT HY 170 e HIT RE 100 foram testados com varões com embebimento de $h_{ef} = 250$ mm e com embebimento de $h_{ef} = 150$ mm. O embebimento mais curto foi testado com o intuito de avaliar o potencial de otimização da solução.

Em todos os ensaios na zona do Beato a preparação e aplicação das três soluções foram realizadas pela Field Engineer (FE) da Hilti. Estes procedimentos incluíram a mistura do grout de acordo com as instruções presentes na embalagem do produto.

No segundo conjunto de ensaios, na obra do Carmo, foi adotado um embebimento padrão de $h_{ef} = 200$ mm para todos os varões testados com HIT. Em relação à solução com grout, foi decidido fazer cinco ensaios em que a mistura foi feita pela mesma Field Engineer da Hilti, de acordo com as indicações presentes na embalagem do produto, e cinco aplicações com a mistura e aplicação realizada por um trabalhador do empreiteiro em obra. Neste caso não foram seguidos os requisitos previstos pelo fabricante, tendo sido adicionado à mistura mais cimento e areia, de acordo com o procedimento habitual na obra em questão.

Em complemento aos ensaios ao corte, neste segundo conjunto de ensaios foi registado o local de aplicação dos diferentes produtos, tendo sido anotado como pedra, quando a furação era efetuada no interior de uma pedra, e junta, quando a furação era efetuada na argamassa existente entre as pedras que constituem este tipo de alvenarias. Este registo foi utilizado para avaliar uma potencial influência do local exato da fixação nos resultados [9].

Na Tabela 1 podem ser consultados os parâmetros de aplicação que foram definidos em conjunto pela Hilti Portugal e pela A2P para a realização dos ensaios.

Tabela 1 Parâmetros de aplicação em obra

	Obra Beato	Obra Carmo
HIT HY 170 e HIT RE 100		
Diâmetro do varão \varnothing_v (mm)	10	
Diâmetro de furação \varnothing_f (mm)	12 (direção horizontal)	
Embebimento h_{ef} (mm)	150 e 250	200
Grout		
Diâmetro do varão \varnothing_v (mm)	10	
Diâmetro de furação \varnothing_f (mm)	20 (inclinação descendente de 10° a 20°)	
Embebimento h_{ef} (mm)	250	

Em todos os ensaios foram seguidos os procedimentos de instalação presentes nas ETAs dos produtos HIT HY 170 e HIT RE 100, incluindo o procedimento de furação com recurso a broca com rugosidade e de limpeza do furo que prevê a escovagem e sopragem do furo antes da aplicação do químico (ETA-15/0297 e ETA-15/0883, respetivamente).

Em relação ao grout, e uma vez que não existe informação técnica nesse sentido, foram adotados os mesmos procedimentos de aplicação e limpeza, embora os mesmos nem sempre se verifiquem em obra.

No momento da aplicação, foi usado o dispensador a bateria Hilti HDE 500-A22 para as soluções de ancoragem química HIT HY 170 e HIT RE 100, de acordo com as ETAs acima referidas.

Para a aplicação do grout a mistura foi feita dentro de um balde com recurso a um martelo da Hilti TE6-A ao qual foi acoplada uma pá misturadora que permitiu realizar a mistura do componente sólido com a água. A injeção do grout foi realizada com recurso a um funil, sendo o furo preenchido por efeito gravítico.

Adicionalmente foi feita uma avaliação teórica da reação das diferentes soluções ao fogo baseada em testes adicionais disponíveis da Unidade de Negócio de Ancoragens da Hilti Global.

3 Resultados

3.1 Descrição dos modos de rotura

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos nos três ensaios realizados, dois numa obra na zona do Beato e um terceiro numa obra na zona do Carmo, ambas em Lisboa.

Foram observados diversos comportamentos que poderão ser analisados de acordo com os modos de rotura previstos na norma EN 1992-4:2018 para “conceção e cálculo dos elementos de fixação para betão”. De referir que este documento se aplica a fixações em betão, material base muito distinto do tipo de alvenarias alvo

deste estudo. No entanto, sendo este documento um standard de mercado pareceu-nos ser a melhor norma para guiar a análise das ligações avaliadas nestes ensaios. Pode-se, então, distinguir 3 modos de rotura distintos (Figura 5):

- Efeito de alavanca: rotura das fixações devido a uma rotura do material base por efeito de alavanca no lado oposto à direção da carga (EN 1992-4, 2018 [1]);
- Rotura do aço: modo de rotura caracterizado pela fratura das peças do elemento de fixação em aço. Quando sujeito a esforços de corte, a resistência característica de um elemento de fixação isolado no caso de rotura do aço é dada na especificação técnica europeia de produto aplicável (EN 1992-4, 2018 [1]);
- Aderência: modo de rotura no qual a rotura ocorre na interface entre o material de aderência e o material de base ou entre o material de aderência e o elemento de fixação (rotura de aderência) e contém um cone de betão na extremidade superior (EN 1992-4, 2018 [1]).

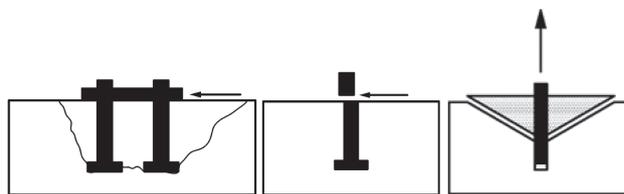


Figura 5 Modos de rotura por efeito de alavanca, rotura do aço e aderência, respetivamente (EN 1992-4, 2018 [1])

É importante salientar que o modo de rotura por corte seria o modo de rotura natural num ensaio de varões ao corte, porventura, associado ou não a algum esmagamento na zona adjacente ao varão. Contudo, tendo em conta a heterogeneidade da alvenaria, podem surgir durante o ensaio desalinhamentos face à configuração inicial do ensaio, potenciando mecanismos de alavanca e de aderência (este último comum no caso de um ensaio de tração). No entanto, estes desalinhamentos são a resposta normal do material base (alvenaria) quando solicitado, tendo em conta a diferente natureza dos seus componentes (alvenaria e argamassa), pelo que os ensaios refletem a realidade da amarração de varões nesse material.

3.2 Apresentação dos resultados

Ao todo foram realizados mais de 60 ensaios, de acordo com as condições mencionadas na secção anterior e cujos resultados estão sintetizados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Algumas ancoragens não foram passíveis de serem testadas por incompatibilidade geométrica entre o posicionamento das ancoragens e as chapas do modelo de ensaio.

Os resultados dos ensaios foram muito consistentes apesar de toda a incerteza associada a este tipo de alvenarias e a instalação ter sido feita por diferentes indivíduos (Field Engineer Hilti e trabalhador dos empreiteiros em obra). Também não se verificou uma influência em função do local da instalação (pedra vs. junta).

Foi observado que em todos os ensaios com a solução HIT o modo de rotura foi atingido com cargas ao corte superiores às do

grout. Mesmo nos ensaios com a solução HIT com 150 mm de embebedimento as cargas ao corte obtidas foram superiores às do grout (com 250 mm de embebedimento). Para as soluções HIT, a carga mínima ao corte para atingir o modo de rotura foi de 10 kN com embebedimentos de 150 mm e de 15 kN com 250 mm de embebedimento. Em mais de 30% dos ensaios com HIT a ligação falhou pelo elemento aço, o que demonstra a eficiência da solução HIT na selagem/amarração do varão.

Por sua vez, as ligações seladas com grout, com embebedimentos de 250 mm, atingem a sua rotura quase sempre por volta dos 5 kN (e excepcionalmente aos 10 kN), sendo que a falha da ligação está sempre associada ao fenómeno de perda de aderência, ou à rotura por efeito de alavanca ou à combinação destes dois modos. Em nenhum dos ensaios com o grout se verificou o modo de rotura pelo aço.

3.3 Avaliação da reação ao fogo

Adicionalmente, e por esta ser uma questão frequentemente levantada, foi realizada uma avaliação da reação ao fogo pela Unidade de Negócios de Ancoragem da Hilti Global das soluções HIT com base em testes existentes realizados nos laboratórios internos da Hilti e em laboratórios externos na Alemanha.

Para a aprovação de resistência ao fogo para as ETAs dos produtos usados nestes ensaios (HIT HY 170 e HIT RE 100) foram realizados testes à tração às ancoragens HIT rodeadas por um cilindro de betão de 150 mm dentro de uma câmara em fogo. Posteriormente com base nos dados experimentais das temperaturas do betão e da ligação foi simulada uma curva do perfil de temperatura (Figura 6). Adicionalmente testes do produto HIT HY 270 (produto semelhante ao HY 170) numa parede de alvenaria em que a parede inteira é colocada a arder mostram que para embebedimentos superiores a 200 mm o aço é o elemento mais fraco de resistência ao fogo e o primeiro a falhar.

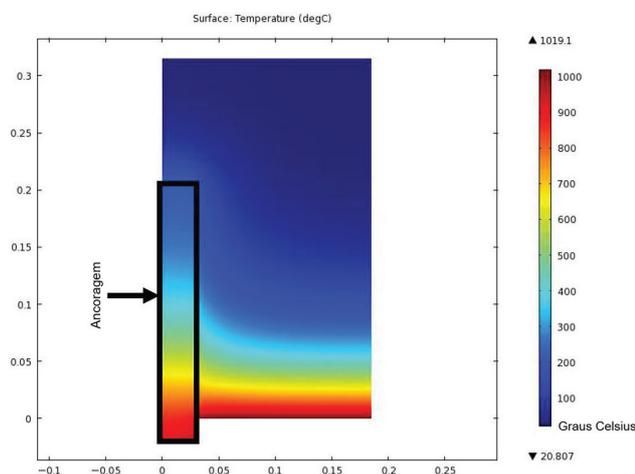


Figura 6 Curva de simulação do perfil de temperatura de uma ancoragem química HIT dentro de uma estrutura de betão, evidenciando a degradação da temperatura ao longo da amarração

Os resultados destes diferentes testes sugerem que para embebedimentos superiores a 200 mm não é relevante se o químico que está a ser usado na ancoragem é orgânico ou inorgânico uma vez que é expectável que o aço seja o primeiro elemento a falhar.

4 Conclusões

O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes tecnologias para selagem de varões em alvenaria antiga. Neste estudo foram realizados mais de 60 ensaios práticos em 2 obras diferentes em Lisboa (Beato e Carmo) com três produtos – grout cimentício SikaGrout®-213, HIT HY 170 (ancoragem química à base de metacrilato), HIT RE 100 (ancoragem química epoxídica), com o objetivo de comparar cargas ao corte das diferentes soluções.

Os resultados dos ensaios mostram que os sistemas de injeção HIT atingem maior resistência ao corte que o grout cimentício. Esta maior capacidade de resistência ao corte é particularmente relevante num contexto sísmico. Uma análise teórica da reação ao fogo das duas soluções, uma inorgânica (grout cimentício) e as outras duas orgânicas (ambos os produtos HIT), aponta para uma equivalência das mesmas em embebedimentos superiores a 200 mm, devido à expectativa que o aço seja o primeiro elemento a falhar da ligação.

Adicionalmente o sistema HIT pode trazer outras vantagens, não detalhadas neste estudo, nomeadamente (1) maior produtividade no processo de aplicação; (2) uma instalação mais fiável independente do instalador, (3) maior alinhamento com as normas mais recentes europeias. Uma outra possível vantagem do sistema HIT (não explorada em profundidade neste estudo) é o potencial de otimização do volume (diâmetro de furação e embebedimento) e número de ligações necessárias para a aplicação face ao grout cimentício devido à sua maior capacidade de carga. No contexto atual de falta de mão de obra, e maior pressão de prazos e custos, a maior produtividade do sistema HIT pode ser uma mais-valia importante para o instalador.

Em conclusão, os resultados obtidos sugerem que os sistemas de injeção Hilti (HIT HY 170 e HIT RE 100) apresentam-se como uma melhor alternativa aos grouts cimentícios para selagens de varões em alvenaria (e.g. ferrolhos, ligações laje-parede ou viga-parede, fecho de vãos), nas condições ensaiadas. No futuro, os autores consideram expandir as condições e número de testes para aumentar a robustez e nível de conhecimento das soluções HIT em alvenarias antigas.

Tabela 2 Resultados do 1.º Ensaio (zona do Beato)

Ensaio	Carga máxima (kN)	Modo de rotura
HIT RE 100 – $h_{ef} = 150$ mm		
1	20	Efeito de alavanca
2	25	Efeito de alavanca
3	10	Aderência
4	10	Aderência
5	20	Efeito de alavanca
HIT RE 100 – $h_{ef} = 250$ mm		
1	25	Efeito de alavanca
2	30	Cedência do aço
3	15	Efeito de alavanca
4	25	Cedência do aço
5	20	Efeito de alavanca
HIT HY 170 – $h_{ef} = 150$ mm		
1	10	Efeito de alavanca
2	15	Efeito de alavanca
3	15	Efeito de alavanca
4	15	Efeito de alavanca
5	10	Efeito de alavanca
HIT HY 170 – $h_{ef} = 250$ mm		
1	30	Cedência do aço
2	30	Aderência
3	Varão não ensaiado por incompatibilidade geométrica	
4	Varão não ensaiado por incompatibilidade geométrica	
5	30	Cedência do aço
Grout – $h_{ef} = 250$ mm		
1	10	Efeito de alavanca e aderência
2	5	Efeito de alavanca e aderência
3	10	Efeito de alavanca e aderência
4	10	Efeito de alavanca e aderência
5	5	Efeito de alavanca e aderência

Tabela 3 Resultados do 2.º Ensaio (zona do Beato)

Ensaio	Carga máxima (kN)	Modo de rotura
HIT RE 100 – $h_{ef} = 150$ mm		
1	15	Efeito de alavanca
2	Varão não ensaiado por incompatibilidade geométrica	
3	15	Efeito de alavanca
4	25	Efeito de alavanca
5	15	Efeito de alavanca
HIT RE 100 – $h_{ef} = 250$ mm		
1	20	Efeito de alavanca
2	20	Efeito de alavanca
3	25	Cedência do aço
4	25	Cedência do aço
5	25	Cedência do aço
HIT HY 170 – $h_{ef} = 150$ mm		
1	15	Efeito de alavanca
2	25	Cedência do aço
3	25	Efeito de alavanca
4	20	Efeito de alavanca
5	15	Efeito de alavanca
HIT HY 170 – $h_{ef} = 250$ mm		
1	25	Cedência do aço
2	25	Efeito de alavanca
3	20	Efeito de alavanca
4	25	Cedência do aço
5	30	Cedência do aço
Grout – $h_{ef} = 250$ mm		
1	5	Aderência
2	5	Aderência
3	5	Aderência
4	5	Aderência
5	5	Aderência

Tabela 4 Resultados do 3.º Ensaio (zona do Carmo)

Ensaio	Carga máxima (kN)	Localização do furo	Modo de rotura
HIT RE 100 – $h_{ef} = 200$ mm			
1	30	Pedra	Rotura por efeito de alavanca
2	25	Junta	Cedência do aço
3	25	Pedra	Cedência do aço
4	25	Junta	Cedência do aço
5	25	Pedra	Cedência do aço
HIT HY 170 – $h_{ef} = 200$ mm			
1	20	Pedra	Rotura por efeito de alavanca
2	20	Pedra	Rotura por efeito de alavanca
3	25	Pedra	Rotura por efeito de alavanca
4	25	Pedra	Cedência do aço
5	25	Junta	Efeito de alavanca
Grout – $h_{ef} = 250$ mm			
1 - Empreiteiro	5	Pedra	Aderência
2 - Empreiteiro	5	Junta	Aderência
3 - Empreiteiro	5	Pedra	Aderência
4 - Empreiteiro	5	Pedra	Aderência
5 - Empreiteiro	5	Junta	Aderência
6 - FE	Varão não ensaiado por incompatibilidade geométrica		
7 - FE	5	Pedra	Aderência
8 - FE	5	Junta	Aderência
9 - FE	5	Pedra	Aderência
10 - FE	5	Pedra	Aderência

Referências

- [1] EN 1992-4, 2018. Eurocode 2 – *Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete*. European Union EN Eurocodes.
- [2] EN 1998-1, 2004. Eurocode 8 – *Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. European Union EN Eurocodes.
- [3] Cattaneo S.; Locatelli A.; Rago D., 2019 – "Reliability of bonded anchors with different installation techniques: experimental assessment". *Asian Journal of Civil Engineering*, 20:681-692.
- [4] Cook, R.; Burtz, J.L.; Ansley, M.H., 2003 – "Design Guidelines and Specifications for Engineered Grouts". Report of University of Florida, Gainesville, Florida.
- [5] ETAG 029, 2013 – *Guideline for European Technical Approval of Metal Injection Anchors for Use in Masonry - Annex C: Design Methods for Anchorages*. EOTA European Organization for Technical Assessment.
- [6] *Procedure for site testing construction fixings*, 2012 – Construction Fixings Association UK.
- [7] ETA-15/0297, 2018 – European Organization for Technical Assessment.
- [8] ETA-15/0883, 2017 – European Organization for Technical Assessment.
- [9] EN 1996-1-1, 2005. Eurocode 6 – *Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures* European Union EN Eurocodes.