

COMPORTAMENTO SÍSMICO DE PAREDES DE ALVENARIA DE FACHADA – UMA BREVE REVISÃO



Andreia Martins

Estudante Doutoramento
ISISE
Universidade do Minho
Guimarães
andreia.civil@hotmail.com



Graça Vasconcelos

Prof. Auxiliar
ISISE
Universidade do Minho
Guimarães
graca@civil.uminho.pt



A. Campos Costa

Investigador Principal
LNEC
Lisboa
Alf@Inec.pt

SUMÁRIO

O trabalho proposto surge no âmbito do estudo do comportamento sísmico de uma tipologia de parede de fachada, fachada ventilada. Pelo facto de existir uma panóplia considerável de sistemas construtivos de fachadas ventiladas, apresenta-se neste trabalho algumas tipologias mais representativas em Portugal, sendo caracterizadas ao nível dos materiais utilizados, tipologia e espaçamento de ligadores, regulamentação existente e aplicação em obra. Também se apresenta um conjunto de estudos efetuados do comportamento estático e dinâmico deste sistema construtivo e seus componentes. Este estudo teórico pretende ser o ponto de partida para o desenvolvimento de uma campanha experimental e numérica que visa a caracterização destas paredes a ações sísmicas e do vento, com vista a obtenção de um conjunto de recomendações técnicas de melhoria do comportamento sísmico e do vento.

Palavras-chave: fachada ventilada, ligadores, regulamentação de dimensionamento, ação sísmica.

1. INTRODUÇÃO

Tem sido visível em Portugal e no resto do mundo uma considerável evolução e diversidade tecnológica nas paredes de fachada associada às exigências arquitectónicas actuais. Nas últimas décadas, com a evolução da arquitectura e dos requisitos funcionais dos edifícios em termos de desempenho térmico, o uso de fachadas tradicionais compostas por paredes

de pedra e mais recentemente por paredes duplas inserida em pórticos de betão armado tem dado lugar a outro tipo de fachadas, nomeadamente fachada ventilada ou parede de tijolo face à vista.

A fachada ventilada consiste genericamente em três componentes: (1) revestimento contínuo exterior fixado mecanicamente a uma estrutura independente de suporte; (2) material isolante térmico aplicado sobre a parede de suporte; (3) e um espaço de ar ventilado entre ambos [1] (Figura 1). É uma aplicação construtiva que tem adquirido especial importância já que a fachada ventilada consiste num sistema modular que traz grande facilidade e eficácia na execução, conferindo protecção e revestimento exterior dos edifícios. O adjetivo “ventilada” deriva precisamente do facto da câmara-de-ar permitir a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé onde o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior [2]. Assim, evita-se as humidades e condensações características comuns das fachadas tradicionais e melhora-se o desempenho térmico do edifício [3]. A diferença entre fachada ventilada e a parede de tijolo face à vista consiste na ausência da câmara de ar entre a parede e o suporte mas em termos estruturais funcionam da mesma forma [4]. Este tipo de elemento construtivo pode ser aplicado quer em construção nova, quer na reabilitação dado em ambos os casos apresenta-se separado da estrutura resistente/suporte.

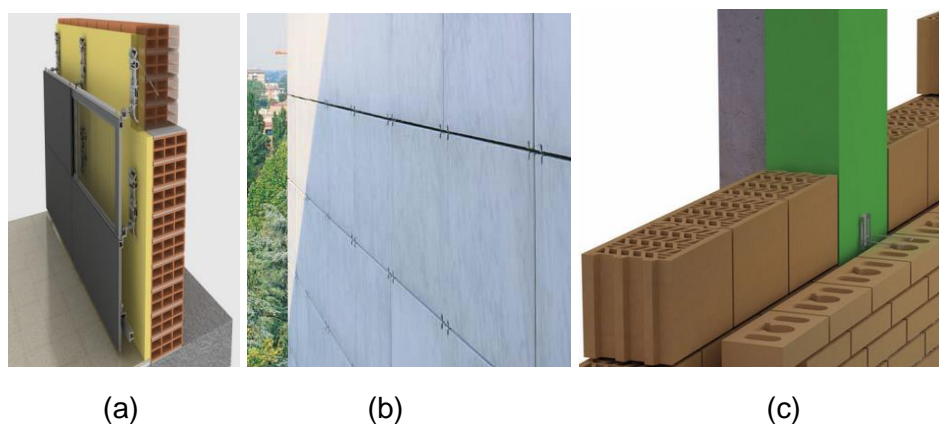


Figura 1. Exemplos de fachada: (a) composição de uma fachada ventilada [5]; (b) exemplo de fachada ventilada (em painéis de pedra) [4]; (c) parede com tijolo face à vista [6]

As vantagens oferecidas pela fachada ventilada em relação à solução tradicional consistem na melhoria estética e funcional do edifício dado que melhora o desempenho térmico, minimiza as pontes térmicas, minimiza os problemas com humidade e infiltrações, promovendo assim uma maior durabilidade, para além de não ser necessária a sua manutenção. Em termos arquitectónicos, permite a obtenção de alinhamentos perfeitos, com absoluta simplicidade, inclusivamente no caso de o suporte não ser plano.

No entanto, um dos aspectos que devem ser considerados neste tipo de elemento construtivo (fachada ventilada ou parede face à vista) consiste nas ligações (pontuais ou lineares) ao suporte dado que pode ocorrer desprendimento dos elementos de revestimento

originados pelos sistemas de fixação mal concebidos, por uma aplicação deficiente, ou mesmo devido à inexistência de um projecto sem a consideração de ações a que este tipo de paredes podem ser sujeitas, nomeadamente por ações sísmicas, o que justifica alguma algum trabalho de investigação com vista a avaliar o comportamento destas paredes para este tipo de acção [1, 3]. A este respeito, a observação de edifícios após sismos recentes revelam o comportamento inadequado deste tipo de parede de fachada, traduzindo-se em danos consideráveis colocando em causa a possível reparação.

Tendo em conta que Portugal apresenta moderada a alta sismicidade e se tem aplicado este tipo de solução construtiva sem apoio de códigos regulamentares específicos, é importante avaliar o seu comportamento de modo a introduzir melhorias nos procedimentos relativos à verificação de resistência sísmica destes elementos, que se consideram não estruturais. Assim, este trabalho tem como objectivos: (1) a descrição dos sistemas de fachada (ventilada ou parede de tijolo face à vista) mais característicos em Portugal, servindo como base para a definição de um programa experimental que visa o comportamento deste tipo de elemento a ações sísmicas; (2) apresentar estudos experimentais recentes para avaliação do comportamento a ações sísmicas; (3) apresentar a abordagem de diferentes códigos à pormenorização e projecto.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS PAREDES DE FACHADA

Na arquitetura popular portuguesa, essencialmente até meados do século XX, a separação entre os elementos estruturais e a envolvente exterior era pouco frequente, já que as paredes exteriores constituíam geralmente paredes estruturais, sendo em grande parte dos casos alvenaria de pedra, tijolo ou adobe, ou mesmo, ainda que mais raramente, taipa [1]. Com a necessidade de melhorar o comportamento térmico e com a introdução de materiais de isolamento há cerca de 50 anos, começou-se a utilizar paredes exteriores compostas por dois panos de tijolo de furação horizontal [7] e com caixa-de-ar interior preenchida total ou parcialmente por materiais isolantes térmicos ou acústicos. Estas paredes são geralmente rebocadas com argamassas de ligantes inorgânicos, agregados e, por vezes, aditivos para melhorar a impermeabilização da água e posteriormente pintadas. O problema dos custos de manutenção, a necessidade de melhorar a resistência da parede à penetração da chuva, os problemas de pontes térmicas e a dificuldade de contratação de trabalhadores qualificados, têm levado ao desenvolvimento de soluções alternativas. Assim, a separação entre as estruturas porticadas de betão armado e a envolvente exterior tornou-se uma solução utilizada em fachadas, embora os revestimentos envolvam geralmente todos os elementos da parede e essa separação não seja visível [1]. Por outro lado, a arquitectura contemporânea tem mostrado um interesse crescente em soluções de paredes de fachada separadas da estrutura resistente. Os materiais tradicionais para execução de fachadas separadas da estrutura resistente são o tijolo cerâmico e a pedra, considerados como materiais nobres associados a uma aplicação de alto valor estético [2]. Assim, esta secção pretende descrever com detalhe duas soluções de parede de fachada com mais

representatividade em Portugal onde se aplicam materiais mais tradicionais, nomeadamente a pedra e o tijolo.

2.1 Fachadas ventiladas de pedra

O sistema de fachada ventilada de pedra é composto por diferentes elementos, nomeadamente: (1) revestimento exterior com uma função estética e de protecção da parede de vedação do edifício com painéis de pedra em placas finas que podem variar entre 19,2 milímetros de 32,2 milímetros [8]; (2) uma câmara-de-ar que permite a convecção do ar no interior da fachada ventilada, tendo a função de impedir a passagem da água do exterior e a de eliminar humidade graças à contínua ventilação; (3) uma estrutura de suporte onde é aplicado o revestimento e tem como função dar estabilidade ao sistema; (4) fixações ou grampos através dos quais o revestimento final fica mecanicamente fixado à estrutura de suporte; (5) um material isolante que deverá ser aplicado na parede do edifício de formar a garantir a sua estabilidade térmica (Figura 2) [2, 5].

O suporte é normalmente constituído por alvenaria de tijolo cuja espessura varia entre 15cm e 20cm em Portugal (parede de enchimento de pórticos de betão armado), podendo também ser de parede de betão armado, como em algumas regiões da Europa [9]. A caixa-de-ar apresenta, em média, espessuras entre 20mm e 50mm e são ventiladas pelo exterior. Os orifícios de ventilação, situados nos pontos mais elevados e mais baixos do paramento do revestimento, devem ter uma área não inferior a 100cm² por metro de comprimento do revestimento medido na horizontal [2]. Este sistema de fachada ventilada aplica-se essencialmente em edifícios de médio a elevado porte, essencialmente na categoria de edifícios de serviços públicos e privados.

O revestimento de pedra (por exemplo granito, basalto, calcário, mármore e ardósia) apresenta-se sob forma rectangular cujas dimensões vão desde ladrilhos e lâminas (pequenas dimensões) a placas (elementos de grandes dimensões). Estes elementos podem apresentar diversos tipos de superfícies, podendo estas ser planas, as mais utilizadas na construção, curvas, perfiladas ou perfuradas [4]. Para a assemblagem das diferentes unidades de revestimento, podem ser usados diferentes tipos de juntas, nomeadamente junta aberta, junta sobreposta ou a utilização de perfis de junta. A junta aberta é a tipologia mais utilizada e tem espessuras variáveis de 6mm a 25mm em função da necessidade de deformação e de garantia de estanquidade à água [4, 10]. Neste caso, é aconselhado um sistema de drenagem de água na base da parede. Os arquitetos têm vindo a explorar outro tipo de materiais, como por exemplo o naturocimento, o metal, os fenólicos, o vidro ou painéis fotovoltaicos sob a forma de blocos ou painéis, com vista a desenvolver novas soluções de diferentes cores, texturas e formas, e novas aptidões estéticas e funcionais. Porém, estas soluções ainda não se consideram muito representativas no edificado português, tendo uma importância residual [1, 4].

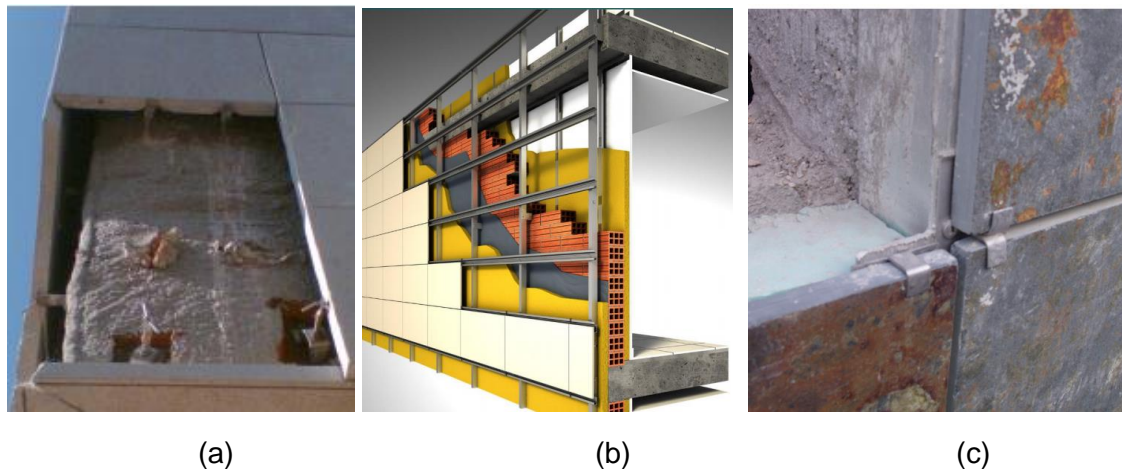


Figura 2. (a) Sistema de acoplamento oculto (Cavilhas) [3]; (b) Esquema da fachada ventilada com placas de pedra [10]; (c) Sistema de acoplamento visível (Grampos) [3]

Relativamente aos modos de fixação das juntas abertas, apresentam-se principalmente as três principais soluções em função das dimensões e pesos próprios das placas [2, 4, 11]: (1) Furação com broca cilíndrica, para inserção de cavilha ou, no tardo da pedra, para inserção de bucha metálica expansiva (sistema de fixação oculto) (Figura 2 (a)); (2) Entalhe ou ranhura, com cantoneira ou em T, designado por ancoragem linear (sistema de fixação oculto) (Figura 2 (b)); (3) Ancoragem por grampos, sistema de fixação visível muito utilizado devido à simplicidade de aplicação (Figura 2 (c)) [4].

2.2 Paredes de fachada em alvenaria de tijolo face à vista

As paredes de fachada de alvenaria de material face à vista, principalmente paredes de tijolo face à vista podem ser vistas como uma solução mais tradicional de paredes de fachada ventilada se o pano exterior apresentar aberturas na base e topo do pano, facilitando assim o movimento de ar. De facto, em Portugal a construção de paredes com tijolo face à vista nos últimos anos foi de alguma forma substituída pela aplicação de painéis na fachada ventilada, tendo em conta a simplicidade e facilidade de construção que esta última apresenta. Enquanto a fachada ventilada recorre a placas de material com espessuras reduzidas, sendo em média no limite de 30 mm dependendo do tipo de material, a parede de tijolo face à vista tem espessura maior, correspondendo normalmente à espessura do bloco cerâmico maciço ou com furação vertical (Figura 3) [2]. Além da espessura do pano exterior de revestimento, a diferença destes tipos de fachada passa também pela maior ou menor espessura da caixa-de-ar entre a parede e o suporte, o que pode dificultar a circulação de ar. Esta tipologia de parede de alvenaria de fachada é muito comum na América do Norte e Austrália [12]. De um modo geral este sistema é definido por “uma face anexada a uma parede com a finalidade de proporcionar ornamentação, proteção ou isolamento, mas não contando como adição de resistência para a parede” [8].

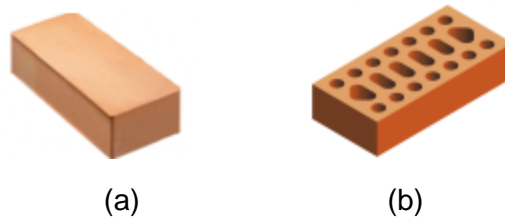


Figura 3. Tijolo cerâmico (a) maciço e (b) perfurado

Em Portugal esta tipologia tem alguma representatividade, mas com algumas diferenças no que respeita à sua constituição em relação aos outros países, nomeadamente ao nível do sistema de suporte. Foi usada no passado para decorar igrejas, catedrais e monumentos de grande importância, verificando-se também a tendência para o uso deste material nos edifícios contemporâneos devido aos baixos níveis de manutenção, a sua beleza e durabilidade. Os panos de tijolo face à vista com armadura podem ser equiparados a alvenaria estrutural, sendo projetados para cargas verticais e laterais, embora não seja uma prática recorrente em Portugal [13, 14].

Estas paredes são constituídas por um pano interior de alvenaria que pode ser estrutural ou não, separado por uma cavidade de ar em relação ao pano exterior constituído tipicamente por tijolo face à vista (Figura 4). A cavidade de ar pode incluir o isolamento térmico do tipo poliestireno expandido (EPS) ou extrudido (XPS) ou espuma de poliuretano. Além disso, as características de inércia térmica do elemento cerâmico em conjunto com o conceito de fachada ventilada originam um sistema muito eficiente ao nível do comportamento higrotérmico de um edifício. Por isso esta construção tem representatividade em países com climas adversos devido ao seu favorável comportamento térmico.

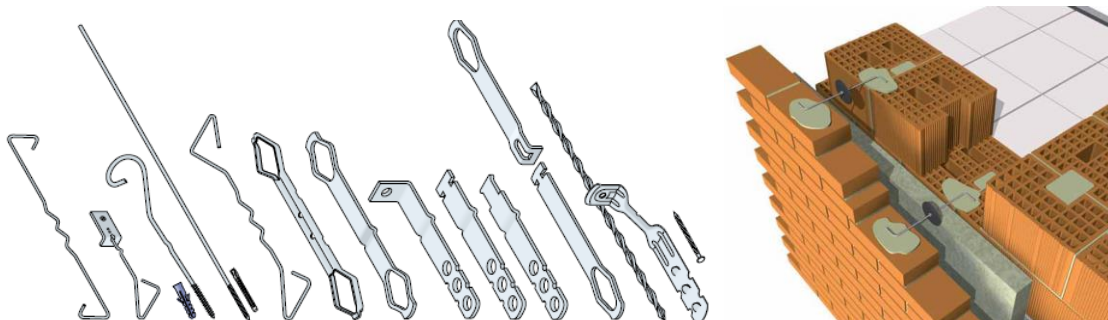


Figura 4. Exemplos de ligadores e de uma constituição de uma parede tijolo face à vista [15]

As paredes de alvenaria de tijolo face à vista são fixadas à estrutura de suporte do edifício de modo a garantir a estabilidade estrutural para acções como vento e sismos. Este sistema de suporte pode ser em alvenaria estrutural, estrutura de madeira, estrutura metálica, paredes de betão armado e paredes de alvenaria de tijolo cerâmico que funcionam como paredes de enchimento de pórticos de betão armado. Em Portugal os sistema de suporte é maioritariamente o de alvenaria de tijolo cerâmico com espessura entre 11 e 20 cm (parede de alvenaria de enchimento). Nos estados Unidos, Canadá, Austrália e Nova Zelândia

predominam outros sistemas estruturas de suporte, nomeadamente estruturas de madeira e estruturas metálicas [8, 16].

Os dispositivos de fixação do painel exterior ao painel interior são habitualmente designados por grampos de ligação ou ancoragem (Figura 4) que atravessam a caixa-de-ar sem perturbar o possível isolamento existente e o sistema de drenagem [6]. O material utilizado normalmente é metálico e deve possuir um tratamento adequado para protecção da corrosão de modo a garantir uma durabilidade adequada [7]. A este respeito, pode dizer-se que em situação de obra, estes elementos de ligação comerciais são muitas vezes substituídos por grampos feitos manualmente em arame zincado ou arame de aço, o que não é recomendável devido à falta de controlo de qualidade da execução dos mesmos e do material utilizado. Na ausência de regulamentação, o espaçamento entre os elementos de fixação adoptado na prática corresponde ao valor recomendado pelos manuais de aplicação de cada fabricante para consulta de pormenores técnicos. Como exemplo, refira-se que para Portugal são recomendados maioritariamente 5 grampos/m², de acordo com o Manual de Aplicação 2012 da empresa “Cerâmica Vale da Gândara” [6], independentemente da região do país. Os grampos são aparafusados ao pano de alvenaria interior através de buchas químicas e por vezes necessitam de ser ajustados à junta de assentamento do pano de tijolo face à vista, o que implica a dobragem do próprio grampo, o que se poderá traduzir numa menor eficiência dos grampos (Figura 5 (a)). Além disso, as placas rígidas de isolamento térmico entre a parede e o suporte aumenta também a dificuldade associada à colocação correcta dos ligadores. Quando desalinhados, a parte mais baixa do grampo deve ficar do lado exterior da parede de modo a evitar condensações na parede interior [6]. Este tipo de desalinhamento não é muito favorável pois não só reduz o comprimento de entrega do ligador, como também reduz a eficácia destes, pois as forças do vento não atuam paralelamente nos conetores [6, 17]. A solução deste problema poderá passar por um ajuste prévio do nível de fiadas da parede de suporte e da parede de alvenaria de tijolo face à vista ou mesmo pela utilização de ligadores flexíveis (Figura 5 (b)), no entanto este tipo de ligadores não são muito utilizados devido a fatores de custo. Neste sistema construtivo é recomendada a drenagem da água que se infiltra entre os panos, evitando assim possíveis condensações e infiltrações dentro do edifício.

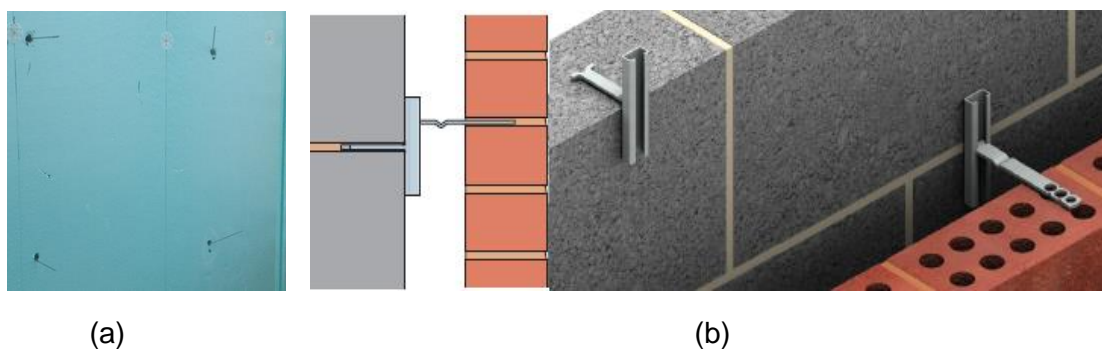


Figura 5. (a) Isolamento térmico EPS e colocação de grampos na alvenaria interior; (b) Exemplo de ligador flexível.

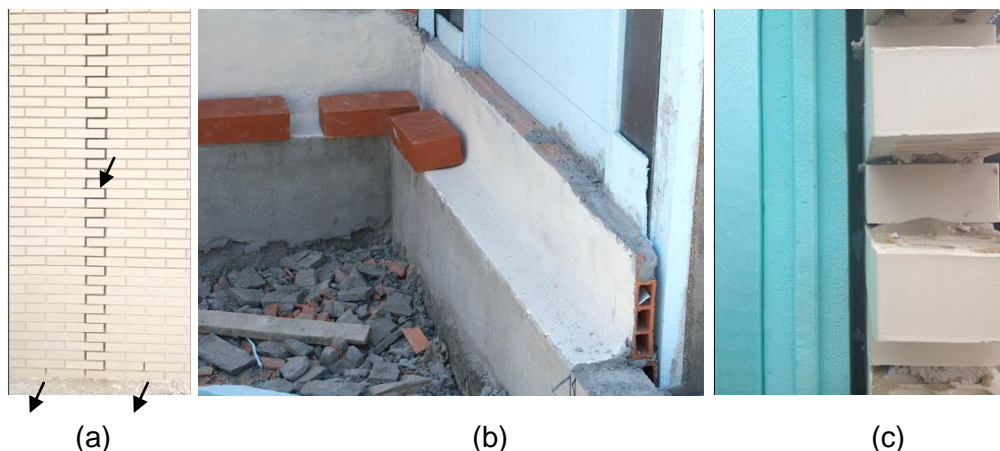


Figura 6. (a) Junta de dilatação e orifícios para ventilação de ar na parede de tijolo face à vista; (b) Exemplo construtivo e tratamento da calceira ou meia cana; (c) Cavidade de ar.

Assim, o ar e a humidade impulsionada pelo vento, chuva, neve e granizo infiltrados na face exterior através de juntas e aberturas são recolhidos e drenados da parede através dos sistemas de drenagens, caso existam, ou mesmo ao nível dos orifícios (Figura 6 (a)) através de uma calha construída previamente na base da parede de tijolo face à vista, ver Figura 6 (b). [13, 14]. Para isso, é importante que não existam excessos de argamassa a obstruir o espaço de ar (Figura 6 (c)) [2, 6].

As paredes de tijolo cerâmico maciço são muito susceptíveis a variações dimensionais em função das condições Termo higrométricas, o que no caso de ausência de juntas de dilatação pode resultar em fissuração importante. Para prevenir esta situação, juntas de dilatação com espessura entre 10 a 20 mm são essenciais para acomodar estes movimentos (Figura 6 (a)).

3. VULNERABILIDADE SÍSMICA DAS PAREDES DE FACHADA

Apesar de as paredes de fachada não serem consideradas como elementos estruturais e não fazerem parte da estrutura resistente, estão sujeitas a diferentes tipos de acção, nomeadamente peso próprio, vento e sismos no caso da região de construção ser caracterizada por sismicidade relevante. Por outro lado, estes elementos têm de ser capazes de transferir as acções atuantes ao sistema estrutural do edifício.

No que respeita à acção sísmica, tem-se verificado na sequência de sismos recentes numerosos exemplos de danos no plano e fora do plano e perda de estabilidade de paredes de fachada (Figura 7), que poderão refletir falta de pormenorização deste tipo de elemento construtivo e ausência de regras de dimensionamento [18]. Os padrões de dano/colapso característicos das paredes de fachada consistem: (1) fendilhação diagonal correspondente a acções actuantes no plano das paredes e resulta do mecanismo de rotura da parede.

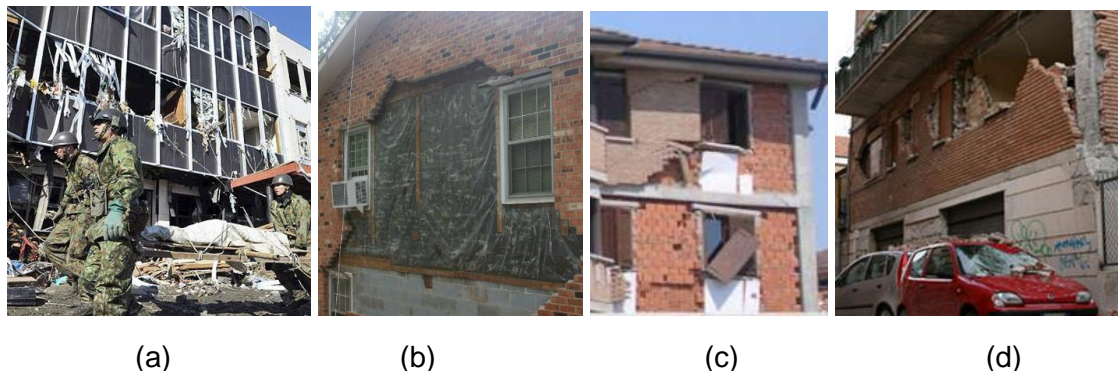


Figura 7 – Exemplos de danos causados por recentes sismos: (a) Lorca, Espanha, 2011; (b) Virginia, USA, 2011; (c) Emilia, Itália, 2012; (d) L'Aquila, Itália, 2009.

Em contexto de carregamento no plano dos panos de alvenaria, as cargas sísmicas são essencialmente absorvidas pela capacidade resistente ao corte de cada elemento do sistema de fachada ventilada. Acontece por vezes o deslizamento na base da parede exterior, o resulta na diminuição da resistência e pode contribuir para a instabilização global; (2) destacamento da parede ou de partes da parede do suporte na direcção perpendicular. Este tipo de rotura poderá estar associado ao deficiente sistema de ligação da parede de fachada ao suporte.

O desempenho de paredes de fachada à acção sísmica no plano deverá ser influenciado pela altura, comprimento, relação altura e largura e espessura, principalmente ao nível da carga resistente [16]. A resistência ao corte é influenciada principalmente pelas propriedades dos materiais, sendo favorecida pela presença de tijolos e argamassa com resistências mecânicas mais altas. Além disso, é importante que existam ligações adequadas para sejam capazes de resistir a acções de corte e promover a interação entre os panos (fachada e suporte), e assim conduzir a uma maior resistência e estabilidade (Figura 7 (b)) [14, 16, 19, 20]. Quanto às cargas atuantes na direcção perpendicular ao plano da parede, deve-se referir que quer as paredes de suporte, quer as paredes de fachada desenvolvem mecanismos de resistência à flexão e interação entre si [16]. A transferência de forças da parede exterior para o sistema de suporte ocorre ao nível dos ligadores entre os dois panos. O tipo de ligação, no que diz respeito à rigidez e resistência do conector, tem importante influência na resistência para fora do plano do sistema [19, 21]. Por vezes, os dispositivos de ligação podem apresentar mau desempenho devido a deficiências no processo de construção ou à perda de força devido à corrosão ou então devido ao número insuficiente para um determinado nível de acção. Por outro lado, o sistema de suporte é muito importante neste tipo de solicitação para fora do plano da parede, pois suportes rígidos como betão ou alvenaria de betão resultam numa menor concentração de forças na parede exterior e por sua vez em menor fendilhação, do que sistemas mais flexíveis como alvenaria de tijolo não estrutural, estruturas de madeira ou metálicas. Um sistema de suporte flexível que apresente elevados deslocamentos diferenciais provoca maior fendilhação e instabilidade no pano exterior, bem como aumento da solicitação nas

ligações. O aumento da acção sísmica provoca naturalmente o colapso da parede (Figura 7 (c) e (d)) [16]. Em geral, a resistência a cargas fora-de-plano é relativamente baixa, independentemente das combinações de materiais constituintes da alvenaria, ao contrário do que acontece no comportamento no plano. No entanto, se os ligadores forem colocados com espaçamentos e número adequados, a resistência deverá aumentar. Em relação à combinação de forças no plano e fora do plano, a fendilhação diagonal e fendilhação horizontal deve diminuir consideravelmente a resistência das paredes de fachada para fora do plano.

Dada a escassa investigação neste domínio, torna-se importante compreender melhor o comportamento sísmico deste tipo de paredes de alvenaria de fachada, com vista à introdução de melhorias no desempenho destes elementos de fachada. Por outro lado, tendo em conta a preocupação existente em termos de prevenção e conservação do património na eventualidade de ocorrência de um sismo, torna-se importante avaliar este tipo de elementos de fachada, pois a sua aplicação em Portugal apresenta uma tendência crescente nas edificações de modo a fazer face às atuais exigências arquitectónicas e não existe regulamentação que regule o dimensionamento deste tipo de elemento construtivo.

Note-se que Portugal apresenta algum historial em termos de eventos sísmicos, sendo o mais importante o intenso sismo de 1755, em que Lisboa e grande parte da zona Sul do país foram destruídas e que poderão igualmente vir a serem destruídas por acção de um sismo semelhante, ver Figura 8 (a), onde se apresenta o risco sísmico na área metropolitana de Lisboa [22]. Naturalmente, espera-se que futuros sismos atinjam o território português, uma vez que se localiza numa região de sismicidade moderada, na proximidade da fronteira entre duas placas tectónicas, a Euroasiática e a Africana, sendo a região sul caracterizada por sismicidade moderada a alta, ver Figura 8 (b).

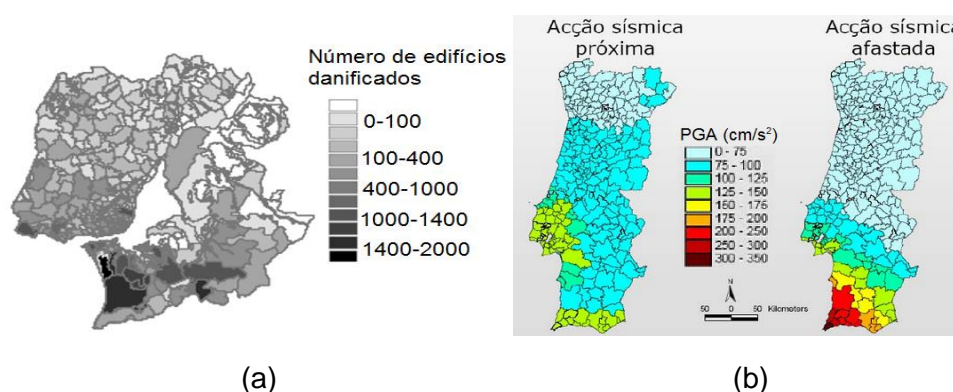


Figura 8. (a) Cenário sísmico atual da área metropolitana de Lisboa para o sismo de 1755: número de edifícios severamente danificados [22]; (b) Mapa de sismicidade [23].

4. NORMALIZAÇÃO ACERCA DE PAREDES DE FACHADA

Em termos de projeto, o painel de fachada é simplesmente considerado para suportar o seu peso próprio, efectuando a transferência de cargas ao suporte de modo a que este resista às cargas verticais e laterais atuantes no painel [24]. Em Portugal não existe nenhum código que regulamente e especifique as condições técnicas adequadas na aplicação deste tipo de parede de fachada em regiões sísmicas. Empiricamente, o painel de fachada é construído suficientemente rígido e compatível com o sistema global da parede, de acordo com as prescrições recomendadas pelo fabricante. Assim, minimizam-se movimentos diferenciais entre os painéis provocados por exemplo por mudanças de temperatura, de humidade ou deformações. No entanto, não se abordam especificações que tenham em conta as ações sísmicas e do vento para determinada região [24, 25].

Os códigos regulamentares mais direcionados para a aplicação deste sistema construtivo estão associadas à maior aplicação desta tipologia de construção na América do Norte e Austrália, onde a estrutura de suporte das paredes de fachada (alvenaria cerâmica) é maioritariamente de madeira ou aço. As recomendações são fornecidos pelo Comitê de Normas de Alvenaria (MSJC), o Código Residencial Internacional (IRC 2009), e Associação da Indústria do Tijolo (BIA), mais precisamente nas notas técnicas 28 e 44 [26-28]. Estes códigos têm em consideração aspetos técnicos relacionados com todos os componentes da parede de fachada, como por exemplo: (1) características e limites de deformação do sistema e dos seus componentes; (2) detalhamento adequado dos orifícios e sistemas de drenagem; (3) seleção adequada dos materiais de acordo a sua resistência e durabilidade; (4) utilização adequada dos ligadores e espaçamento associado; (5) condições ambientais de exposição; (6) técnicas de construção adequadas. Além disso, este tipo de exigências funcionais são ainda particularizadas pelo MSJC [27] para regiões de elevada intensidade do vento e sismicidade, recomendando detalhes construtivos, nomeadamente espaçamentos, ligadores mais resistentes, maior número de ligadores nas aberturas [26-30]. No FEMA 273 [31], são também fornecidas recomendações para o dano correspondentes a diferentes níveis de desempenho, aos quais estão associados diferentes níveis de “drift” (deslocamento relativo entre pisos).

O Eurocódigo 6 [32] apresenta algumas recomendações para o dimensionamento dos ligadores para a ação do vento e algumas disposições construtivas, enquanto que o Eurocódigo 8 [23] considera que este tipo de paredes deve ser dimensionado à ação sísmica, apresenta recomendações para o cálculo da ação, mas não apresenta procedimentos de cálculo da capacidade resistente. São recomendados também limites para os deslocamentos relativos entre pisos para limitação dos danos em elementos não-estruturais. Com efeito, tendo em conta a existência de informação muito reduzida a nível regulamentar acerca do detalhe construtivo e dimensionamento à ação sísmica deste tipo de paredes, torna-se relevante qualificar a viabilidade da sua aplicação em Portugal.

5. ESTUDOS EFETUADOS SOBRE FACHADAS DE ALVENARIA

No âmbito da avaliação do comportamento de fachadas ventiladas a ações sísmicas e do vento em paredes principalmente em tijolo face à vista, tipicamente características principalmente da América do Norte e Austrália, estudos experimentais têm sido efetuados por diferentes autores. Apesar da sua composição diferir da tipologia aplicada em Portugal, principalmente no que diz respeito ao sistema de suporte considerado, descrevem-se nesta secção alguns estudos desenvolvidos.

Em termos de investigação experimental destacam-se os ensaios estáticos cíclicos e os ensaios dinâmicos em mesa sísmica em paredes ou em modelos de edifícios com paredes de fachada ligadas à estrutura, que pode apresentar diferentes tipologias, nomeadamente estrutura de madeira e estrutura metálica [33-35]. No caso da estrutura de madeira como suporte, foram realizados ensaios estáticos cíclicos fora do plano em protótipos de parede de tijolo face à vista, para avaliação da influência do tipo e espaçamentos de conetores, presença ou não de armadura de junta na alvenaria de tijolo face à vista e presença de aberturas nos painéis. O modo de rotura dos conetores apresentou alguma variabilidade de acordo com a sua tipologia, sendo também afetado pelo dano localizado das fibras de madeira. Verificou-se que o reforço de junta não era relevante no comportamento para fora do plano da parede [33-35]. Ensaios realizados em paredes de alvenaria suportados por uma estrutura de aço a ações estáticas cíclicas e dinâmicas [20] foram efetuados para avaliação do comportamento e das ligações, permitindo avaliar padrões de fendilhação de alvenaria e resistência de carga lateral teórica do sistema construtivo (Figura 9 (a) e (b), respetivamente).

Por outro lado, por forma a avaliar a interação entre a estrutura de suporte e as paredes de fachada, foram desenvolvidos ensaios na mesa sísmica em edifícios de pequeno e médio porte com diferentes geometrias e distribuições de rigidez [36-38]. Em conformidade com os requisitos de projeto e construção especificados nos Estados Unidos da América, modelos de um andar à escala real de paredes de fachada de tijolo face à vista foram concebidos, variando os tipos de conetores ligados ao sistema de suporte feito em madeira (Figura 9 (a)).

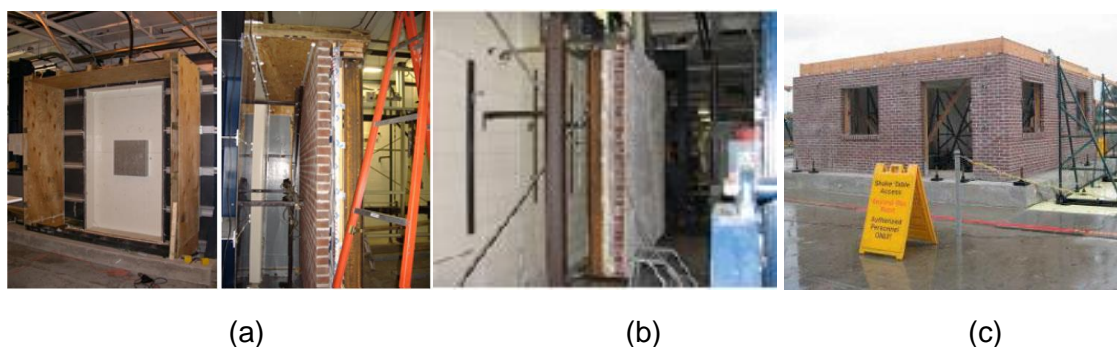


Figura 9 – (a) Teste fora do plano simulando forças do vento [20]; (b) Teste cíclico sísmico [20]; (c) Protótipo para teste na mesa sísmica [38].

Verificou-se alguma instabilidade devido à facilidade de extração dos ligadores na madeira, o que pode ser justificado pela humidade presente neste material. Por outro lado, as paredes paralelas à direção da agitação na mesa sísmica e os diafragmas do telhado contribuíram para a resistência fora do plano do modelo global [29, 38, 39]. Por outro lado, estudos numéricos e paramétricos têm sido desenvolvidos a fim de analisar a interação e os fenómenos decorrentes do comportamento deste sistema construtivo quando sujeito a ações sísmicas. Com base em alguns modelos calibrados com base em resultados experimentais, concluiu-se que a separação da parede exterior é precedida de fendilhação da parede exterior, o que influencia a distribuição de forças nos ligadores. Além disso, o espaçamento vertical dos ligadores influencia a carga de fendilhação da parede exterior [33, 34, 39-42].

Recomendações técnicas têm sido estudadas de modo a diminuir o dano deste tipo de elementos não estruturais e assim melhorar a resistência sísmica [43, 44]. Este tipo de apoio técnico, bem como a fiscalização em obra são fundamentais para evitar acidentes cuja origem reside por exemplo na ausência dispositivos de ligação entre panos e juntas de dilatação. Exemplo disso aconteceu quando parte de uma parede exterior colapsou precocemente para fora do plano devido provavelmente a expansão irreversível da alvenaria [45]. Assim, muitas vezes o número recomendado de ligadores (5 grampos/m² em Portugal e outros países) é insuficiente, e muitas das vezes não cumprido [46, 47]. Apesar disso há relativamente pouca informação correta sobre a resistência à tração, ao corte e à compressão dos ligadores no comportamento global do sistema construtivo. Por isso, este tipo de dispositivos tem vindo a ser sujeitos a um conjunto de testes monotónicos e cíclicos, considerando a variação da rigidez entre o revestimento e o sistema de apoio, o espaçamento e rigidez dos ligadores, as condições de apoio do pano de alvenaria, a localização de aberturas, a largura da caixa-de-ar e o tipo de carga aplicado à parede [29].

Apesar de não existir ainda muitos estudos associados a fachada ventilada composta por painéis de pedra, um caso de estudo foi desenvolvido tendo em conta a ocorrência de danos fora do plano sofridos na fachada [48]. Estas paredes foram ancoradas em paredes de alvenaria inseridas em pórticos de betão armado ou em paredes de betão. O sistema de ancoragem e ligadores foi alvo de caracterização mecânica e numérica através de uma análise simplificada em modelos contínuos através do Método dos Elementos Finitos (MEF). Deste estudo concluiu-se que cargas externas geradas pelo vento e o peso dos painéis são aceitáveis para os painéis de pedra usados, embora os conetores utilizados não tenham tido capacidade resistente suficiente para absorver as máximas forças de sucção previstas pelo vento. Deve-se por isso ter-se especial cuidado no que respeita à heterogeneidade e características mecânicas dos materiais utilizados (por exemplo a espessura), bem como em todo o processo de assentamento e controle de colocação de ligadores nos locais adequados.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um breve resumo das tipologias de fachada fixadas a uma estrutura de suporte e que não contribuem para a rigidez e resistência da estrutura mais representativas em Portugal, nomeadamente as fachadas ventiladas com painéis de pedra e das paredes de tijolo face à vista. Estas soluções construtivas foram caracterizadas no que respeita os seus pormenores técnicos e de tecnologia de construção considerados na prática corrente. Assim, fez-se uma descrição da composição do sistema, tipo de ligadores, espaçamento dos ligadores e considerações tomadas em projetos. Além disso, fez-se uma abordagem da vulnerabilidade sísmica destes elementos, bem como um resumo da regulamentação. Adicionalmente, foi apresentado um sumário dos trabalhos experimentais mais representativos para avaliação do comportamento no plano e fora do plano das paredes tendo em conta diferentes tipos de suporte com base em ensaios estáticos cíclicos ou dinâmicos. Nestes estudos foram considerados vários factores que podem influenciar o comportamento das paredes, nomeadamente tipo e espaçamentos de conectores, presença ou não de armadura de junta na alvenaria de tijolo face à vista e presença de aberturas nos painéis

Pretende-se com um estudo mais aprofundado sobre esta temática avaliar a segurança das paredes de fachadas construídas em Portugal e propor recomendações de projeto destas paredes para acções sísmicas. Adicionalmente pretende-se propor também recomendações sobre a tecnologia de construção para apoio na prática construtiva que visem a minimização de risco sísmico e melhoria de comportamento funcional destes elementos não estruturais.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Mendonça, P., *Habitar sob uma segunda pele* 2005.
- [2] *Dossier Técnico-Económico: Fachadas Ventiladas*, n.2, Editor. Out. 2006.
- [3] Mendes, F., *Durabilidade de fachadas*. 2009, Universidade do Porto
- [4] Sousa, F.M.F.d., *Fachadas Ventiladas em Edifícios: Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento*. 2010, Univ. do Porto.
- [5] <http://www.matimex.com.pt/page.php?p=fachada-ventilada>. Disponível em 08/2014
- [6] , Cerâmica Vale da Gandâra, *Manual de Aplicação de tijolo face à vista e de pavers cerâmicos*. 2012.
- [7] Santos, S.P., *Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide* 2007.
- [8] *Masonry Design Manual* Fourth Edition ed. 2007.
- [9] <http://www.masonrysystems.org/wall-systems/cavity-wall-brick-veneer-reinforced-cast-in-place-concrete/> Disponível em 09/2014
- [10] Real Granito, S.A., *Pedra Natural em Fachadas: Seleção, Aplicação, Patologias e Manutenção*.
- [11] Camposinhos, R.d.S., *Revestimentos em pedra natural com fixação mecânica*. 2009
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Masonry_veneer Disponível em 08/2014
- [13] Drysdale, R.G. e A.A. Hamid, *Masonry Structures Behavior and Design* 3rd Edition ed.

- [14] Liang, J., Development of a multihazard resistant panelized brick veneer wall system. 2006, Pennsylvania State University.
- [15] *Wall Ties and Restraint Fixings for the Construction Industry*. September 2012, Ancon: Building Products.
- [16] Borchelt, J.G., "Building code requirements for brick veneer in seismic areas", *Sísmica 2004 - 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. 2004*, Brick Industry Association. p. 209-225.
- [17] FEMA, Attachment of Brick Veneer in High-Wind Regions. December 2005.
- [18] Morandi, P., Hak, S., e Magenes, G., *Simplified Out-of-plane Resistance Verification for Slender Clay Masonry Infills in RC Frames*. Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura, Università degli Studi di Pavia ed Eucentre.
- [19] Desai, N. e McGinley, W.M., "A study of the out-of-plane performance of brick veneer wall systems in medium rise buildings under seismic loads". *Engineering Structures*, 2013. 48(0): p. 683-694.
- [20] Liang, J. e Memari, A.M., "Performance of a Panelized Brick Veneer Wall System under Lateral Loads". *Open Journal of Civil Engineering*, 2012. 2: p. 132-146.
- [21] Arumala, J.O., "Brick Veneer Steel Stud Wall Systems: State-of-the-Art". *TMS Journal*, 2007.
- [22] Costa, A., et al. "Simulador de cenários sísmicos integrado num sistema de informação geográfica". *Actas do 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica*. Eds P. Lourenço, R. Barros e D. Oliveira. 2004. Universidade do Minho, Guimarães.
- [23] EN-1998-1, in Design of structures for earthquake resistance - Part 1 General rules, seismic actions and rules for buildings. 1998.: Brussels: CNE.
- [24] http://inspectapedia.com/structure/Brick_Veneer_Wall_Loose.htm#IDBrick Disponível em 08/2014
- [25] <http://www.ncma.org/CMDOnline/2010Issues/JanFeb2010/Pages/MasonryVeneers.aspx> Disponível em 07/2014
- [26] International Building Code. 2003/2006 International Code Council p. 22041-3401.
- [27] Masonry Standard Joint Committee Code, Specification and Commentaries 2002/2005: ACI International, SEI - Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, TMS - The Masonry Society.
- [28] BIA Technical Notes 28, *Anchored Brick Veneer, Wood Frame Construction*. 2002.
- [29] Reneckis, D. e LaFave, J.M., *Seismic Performance of Anchored Brick Veneer, in NSEL Report Series*, R.N. NSEL-016, Editor. August 2009, University of Illinois at Urbana-Champaign: Department of Civil and Environmental Engineering
- [30] Zisi, N., *The Influence of Brick Veneer on Racking Behavior of Light Frame Wood Shear Walls*. August 2009.
- [31] FEMA_273, in NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, F.E.M. Agency, Editor. 1997: Washington D.C.
- [32] EN 1996-1-1, in Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. 1996: Brussels: CNE.

- [33] Okail, H., *Experimental and analytical investigation of the seismic performance of low-rise masonry veneer buildings*, in ProQuest Dissertations and Theses. 2010, University of California, San Diego: Ann Arbor. p. 254.
- [34] Okail, H.O., et al., "Performance of clay masonry veneer in wood-stud walls subjected to out-of-plane seismic loads". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2010. 39: p. 1585–1609.
- [35] Zisi, N.V. e Bennett, R.M., "Shear Behavior of Corrugated Tie Connections in Anchored Brick Veneer–Wood Frame Wall Systems". *Journal of Materials in Civil Engineering February 2011*: p. 121-130.
- [36] Paton-Cole, V.P., et al., "Out-of-plane performance of a brick veneer steel-framed house subjected to seismic loads". *Construction and Building Materials*, 2012. 28(1): p. 779-790.
- [37] Beattie, G. e Thurston, S., "Twenty years of improvement in the seismic performance of masonry veneer construction". *Australian Journal of Structural Engineering*. 11(3).
- [38] Okail, H.O., et al., "Shaking-table tests of a full-scale single-story masonry veneer wood-frame structure". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2011. 40: p. 509–530.
- [39] Reneckis, D. e LaFave, J.M., "Out-of-Plane Seismic Performance and Detailing of Brick Veneer Walls". *Journal of Structural Engineering* 2010: p. 781-793.
- [40] Reneckis, D. e LaFave, J.M., "Analysis of brick veneer walls on wood frame construction subjected to out-of-plane loads". *Construction and Building Materials*, 2005. 19(6): p. 430-447.
- [41] Reneckis, D., LaFave, J.M., e W.M. Clarke, "Out-of-plane performance of brick veneer walls on wood frame construction". *Engineering Structures*, 2004. 26(8): p. 1027-1042.
- [42] Reneckis, D. e LaFave, J.M., "Out-of-plane seismic performance and fragility analysis of anchored brick veneer". *Structural Safety*, 2012. 35(0): p. 1-17.
- [43] Palermo, A., et al., "Focusing on reducing the earthquake damage to nonstructural components in buildings", *NZSEE Conference*. 2010.
- [44] Thurston, S.J. e Beattie, G.J.,. *Seismic performance of brick veneer houses Phase 1. Cyclic and elemental testing of clay brick veneer construction*. 2008.
- [45] Lourenço, P.B. e Medeiros, P., "Learning from Failure of a Long Curved Veneer Wall: Structural Analysis and Repair". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2013: p. 53-64.
- [46] Mertens, S., Smits, A., e Grégoire, Y. "Experimental parametric study on the performance of wall ties", *9th International Masonry Conference. 2014*: Guimarães.
- [47] Hoiseth, K.V., Hamed, A.M.Y., e Kvande, T., "Structural Capacity of Anchorage Ties in Veneer Walls Subjected to Earthquake", *9th International Masonry Conference. 2014*: Guimarães.
- [48] Ivorra, S., et al., "Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system". *Engineering Failure Analysis* 2013. 31: p. 290-301.