Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA VULNERABILIDADE DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

L. MOTA
Acadêmica de Engenharia Civil
UVA
Sobral/Ceará; Brasil
larissagmota@gmail.com

F. BRANDÃO
Acadêmico de Engenharia Civil
GEM/UVA
Sobral/Ceará; Brasil
eng.fsbrandao@gmail.com

A. DIÓGENES
Professora, Me
GEM/UVA
Sobral/Ceará; Brasil
aldeciragd@yahoo.com.br

R. VICENTE
Professor Associado
RISCO/Universidade de Aveiro
Aveiro; Portugal
romvic@ua.pt

E. MESQUITA
Professor, Phd
CENTRE-FAS/NUTEC
Fortaleza/Ceará; Brasil
mesquita.e@outlook.com

RESUMO

A ocorrência de eventos sísmicos tem causado grandes perdas humanas e econômicas, como também elevados danos ao patrimônio cultural mundial. Diante disso, torna-se importante estudos que analisem o comportamento das obras de engenharia civil, e em especial modo das construções históricas, mediante a ocorrência de ações sísmicas. Neste trabalho serão discutidos os principais parâmetros definidores de resposta sísmica das estruturas de alvenaria vernacular, os quais foram determinados a partir de análises de desempenho de construções após sismos, onde foi permitido identificar as características estruturais que mais influenciam a sua vulnerabilidade e o desenvolvimento de mecanismos de danos. A avaliação de uma construção através desses parâmetros compõe o método de análise da vulnerabilidade que será aqui apresentado. Diante disso, este trabalho pretende contribuir na promoção da conservação, reabilitação e reforço das edificações históricas, servindo como ferramenta de apoio na gestão do edificado histórico.
Palavras-chave: Vulnerabilidade sísmica. Construções históricas. Alvenaria. Danos.

ABSTRACT

The occurrence of seismic events has caused great human and economic losses, as well as high damages to the world cultural heritage. Therefore, it is important to study the behavior of civil engineering works, and especially of historical constructions, through the occurrence of seismic actions. In this work we will discuss the main seismic response parameters of the vernacular masonry structures, which were determined from the performance analysis of buildings after earthquakes, where it was possible to identify the structural characteristics that most influence their vulnerability and the development of mechanisms of damages. The evaluation of a construction through these parameters composes the vulnerability analysis method that will be presented here. In view of this, this work intends to contribute to the conservation, rehabilitation and reinforcement of historical buildings, serving as a support tool in the management of the historic building.
Keywords: Seismic vulnerability. Heritage construction. Masonry. Damage.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, as edificações estão vulneráveis à ação de danos quer devido a intempéries quer na sua própria construção ou provenientes de ações humanas, porém as deteriorações podem ser urgidas devido a ocorrência de eventos de natureza sísmica. A suscetibilidade de uma construção sofrer danos durante a ocorrência de um sismo é chamada de vulnerabilidade sísmica. O comportamento de uma edificação mediante o acontecimento de um evento sísmico depende, principalmente, da magnitude, da qualidade dos materiais constituintes e das técnicas usadas em sua concepção.

As construções de alvenaria vernacular, devido ao seu elevado valor histórico e cultural, tem vindo a ganhar destaque entre a comunidade científica, em países como Portugal e Itália, principalmente no âmbito da avaliação da vulnerabilidade sísmica. No Brasil, verifica-se, ainda, a escassez de pesquisas de valorização do patrimônio edificado, bem como escassez de estudos do comportamento dessas edificações quando submetidas a sismos.

Entretanto vem sendo desenvolvidos estudos tendo as construções históricas como caso de investigação, são estudos voltados para a caracterizações de danos (CAVALCANTE et al., 2016), caracterização dinâmica através de modelagem numérica com recorrência ao método dos elementos finitos (BRANDÃO et al., 2016), e, ainda, estudos de avaliação da vulnerabilidade estrutural dessas construções (MOTA, L. et al., 2016a) (MOTA, L. et al, 2016b). Foram desenvolvidas, também, ferramentas de suporte a caracterização e avaliação estrutural de construções históricas através de técnicas de monitorização as quais foram aplicadas tanto em construções vernaculares em Portugal como no Brasil (MESQUITA, 2017).

Embora o país seja considerado de baixa atividade sísmica, o que não significa dizer que o território brasileiro seja totalmente inativo, já foram registrados importantes tremores de terra, de intensidade moderada, onde já chegou, inclusive, a causar óbito. Ressalta-se, ainda, a ocorrência frequente de sismos, principalmente, nas regiões Nordeste e Sudeste brasileiras, devido a maior concentração de falhas geológicas, (PARISENTE, 2011).

A Rede Sismográfica Brasileira tem monitorado a sismicidade do território nacional, podendo ser verificada a frequente ocorrência de sismos que, mesmo de baixa magnitude, associados a ausência de manutenção, aceleram a degradação das construções históricas. Tendo as construções históricas sido construídas sem atender a requisitos técnicos para concepção de estruturas sismo resistentes, estabelecidos por norma regulamentadora apenas em 2006 através da NBR-15421 (ABNT, 2006), e, ainda, aliada as baixas resistências mecânicas dos materiais empregados em suas construções, torna-se necessário estudos de vulnerabilidade estrutural, pois até mesmo danos de baixa magnitude podem provocar graves danos ou até o colapso dessas construções.

Neste contexto, com o presente trabalho, busca-se contribuir para além da promoção da conservação, reabilitação e reforço das edificações históricas, como também instigar estudos de valorização de construções históricas, em especial, no âmbito da análise da vulnerabilidade estrutural, servindo como ferramenta de apoio na gestão do edificado histórico, buscando-se evitar a perda de construções e conjuntos urbanos de incalculável valor patrimonial, de vidas e reduzir consequências econômicas.

2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

A avaliação da vulnerabilidade sísmica das edificações tem vindo a ganhar importância, sendo considerada primordial na definição de estratégias de planejamento e gestão dos centros urbanos (SILVA et al., 2016) (VICENTE et al., 2016). Sendo as edificações históricas de elevado valor patrimonial, e, como dito anteriormente, edificadas sem regulamentação sísmica e aliada a falta de manutenção, a vulnerabilidade sísmica dessas construções é elevada.

A vulnerabilidade de uma edificação pode ser avaliada em três principais níveis, especificamente vulnerabilidade estrutural, vulnerabilidade não estrutural e vulnerabilidade funcional (VICENTE, 2008):

a) A vulnerabilidade estrutural está relacionada à suscetibilidade dos elementos ou componentes do sistema resistente sofrerem determinado grau de dano;

b) A vulnerabilidade não estrutural está associada à suscetibilidade dos elementos arquitetônicos e de outros componentes do edifício. Embora um edifício apresente comportamento estrutural satisfatório, danos não estruturais podem comprometer a funcionalidade e reocupação.

c) A vulnerabilidade funcional define-se como a capacidade de perturbação de funcionamento de uma instalação resultante do aumento da exigência sobre os serviços prestados. Avalia-se a incapacidade de resposta após uma emergência ou crise sísmica de edifícios considerados essenciais e sobre os quais é

exigida a manutenção de funções. Este nível de avaliação é dependente dos outros dois níveis apresentados.

A avaliação da vulnerabilidade estrutural dos edifícios pode ser realizada: a) num contexto individual, quando se avalia um edifício de forma integral; b) para a avaliação de um elemento construtivo considerado como crítico e c) para avaliar um conjunto de edifícios, servindo para identificar situações de risco impulsionadas pela interação entre construções vizinhas.

Geralmente, as metodologias usadas para avaliar a vulnerabilidade das estruturas são sustentadas em análises qualitativas e quantitativas. As análises qualitativas apoiam-se na observação visual e descrição de danos característicos após um evento sísmico, já as análises quantitativas junto com o uso de parâmetros definidores de resposta estrutural, possibilitam a definição de índices de dano (VICENTE, 2008).

Os métodos de avaliação da vulnerabilidade sísmica podem ser classificadas em (FERREIRA, 2009):

a) Métodos baseados na vulnerabilidade observada ou na opinião de especialistas;
b) Métodos de análise baseados em modelos simplificados: são métodos aplicáveis a análises de grande número de edifícios num curto espaço de tempo, envolvem modelos simples dos edifícios, requerendo apenas o conhecimento de alguns parâmetros.
c) Métodos de análise detalhada: são métodos refinados aplicáveis a construções para as quais existe informação precisa a respeito da geometria, tecnologia construtiva e materiais.

A escolha do método a utilizar deve ser feita em função do objetivo da avaliação, da disponibilidade dos meios tecnológicos, da informação disponível do edificado e de sua aplicabilidade (FERREIRA, 2009).

Nos países de elevada atividade sísmica, são desenvolvidos e aplicados diversos metódos para análise da vulnerabilidade sísmica das estruturas, porém a aplicação de alguns desses métodos em países de baixa atividade sísmica não é viável economicamente (MIRANDA, 2010). Para regiões de baixo nível de sismicidade são desenvolvidos e aplicados métodos de baixo custo que se adequem a esta configuração.

Sendo assim, os métodos de avaliação de vulnerabilidade estrutural aplicados normalmente baseiam-se em análises qualitativas, pois além de proporcionarem aplicação simplificada são úteis numa fase de verificação preliminar, podendo posteriormente induzir à avaliação por métodos quantitativos (MIRANDA, 2010).

3. MÉTODO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE: PRINCIPAIS PARÂMETROS DEFINIDORES DE RESPOSTA SÍSMICA DAS ESTRUTURAS

O comportamento sísmico de uma construção é complexo dado que a sua resposta à ação sísmica resulta da combinação de vários fatores relacionados com a estrutura resistente e suas propriedades dinâmicas, com as propriedades mecânicas dos materiais e o comportamento dos elementos, e ainda com a geometria do edifício e a sua envolvente, (CANDEIAS, 2008). Diante disso, será apresentado, sucintamente, os principais parâmetros definidores de resposta sísmica das estruturas que juntos compõem o método do índice de vulnerabilidade apresentado por Vicente (2008).

O método do índice de vulnerabillidade sísmica foi originalmente desenvolvido na Itália pelo GNDT-SSN (1994) para a avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria, que se baseou em estudos e levantamentos de danos pós-sismo. Os aspectos resultantes desses levantamentos foram tratados como parâmetros a analisar na definição e determinação de um índice de vulnerabilidade e apresentados por Vicente (2008), Tabela 1.

O índice de vulnerabilidade é calculado através da avaliação de 14 parâmetros. Os parâmetros são classificáveis em 4 classes de vulnerabilidade: A, B, C e D. A cada parâmetro foi associado um peso, variando de 0.5 (para os parâmetros menos importantes) até 1.50 (para os parâmetros com maior importância na vulnerabilidade do edifício). O índice é o resultado do somatório do produto entre o valor atribuído a cada classe e seu peso, de todos os parâmetros.

O índice de vulnerabilidade, Iv*, de um edifício varia entre 0 e 650, porém é mais comum usar-se o valor do índice normalizado, variando entre 0 e 100.

Tabela 1 – Índice de vulnerabilidade, Iv, proposto por (VICENTE, 2008)

Parâmetro de Avaliação		Classe				Peso	Índice de Vulnerabilidade
		A	B	C	D	Pi	
P1	Tipo e organização do sistema resistente	0	5	20	50	0.75	$I_v^* = \sum_{i=1}^{14} C_{vi}\, x\, p_i$ $0 \le I_v^* \le 650$ Índice normalizado: $0 \le I_v \le 100$
P2	Qualidade do sistema resistente	0	5	20	50	1.00	
P3	Resistência convencional	0	5	20	50	1.50	
P4	Distância máxima entre paredes	0	5	20	50	0.50	
P5	Altura do edifício	0	5	20	50	1.50	
P6	Posição do edifício e fundações	0	5	20	50	0.75	
P7	Localização e interação	0	5	20	50	1.50	
P8	Irregularidade em planta	0	5	20	50	0.75	
P9	Irregularidade em altura	0	5	20	50	0.75	
P10	Desalinhamento de aberturas	0	5	20	50	0.50	
P11	Diafragmas horizontais	0	5	20	50	1.00	
P12	Tipo de cobertura	0	5	20	50	1.00	
P13	Danos estruturais identificados	0	5	20	50	1.00	
P14	Elementos não-estruturais	0	5	20	50	0.50	

Os parâmetros P1 e P2 caracterizam o sistema resistente do edifício, avaliando a qualidade da alvenaria através do material constituinte, tipo de aparelho e ligação entre paredes ortogonais. O parâmetro P3 analisa quantitativamente a capacidade resistente em corte, através de informação geométrica do edifício, esse é um dos parâmetros mais importantes. O parâmetro P4 também é um indicador baseado em características geométricas que avalia o nível de conexão entre paredes, e ainda, de modo indireto, avalia a vulnerabilidade das paredes ao colapso para fora do seu plano.

Os parâmetros P5 e P6 avaliam, respectivamente, a altura da construção e a relação entre o edifício e as condições de sua fundação. O parâmetro P7 avalia a interação entre construções vizinhas, essa interação pode ser favorável ou não. A irregularidade em planta e em altura do edifício são avaliadas nos parâmetros P8 e P9, respectivamente. O parâmetro P10 verifica a irregularidade da distribuição de aberturas nas paredes.

Os parâmetros P11 e P12 avaliam as estruturas horizontais, pavimentos e cobertura. No parâmetro P11 faz-se a avaliação da ligação dos pavimentos às paredes e da sua rigidez no próprio plano. Já no parâmetro P12 avalia-se a impulsividade do sistema de cobertura sobre as paredes resistentes. O parâmetro P13 avalia as fragilidades estruturais do edifício e o parâmetro P14 a presença de elementos não resistentes com deficientes condições de ligação à estrutura principal, podendo agravar o nível de dano da construção quando sujeita a ações sísmicas.

A definição detalhada de cada um dos parâmetros pode ser consultada em Vicente (2008).

4. ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DAS ALVENARIAS

As principais características que influenciam no comportamento das alvenarias mediante uma solicitação sísmica são a qualidade das alvenarias, principalmente das alvenarias resistentes, e as ligações entre estas e as paredes ortogonais e estruturas de pavimento. Sendo assim, a execução de intervenções de reforço que permitem suprimir ou pelo menos minorar, algumas destas deficiências, possuem papel importante no decréscimo da vulnerabilidade sísmica (FERREIRA, 2008).

Nas seguintes subseções serão apresentados, respectivamente, os princípios básicos para intervenções em edifícios antigos e as principais técnicas de consolidação e reforço de paredes resistentes de edifícios antigos, como estratégias de melhoria do comportamento sísmico das paredes.

4.1 Princípios básicos para intervenções

Ao intervir em edifícios históricos, considerando-se as prerrogativas de que uma construção antiga é dotada de significados culturais e sistema construtivo tradicional, acumulado ao longo dos anos de sua existência, adota-se o princípio de que é indispensável conhecer bem o edifício antes de qualquer intervenção, a fim de evitar o máximo de interferência na autenticidade do monumento (FIGUEIREDO, 2014). Assim, é necessário ter um diagnóstico bem embasado, identificando todas as anomalias que põem em risco a sua preservação e, conforme sugere o Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural (GOMIDE, SILVA & BRAGA, 2005), na fase de diagnóstico, deve ser elaborado o mapeamento de danos.

As figuras presentes no Anexo apresentam dois mapeamentos de danos de fachadas de construções vernaculares pertencentes ao sítio histórico da cidade de Sobral, no estado do Ceará, que faz parte do banco de dados do Laboratório de Avaliação e Recuperação de Estruturas (LAREB) - grupo de pesquisa que vem desenvolvendo estudos voltados ao patrimônio histórico.

As intervenções podem ser divididas em dois grupos: a) intervenções do tipo local, quando o objetivo da intervenção passa pela reparação ou consolidação de um elemento estrutural isolado e b) intervenções que visam melhorar o desempenho global da estrutura (FERREIRA, 2008) e devem respeitar os seguintes princípios (TAVARES, COSTA & VARUM, 2011):

a) garantia da reversibilidade das soluções sugeridas;
b) adoção de soluções com o mínimo de intrusão;
c) adaptação da função ao espaço e às características do edifício;
d) favorecer a recuperação de processos/técnicas antigas;

4.2 Intervenções de consolidação e reforço

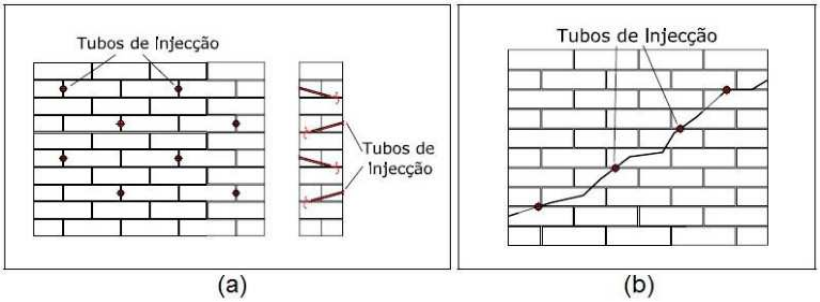
4.2.1 Injeções de caldas ou resinas

Esta técnica é aplicada com maior frequência em problemas de desagregação e/ou fendilhação localizada ou acentuada da parede, e se resume na injeção de uma calda fluida (cimentícia, hidráulica ou de resinas) por meio de aberturas (furos) previamente executados nos paramentos externos da alvenaria, objetivando a execução do preenchimento de cavidades existentes, sejam fendas, fissuras ou vazios (FERREIRA, 2008). Sua aplicação garante aumento de qualidade e de resistência mais uniforme da seção da alvenaria (ROQUE, 2002).

Em geral, as caldas são de base cimentícia, buscando-se melhorar a eficiência da ligação entre os elementos da alvenaria, entretanto por ser uma técnica de reforço irreversível, compromete o princípio da reversibilidade. A granulometria do material de enchimento é condicionado pelo tamanho das fendas ou cavidades existentes (ROQUE, 2002). A fim de que sejam evitados ou pelo menos minimizados os problemas relacionados ao fenômeno de retração, deve-se utilizar argamassas com aditivos anti-retração, garantindo a compatibilidade.

Existem diferentes soluções de aplicação desta técnica em função do processo utilizado: injeções por gravidade, injeções sob pressão e injeções sob vácuo. Durante a operação de injeção é necessário selar convenientemente todas as fissuras e juntas deterioradas (ROQUE, 2002), Figura 1.

Figura 1 – (a) Consolidação transversal; (b) Selagem de fendas



Fonte: FERREIRA, 2008.

4.2.2 Gateamento de fendas

Uma alternativa à aplicação de redes metálicas, poderá passar pelo gateamento das fendas com grampos de aço. No caso do tratamento de paredes com grandes espessuras esta técnica poderá tornar-se complicada, deve-se atentar para que os gatos atravessem completamente as fendas, em ambas as faces da parede, estes elementos deverão estar interligados de modo que assegure a solidarização da parede. E, ainda, complementando o gateamento deve ser realizada uma injeção das fendas, a fim de impedir a concentração de tensões excessivamente elevadas nos elementos metálicos (FERREIRA, 2008).

4.2.3 Substituição do material degradado

Esta técnica é recomendada na consolidação de paredes resistentes de alvenaria. A principal vantagem desta técnica é a possibilidade de assegurar a compatibilidade entre o material novo e o existente, por meio do recurso a tecnologias exclusivamente tradicionais. A técnica consiste, basicamente, na remoção do material da área degradada, e na sua posterior reconstituição usando alvenaria semelhante ou reaproveitando os elementos removidos. Já a principal desvantagem é a possibilidade do surgimento de problemas com a retração da argamassa usada na ligação e assentamento dos elementos, entretanto a retração pode ser controlada através do uso de argamassas correntes de cimento e areia com aditivo anti-retração (FERREIRA, 2008).

4.2.4 Refechamento de juntas

Esta técnica objetiva restaurar as condições de integridade das fachadas, no que diz respeito à presença de argamassas degradadas nas juntas e consequentemente melhorando as suas características mecânicas, conferindo-lhes maior proteção à ação da água (ROQUE, 2002). A escolha da argamassa para refechamento das juntas dependerá da finalidade da intervenção e das condições de compatibilidade com o material existente. O processo de execução desta técnica é composto pela realização de três operações sucessivas: i) remoção parcial da argamassa das juntas; ii) lavagem das juntas com água (a baixa pressão) e iii) reposição das juntas.

4.2.5 Pregagens

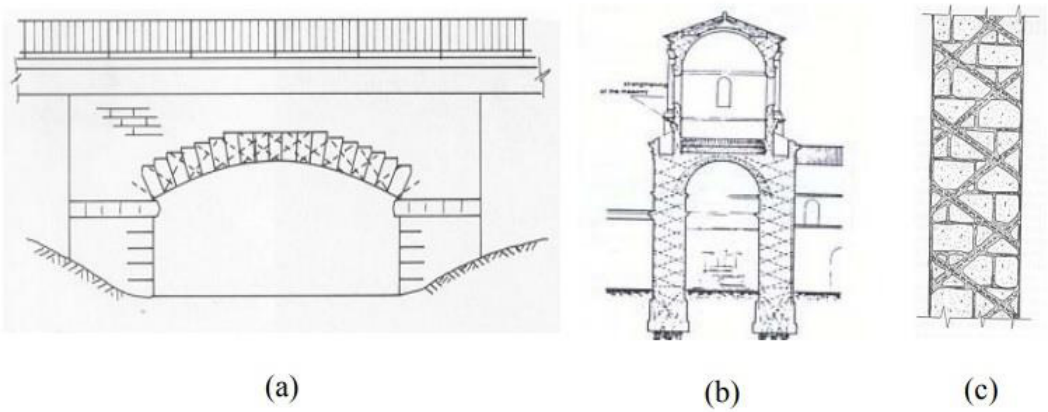
As pregagens, técnica desenvolvida na Itália, após a II Guerra Mundial, é usada como solução mecânica a fim de reforçar ou promover a ligação entre elementos cooperantes. A técnica consiste na colocação de barras metálicas, protegidas contra a corrosão, em furos de diâmetro pequeno, previamente abertos, que cruzam os elementos a reforçar. Logo após a introdução das barras metálicas, os furos são preenchidos com caldas de injeção (ROQUE, 2002) (FERREIRA, 2008).

A distribuição e a direção depende do tipo e extensão dos danos e do objetivo pretendido, mas recomenda-se que sejam feitos de 3 a 4 furos por metro quadrado com comprimento de cerca de três vezes a espessura da parede.

As pregagens podem ser: generalizadas, transversais ou pregagens “costura”. As primeiras modificam, substancialmente, as propriedades mecânicas das alvenarias, tornando-as num material semelhante ao

concreto armado, sendo capaz de resistir a esforços de tração e de corte, e, ainda, melhora, consideravelmente, a resistência à compressão (ROQUE, 2002) (FERREIRA 2008), Figura 2. Neste técnica, as barras de aço inóxidável, reforços, são dispostas em direções cruzadas, formando uma malha no interior da alvenaria.

Figura 2 – Exemplos da aplicação de pregagens em elementos estruturais: (a) Arco de uma ponte; (b) Reforço de paredes mestras



Fonte: ROQUE, 2002.

Já as pregagens transversais são utilizadas para confinamento transversal de paredes de seção composta. Nesta técnica, os varões de aço são introduzidos na direção transversal à parede e amarradas por meio de dispositivos de ancoragem, localizados nas suas extremidades. As pregagens “costura”, geralmente, destinam-se a melhorar a ligação entre paredes ortogonais (ROQUE, 2002) (FERREIRA, 2008). Essencialmente são constituídas por tirantes curtos, em aço duro, com proteção anti-corrosão, mas quando usados na ligação em cunhal das paredes podem ter maior comprimento.

4.2.6 Tirantes

A consolidação das paredes, bem como a melhoria do seu comportamento sísmico, por meio do reforço das ligações entre paredes ortogonais, pode ser obtida com a colocação de tirantes de aço, com tratamento anti-corrosão, embebidos nas alvenarias e devidamente ancorados nas extremidades, através de dispositivos que asseguram sua amarração nas faces exteriores dos paramentos (FERREIRA, 2008).

Figura 3 – Aplicação de tirantes ancorados pelo exterior



Fonte: FERREIRA, 2008.

Os tirantes em ferro forjado que ligam paredes opostas atuam como armadura passiva e não transmitem esforços à alvenaria. Se mobilizarão apenas no caso de ocorrerem deformações, assentamentos ou ação sísmica, VICENTE (2008). Sua aplicação entre paredes paralelas destina-se a impossibilitar a movimentação, uma em relação a outra, sob ação sísmica (FERREIRA, 2008)

4.2.7 Rebocos armados

O reboco armado é uma das soluções técnicas mais usuais que muito se tem desenvolvido com a experiência da sua utilização (ROQUE, 2002). Se as modificações estéticas, devido ao recobrimento da alvenaria aparente, não são relevantes, ou no caso de alvenarias não-aparentes, a aplicação desta técnica pode ser eficaz na reabilitação ou reforço. O reboco armado é aplocadp em estruturas de alvenaria que necessitem de proteção anti-sísmica e de melhores propriedades mecânicas (RODRIGUES, 2010).

A execução dos rebocos armados é realizado através da colocação de uma malha de armadura, fixada à parede, por meio de pequenas pregagens, sobre a qual, posteriormente, se aplica uma camada de argamassa de revestimento (FERREIRA, 2008). Normalmente são usadas malhas de aço eletrosoldadas, com varões de pequeno diâmetro, ou malhas de metal distendido como armadura. Entretanto, com o desenvolvimento de armaduras sintéticas, como a rede de fibra de vidro ou as fibras curtas sintéticas, e o aparecimento das fibras curtas em aço, dispõe-se de um leque de opções (ROQUE, 2002).

4.2.8 Reforço com materiais compósitos FRP

Os Fiber Reinforced Polymers (FRP), ou polímeros reforçados com fibras, são os materiais compósitos mais utilizados no refor estrutural e são compostos por uma fibra de reforço e uma matriz polimérica (FERREIRA, 2008). As fibras de reforço funcionam como armaduras, aumentando a resistência e rigidez do elemento onde são aplicadas, optando-se habitualmente pelo uso de fibras de carbono (Carbon Fiber Reinforced Polymer ou CFRP), fibras de vidro (Glass Fiber Reinforced Polymer ou GFRP) ou fibras de aramida (Aramid Fiber Reinforced Polymer ou AFRP). Já a matriz tem a função de transmitir a resistência da fibra de reforço para o suporte onde esta é aplicada, a matriz de utilização mais comum é uma resina, que pode ser epóxi, de poliéster, acrílica ou outra (LAMEGO, 2014).

As mantas ou telas, resultante da associação de fibras orientas e entrelaçadas em duas direções ortogonais, podem ser aplicadas no recobrimento completo ou parcial da superfície das paredes, ou seja, podem recobrir a parede em geral ou apenas as zonas mais suscetíveis a dano (FERREIRA, 2008).

As principais vantagens desta técnica são: a leveza, a resistência mecânica, a elevada resistência à corrosão, o bom comportamento à fadiga, a baixa relaxação, a facilidade de aplicação e a reversibilidade da aplicaação. Entretanto, como desvangatens, aponta-se o elevado custo de aplicação, o seu comportamento muito frágil, a baixa resistência ao fogo, a fraca resistência aos raios ultra-violeta e a durabilidade limitada (ROQUE, 2002).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo destacou a importância dos estudos de vulnerabilidade, principalmente referidos as construções vernaculares, apresentou, de forma sucinta, os níveis de vulnerabilidade e de avaliação da vulnerabilidade estrutural e a classificação básica dos métodos de avaliação da vulnerabilidade estrutural. Em seguida, os principais parâmetros definidores de resposta sísmica das estruturas, através da apresentação da metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica. E, por último, destacou os princípios básicos para intervenções e demonstrou as principais técnicas de consolidação e reforço de paredes resistentes, como estratégias de melhoria do comportamento sísmico das paredes.

O objetivo principal foi contribuir ao estudo da vulnerabilidade sísmica de alvenarias antigas de valor cultural e para a implementação de políticas públicas de intervenção, que considerem seriamente os princípios básicos de intervenção. Caso contrário, as construções de valor cultural permanecerão em processo acelerado de degradação, tornando-se um perigo real para os seus usuários e sujeitas a perder suas características originais, provocando assim a perda de identidade cultural.

6. AGRADECIMENTOS

Esequiel Mesquita agradece à Fundação CAPES pelo suporte financeiro no âmbito do Programa de Doutorado Pleno no Exterior, processo número 10023/13-5. Todos os autores agradecem à Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA e ao Instituto do Patrimônio Artístico Nacional – IPHAN, pelo suporte necessário à realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15421:** Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2006.

BRANDÃO, F. ALVES, A. SANTOS, F. DIÓGENES, A. MESQUITA, E. VARUM, H. **Caracterização dinâmica de um edifício histórico do século XIX.** Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT, 2016.

CANDEIAS, P. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria.** Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, 2008.

CAVALCANTE, A. MOTA, L. ARAÚJO, E. DIÓGENES, A. MESQUITA, E. VARUM, H. **Caracterização dos danos em construções históricas de alvenaria vernacular: casos de estudo.** Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT, 2016.

FERREIRA, T. M. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios em alvenaria.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2009.

FIGUEIREDO, M. **Valorização do sistema construtivo do património edificado.** Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, 2014.

GOMIDE, J. H., SILVA, P. R., BRAGA, S. M. N. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural.** Brasília: Ministério da Cultura - Instituto do Programa Monumenta, 2005.

GNDT-SSN (1994). **Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo e secondo livello (murata e cemento armato).** Grup. Naz. per la Dif. dai Terremoti, Roma (Itália).

LAMEGO, P. R. P. C. **Reforço sísmico de edifícios de habitação. Viabilidade da mitigação do risco.** Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, 2014.

MESQUITA, E. **Structural characterization and monitoring of heritage constructions.** Tese de Doutoramento. Universidade do Porto, 2017.

MOTA, L. CAIO, A. ARAÚJO, E. DIÓGENES, A. MESQUITA, E. VICENTE, R. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edificações históricas do século XIX.** XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, 2016a.

MOTA, L. CAVALCANTE, A. DIÓGENES, A. MESQUITA, E. VICENTE, R. VARUM, H. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica à escala urbana: o centro histórico sobralense.** Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT, 2016b.

PARISENTI, R. **Estudo de análise dinâmica e métodos da NBR 15421 para projeto de edifícios submetidos a sismos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

RODRIGUES, J. M. V. **Principais técnicas de consolidação e reforço paredes de edifícios antigos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2010.

ROQUE, J.C.A. **Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, 2002.

SILVA, J. FERREIRA, T. RODRIGUES, H. VICENTE, R. COSTA, A. **Desenvolvimento de uma metodologia simplificada para a análise da vulnerabilidade sísmica de edifícios de B.A..** 10º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Faculdade de Engenharia do Porto. Porto, 2016.

TAVARES, A. COSTA, A. VARUM, H. **Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Guia de Intervenção.** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2011. 113 p.

VARUM, H. RODRIGUES, H. LOURENÇO, P. B. VASCONCELOS, G. In: Correia, Lourenço & Varum (Eds). Seismic Retrofitting: Learning from Vernacular Architecture. **Seismic behaviour of vernacular architecture.** Londres: Taylor & Francis Group, 2015. p. 151-156.

VICENTE, R. **Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra.** Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, 2008.

VICENTE, R., FERREIRA, T. M., MAIO, R., ESTÊVÃO, J., COSTA, A. A., VARUM, H., COSTA, A., OLIVEIRA, C. S. **Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Núcleos Urbanos Antigos.** 10º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Faculdade de Engenharia do Porto. Porto, 2016.

8. ANEXO

A.1 Mapeamento de danos de construções vernaculares do sítio histórico de Sobral

Figura A.1 – Mapeamento de danos da Igreja das Dores

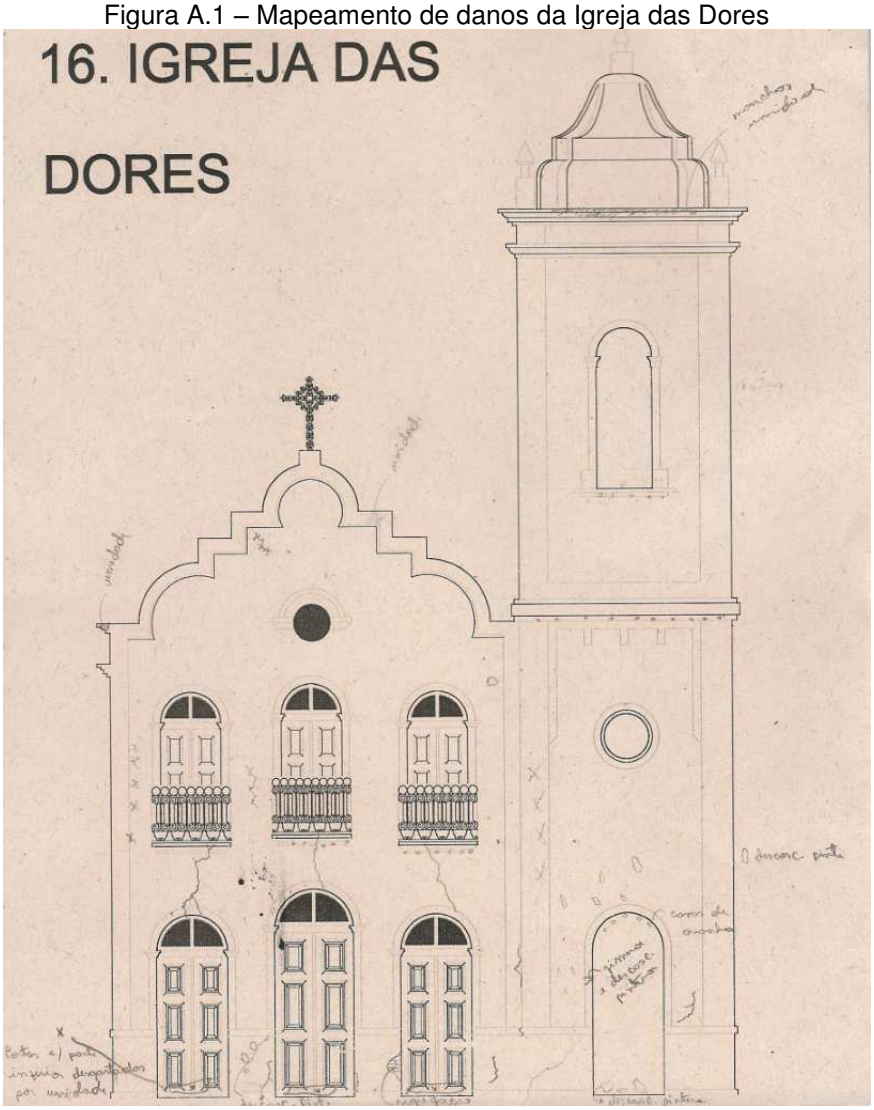


Figura A.2 – Mapeamento de danos da Estação Ferroviária de Sobral

