
Soluções estruturais antissísmicas – estado da arte de técnicas desenvolvidas internacionalmente

Anti-seismic structural solutions – state of the art of techniques developed internationally

Marcelo Minoro Nishimura Nakamura¹, Cristine do Nascimento Mutti¹, Vivian da Silva Celestino Reginato^{2*},

RESUMO

A urbanização em diferentes regiões do planeta transformou pequenas vilas em complexos centros, o que aumentou a demanda para a construção de prédios e infraestruturas e a ocupação humana em regiões vulneráveis à ocorrência de desastres naturais, como os terremotos. Neste contexto, a engenharia sísmica surge como um ramo da ciência dedicado à investigação dos fatores que provocam os sismos, a materialização de soluções técnicas e normas para engendrar estruturas mais seguras. Este trabalho tem por objetivo analisar o estado da arte da produção científica internacional acerca das soluções e controle de danos causados por eventos sísmicos entre os anos de 2017 e 2021. Para tanto utilizou-se pesquisa integrativa e sistemática de literatura, de onde foi possível visualizar a distribuição geográfica das soluções, quantificar as tipologias estruturais utilizadas, as publicações mais relevantes do período, seus autores, entre outros. Os resultados revelaram a existência de 48 trabalhos, onde foi verificado que as soluções ativas e passivas utilizadas na engenharia sísmica ainda são as mais empregadas, em detrimento das soluções que envolvem estudo de caso em construções históricas e *retrofit*.

Palavras-chave: Engenharia Sísmica; Revisão integrativa; Terremotos; Soluções estruturais.

ABSTRACT

Urbanization in different regions of the planet has transformed small villages into complex centers, which has increased the demand for the construction of buildings and infrastructures and human occupation in regions vulnerable to natural disasters, such as earthquakes. In this context, seismic engineering emerges as a branch of science dedicated to the investigation of the factors that cause earthquakes, the materialization of technical solutions and standards to engender safer structures. This paper aims to analyze the state of the art of international scientific production on solutions and damage control caused by seismic events between the years 2017 and 2021. For this purpose, an integrative and systematic literature search was used, from which it was possible to visualize the geographic distribution of the solutions, quantify the structural typologies used, the most relevant publications of the period, their authors, among others. The results revealed the existence of 48 works, where it was verified that the active and passive solutions used in seismic engineering are still the most used, to the detriment of solutions that involve case study in historic buildings and retrofit.

Keywords: Earthquake Engineering; Integrative review; Earthquakes; Structural solutions.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

*E-mail: vivian.celestino@ufsc.br

INTRODUÇÃO

O planeta Terra possui mais de quatro bilhões de anos e apresenta um dinamismo interno devido a seu núcleo líquido, que ao buscar um equilíbrio causa atividades vulcânicas que, conseqüentemente, ocasionam sismos no momento em que é expelido por alta pressão para a superfície terrestre. Em contrapartida, os tremores que geram fraturas na Terra também podem levar a ocorrência de atividade vulcânica. Resumidamente, a dinâmica existente entre os fenômenos de sismicidade e vulcanismo tem esculpido a superfície física da Terra e são sempre relacionados.

Terremotos são vibrações ou movimentos repentinos causados pela liberação brusca e rápida de energia acumulada pela deformação da litosfera e que se propaga através de ondas sísmicas. Os impactos indiretos causados por esses fenômenos são percebidos por deslizamentos de terra, inundações, surgimento ou intensificação de pandemias, *tsunamis* e danos econômicos a uma região (SÁNCHEZ, 1994).

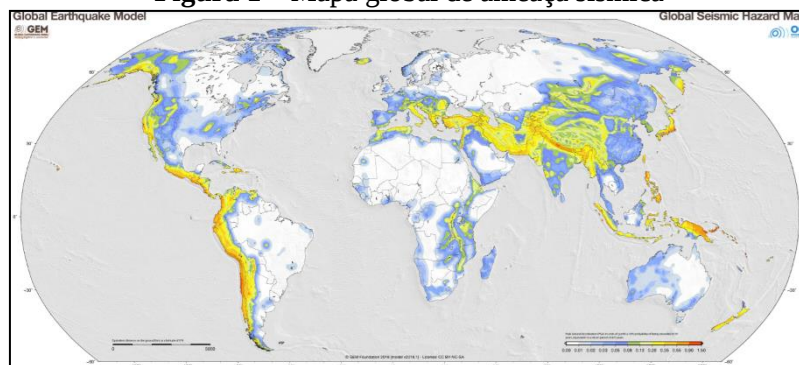
Segundo dados do Escritório das Nações Unidas para Redução de Risco de Desastres, as vítimas fatais devido a terremotos e *tsunamis* já ultrapassam o número de 250.000 pessoas nos últimos anos, principalmente em regiões que são banhadas pelos Oceanos Índico e Pacífico. Além disso, os danos econômicos, causados por esses desastres, somam o valor de 280 bilhões de dólares (ONU, 2021).

“O terremoto mais mortal já registrado até hoje matou mais de 800.000 pessoas na China Central no ano de 1556 na província de Xiangxi. Já em 1755 Portugal foi atingido por um terremoto de grau nove na escala Richter. No século XXI um dos terremotos que causou um número expressivo de vítimas humanas ocorreu em 2010, no Haiti, país caribenho situado na América Central. O tremor e todos os seus impactos provocou a morte de mais de 200.000 pessoas e intensificou o lento processo de desenvolvimento na região, que sofre de uma forte crise política e baixos índices de desenvolvimento humano. Para agravar a situação do país, em 2021, ocorreu um novo terremoto de magnitude similar ao ocorrido em 2010” (BBC, 2021).

A Figura 1 apresenta o mapa global de ameaça sísmica desenvolvido pela *Global Earthquake Model Foundation* (GEM), uma fundação sem fins lucrativos criada em 2009 que reúne dados padronizados de mais de 20.000 grandes terremotos dos últimos 110 anos, informações advindas de 70.000 estações de aparelhos do tipo *Global Positioning System* (GPS), sobre edifícios e infraestruturas em todo o mundo, incluindo vulnerabilidade social e sísmica (ZAPATA *et al.*, 2019). O Mapa global de ameaça sísmica representa a distribuição geográfica do *Peak Ground Acceleration* (PGA) - aceleração de pico do solo, em português – ou seja, a intensidade da aceleração horizontal

de uma região geográfica, com a probabilidade de 10% deste parâmetro ser igualado ou excedido num período de 50 anos. A escala de intensidade do mapa é representada por mapa de calor onde os tons quentes representam maior intensidade e os tons frios as de menor intensidade. Esta avaliação é um importante aspecto quantitativo no mapeamento de risco sísmicos, pois de acordo com o mapa, as regiões do continente americano localizadas na costa do Pacífico, por exemplo, apresentam cores alaranjadas, o que significa uma alta probabilidade de ocorrência de eventos sísmicos.

Figura 1 – Mapa global de ameaça sísmica



Fonte: GEM (2018)

Devido a esta problemática é verificada a necessidade de, em um primeiro momento, realizar investimentos em prevenção, através do desenvolvimento da ciência e tecnologia e, também, de fomentar trabalhos de conscientização e preparo da humanidade quando da ocorrência desses eventos. Soluções estruturais antissísmicas são métodos de controle categorizadas especialmente desenvolvidas em engenharia para contribuir na minimização de impactos causados por eventos sísmicos. Mas, a partir da contextualização exposta, o seguinte questionamento é realizado: como estão sendo desenvolvidas as pesquisas em âmbito internacional, relativas ao controle de danos causados por eventos sísmicos?

Para responder a pergunta este trabalho propõe a realização de pesquisas relacionadas à análise bibliométrica, que é uma área conexa à ciência da informação, que proporciona um relevante diagnóstico da produção científica acerca de um determinado tema, já que retrata o comportamento e o desenvolvimento, apontando lacunas teóricas e empíricas de certo campo de conhecimento (ARAÚJO e ALVARENGA, 2011), quantificando as características presentes em uma determinada amostra de trabalhos (RITCHARD, 1969; TAGUE-SUTCLIFFE, 1992).

Neste sentido o objetivo deste trabalho é analisar a produção científica internacional e o estado da arte acerca do controle de danos causados por eventos sísmicos em nível mundial. Especificamente, o objetivo da pesquisa é realizar pesquisa integrativa e sistemática de forma a apresentar criticamente as soluções antissísmicas desenvolvidas e aplicadas mundialmente entre os anos de 2017 e 2021.

DANOS CAUSADOS POR EVENTOS SÍSMICOS

O século XX foi marcado por acontecimentos importantes que auxiliaram a humanidade a desenvolver tanto procedimentos para a compreender melhor os terremotos quanto tecnologias preventivas contra os eventos sísmicos. Notadamente, a partir de 1950, observa-se um forte avanço do desenvolvimento da sismologia e da engenharia sísmica, que tiveram grande influência na elaboração de conceitos antissísmicos. Neste século também houve eventos sísmicos notáveis (GIONCU e MAZZOLANI, 2011) e que causaram danos irreversíveis a humanidade.

De acordo com FHWA (1997), os danos resultantes de terremotos às construções podem ser diretamente ou indiretamente atribuíveis aos efeitos do terremoto, sendo que os danos diretos podem resultar de impactos primários (aqueles que causam tremor do solo e ruptura das falhas geológicas provocando o colapso parcial ou total da estrutura) ou de impactos secundários, como deslizamentos de terra e liquefação do solo, gerados por impactos primários. Ou seja, os danos diretos estão associados notadamente aos fortes tremores e a ruptura das falhas geológicas. Danos indiretos estão associados aos impactos socioeconômicos provocados pelos terremotos e estão relacionados a perda ou interrupção da distribuição de serviços essenciais como sistemas de água e energia, transporte e serviços.

A magnitude do dano depende tanto da intensidade quanto da frequência do tremor. Esses fatores dependem da magnitude do terremoto, mecanismo de origem, localização do local em relação ao ponto de liberação de energia do terremoto, características do tipo de fundação e tipologia estrutural. Danos provocados por ruptura estão associados a amplitude, distribuição espacial e direção dos esforços causados na estrutura (FHWA, 1997).

Nos edifícios, os danos causados por terremotos podem ser divididos em duas categorias: danos estruturais e danos não estruturais, os quais podem ser perigosos para os ocupantes do edifício. Danos estruturais significam degradação dos sistemas de suporte

estrutural do edifício (ou seja, sistemas resistentes à força vertical e lateral), como as estruturas e paredes do edifício. Os danos não estruturais referem-se a qualquer dano que não afeta a integridade do sistema de suporte estrutural, podendo ainda ser fatais e onerosos. O tipo de dano a ser esperado é uma questão complexa que depende do tipo estrutural e idade do edifício, sua tipologia estrutural, materiais de construção, as condições do local, a proximidade do edifício aos edifícios vizinhos e o tipo de elementos não estruturais (SCAWTHORN, 1999).

Ao sofrer um dano advindo de um movimento sísmico os edifícios podem sofrer distorção horizontal, que quando grandes, podem ser catastróficas. Assim, a maioria dos edifícios são projetados com sistemas de resistência à força lateral – *lateral force resisting systems* (LFRS) - para resistir aos efeitos das forças do terremoto e manter os deslocamentos dentro dos limites especificados. LFRS geralmente são capazes de resistir apenas a forças que resultam de movimentos do solo paralelos a eles. No entanto, a ação combinada do LFRS ao longo da largura e comprimento de um edifício pode ser utilizada como uma solução sismo-resistente contra movimentos de terremoto de qualquer direção. LFRS diferem de edifício para edifício porque o tipo de sistema é controlado até certo ponto pelo *layout* básico e elementos estruturais do edifício. Basicamente, o LFRS consiste no uso de elementos resistentes contra esforços axiais, esforços de cisalhamento e esforços de flexão (SCAWTHORN, 1999).

TÉCNICAS INOVADORAS DESENVOLVIDAS PARA CONTROLE DE DANOS

Atualmente existem técnicas inovadoras que foram desenvolvidas como forma de controlar os danos causados às estruturas quando ocorrem eventos sísmicos de grande magnitude. As técnicas podem ser divididas em categorias: controle passivo, controle ativo e controle semiativo ou híbrido. Os principais sistemas passivos encontrados são descritos pelos isoladores de base e dispositivos de dissipação de energia, enquanto os sistemas de controle ativos empregam tecnologias que envolvem a aplicação de peças e conexões nas estruturas.

O isolamento de base é um tipo de isolamento sísmico que consiste no amolecimento da capacidade de cisalhamento da ligação de uma estrutura com o solo, mantendo a capacidade de carga vertical, de modo a reduzir a transmissão de carregamento provenientes do terremoto para a estrutura. Isso tem sido realizado

principalmente através do uso de vários tipos de borracha, borracha de chumbo, composto de borracha-aço ou outros tipos de rolamentos sob as colunas.

Uma estratégia atual, amplamente preferida para melhorar o desempenho sísmico de sistemas de base fixa, envolve a dissipação de energia sísmica através de vários dispositivos de dissipação de energia (GIONCU e MAZZOLANI, 2011). Esses dispositivos são adicionados às estruturas convencionais e absorvem a energia sísmica, reduzindo assim a demanda nos membros estruturais primários (pórticos, vigas, lajes, colunas, etc).

A distinção entre controle passivo e ativo é que o primeiro utiliza técnicas de isolamento da base e dissipação de energia com uso de intervenção humana e fonte de energia e o segundo monitora a estrutura e o movimento de entrada do solo e procura controlar ativamente as massas ou forças na estrutura (via pesos móveis, tendões de tensão variável etc.) de modo a desenvolver uma resposta estrutural (idealmente) igual e oposta à resposta estrutural resultante do movimento de entrada do solo sem intervenção ou fonte de energia.

Os sistemas de controle passivo utilizam técnicas de amortecimento suplementar, que são utilizadas quando o amortecimento puder ter um aumento significativo, fazendo com que a resposta estrutural aos esforços e deslocamentos seja reduzida (CONSTANTINO e SYMANS, 1993; HANSON *et al.*, 1993). Esses sistemas incluem sistemas de atrito (por exemplo, Sumitomo, *Pall e Friction-Slip*) baseados no atrito de *Coulomb*, resistência de atrito autocentrante e outros vários mecanismos de dissipação de energia, que de acordo com Aiken *et al.* (1993) podem ser: elementos ADAS (amortecimento e rigidez adicionados), que utilizam o rendimento de placas X de aço macio; amortecedores de cisalhamento viscoelásticos, que utilizam copolímero acrílico 3M como elemento dissipativo e; dispositivos de memória de forma de liga de níquel-titânio que aproveitam as mudanças de fase reversíveis induzidas por estresse na liga para dissipar energia.

Os sistemas de controle ativo estão cada vez mais sendo aplicados no projeto de novas estruturas ou no *retrofit* de estruturas existentes resistentes a vento, terremotos e outras cargas externas (CONSTANTINO e SYMANS, 1993) e depende da modificação ativa da massa, rigidez ou propriedades geométricas de uma estrutura durante sua resposta dinâmica, de forma a neutralizar e reduzir deslocamentos excessivos (LUCO; MITA, 1992). Amortecedores de massa (*tuned mass dampers*) e tensionamento ativo de tendões

são métodos pesquisados atualmente. A maioria dos métodos de controle ativo são utilizados em tempo real, contando com rapidez nas medições da resposta estrutural e análise computacional (SCAWTHORN, 1999). Cabe lembrar que retrofit sísmico é a modificação de estruturas existentes para torná-las mais resistentes à atividade sísmica, movimento do solo ou falha do solo devido a terremotos (JAMAL, 2017).

Já os sistemas de controle semiativos, recentemente desenvolvidos, parecem combinar as melhores características de ambas as abordagens, oferecendo a confiabilidade de dispositivos passivos, mas mantendo a versatilidade e adaptabilidade de sistemas ativos. Os amortecedores magnetoreológicos (MR), por exemplo, são novos dispositivos de controle semiativos que usam fluidos MR para criar amortecedor controlável (SCAWTHORN, 1999). Os resultados iniciais indicam que esses dispositivos são bastante promissores para aplicações na área de engenharia civil (CARLSON e SPENCER, 1996).

FERRAMENTAS DE BUSCA SISTEMÁTICA

A busca sistemática é uma ferramenta de investigação científica que tem como principal objetivo a eliminação de vieses provocados por pesquisas muito exaustivas na literatura por meio do planejamento de buscas em base de dados científicos e a organização dos principais resultados em um portfólio bibliográfico. O método *Systematic Search Flow* (SSF), ou seja, fluxo de pesquisa sistemática classifica a revisão de literatura em três tipos: narrativa, sistemática e integrativa (FERENHOF e FERNANDES, 2016).

A primeira delas, revisão narrativa ou busca exploratória é um método tradicional que não segue uma sistematização do processo de busca e não se preocupa com o volume e natureza das fontes de informação. A segunda, revisão sistemática, adota um método replicável, respeita critérios científicos e transparentes de busca e seleção de fontes bibliográficas (COOK *et al.*, 1997) e permite que a análise seja realizada por mais de um pesquisador, que discutem e definem critérios de inclusão e exclusão dos resultados de busca (ERCOLE *et al.*, 2014). O terceiro tipo de revisão de literatura, revisão integrativa, é um método de revisão bibliográfica utilizado para organizar e sintetizar os principais resultados de uma pesquisa científica a partir de um tema delimitado, de forma ordenada sistemática e abrangente, que tem por função promover um aprofundamento maior do

tema investigado (ROMAN e FRIEDLANDER, 1998; ERCOLE *et al.*, 2014), podendo ser realizada por apenas um pesquisador.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Como procedimentos metodológicos para realizar a pesquisa exploratória foi adotada a busca sistemática no âmbito da revisão integrativa de literatura. Para definir as etapas e fases da revisão foram utilizados os princípios de estratégia de pesquisa propostos por Ferenhof e Fernandes (2016) no método SSF, estruturados em 4 etapas: protocolo de pesquisa, análise de documentos, síntese e redação de resultados. Como a Etapa 1 “Protocolo da pesquisa” é formada por cinco fases interdependentes, foram estabelecidos critérios para realizar as buscas. Ver Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios definidos na estratégia de busca

Estratégia de busca	Critério definido
Base de dados: utilização de base de dados relevante e internacional, para aumentar o alcance da pesquisa de forma a evitar resultados duplicados	Scopus®: base de dados holandesa que apresenta periódicos, resumos e citações da literatura mundial com revisão por pares
Palavras-chave da busca: utilização de quatro palavras-chave no escopo da temática	Disaster proof, Earthquake proof, Seismic protection system, Seismic engineering
Filtros a serem aplicados: idioma, área temática, tipo de publicação, intervalo temporal de busca	Inglês, Engenharia, Artigos científicos publicados em periódicos, 2017 a 2021
Estratégias de busca: pelas palavras-chave definidas nos artigos buscados na base de dados	Título, Palavras-chave, Resumo

Desta forma foram realizadas as buscas na base de dados através de combinações de expressões alfanuméricas que direcionaram a pesquisa através da aplicação dos critérios estabelecidos. Com a finalidade de se obter o conhecimento das principais soluções estruturais antissísmicas desenvolvidas internacionalmente, todos os artigos que não estevam relacionados diretamente com o objetivo geral definido na temática da pesquisa nesta fase foram descartados. Os artigos resultantes formaram o *portfólio* de documentos através dos seguintes critérios: aplicação prática da solução estrutural proposta; soluções estruturais em fase avançada de estudo experimental e; casos históricos investigados sob uma análise de desempenho antissísmico.

Para realizar a análise de documento foi desenvolvido um “Painel de indicadores”. Para tanto os dados foram organizados e exportados para uma planilha eletrônica do tipo *Excel*, onde mais três sub etapas foram definidas como forma de aprimorar os resultados: manutenção parcial de dados extraídos da base de dados; exclusão de dados pouco

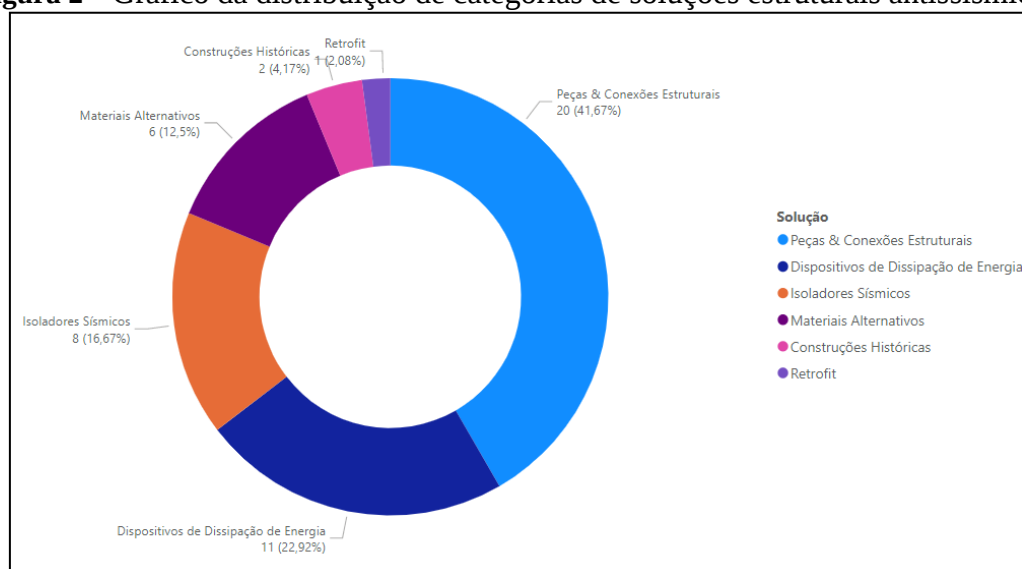
relevantes para a pesquisa e implementação de novos dados referentes aos resultados de busca.

Na etapa de síntese foi utilizado o *software Microsoft Power BI* (Microsoft, 2021). Desta forma foram produzidos os gráficos de resultados por meio de diferentes cruzamentos de colunas. Assim foi possível perceber os pontos fracos e fortes dos trabalhos pesquisados, bem como tecer as análises e escrita de resultados.

RESULTADOS E ANÁLISES

Através do exposto nos procedimentos metodológicos foram encontrados 207 artigos científicos na base de dados que atendiam aos critérios definidos. As etapas seguintes permitiram um descarte de 159 artigos, o que resultou em 48 estudos de caso de aplicação de soluções estruturais antissísmicas, selecionados para etapa analítica. Para melhor exposição dos resultados as soluções estruturais antissísmicas foram discretizadas e quantificadas em seis categorias, que podem ser visualizadas na Figura 2.

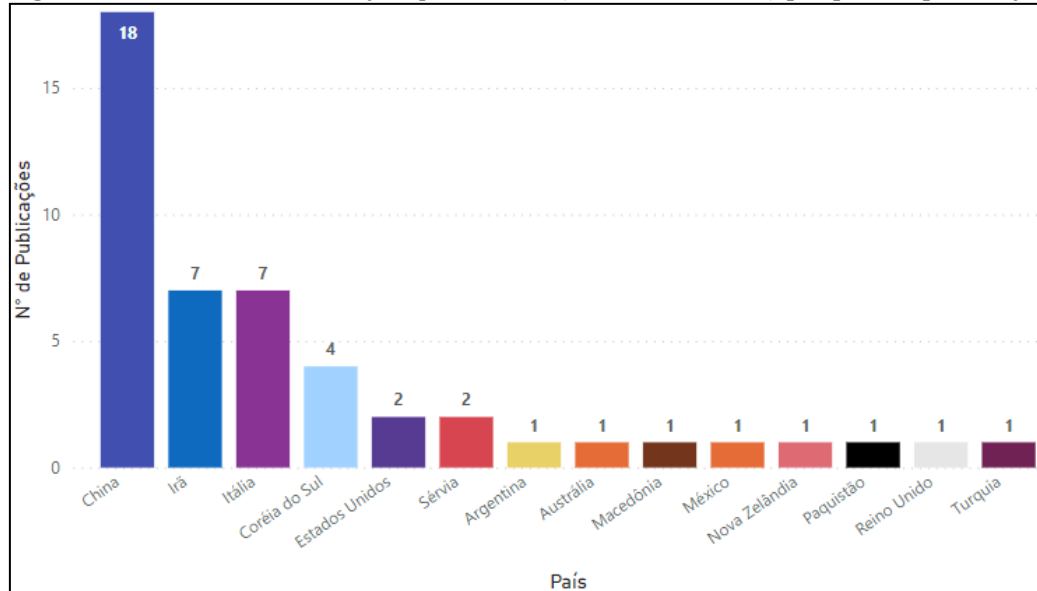
Figura 2 – Gráfico da distribuição de categorias de soluções estruturais antissísmicas



Em relação aos países onde ocorreram as publicações pode ser percebido através do exposto na Figuras 3 que houve participação de países de quase todos os continentes, exceto África e Antártica. Através da Figura 4 pode ser visualizada a distribuição geográfica e quantitativa (por círculos proporcionais) das publicações, que analisado em conjunto com a Figura 1, percebe-se uma correlação entre regiões de vulnerabilidade sísmica e países que realizam pesquisa em ciência e tecnologia para soluções antissísmicas. Desta forma, surge um cenário de investigação para avaliar se há produção

científica sobre o assunto nos continentes omissos realizados em anos anteriores ao período de pesquisa, bem como avaliar a ocorrência de eventos sísmicos relevantes para populações humanas nessas regiões e como se situa o nível de desenvolvimento no cenário de mitigação de riscos sísmicos.

Figura 3 – Gráfico de distribuição quantitativa (valores absolutos) por país de publicação



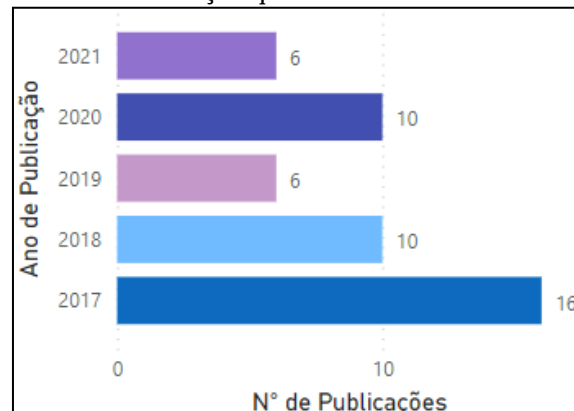
A partir das informações expostas nas Figuras 3 e 4 é possível observar que a produção científica no âmbito da pesquisa é liderada pela China, seguida pelas iguais participações do Irã e Itália.

Figura 4 – Distribuição geográfica e quantitativa das publicações



Na Figura 5 pode ser verificado o gráfico da distribuição quantitativa no intervalo temporal definido para a pesquisa: anos de 2017 a 2021. Observa-se que a produção científica se acentuou no ano de 2017, com 16 publicações e diminuiu nos anos seguintes, mantendo uma média de oito publicações anuais nos 4 anos seguintes.

Figura 5 - Gráfico da distribuição quantitativa no intervalo temporal definido

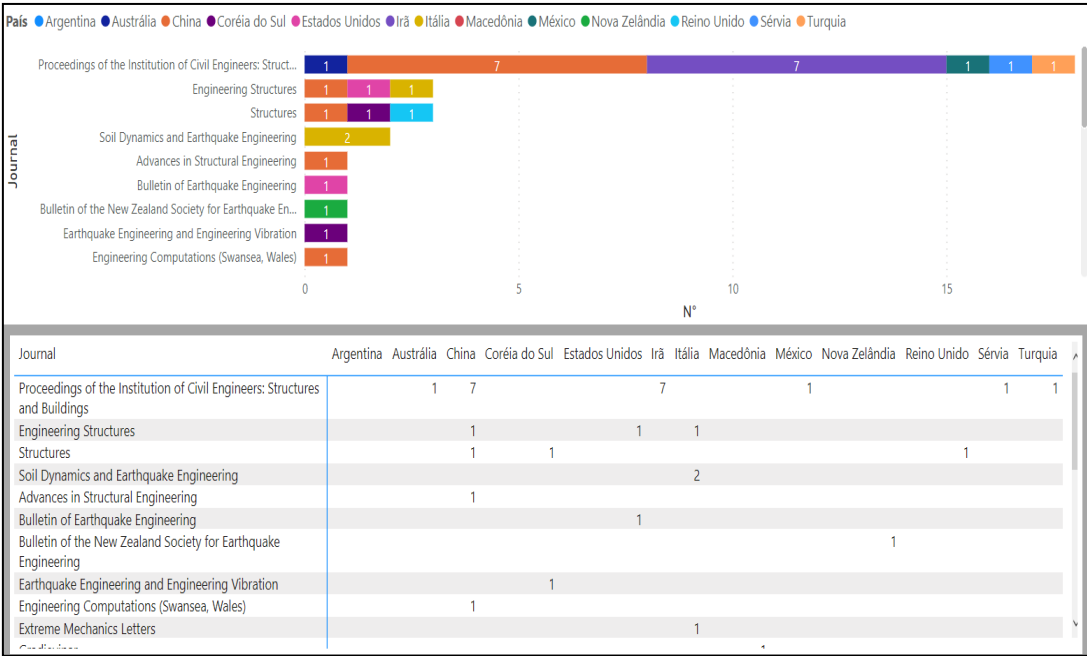


Na Figura 6 estão representados os principais veículos de publicação dos artigos. É possível perceber uma relevância do periódico “*Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*”, com 17 artigos na área, ocupando o primeiro lugar na classificação. Os periódicos “*Engineering Structures*” e “*Structures*” ocuparam o segundo lugar com três publicações cada. O periódico classificado em primeiro lugar realiza a publicação de artigos revisados por pares em pesquisa acadêmica, juntamente com projeto prático e construção de estruturas de engenharia civil (edifícios, pontes, barragens, etc.) resistentes a cargas estática e dinâmica de curto e longo prazo (incluindo sísmica). Também publica investigações experimentais e numéricas combinadas com o

comportamento de componentes estruturais e sistemas compreendendo várias combinações de aço, concreto, madeira, polímeros reforçados com fibras (FRP), materiais de base biológica, vidro e outros materiais de construção.

Um dado interessante é que o volume total de artigos produzidos pelo Irã verificados nesta pesquisa correspondeu a 100% das publicações realizadas pelo país neste periódico. Ademais, o periódico citado representa o principal veículo de publicação científica utilizado pela China no mesmo período, responsável por sete de seus artigos (38,88%). Sobre as categorias de solução sísmica encontradas na pesquisa, foi gerado um quadro de resultados (Quadro 2) com as quantidades e ano de publicação dos artigos.

Figura 6 - Gráfico com os principais veículos de publicação pesquisados



Quadro 2 – Categorias de solução sísmica

Quantidade	Solução sísmica	Ano de publicação
2	Isoladores sísmicos	2018
3		2019
3		2020
5	Dispositivos de dissipação de energia	2017
2		2018
1		2019
1		2020
2		2021
2	Materiais alternativos	2017
1		2018
1		2019
2		2020
8	Peças e conexões estruturais	2017
4		2018
1		2019

3		2020
4		2021
1	Construções históricas	2017
1		2018
1	<i>Retrofit</i>	2020

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo apresentar o estado da arte das principais soluções antissísmicas que foram desenvolvidas internacionalmente e são empregadas para a prevenção contra eventos sísmicos em construções, no período entre 2017 e 2021. À vista disso, foi realizada uma revisão integrativa e sistemática de literature. Como resultados foram encontrados 48 artigos publicados em diferentes países, e notadamente situados em regiões sismicamente ativas. A produção científica foi registrada principalmente na Oceania, América, Ásia e Europa, sendo que o país que mais publicou foi a China, com 18 trabalhos, seguido do Irã e Itália com sete trabalhos cada. O ano com maior número de publicações foi o de 2017 com 16 artigos.

A pesquisa apresentou uma visão geral do estado tecnológico atual e suas contribuições no campo de sistemas de proteção sísmica em edificações, sendo que 48 artigos revisados apresentaram estudos de caso envolvendo aplicações distintas com soluções estruturais antissísmicas categorizadas em: sistemas estruturais (41,67%), dispositivos de dissipação de energia (22,92%), isoladores sísmicos (16,67%), uso de materiais alternativos (12,5%), construções históricas (4,17%) e *Retrofit* (2,08%). Através do exposto pode ser concluído que o cenário de baixa participação em construções históricas e *retrofit* é uma oportunidade de pesquisa de campo para novos estudos no tocante a soluções preventivas mais eficazes contra terremotos.

Por outro lado, tão importante quanto estudar e avaliar os fenômenos complexos, envolvendo o estudo de terremotos e construções preventivas, verificou-se que é necessário realizar a materialização das soluções pesquisadas, limitadas, muitas vezes, dentre os fatores técnicos, aos aspectos econômicos, pois a engenharia sísmica, por se tratar de um campo da ciência multidisciplinar, depende do progresso científico desenvolvido por diferentes áreas: sismologia, geologia, engenharia estrutural, física aplicada e matemática aplicada. Assim, investimentos realizados de maneira estratégica afetam diretamente no progresso científico desta ciência. Infelizmente as limitações econômicas concebem os cenários que abrangem sistemas de proteções caros, somente viáveis em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, casos da China e Itália.

Soluções como substituição da execução de sistemas de proteção por meio da investigação histórica ou por processos de *retrofit*; por exemplo, são exemplos de soluções realizadas de forma estratégica que produzem bons resultados, porém são pouco aplicadas nas diversas regiões pesquisadas, devido ao alto investimento requerido. Embora seja uma solução cara, o único trabalho que envolveu este tipo de solução foi aplicado no México, país emergente economicamente.

Além da criação de soluções estruturais para garantir resistência e durabilidade frente aos esforços, surge à necessidade de se pensar nas fases posteriores aos eventos, como forma de garantir que serviços essenciais como abastecimento de água, logística e energia continuem sendo realizados e, logo, seja realizada atenção a obras e edifícios públicos estratégicos como estações de abastecimento de água, subestações de energia elétrica, hospitais, escolas, pontes etc., pois, indiretamente a desocupação ou limitação construtiva em regiões mais sismicamente vulneráveis ainda são estratégias utilizadas em todas regiões pesquisadas. Desta forma, conclui-se que a engenharia sísmica tem como objetivo a redução de perdas econômicas e vidas humanas, mas não necessariamente a completa eliminação dos riscos.

A partir do panorama geral apresentado sobre a proteção antissísmica de edifícios, recomenda-se que novas pesquisas possam ser realizadas de forma específica, levando em conta outros parâmetros que influenciam na elaboração de projetos antissísmicos: dinâmica dos solos, mapeamento de risco sísmico, avaliação de custo, atualização de normas técnicas, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AIKEN, I.D., NIMS, D.K., WHITTAKER, A.S.; KELLY, J.M. Testing of Passive Energy Dissipation Systems. **Earthquake Spectra**, 9(3), 1993. p. 336-370.
- ARAÚJO, R. F.; ALVARENGA, L. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, 16 (31), 2011. p. 51-70.
- CARLSON, J.D.; SPENCER, JR., B.F. Magneto-Rheological Fluid Dampers for Semi-Active Seismic Control, **Proceedings of the 3rd International Conference on Motion and Vibration Control**, September 1-6, Chiba, Japan, 3, 1996. p. 35-40.
- CONSTANTINO, M. C.; SYMANS, M. D. Seismic Response of Structures with Supplemental Damping. **Structural Design of Tall Buildings**, 2(2), 1993. p. 77-92.
- COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Systematic Reviews: Synthesis of Best Evidence for Clinical Decisions, **Annals of Internal Medicine**, 126 (5) March, 1997, p. 376-380.

ERCOLE, F. F.; MELO, L. S.; ALCOFORADO, C. L. G. C. Revisão integrativa *versus* revisão sistemática, **Revista Mineira de Enfermagem**, v. 18, n. 1, 2014. p. 9-12.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: Método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, 2016. p. 550-563.

FHWA. **Design Guidance: Geotechnical Earthquake Engineering For Highways**. Federal Highway Administration, Washington, 1997.

GEM. **Global Seismic Hazard Map 2018**. Disponível em: https://cloud-storage.globalquakemodel.org/public/Global%20Maps/version_2018.1_20200928.png. Acesso: 23 ago. 2022.

GIONCU, V.; MAZZOLANI, F. **Earthquake Engineering for Structural Design**. Spon Press, New York, 2011.

HANSON, R.D., AIKEN, I.D., NIMS, D.K., RICHTER, P.J.; BACHMAN, R.E. State-of-the-Art and State-of-the-Practice in Seismic Energy Dissipation, Proceedings of ATC-17-1 **Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control**, San Francisco, March 11-12, Volume 2, 1993.

JAMAL, H. **Aboutcivil: Seismic Retrofitting techniques**. jan., 2017. Disponível em: <https://www.aboutcivil.org/seismic-retrofitting-definition-techniques-modern-materials.html>. Acesso: agosto 2022.

LUCO, J.E.; MITA, A. Active Control of the Seismic Response of Tall Non-Uniform Buildings, **Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering**, 19-24 July, Madrid, A A Balkema, Rotterdam, 4, 1992. p. 2143.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Danos econômicos causados por terremotos e tsunamis aumentaram mais de 67% em 20 anos. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2018/11/1645882>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

OS 10 terremotos mais potentes e com maior número de mortos da história da América Latina. **BBC**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-41380495>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

RITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of documentation**, 25(4), 1969. p. 348-349.

ROMAN, A. R.; FRIEDLANDER, M. R. Revisão integrativa de pesquisa aplicada à enfermagem. **Cogitare Enfermagem**, v. 3, n. 2, 1998.

SÁNCHEZ, F. V. Los terremotos y sus causas. **Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos**, 1994, 24 p.

SCAWTHORN, C. **Earthquake Engineering**. Structural Engineering Handbook, CRC Press LCC, 1999.

TAGUE-SUTCLIFFE, J. (1992). An introduction to informetrics. **Information processing & management**, 28(1), 1992. p. 1-3.

ZAPATA, A. M. C.; SCHNEIDER, J.; PAGANI, M.; SILVA, V. Global Earthquake Hazard Map. **Revista Geociências SURA**. Colômbia, n. 5, 2019. p. 4-9.

Recebido em: 21/08/2022

Aprovado em: 23/09/2022

Publicado em: 29/09/2022