REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CONEXÃO ENTRE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

CONNECTION BETWEEN STRUCTURAL ELEMENTS BY THE FINITE ELEMENT METHOD: A SYSTEMATIC REVIEW

CONEXIÓN ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Isaque Soares Figueirêdo[1], Isaias Soares Figueirêdo[2], Marco André Argenta[3]

e717193
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i1.7193

PUBLICADO: 01/2026

RESUMO

Esta revisão sistemática examina metodologias de como modelar conexões entre elementos estruturais pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) no âmbito da engenharia de estruturas. O objetivo foi mapear e sintetizar métodos de modelagem, avaliando suas vantagens, limitações e eficiência computacional. A revisão seguiu um protocolo PRISMA 2020 com registro osf.io/ny95g e buscou nas bases *Web of Science, Scopus e Google Scholar* estudos de 1991 a dezembro de 2025. Artigos elegíveis apresentaram metodologias para modelar a conexão entre elementos estruturais usando o MEF em diversos sistemas constritivos. A qualidade dos artigos foi avaliada usando a ferramenta adaptada *Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs* (QATSDD) de 12 itens, e os resultados foram sintetizados narrativamente devido à heterogeneidade metodológica. De 14.179 artigos identificados, 58 foram analisados, abrangendo sistemas construtivos em aço, concreto, alvenaria e madeira. A síntese indica que métodos alternativos ao MEF — incluindo MEF não linear 3D, modelagem substituta (*surrogate modeling*) e técnicas de homogeneização — podem tratar efetivamente as limitações das ligações, como o mal-condicionamento de matrizes e o alto custo computacional, ao mesmo tempo que melhoram a precisão na modelagem de comportamentos complexos, como grandes deformações e falha progressiva. As principais limitações incluem a heterogeneidade metodológica e o foco em tipos estruturais específicos. Esses artigos apoiam o desenvolvimento de métodos alternativos modelagem de conexão como abordagens viáveis para aprimorar a eficiência computacional e a precisão na análise estrutural, embora mais pesquisas sejam necessárias para validação padronizada e aplicação mais ampla.

PALAVRAS-CHAVE: MEF. Conexões. PRISMA.

ABSTRACT

This systematic review examines methodologies for modeling connections between structural elements using the Finite Element Method (FEM) within structural engineering. The objective was to map and synthesize modeling methods, assessing their advantages, limitations, and computational efficiency. The review followed the PRISMA 2020 protocol, registered at osf.io/ny95g, and searched the Web of Science, Scopus, and Google Scholar databases for studies published from 1991 to December 2025. Eligible articles presented methodologies for modeling connections between structural elements using FEM across various construction

[1] Aluno no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.
[2] Aluno no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Estadual de Pernambuco, Recife-PE.
[3] Professor Doutor, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

systems. Article quality was assessed using the adapted 12-item Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs (QATSDD), and results were synthesized narratively due to methodological heterogeneity. Of 14,179 articles identified, 58 were analyzed, covering construction systems in steel, concrete, masonry, and timber. The synthesis indicates that alternatives to conventional FEM—including nonlinear 3D FEM, surrogate modeling, and homogenization techniques—can effectively address connection-related limitations such as matrix ill-conditioning and high computational cost, while improving accuracy in modeling complex behaviors such as large deformations and progressive failure. The main limitations include methodological heterogeneity and a focus on specific structural types. These articles support the development of alternative connection modeling methods as viable approaches to enhance computational efficiency and accuracy in structural analysis, although further research is required for standardized validation and broader application.

KEYWORDS: *FEM. Connections. PRISMA.*

RESUMEN
Esta revisión sistemática examina metodologías para modelar conexiones entre elementos estructurales mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF) en el ámbito de la ingeniería estructural. El objetivo fue mapear y sintetizar métodos de modelado, evaluando sus ventajas, limitaciones y eficiencia computacional. La revisión siguió el protocolo PRISMA 2020, con registro osf.io/ny95g, y realizó búsquedas en las bases de datos Web of Science, Scopus y Google Scholar de estudios publicados entre 1991 y diciembre de 2025. Los artículos elegibles presentaron metodologías para modelar la conexión entre elementos estructurales utilizando el MEF en diversos sistemas constructivos. La calidad de los artículos se evaluó mediante la herramienta adaptada Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs (QATSDD) de 12 ítems, y los resultados se sintetizaron de forma narrativa debido a la heterogeneidad metodológica. De los 14.179 artículos identificados, se analizaron 58, que abarcan sistemas constructivos en acero, concreto, mampostería y madera. La síntesis indica que alternativas al MEF convencional—incluido el MEF no lineal 3D, el modelado sustituto (surrogate modeling) y las técnicas de homogeneización—pueden abordar eficazmente las limitaciones de las conexiones, como el mal condicionamiento de matrices y el alto costo computacional, al tiempo que mejoran la precisión en la modelización de comportamientos complejos, como grandes deformaciones y fallo progresivo. Las principales limitaciones incluyen la heterogeneidad metodológica y el enfoque en tipos estructurales específicos. Estos artículos respaldan el desarrollo de métodos alternativos de modelado de conexiones como enfoques viables para mejorar la eficiencia computacional y la precisión en el análisis estructural, aunque se requieren más investigaciones para una validación estandarizada y una aplicación más amplia.

PALABRAS CLAVE: *MEF. Conexiones. PRISMA.*

INTRODUÇÃO

A representação precisa de conexões e interações entre elementos estruturais constitui um desafio fundamental na análise numérica de sistemas construtivos na engenharia de estruturas. O comportamento de ligações, interfaces e elementos de conexão — seja em pórticos de aço, em conjuntos de concreto armado, em sistemas compostos ou em paredes de alvenaria — influencia profundamente a resposta estrutural global, incluindo rigidez, resistência, ductilidade e mecanismos de colapso. O MEF tornou-se a ferramenta predominante para investigar esses comportamentos, permitindo a simulação de fenômenos complexos como não linearidade

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

material, contato, grandes deformações e falha progressiva. Dentro das implementações do MEF, as estratégias numéricas empregadas para modelar conexões variam desde simplificações cinemáticas, como ligações rígidas ou semirrígidas, até técnicas sofisticadas envolvendo algoritmos de contato, modelos de zona coesiva e homogeneização multiescala (Liang, 2022).

A escolha de uma estratégia adequada de modelagem de conexões estruturais envolve tentar encontrar por uma abordagem que tenha eficiência computacional e acurácia representativa. Abordagens simplificadas, como idealizar conexões como perfeitamente rígidas ou rotuladas, podem reduzir significativamente a complexidade do modelo e o tempo de análise. No entanto, essas simplificações podem ocultar concentrações de tensão localizadas, representar erroneamente os caminhos de redistribuição de forças ou falhar em capturar comportamentos não lineares essenciais observados sob condições de carga sísmica ou de estado limite último (Šabatka *et al.,* 2014). Por outro lado, modelos tridimensionais não lineares a podem oferecer fidelidade, mas frequentemente a um alto custo computacional, especialmente para sistemas estruturais de grande escala ou análises probabilísticas (Joldes; Wittek; Miller, 2010). Isso ressalta uma necessidade de pesquisa: o desenvolvimento, validação e avaliação de metodologias numéricas que aprimorem a acurácia e a robustez da modelagem de conexões entre elementos estruturais sem comprometer a tratabilidade computacional.

Ao se realizar uma revisão de estado da arte, aplicando técnicas avançadas de MEF a tipos e materiais de conexão específicos. Estudos empregaram análise não linear 3D para ligações viga pilar de aço (Safaei; Shamlu; Vakili, 2022), modelagem em meso escala para interfaces de alvenaria (Koocheki; Pietruszczak, 2025) e elementos coesivos para ligações de sistemas compostos (Bianchi *et al.,* 2023). Outras inovações incluem o uso de modelagem substituta (*surrogate modeling*) para estudos paramétricos (Whalen, 2021), técnicas de homogeneização para materiais periódicos (Gesualdo *et al.,* 2018) e métodos de confiabilidade de sistemas para calibração de projeto (Song *et al.,* 2021). Apesar dessas pesquisas, falta uma síntese abrangente que mapeie, categorize e avalie criticamente essas abordagens numéricas alternativas dentro do contexto específico da engenharia de estruturas. A literatura permanece fragmentada entre especialidades de materiais e domínios de aplicação, dificultando a identificação de tendências gerais, a comparação de compensações metodológicas ou a localização de lacunas de pesquisa definitivas.

Para atender a essa necessidade, o presente estudo realiza uma revisão sistemática da literatura sobre metodologias numéricas para modelar conexões e interações utilizando o método dos elementos finitos aplicada à engenharia de estruturas. O principal objetivo é fornecer uma visão consolidada e uma avaliação crítica das abordagens existentes. Os objetivos específicos são:

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

- ✓ Identificar e categorizar os métodos numéricos alternativos documentados para modelagem de conexões, classificando-os por aplicação a diferentes materiais estruturais (aço, concreto, alvenaria, madeira, compósitos) e sistemas construtivos.
- ✓ Avaliar as vantagens e limitações computacionais reportadas dessas metodologias, com atenção a questões de condicionamento da matriz de rigidez, eficiência computacional e desafios de implementação.
- ✓ Sintetizar evidências sobre o desempenho desses métodos na simulação de comportamentos estruturais, como resposta não linear, mecanismos de falha e desempenho dinâmico.
- ✓ Avaliar o rigor metodológico e as estratégias de validação empregadas nos estudos relevantes.
- ✓ Identificar as lacunas de pesquisa predominantes e propor direções informadas para investigações futuras neste domínio.

A justificativa desta revisão visa sintetizar o estado atual do conhecimento, fornecendo a pesquisadores e profissionais uma compreensão mais clara das metodologias numéricas disponíveis para modelagem de conexões e suas respectivas aplicabilidades, informando assim análises de elementos finitos mais eficientes e precisas na prática da engenharia estrutural.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A metodologia utilizada nessa revisão sistemática foi o *PRISMA 2020* (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que constitui uma diretriz para revisões sistemáticas. Desenvolvido como uma atualização do consenso de 2009, este método responde à necessidade de padronização e rigor metodológico na síntese de evidências científicas. Seu objetivo é assegurar que todos os processos envolvidos na revisão — desde a formulação da pergunta de pesquisa e a busca na literatura até a análise e interpretação dos dados — sejam descritos com detalhes suficientes para permitir avaliação crítica, replicabilidade e minimização de viés. Fundamentado nos princípios de transparência, reprodutibilidade e utilidade, o *PRISMA 2020* serve como um framework essencial para pesquisadores, promovendo a integridade e a confiabilidade deste tipo de estudo (Banjar *et al.,* 2023; Dellinger; Obare, 2001; Zsuzsanna, 2022).

A estrutura operacional do método apoia-se em dois componentes principais inter-relacionados. O primeiro é um *checklist* estruturado, organizado nas seções convencionais de um artigo científico (Título, Resumo, Introdução, Métodos, Resultados, Discussão). Este *checklist* guia o autor a reportar elementos críticos, como o protocolo pré-registrado, os critérios de elegibilidade, as fontes e estratégias de busca, os processos de seleção e extração de dados, a avaliação do risco de viés nos estudos incluídos e os métodos de síntese, sejam estatísticos ou narrativos. O segundo componente é o diagrama de fluxo PRISMA, uma representação visual que mapeia o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

número de registros identificados, excluídos e incluídos em cada etapa do processo de revisão (Mishra; Mishra, 2023; Reyes; Medina, 2025).

2. MÉTODOS

2.1. Protocolo e matrícula

A estratégia de busca utilizada nesta revisão sistemática seguiu as recomendações do PRISMA 2020 (Page *et al.,* 2021). O protocolo da revisão sistemática foi registrado oficialmente na base de dados do *Open Science Forum* e pode ser acessado pelo identificador: osf.io/ny95g.

2.2. Fontes de informação

A estratégia de busca foi desenhada para garantir tanto a qualidade quanto a abrangência da síntese de evidências. Para identificar os artigos, as bases de dados Web of Science (WoS), Scopus e Google Scholar foram pesquisadas de 1991 até dezembro de 2025, sem restrições de idioma. WoS e Scopus foram escolhidas pela curadoria rigorosa de periódicos de alta qualidade e suas ferramentas analíticas robustas, que facilitam um processo de busca reproduzível e rastreável (Martín-Martín *et al.,* 2021).

Para mitigar o risco de viés de publicação, pelos quais artigos com resultados nulos ou inconclusivos frequentemente são omitidos, também foi realizada uma busca sistemática por literatura cinzenta. Isso incluiu a procura por teses, relatórios técnicos e documentos institucionais. O Google Scholar (GS) foi utilizado para acessar essas fontes, por indexar conteúdo de repositórios institucionais e portais acadêmicos não cobertos pelas bases de dados tradicionais (Haddaway *et al.,* 2015; Paez, 2017). A busca no Google Scholar foi executada utilizando o *software* Publish or Perish (v8) para aumentar a padronização e a reprodutibilidade. Essa ferramenta permite consultas precisas e específicas por campo através dos recursos de busca avançada do GS, gerando um conjunto de dados mais estruturado e gerenciável do que uma busca básica (Harzing, 2023).

2.3. Metodologia de busca

Uma busca eletrônica abrangente foi realizada utilizando a consulta booleana: (“FEM" *OR* "*Finite Element Method*" *OR* "FEA" *OR* "*Finite Element Analysis*") *AND* ("*Joint*" *OR* '*Contact*' *OR* '*Link*' *OR* '*Connection*' *OR* '*Diaphragm*' *OR* "*Interaction*") *AND* "*Structural analysis*" *AND* (*"Brigde*" *OR* "*Building*"). Esta estratégia de busca foi executada primeiro nas bases de dados *WoS* e *Scopus* e subsequentemente replicada no *GS* utilizando o *software Publish or Perish v8* para padronizar o processo e facilitar o gerenciamento dos resultados. A seleção dos estudos foi conduzida pelo autor. Inicialmente, títulos e resumos passaram por uma triagem quanto à

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

relevância. Em seguida, foi realizada uma avaliação minuciosa do texto completo dos artigos restantes para determinar sua elegibilidade final para inclusão.

2.4. Processo de busca

Os autores conduziram a extração de dados de forma independente, empregando um formulário padronizado de coleta de dados. Nos casos em que a elegibilidade do resumo não era clara, o artigo completo era recuperado para esclarecimento adicional. Os dados coletados dos estudos qualificados abrangeram vários aspectos, incluindo detalhes descritivos dos próprios estudos (como autor e ano de publicação), especificações do modelo de conexão, os principais resultados da pesquisa e os resultados analíticos relevantes. Ferramentas de automação não foram empregadas durante o processo de coleta de dados.

2.5. Avaliação do viés e da qualidade dos estudos

Para estimar o rigor metodológico dos estudos incluídos, foi utilizada uma versão adaptada da Ferramenta de Avaliação da Qualidade para Estudos com Delineamentos Diversos (QATSDD, na sigla em inglês) de Sheth *et al.,* (2024) e Pineda-Vélez, Yadalam e Ardila (2024). Esta ferramenta adaptada compreende 12 critérios, abordando elementos como: um quadro teórico claro, objetivos declarados, descrição detalhada do cenário da pesquisa, a inclusão de uma amostra representativa, explicação completa dos procedimentos de coleta de dados, justificativa por trás das ferramentas de coleta de dados escolhidas, alinhamento entre a pergunta de pesquisa e o método de coleta de dados, coerência entre a pergunta de pesquisa e o formato e conteúdo da coleta de dados, consistência entre a pergunta de pesquisa e o método de análise, justificativa bem fundamentada para a abordagem analítica, avaliação da confiabilidade do processo analítico, e discussão crítica dos pontos fortes e limitações.

Cada critério tem peso igual e é avaliado em uma escala de 0 a 3 (0 = detalhe insuficiente, 1 = fornecido de forma inadequada, 2 = fornecido moderadamente, 3 = fornecido de forma abrangente). A pontuação cumulativa entre esses critérios resulta em uma avaliação geral das evidências, expressa como uma proporção da pontuação máxima possível.

2.6. Análise descritiva

Estatísticas descritivas, incluindo diferenças de média e desvios padrão, foram empregadas para extrair dados dos estudos incluídos, particularmente para desfechos contínuos. Se os artigos incluídos demonstrassem um certo nível de similaridade, a viabilidade de conduzir uma meta-análise era considerada como uma etapa potencial subsequente. A aprovação ética não foi necessária para este estudo.

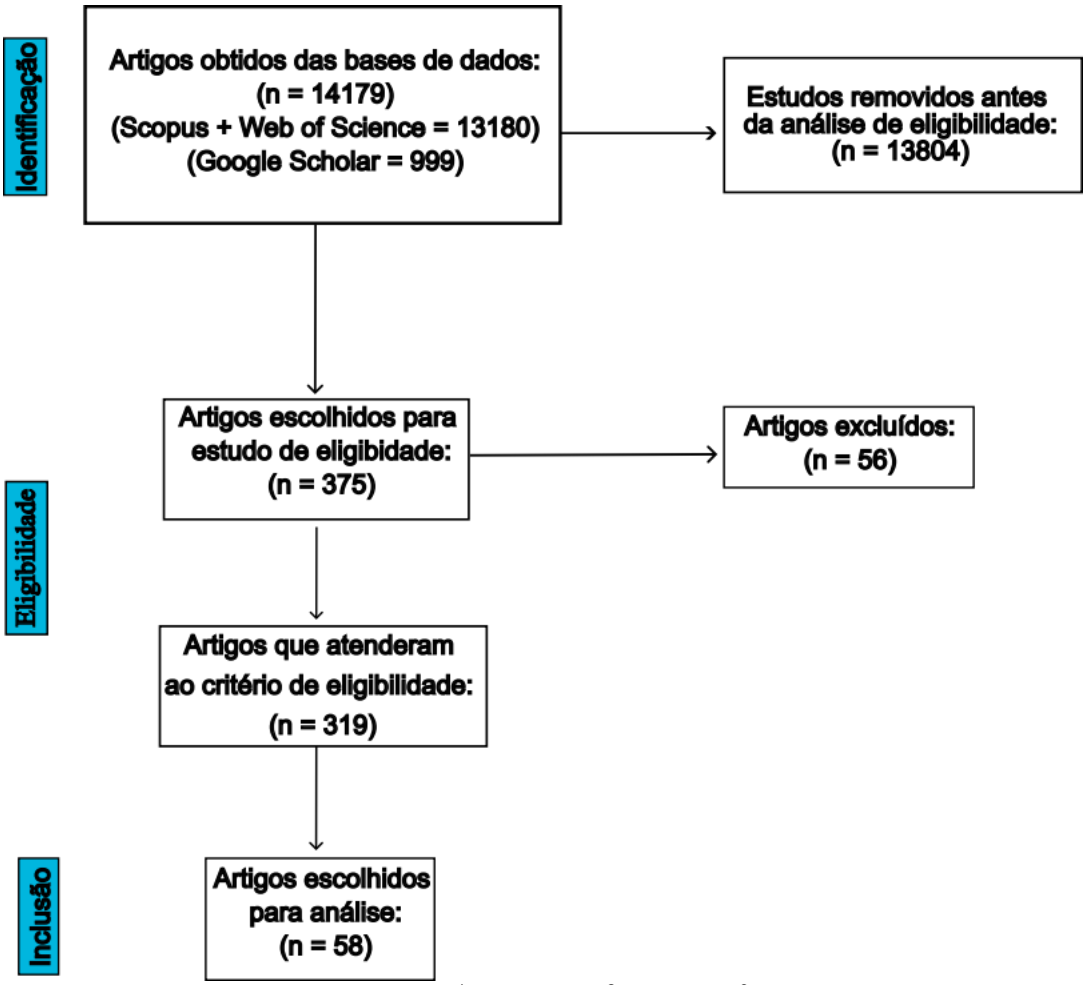
ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Seleção dos estudos

O processo de revisão sistemática iniciou com 14.179 registros identificados. Após a remoção de duplicatas e de registros com textos completos inacessíveis, as publicações restantes foram triadas por título e resumo com base nos critérios de elegibilidade, resultando em 319 artigos, teses e dissertações para avaliação de texto completo. Após essa avaliação, 58 estudos que atingiram pontuação máxima na ferramenta de avaliação de qualidade QATSDD foram incluídos na revisão final. O procedimento completo de busca e seleção está detalhado na Figura 1, que apresenta o fluxograma PRISMA.

Figura 1. Esquema do Método PRISMA



Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.2. Descrição dos estudos incluídos

A análise dessas publicações está organizada tematicamente das Tabela 1 à Tabela 6, fornecendo uma categorização detalhada do panorama da pesquisa. As publicações analisadas nesta revisão abrangem de 2007 (Topkaya, 2007) à 2025 (Bianchi *et al.,* 2025; Corfar; Tsavdaridis, 2025; Dan-Adrian; Tsavdaridis, 2025; Elhadary; Bediwy; Elshaer, 2025; Ghezelbash *et al.,* 2025; Han *et al.,* 2025; Kawecki, 2025; Kujawa *et al.,* 2025; Mirshekar; Sadeghian, 2025; Nascimento; Pedro; Calado, 2025; Rios *et al.,* 2025; Tao; Wang; Zhao, 2025; Wang; Vollum, 2025; Yang *et al.,* 2025; Zhang *et al.,* 2025; Zohdi *et al.,* 2025), demonstrando a evolução da modelagem numérica em conexões.

Os artigos que empregam o MEF concentraram-se principalmente no desenvolvimento e aplicação de modelos numéricos para simular o comportamento estrutural de sistemas estruturais, abrangendo desde a resposta não linear dos materiais até análises de colapso. Os avanços metodológicos nesta área são detalhados nas Tabela 1 e Tabela 3. Este objetivo foi estendido para incluir a modelagem de materiais compostos e não homogêneos, como a alvenaria (Tabela 2), e a criação de estruturas híbridas e de madeira (Tabela 4). Além disso, foram desenvolvidos sistemas com conexões e dispositivos de dissipação de energia para cenários de carregamento sísmico, conforme organizado na Tabela 5. Adicionalmente, metodologias de avaliação probabilística e de confiabilidade são apresentadas na Tabela 6, enquanto estudos comparativos que validam modelos numéricos contra outros métodos ou resultados experimentais são um componente transversal e implícito em todas as tabelas fornecidas.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 1. Estudos sobre Conexões em Aço e Conexões Mistas

Autores	Contribuição Principal
Díaz *et al.* (2011)	Modelo em MEF 3D de ligações viga-pilar de aço parafusadas com contato e não linearidades, validado com ensaios experimentais e com o Eurocode 3.
Su *et al*. (2024)	Comportamento estrutural de ligações viga-pilar soldadas em UHSS por meio de modelos não lineares em MEF, avaliando normas de projeto e propondo métodos baseados no CSM.
Topkaya (2007)	Ruptura por cisalhamento em bloco em placas de ligação soldadas analisada por ensaios e MEF, avaliando equações do AISC e propondo novas recomendações.
Zohdi *et al*. (2025)	Desempenho sísmico de conexões EBS sob carregamento cíclico utilizando análise por MEF, com otimização geométrica para capacidade rotacional e controle de danos.
Özel e Sarıtaş (2022)	Modelo de pórtico em MEF baseado em forças para estruturas de aço com conexões semirrígidas, incorporando plasticidade distribuída e deformações por cisalhamento.
Basaglia, Camotim e Coda (2018)	Elemento de viga em MEF baseado na GBT para análise de vibrações de pórticos de aço de paredes finas, considerando os efeitos das ligações nos modos locais e globais.
Bompa *et al.* (2023)	Desempenho cíclico de conexões de momento RBS com seções de grande porte utilizando modelos 3D não lineares, propondo regras de projeto para seções "*jumbo*".
Nascimento, Pedro e Calado (2025)	Dispositivo de contraventamento dissipativo substituível (DRBrC) ensaiado e modelado por MEF não linear para edifícios com resiliência sísmica.
Corfar e Tsavdaridis (2025)	Conexão híbrida entre módulos (HyMCN) para edifícios modulares analisada por MEF, avaliando parâmetros dos parafusos e a resiliência sísmica.
Lan, Chan e Young (2021)	Juntas T em RHS HSS submetidas à compressão analisadas por ensaios e simulações em MEF, avaliando regras do CIDECT e propondo equações de resistência aprimoradas.
Pandey e Young (2024)	Juntas tubulares de aço conformado a frio sob compressão analisadas por MEF, comparando normas de projeto e propondo novas regras de dimensionamento.
Elhadary, Bediwy e Elshaer (2025)	Técnicas de reforço para conexões HSS parafusadas analisadas por 162 modelos em MEF, fornecendo ábacos de projeto para previsão dos modos de ruptura.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 2. Estudos sobre Estruturas de Alvenaria

Autores	Contribuição Principal
D'Altri *et al.* (2021)	Procedimento automatizado para avaliação sísmica de estruturas de alvenaria utilizando análise limite adaptativa e análise *pushover*.
Zhou, Sluys e Esposito (2022)	Modelo de homogeneização aprimorado para propriedades elásticas ortotrópicas 3D de padrões de alvenaria considerando diferentes razões de rigidez.
Ghezelbash *et al.* (2025)	Modelagem por MEF 3D baseada em blocos para resposta dinâmica fora do plano de paredes de alvenaria não armada sob carregamento sísmico.
Milani *et al.* (2013)	Homogeneização rígido plástica para resposta da alvenaria utilizando a disposição de blocos obtida por escaneamento a laser em paredes de castelos.
Bertolesi, Milani e Fedele (2016)	Modelo simplificado por MEF para arcos de alvenaria reforçados com FRP validado com resultados experimentais.
Zhang, Macorini e Izzuddin (2016)	Modelagem meso escala 3D de arcos de alvenaria de tijolos com elementos de interface para juntas de argamassa.
Addessi *et al*. (2023)	Procedimento multiescala NUTFA aprimorado para alvenaria periódica sob carregamentos no plano e fora do plano.
Rios *et al.* (2025)	Análise paramétrica de arcos de alvenaria estudando os efeitos do atrito nas juntas e da textura dos pilares no colapso.
Bru *et al.* (2019)	Metodologia para interação dinâmica entre sinos oscilantes e torres de alvenaria utilizando análise modal.
Abdulla, Cunningham e Gillie (2017)	Micromodelo 3D simplificado para paredes de alvenaria utilizando comportamento coesivo e XFEM sem uso de sub-rotinas.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 3. Estudos sobre Estruturas de Concreto

Autores	Contribuição Principal
Kulkarni, Li e Yip (2008)	Análise não linear por MEF de conexões híbridas aço-concreto pré-moldadas sob carregamento cíclico.
Lu *et al.* (2021)	Análise de colapso de edifícios com lajes planas com foco no comportamento à punção das conexões laje-pilar.
Angelo e Giovanni (2024)	Comportamento sísmico de nós de canto em concreto armado submetidos a carregamento biaxial com validação por modelo de bielas e tirantes 3D.
Abdel-Latif *et al.* (2023)	Efeitos de parâmetros geométricos em nós viga-pilar excêntricos de concreto armado utilizando modelos não lineares por MEF.
Wang e Vollum (2025)	Resistência à punção de lajes lisas com pilares deslocados por meio de modelos de bielas e tirantes e MEF não linear.
Cimmino, Magliulo e Manfredi (2020)	Avaliação do risco de colapso sísmico de edifícios pré-moldados em concreto armado com conexões por chumbadores frágeis.
Dal Lago, Negro e Dal Lago (2018)	Sistema pré-moldado montado a seco com nós viga-pilar adaptáveis, convertidos de articulados para rígidos.
Tao, Wang e Zhao (2025)	Modelo constitutivo para concreto confinado em estruturas mistas com chapas de aço baseado em análise de regressão.
Teeuwen, Kleinman e Snijder (2012)	Modelo mecânico para pórticos de aço com painéis de preenchimento em concreto pré-moldado utilizando ligações baseadas em molas.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 4. Estudos sobre Estruturas de Madeira e Estruturas Mistas

Autores	Contribuição Principal
Antolinc, Rajčić e Žarnić (2014)	Desempenho histerético de paredes de cisalhamento híbridas madeira-vidro sob carregamento cíclico.
Nguyen, Vestartas e Weinand (2019)	Estrutura automatizada de projeto e modelagem por MEF para estruturas de placas de madeira de forma livre com conexões madeira-madeira.
Mirshekar e Sadeghian (2025)	Análise de conexões entalhadas em vigas TCC por meio de modelos em MEF e estudos paramétricos.
Nabaei, Baverel e Weinand (2013)	Procedimento mecânico de busca de forma para estruturas têxteis de madeira utilizando Relaxação Dinâmica.
Han *et al*. (2025)	Conectores de aço em perfil U para fachadas em estrutura de madeira, ensaiadas e modelados sob cargas de vento.
Ciabattoni, Petrini e Pampanin (2024)	Estrutura de projeto multiameaça para edifícios aço-madeira com conexões híbridas do tipo *rocking*.
Kawecki (2025)	Método para previsão de torque e pré-carga em conexões parafusadas em madeira utilizando modelagem por MEF.
Teeuwen, Kleinman e Snijder (2012)	Modelo mecânico para pórticos de aço com painéis de enchimento em concreto pré-moldado utilizando juntas baseadas em molas.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Tabela 5. Estudos sobre Análise Sísmica e Dinâmica

Autores	Contribuição Principal
Hejazi, Zabihi e Jaafar (2014)	Modelo em MEF 3D de amortecedor viscoso para estruturas de concreto armado com detecção de danos durante terremotos.
Pant e Wijeyewickrema (2014)	Efeitos de impacto sísmico (*pounding*) em edifícios de concreto armado com isolamento de base utilizando MEF 3D com elementos de contato.
Jalali *et al.* (2012)	Demanda sísmica probabilística de pórticos de aço com conexões do tipo *side-plate* utilizando IDA e PBEE.
Zhang *et al.* (2025)	Sistema de ponte pré-fabricada com conexões confinadas por CST e pilares RuCFCST para zonas sísmicas.
Bianchi *et al.* (2025)	Campanha experimental em fachadas tipo *curtain wall* para avaliação do comportamento sísmico e desenvolvimento de curvas de fragilidade.
Huang, Yang e Al-Janabi (2024)	Capacidade de cisalhamento no plano de paredes de aço conformado a frio sob compressão por meio de ensaios e modelagem por MEF.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 6. Estudos sobre Métodos Avançados e Aplicações Diversas

Autores	Contribuição Principal
Kujawa *et al.* (2025)	Fluência do adesivo em juntas coladas utilizando MEF não linear e abordagem probabilística com campo aleatório.
Shi *et al*. (2024)	Ancoragem multiestágio de ângulo variável para tendões de CFRP com validação teórica e por MEF.
Xu *et al.* (2022)	Resistência lateral de subpórticos modulares em aço com vigas laminadas por meio de ensaios e análise por MEF.
Terzi e Makarios (2023)	Verificação por MEF de cúpulas esféricas sob carregamento de borda, comparando com soluções analíticas.
Murano *et al.* (2019)	Avaliação de técnicas tradicionais para paredes de alvenaria de pedra por meio de análises experimental e numérica.
Yang *et al.* (2025)	Modelo analítico para juntas segmentadas em revestimentos de túneis com abordagem numérica viga-mola.
Madrazo-Aguirre, Wadee e Ruiz-Teran (2015)	Análise de estabilidade não linear de tabuleiros esbeltos em pontes estaiadas utilizando modelos de MEF.
Iu (2016)	Elementos finitos de ordem superior com rótulas plásticas refinadas para estruturas mistas aço-concreto.
Zhao *et al*. (2017)	Comparação de modelos por MEF para análise de vibração de compressores com foco em juntas parafusadas.
Bayo e Gracia (2019)	Modelagem da rigidez de juntas soldadas utilizando modelos substitutos e aprendizado de máquina.
Ha *et al*. (2021)	Avaliação estrutural da subestrutura de turbinas eólicas *offshore* flutuantes sob condições extremas.
Tran, Thai e Uy (2024)	Projeto baseado em confiabilidade do sistema para pórticos mistos com conexões semi-rígidas.
Arrayago e Rasmussen (2021)	Extensão do Método de Projeto Direto para estruturas em aço inoxidável com calibração de confiabilidade do sistema.
Jaamala *et al.* (2023)	Fatores de segurança compatíveis com o Eurocode para treliças de aço conformado a frio utilizando GMNIA.

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

3.3. Descrição dos artigos incluídos

Os resultados dos artigos, resumidos das Tabela 7 à Tabela 9, demonstram que a análise numérica é uma metodologia muito utilizada para investigar o comportamento de conexões estruturais. Conforme mostrado na Tabela 7, e pela Análise pelo MEF não linear tridimensional tem sido aplicada para modelar conexões metálicas, capturando mecanismos de falha como o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

cisalhamento de bloco e predizendo o desempenho cíclico de detalhes como as Seções Reduzidas de Viga.

Para problemas envolvendo comportamento complexo de materiais e interações, implementações numéricas que incorporam parâmetros críticos, tais como tensões residuais, pré-tensão de parafusos e pares de contato, têm sido utilizadas para analisar desempenho sísmico e resistência última. A acurácia e eficiência dessas simulações são sustentadas por desenvolvimentos metodológicos contínuos. O uso de técnicas especializadas, incluindo o acoplamento casca-sólido e modelos de zona coesiva para interfaces, aborda desafios específicos na modelagem. Estes são ainda aprimorados por técnicas de modelagem substituta (*surrogate*), como a *Krigagem*, para estudos paramétricos.

Estes avanços metodológicos permitiram aplicações especializadas em áreas como a análise de estruturas históricas de alvenaria e sistemas híbridos de aço e madeira, conforme indicado na Tabela 9. Além disso, técnicas numéricas provaram ser importantes para modelar mecanismos de falha em concreto e alvenaria (Tabela 8), permitindo a representação do comportamento estrutural desde a fissuração inicial até a ruptura.

Tabela 7. Estudos sobre Conexões Estruturais em Aço e Metálicas

Autores	Tipo de Conexão	Método de Análise	Características Principais	Principais Achados
Díaz *et al.* (2011)	Placa de extremidade parafusada	MEF 3D não linear	Placa de extremidade estendida; pré-tensionamento dos parafusos	Ruptura por cisalhamento na alma do pilar; previsão precisa
Su *et al.* (2024)	Seções I soldadas em UHSS	MEF não linear	Elementos de casca; tensões residuais	EC3 conservador; propostas do CSM melhoraram a precisão
Topkaya (2007)	Placas de reforço soldadas	Experimental + MEF	Soldas de filete; aço St37	Cisalhamento em bloco confirmado; normas conservadoras; nova equação
Zohdi *et al.* (2025)	Seção de viga ampliada	MEF não linear (cíclico)	Parâmetros EBS; solda CJP	Rótula plástica realocada; espessura da alma melhora o desempenho
Özel e Sarıtaş (2022)	Conexões semi-rígidas	MEF de pórtico baseado em forças	Deformações de cisalhamento; matriz de massa	Conexões de base de pilares críticas para a resposta estrutural
Basaglia, Camotim e Coda (2018)	Ligações de pórticos de paredes finas	Teoria Generalizada de Vigas	Cinco tipos de ligação; transmissão de	Enrijecimento aumenta a frequência em até

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

			empenamento	40%
Bompa *et al*. (2023)	Seção de viga reduzida	MEF 3D não linear + Experimental	Cortes RBS; seções *jumbo*	Corte mais profundo (66%) recomendado para seções *jumbo*
Nascimento, Pedro e Calado (2025)	Contraventamento dissipativo	Experimental + MEF	Fusível por pino; chapas tipo *eye-bar*	Flexão dúctil preferível; pinos chanfrados apresentam melhor desempenho
Corfar e Tsavdaridis (2025)	Conexão híbrida entre módulos	MEF 3D não linear	Apoio de borracha; parafusamento com SMA	SMA reduz deformações residuais; melhora a recentralização
Lan, Chan e Young (2021)	Juntas T em RHS HSS	Experimental + MEF 3D	Tubos fabricados; modelagem da ZTA	CIDECT não conservador; ZTA reduz resistência em 6–14%
Pandey e Young (2024)	Tubos conformados a frio	Experimental + MEF	GMAW; redução WHAR	Normas imprecisas; novas equações para aço S900/S960
Elhadary, Bediwy e Elshaer (2025)	Conexões HSS parafusadas	MEF não linear	Técnicas de reforço	Reforço combinado ótimo (capacidade 2,2 Mp)
Arrayago e Rasmussen (2021)	Pórticos em aço inoxidável	MEF avançado não linear	Elementos de ligação; imperfeições	Fator de sistema γM,s = 1,15 proposto
Jaamala *et al*. (2023)	Treliças conformadas a frio	GMNIA	Conexões articuladas; imperfeições	Fator de segurança do sistema 1,15–1,21 necessário
Xu *et al*. (2022)	Viga dupla laminada	Experimental + MEF	Junta plug-in; parafusos interfaciais	Capacidade de escoamento +25%; rigidez +70%
Tran, Thai e Uy (2024)	Conexão composta semi-rígida	MEF não linear	Elementos de comprimento zero	Capacidade lateral reduzida em 64–73% com conexões articuladas
Bayo e Gracia (2019)	Ligação viga-pilar soldada	Modelagem substituta	Autovalores/autovetores	*Kriging* preciso; previsão eficiente da rigidez
Ha *et al*. (2021)	Conexão parafusada de torre	MEF 3D não linear	Diversos elementos; amarração	Tensões abaixo do admissível; modelo sólido conservador
Zhao *et al*. (2017)	Compressor parafusado	Múltiplos MEF	PRETS179; pares de contato	Modelo sólido com melhor precisão; casca recomendada
Tao, Wang e Zhao (2025)	Conexão aço-concreto composta	MEF casca-sólido	Placas de confinamento	Espessura da alma mais significativa; resistência +23%
Huang, Yang e Al-Janabi (2024)	Conexão parafusada painel-painel	Experimental + MEF	Fixadores independentes de malha	Danos na conexão contribuem para a ductilidade
Jalali *et al*. (2012)	Conexões com	OpenSees	Zona de painel	Degradação

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	chapa lateral	rígida; molas	crucial; modelos simplificados não conservadores

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Tabela 8. Estudos sobre Conexões Estruturais de Concreto e Alvenaria

Autores	Tipo de Conexão	Método de Análise	Características Principais	Principais Achados
Kulkarni, Li e Yip (2008)	Híbrida aço-concreto	MEF Não Linear	Elementos 2D, armadura em treliça	Carga axial benéfica; espessura da chapa aumenta a resistência em 11%
Lu *et al*. (2021)	Ligações laje-pilar	MEF Refinado + Física	Armadura contínua	Capacidade aumentada em 6%; resistência pós-punção duplicada
Angelo e Giovanni (2024)	Nós de canto em CA	Experimental + MEF + STM	Reforço com mísula, carregamento biaxial	Alta redução de resistência por acoplamento; mísula reduz tensões
Abdel-Latif *et al*. (2023)	Nós excêntricos em CA	MEF Não Linear	Aderência-deslizamento, malha incompatível	Razão geométrica do nó dominante; normas superestimam a capacidade
Cimmino, Magliulo e Manfredi (2020)	Pino viga-pilar	Dinâmica Não Linear	Duas configurações (dúctil/frágil	Cobrimento baixo leva a falha frágil; recomendado ≥8D
Dal Lago, Negro e Dal Lago (2018)	Pré-moldado montado a seco	Pseudo-dinâmico	Acopladores mecânicos	Projeto versátil; acopladores dúcteis; bom desempenho sísmico
Wang e Vollum (2025)	Laje de transferência	Experimental + MEF + STM	Pilares deslocados, sem armadura de cisalhamento	Abertura de 0,5d aumenta carga de ruptura; STM preciso
Zhang *et al*. (2025)	Conexão tipo soquete CST	Pseudo-estático + MEF 3D	Concreto confinado com borracha	Resistência +94%; ductilidade +257%; energia +126%
D'Altri *et al*. (2021)	Conexões em alvenaria	NURBS Adaptativo + Pushover	Contatos coesivo-friccionais	Comportamento ortotrópico aumenta cisalhamento em 15–20%; procedimento automatizado
Zhou, Sluys e Esposito (2022)	Interface tijolo-argamassa	Homogeneização de campo médio	Inclusões elípticas, padrões	Resposta ortotrópica precisa; melhor para razão de rigidez >10
Ghezelbash *et al*.	Interfaces entre	MEF 3D baseado	Interfaces coesivo-	Variação de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(2025)	blocos de alvenaria	em blocos	friccionais	resistência de ±8,3% é significativa
Milani *et al*. (2013)	Interfaces pedra-argamassa	Homogeneização + Análise Limite	Blocos rígidos, interfaces	Argamassa resistente aumenta carga limite em 4 vezes
Zhang, Macorini e Izzuddin (2016)	Arcos de alvenaria tijolo-argamassa	Modelagem mesoescala 3D	Elementos sólidos e de interface	Captura falha 3D; abordagem particionada eficiente
Bertolesi, Milani e Fedele (2016)	Arcos de alvenaria reforçados com FRP	MEF Heterogêneo	Tiras de FRP, interfaces de argamassa	Aumento de ductilidade e capacidade; validado pelo CNR
Murano *et al*. (2019)	Cantos de alvenaria de pedra	Experimental + MEF Não Linear	Reforço em aço/madeira	Resistência +52%; energia +44–53%
Rios et al. (2025)	Arco de alvenaria ligado a pilar	Análise Limite Superior	Sem tração, Mohr-Coulomb	Textura do pilar é crucial; maior atrito aumenta estabilidade
Bru *et al*. (2019)	Interação em torre sineira	OMA + Atualização por MEF	Cargas harmônicas, FAD	Ressonância perigosa; ângulo de oscilação crítico
Addessi *et al*. (2023)	Interfaces tijolo-argamassa	TFA Não Uniforme	Interfaces coesivo-friccionais	Melhora a precisão; melhor resposta fora do plano
Abdulla, Cunningham e Gillie (2017)	Unidade de alvenaria–argamassa	Micromodelo Simplificado 3D	Comportamento coesivo, XFEM	Captura falha da junta e fissuração das unidades

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Tabela 9. Estudos sobre Conexões em Madeira, Compostas e Especiais

Autores e Ano	**Tipo de Conexão**	**Método de Análise**	**Características Principais**	**Principais Achados**
Antolinc, Rajčić e Žarnić (2014)	Atrito madeira-vidro	Experimental + HYSPA+	Sem adesivo, três tipos	Atrito dissipa 80% da energia; amortecimento 0,24-0,34
Nguyen, Vestartas e Weinand (2019)	Tenon madeira-madeira	MEF + Mola semi-rígida	Múltiplos encaixes, molas	Comportamento semi-rígido crucial; rígido superestima 188%
Mirshekar e Sadeghian (2025)	Entalhe madeira-concreto	MEF Não Linear	Geometria do entalhe, parafusos	Resistência ao cisalhamento 20-30% maior; profundidade é fator primário
Nabaei, Baverel e Weinand (2013)	Painéis entrelaçados de madeira	Relaxamento Dinâmico Modificado	Elementos casca, contatos	Form-finding bem-sucedido; superfícies não-desenvolvíveis
Teeuwen,	Painel-pórtico	Experimental +	Parafusos em	Rigidez a partir de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Kleinman e Snijder (2012)		MEF	compressão, modelo de mola	componentes; falha do parafuso preferida
Kawecki (2025)	Madeira macia parafusada	Experimental + Teórico + MEF	Parafusos M6 com arruelas	Previsão torque-pré-carga; ótimo após plasticização
Hejazi, Zabihi e Jaafar (2014)	Amortecedor viscoso em concreto armado	MEF 3D Não Linear	Amortecedor elástico, rótulas plásticas	Vãos de canto propensos a falha; amortecimento reduz falhas
Kujawa *et al*. (2025)	Conexão adesiva	MEF Não Linear + Experimental	Epóxi, CZM, campo aleatório	Fluência reduz rigidez; imperfeições afetam capacidade
Shi *et al*. (2024)	Âncora colada em CFRP	Teórico + MEF	Âncora cônica de ângulo variável	Tensão -53,5%; eficiência +12,2%; diâmetro -22,7%
Ciabattoni, Petrini e Pampanin (2024)	Sistema híbrido aço-madeira	Plasticidade concentrada + NLTHA	Pós-tensionado, dissipadores	Menores deslocamentos residuais; auto-centramento
Yang *et al*. (2025)	Revestimento segmentado	Analítico + Viga-Mola	Molas concreto-junta-parafuso	Propriedades da junta influenciam rigidez; juntas reduzem momentos
Madrazo-Aguirre, Wadee e Ruiz-Teran (2015)	Deck-strut-cabo	Analítico + MEF Não Linear	Estruts articulados, cabos pré-tensionados	Rigidez do cabo de estai crítico para flambagem simétrica
Iu (2016)	Composto aço-concreto	MEF Não Linear de Alta Ordem	Rótulas plásticas refinadas	Axial-flexão precisa; melhor que Eurocódigo 4
Terzi e Makarios (2023)	Borda de cúpula esférica	MEF Linear	Elementos casca fina, razões r/t	Malha crítica para cascas finas; comportamento de transição
Han *et al*. (2025)	Conector perfil U	Experimental + MEF	Perfil U com recortes	Profundidade de embutimento e resistência do concreto primários
Bianchi *et al*. (2025)	Envidraçamento de fachada cortina	Experimental + MEF Numérico	Seco vs molhado, razões de silicone	SSG supera; relação de aspecto influencia rotação
Pant e Wijeyewickrema (2014)	Isolamento de base	OpenSees 3D Não Linear	Elementos de contato, atrito	Atrito crítico; negligência subestima deslocamento 33%

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

As investigações numéricas de conexões estruturais examinadas nesses artigos empregaram metodologias e aplicações diversificadas:

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1. Modelagem Multimaterial e Multiescala: Alguns estudos implementaram formulações multimaterial e multiescala, incluindo modelos casca-sólido para juntas mistas aço-concreto e modelos tridimensionais detalhados em mesoescala para interfaces de materiais (Tao; Wang; Zhao, 2025; Zhang; Macorini; Izzuddin, 2016). Análises acopladas abordando interação fluido-estrutura e interação solo-estrutura também foram aplicadas a tipos específicos de conexões (Ha *et al.,* 2021; Pant; Wijeyewickrema, 2014).
2. Modelagem de Materiais e Interfaces: A representação do comportamento das conexões incorporou modelos constitutivos diversos, incluindo plasticidade metálica não linear para conexões de aço e modelos de zona coesiva para juntas de alvenaria e adesivas (Bompa *et al.,* 2023; Kujawa *et al.,* 2025). Para sistemas compostos, foram implementadas formulações refinadas de rótula plástica e modelos de plasticidade com dano para o concreto (Abdel-Latif *et al.,* 2023; Iu, 2016).
3. Estudos Paramétricos e Probabilísticos: Investigações examinaram a influência de parâmetros geométricos e materiais no desempenho das conexões, incluindo espessura da placa de extremidade, pré-carga dos parafusos e resistência do material (Basaglia; Camotim; Coda, 2018; Bayo; Gracia, 2019; D'Altri *et al.,* 2021). Alguns estudos incorporaram métodos probabilísticos para tratar a variabilidade dos materiais e determinar fatores de segurança do sistema (Arrayago; Rasmussen, 2021; Jaamala *et al.,* 2023; Jalali *et al.,* 2012).
4. Técnicas Numéricas e Métodos Híbridos: Algumas abordagens numéricas foram desenvolvidas para enfrentar desafios computacionais, incluindo técnicas de modelagem substituta (surrogate), teoria generalizada de vigas e refinamento adaptativo de malha (Basaglia; Camotim; Coda, 2018; Bayo; Gracia, 2019; D'Altri *et al.,* 2021). Metodologias híbridas que combinam diferentes estratégias numéricas foram aplicadas a sistemas estruturais (Rios *et al.,* 2025; Tran; Thai; Uy, 2024).
5. Correlação Experimental: Modelos numéricos foram correlacionados com testes físicos em várias escalas, incluindo testes em nível de componente de conexões e testes em escala real de subsistemas estruturais ((Angelo; Giovanni, 2024; Nascimento; Pedro; Calado, 2025; Topkaya, 2007).

Essas abordagens metodológicas proporcionaram *insights* sobre o comportamento de conexões estruturais em diferentes materiais e condições de carregamento. Os estudos relataram que técnicas de reforço podem afetar a capacidade das conexões (Elhadary; Bediwy; Elshaer, 2025; Zhang *et al.,* 2025), enquanto a flexibilidade das conexões influencia a resposta estrutural global (Tran; Thai; Uy, 2024). A investigação do comportamento semirrígido indicou sua importância na análise de pórticos (Nguyen; Vestartas; Weinand, 2019). As simulações numéricas contribuíram para o desenvolvimento de recomendações de projeto e fatores de segurança

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(Arrayago; Rasmussen, 2021; Pandey; Young, 2024; Su *et al.,* 2024). Os métodos aplicados demonstraram capacidade de representar estados de tensão tridimensionais e mecanismos progressivos de falha em conexões estruturais (Abdel-Latif *et al.,* 2023; Iu, 2016).

3.4. Síntese dos resultados

Sintetizando os resultados, a revisão sistemática empregou uma abordagem qualitativa em vez de uma meta-análise. Essa decisão foi baseada na variação de materiais estruturais, tipos de conexão e metodologias numéricas entre os estudos incluídos. A análise examinou uma variedade de projetos de pelo MEF e outros métodos numéricos, incluindo MEF não linear 3D e modelagem substituta. Os resultados forneceram principalmente *insights* qualitativos sobre mecanismos comportamentais, em vez de dados quantitativamente comparáveis. A síntese indica que a modelagem numérica é uma metodologia frequentemente utilizada para investigar conexões estruturais, com diversos temas comuns identificados:

- Abordagens Metodológicas: Diferentes técnicas numéricas foram aplicadas a desafios específicos de materiais, como a homogeneização para alvenaria e o acoplamento casca-sólido para sistemas compostos;
- Validação de Modelos e Aplicações em Projeto: Os estudos comumente incluíram a validação de modelos contra resultados experimentais, com aplicações na avaliação de equações de normas de projeto e fatores de segurança.
- Análise Sísmica e Dinâmica: A pesquisa incluiu trabalhos sobre conexões para condições de carregamento sísmico, com foco na dissipação de energia e ductilidade.
- Desenvolvimento do Projeto de Conexões: A análise numérica foi aplicada ao desenvolvimento e estudo paramétrico de sistemas de conexão, incluindo aqueles para estruturas modulares e híbridas.

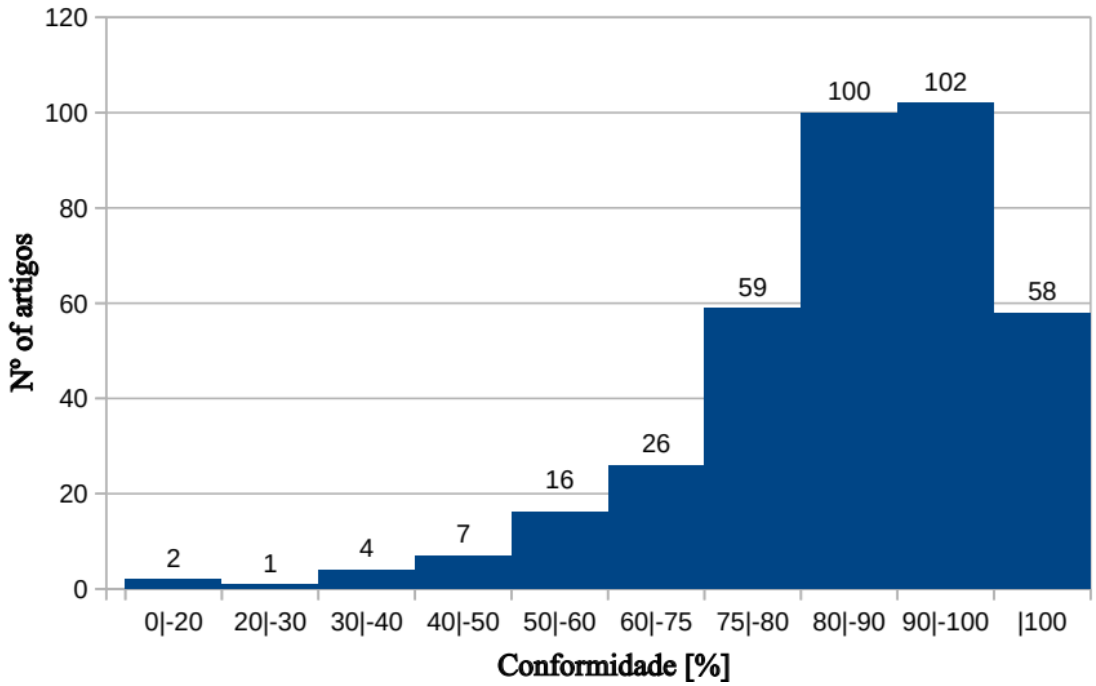
3.5. Avaliação do viés e da qualidade metodológica dos artigos

A avaliação do risco de viés e da qualidade dos estudos revelou que os estudos selecionados incluídos na análise final atenderam a pelo menos 75% dos critérios de qualidade estabelecidos (Pineda-Vélez; Yadalam; Ardila, 2024; Sheth *et al.,* 2024), categorizando-os como de boa qualidade (Figura 2 e Tabela 10). A Figura 2 mostra um histograma dos escores de conformidade de qualidade para os estudos avaliados quanto à elegibilidade. Como mostrado, 319 estudos atenderam ao limiar de qualidade de 75% de conformidade. De acordo com a ferramenta QATSDD, isso corresponde a uma pontuação de pelo menos 3 em um mínimo de nove itens. Destes, 58 estudos alcançaram a pontuação máxima. A Tabela 10 mostra a conformidade de pontuação dos estudos analisados.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os autores consideraram este número de estudos de qualidade suficiente para inclusão na revisão sistemática e na análise de texto completo.

Figura 2. Número de artigos de acordo com a nota de conformidade do método QATSDD



Fonte: Figueirêdo, Figueirêdo e Argenta (2026).

Tabela 10. Pontuação de Conformidade

Estudo	Critérios Satisfeitos	Pontuação de Conformidade
Kulkarni, Li e Yip (2008)	12	1
Lu *et al.* (2021)	12	1
Díaz *et al.* (2011)	12	1
D'Altri *et al.* (2021)	12	1
Zhou, Sluys e Esposito (2022)	12	1
Antolinc, Rajčić e Žarnić (2014)	12	1
Su *et al.* (2024)	12	1
Angelo e Giovanni (2024)	12	1
Topkaya (2007)	12	1
Ghezelbash *et al.* (2025)	12	1
Milani *et al.* (2013)	12	1
Kujawa *et al.* (2025)	12	1
Shi *et al.* (2024)	12	1
Nguyen, Vestartas e Weinand (2019)	12	1
Hejazi, Zabihi e Jaafar (2014)	12	1
Abdel-Latif *et al.* (2023)	12	1
Jaamala *et al.* (2023)	12	1
Mirshekar e Sadeghian (2025)	12	1
Xu *et al.* (2022)	12	1

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Bertolesi, Milani e Fedele (2016)	12	1
Terzi e Makarios (2023)	12	1
Zohdi *et al.* (2025)	12	1
Özel e Sarıtaş (2022)	12	1
Basaglia, Camotim e Coda (2018)	12	1
Bompa *et al.* (2023)	12	1
Murano *et al.* (2019)	12	1
Nascimento, Pedro e Calado (2025)	12	1
Nabaei, Baverel e Weinand (2013)	12	1
Teeuwen, Kleinman e Snijder (2012)	12	1
Zhang, Macorini e Izzuddin (2016)	12	1
Yang *et al.* (2025)	12	1
Ciabattoni, Petrini e Pampanin (2024)	12	1
Madrazo-Aguirre, Wadee e Ruiz-Teran (2015)	12	1
Addessi *et al*. (2023)	12	1
Iu (2016)	12	1
Corfar e Tsavdaridis (2025)	12	1
Zhao *et al.* (2017)	12	1
Rios *et al*. (2025)	12	1
Bru *et al.* (2019)	12	1
Han *et al.* (2025)	12	1
Pant e Wijeyewickrema 92014)	12	1
Jalali *et al.* (2012)	12	1
Wang e Vollum (2025)	12	1
Zhang *et al.* (2025)	12	1
Cimmino, Magliulo e Manfredi (2020)	12	1
Dal Lago, Negro e Dal Lago (2018)	12	1
Pandey e Young (2024)	12	1
Bianchi *et al.* (2025)	12	1
Abdulla, Cunningham e Gillie (2017)	12	1
Tao, Wang e Zhao (2025)	12	1
Bayo e Gracia (2019)	12	1
Ha *et al.* (2021)	12	1
Elhadary, Bediwy e Elshaer (2025)	12	1
Tran, Thai e Uy (2024)	12	1
Arrayago e Rasmussen (2021)	12	1
Lan, Chan e Young (2021)	12	1
Kawecki (2025)	12	1
Huang, Yang e Al-Janab (2024)	12	1

Fonte: Figueirêdo[1], Figueirêdo[2] e Argenta[3] (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES

Esta revisão sistemática sintetizou achados de 58 estudos para avaliar o uso da modelagem numérica na análise de conexões estruturais para sistemas de aço, concreto, alvenaria, madeira e materiais compostos. A evidência coletada indica que métodos numéricos avançados, particularmente a Análise pelo MEF não linear tridimensional, são utilizados para simular o comportamento de conexões estruturais. Uma área-chave de investigação nos estudos revisados foi a acurácia dos modelos simplificados de conexão utilizados na prática de projeto. Os achados sugerem que, embora simplificações sejam necessárias para o projeto, as análises numéricas frequentemente revelam limitações nessas abordagens. A pesquisa aponta para diversas observações consistentes:

- Influência do Comportamento Semirrígido: Análises de pórticos de aço, madeira e materiais compostos indicaram que o comportamento semirrígido das conexões pode ter um efeito mensurável na resposta estrutural global. Por exemplo, um estudo sobre estruturas de madeira relatou que modelos que assumem conexões rígidas superestimaram a rigidez em comparação com modelos que incorporam o comportamento semirrígido.
- Previsões de Métodos Simplificados: Comparações entre resultados numéricos e equações de normas de projeto foram frequentemente realizadas. Alguns estudos observaram que as diretrizes de projeto existentes forneciam previsões de resistência conservadoras ou não conservadoras para certos tipos de conexão, levando a propostas de regras de projeto atualizadas.
- Modelagem de Mecanismos de Falha: A revisão constatou que modelos numéricos detalhados foram frequentemente empregados para simular mecanismos complexos de falha, como cisalhamento de bloco, punção e degradação progressiva das juntas. Esses modelos, que incorporam características como interações de contato e leis de material não lineares, fornecem um nível de detalhe que modelos analíticos simplificados normalmente não conseguem capturar.

Em resumo, o conjunto de pesquisas destaca o papel da análise numérica como uma metodologia para examinar o comportamento de conexões estruturais além de suposições simplificadas. Os estudos sugerem que simulações detalhadas podem fornecer dados para fundamentar e refinar abordagens de projeto. O desenvolvimento de técnicas de modelagem eficientes parece ser um foco para tornar a análise detalhada de conexões mais aplicável nos processos de projeto.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

REFERÊNCIAS

ABDEL-LATIF, Mostafa A. *et al.* Effect of geometric parameters on the behavior of eccentric RC beam–column joints. **Buildings**, v. 13, n. 8, p. 1980, 2023.

ABDULLA, Kurdo F.; CUNNINGHAM, Lee S.; GILLIE, Martin. Simulating masonry wall behaviour using a simplified micro-model approach. **Engineering Structures**, v. 151, p. 349–365, 2017.

ADDESSI, Daniela et al. Non-uniform TFA reduced multiscale procedure for shell-3D modeling of periodic masonry structures. **Mechanics Research Communications**, v. 130, p. 104122, 2023.

ANGELO, Marchisella; GIOVANNI, Muciaccia. Bi–axially loaded RC beam–column joints and haunch retrofit. **Bulletin of Earthquake Engineering**, v. 22, n. 6, p. 3125–3167, 2024.

ANTOLINC, David; RAJČIĆ, Vlatka; ŽARNIĆ, Roko. Analysis of hysteretic response of glass infilled wooden frames. **Journal of civil engineering and management**, v. 20, n. 4, p. 600–608, 2014.

ARRAYAGO, Itsaso; RASMUSSEN, Kim JR. System-based reliability analysis of stainless steel frames under gravity loads. **Engineering Structures**, v. 231, p. 111775, 2021.

BANJAR, Areej et al. A systematic review of the experimental studies on the effectiveness of mixed reality in higher education between 2017 and 2021. **Computers & Education: X Reality**, v. 3, p. 100034, 2023.

BASAGLIA, Cilmar; CAMOTIM, Dinar; CODA, Humberto Breves. Generalised beam theory (GBT) formulation to analyse the vibration behaviour of thin-walled steel frames. **Thin-Walled Structures**, v. 127, p. 259–274, 2018.

BAYO, Eduardo; GRACIA, Javier. Stiffness modelling of 2D welded joints using metamodels based on mode shapes. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 156, p. 242–251, 2019.

BERTOLESI, Elisa; MILANI, Gabriele; FEDELE, Roberto. Fast and reliable non-linear heterogeneous FE approach for the analysis of FRP-reinforced masonry arches. **Composites Part B: Engineering**, v. 88, p. 189–200, 2016.

BIANCHI, Francesco et al. A finite element model for predicting the static strength of a composite hybrid joint with reinforcement pins. **Materials**, v. 16, n. 9, p. 3297, 2023.

BIANCHI, Simona et al. Seismic testing and performance evaluation of unitized curtain walls. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**, v. 54, n. 12, p. 3090–3107, 2025.

BOMPA, D. V. *et al.* Inelastic cyclic response of RBS connections with jumbo sections. **Engineering Structures**, v. 281, p. 115758, 2023.

BRU, David et al. Parametric dynamic interaction assessment between bells and supporting slender masonry tower. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 129, p. 235–249, 2019.

CIABATTONI, Micol; PETRINI, Francesco; PAMPANIN, Stefano. Multi-hazard design of low-damage high-rise steel–timber buildings subjected to wind and earthquake loading. **Engineering Structures**, v. 303, p. 117522, 2024.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CIMMINO, Maddalena; MAGLIULO, Gennaro; MANFREDI, Gaetano. Seismic collapse assessment of new European single-story RC precast buildings with weak connections. **Bulletin of Earthquake Engineering**, v. 18, n. 15, p. 6661–6686, 2020.

CORFAR, D.; TSAVDARIDIS, K. Numerical analysis of hybrid inter-module joints for enhanced seismic resilience of modular buildings. **Advances in Engineering Software**, 2025.

D'ALTRI, Antonio Maria et al. A two-step automated procedure based on adaptive limit and pushover analyses for the seismic assessment of masonry structures. **Computers & Structures**, v. 252, p. 106561, 2021.

DAL LAGO, Bruno; NEGRO, Paolo; DAL LAGO, Alberto. Seismic design and performance of dry-assembled precast structures with adaptable joints. **Soil dynamics and earthquake engineering**, v. 106, p. 182–195, 2018.

DAN-ADRIAN, Corfar; TSAVDARIDIS, Konstantinos Daniel. Numerical analysis of hybrid inter-module joints for enhanced seismic resilience of modular buildings. **Thin-Walled Structures**, p. 113736, 2025.

DELLINGER, Anthony L.; OBARE, Sherine O. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. 2001.

DÍAZ, Concepción et al. FE model of beam-to-column extended end-plate joints. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 67, n. 10, p. 1578–1590, 2011.

ELHADARY, Mostafa; BEDIWY, Ahmed; ELSHAER, Ahmed. Structural performance of bolted HSS-to-HSS connections with reinforcement technique. **Engineering Structures**, v. 343, p. 121266, 2025.

GESUALDO, Antonio et al. A direct technique for the homogenization of periodic beam-like structures by transfer matrix eigen-analysis. **Latin American Journal of Solids and Structures**, v. 15, n. 5, p. e40, 2018.

GHEZELBASH, Amirhossein et al. Challenges in high-fidelity implicit block-based numerical simulation of dynamic out-of-plane two-way bending in unreinforced brick masonry walls. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**, v. 54, n. 7, p. 1836–1858, 2025.

HA, Kwangtae et al. Structural modeling and failure assessment of spar-type substructure for 5 mw floating offshore wind turbine under extreme conditions in the east sea. **Energies**, v. 14, n. 20, p. 6571, 2021.

HADDAWAY, Neal Robert et al. The role of Google Scholar in evidence reviews and its applicability to grey literature searching. **PloS one**, v. 10, n. 9, p. e0138237, 2015.

HAN, Tran-Van et al. Performance assessment of a novel connector for timber frame facades on concrete slabs. **Journal of Building Engineering**, p. 114397, 2025.

HARZING, A. **Using the publish or perish software**. [*S. l.: s. n.*], 2023.

HEJAZI, Farzad; ZABIHI, A.; JAAFAR, M. S. Development of elasto-plastic viscous damper finite element model for reinforced concrete frames. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 65, p. 284–293, 2014.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

HUANG, Jingfei; YANG, TY; AL-JANABI, Musab AQ. Ultimate in-plane shear capacity of 3-panel frameless cold-form steel corrugated walls under axial compression. **Thin-Walled Structures**, v. 204, p. 112260, 2024.

IU, CK. Nonlinear analysis for the pre-and post-yield behaviour of a composite structure with the refined plastic hinge approach. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 119, p. 1–16, 2016.

JAAMALA, Lauri et al. Eurocode-compliant system safety factor for advanced design of hollow section Warren trusses. **Engineering Structures**, v. 288, p. 116198, 2023.

JALALI, SA et al. Probabilistic seismic demand assessment of steel moment frames with side-plate connections. **Scientia Iranica**, v. 19, n. 1, p. 27–40, 2012.

JOLDES, Grand Roman; WITTEK, Adam; MILLER, Karol. Real-time nonlinear finite element computations on GPU–Application to neurosurgical simulation. **Computer methods in applied mechanics and engineering**, v. 199, n. 49–52, p. 3305–3314, 2010.

KAWECKI, Bartosz. The method of predicting tightening torque and preload for bolts embedded in softwood using steel washers. **Archives of Civil Engineering**, p. 595–613, 2025.

KOOCHEKI, K.; PIETRUSZCZAK, S. Mesoscale analysis of fracture process in brick masonry structures. **Mathematics and Mechanics of Solids**, v. 30, n. 1, p. 73–92, 2025.

KUJAWA, Marcin et al. Creep failure mechanism in single-lap joints. **International Journal of Engineering Science**, v. 215, p. 104315, 2025.

KULKARNI, Sudhakar A.; LI, Bing; YIP, Woon Kwong. Finite element analysis of precast hybrid-steel concrete connections under cyclic loading. **Journal of constructional steel research**, v. 64, n. 2, p. 190–201, 2008.

LAN, Xiaoyi; CHAN, Tak-Ming; YOUNG, Ben. Testing, finite element analysis and design of high strength steel RHS T-joints. **Engineering Structures**, v. 227, p. 111184, 2021.

LIANG, C. Application and prospect of analysis of structures based on finite element method. **Highlights Sci. Eng. Technol**, v. 28, p. 53–60, 2022.

LU, Xinzheng *et al.* A preliminary analysis and discussion of the condominium building collapse in surfside, Florida, US, June 24, 2021. **Frontiers of structural and civil engineering**, v. 15, n. 5, p. 1097–1110, 2021.

MADRAZO-AGUIRRE, Fernando; WADEE, M. Ahmer; RUIZ-TERAN, Ana M. Non-linear stability of under-deck cable-stayed bridge decks. **International Journal of Non-Linear Mechanics**, v. 77, p. 28–40, 2015.

MARTÍN-MARTÍN, Alberto et al. Google scholar, microsoft academic, scopus, dimensions, web of science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. **Scientometrics**, v. 126, n. 1, p. 871–906, 2021.

MILANI, Gabriele et al. Characterization of the response of quasi-periodic masonry: Geometrical investigation, homogenization and application to the Guimarães castle, Portugal. **Engineering structures**, v. 56, p. 621–641, 2013.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MIRSHEKAR, Sepideh; SADEGHIAN, Vahid. **Evaluating the behavior of notched connections in timber-concrete composite beams**. [S. l.]: Elsevier, 2025.

MISHRA, Vinaytosh; MISHRA, Monu Pandey. PRISMA for review of management literature–method, merits, and limitations–an academic review. **Advancing methodologies of conducting literature review in management domain**, p. 125–136, 2023.

MURANO, Antonio et al. Influence of traditional earthquake-resistant techniques on the out-of-plane behaviour of stone masonry walls: Experimental and numerical assessment. **Engineering Structures**, v. 201, p. 109815, 2019.

NABAEI, Seyed Sina; BAVEREL, Olivier; WEINAND, Yves. Mechanical form-finding of the timber fabric structures with dynamic relaxation method. **International Journal of Space Structures**, v. 28, n. 3–4, p. 197–214, 2013.

NASCIMENTO, Sérgio; PEDRO, José J. Oliveira; CALADO, Luís. Innovative dissipative pin-devices for seismic-resilient composite steel-concrete buildings: Experimental and numerical investigation. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 229, p. 109488, 2025.

NGUYEN, Anh Chi; VESTARTAS, Petras; WEINAND, Yves. Design framework for the structural analysis of free-form timber plate structures using wood-wood connections. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102948, 2019.

ÖZEL, Halil Firat; SARITAŞ, Afşin. Frame finite element model for nonlinear and vibration analysis of steel structures with Beam-Column and Column-Base Semi-Rigid Connections Kiriş-Kolon ve Kolon-Taban Yari-Rijit bağlantili çelik yapilarin doğrusal olmayan ve titreşim analizleri için çerçeve sonlu elemani modeli. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 2022.

PAEZ, Arsenio. Gray literature: An important resource in systematic reviews. **Journal of Evidence-Based Medicine**, v. 10, n. 3, p. 233–240, 2017.

PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 372, 2021.

PANDEY, Madhup; YOUNG, Ben. Research on cold-formed high strength steel tubular T-and X-joints. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 219, p. 108669, 2024.

PANT, Deepak R.; WIJEYEWICKREMA, Anil C. Performance of base-isolated reinforced concrete buildings under bidirectional seismic excitation considering pounding with retaining walls including friction effects. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**, v. 43, n. 10, p. 1521–1541, 2014.

PINEDA-VÉLEZ, Eliana; YADALAM, Pradeep Kumar; ARDILA, Carlos M. Efficacy of the finite element analysis in assessing the effects of light curing on the mechanical properties of direct restorative composites: A systematic review. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, v. 16, n. 11, p. e1411, 2024.

REYES, Emilio José Chocobar; MEDINA, Remy Felipe Barreda. Estructuras metodológicas PICO y PRISMA 2020 en la elaboración de artículos de revisión sistemática: Lo que todo investigador debe conocer y dominar. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, v. 9, n. 1, p. 8525–8543, 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

RIOS, Alejandro Jimenez *et al.* Parametric analysis of masonry arches following a limit analysis approach: Influence of joint friction, pier texture, and arch shallowness. **Mathematics and Mechanics of Solids**, v. 30, n. 1, p. 137–165, 2025.

ŠABATKA, L. *et al.* **Component based finite element model of structural connections**. [*S. l.: s. n.*], 2014.

SAFAEI, Shayan; SHAMLU, Mohammadreza; VAKILI, Amirhosein. Modeling methods and constitutive laws for nonlinear analysis of steel moment-resisting frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 199, p. 107583, 2022.

SHETH, Vidhi H. *et al.* Development and validation of a risk-of-bias tool for assessing in vitro studies conducted in dentistry: The QUIN. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 131, n. 6, p. 1038–1042, 2024.

SHI, Taining *et al.* Design and mechanical properties analysis of a novel CFRP tendons anchorage structure. **Alexandria Engineering Journal**, v. 109, p. 591–602, 2024.

SONG, Junho *et al.* Structural system reliability: Overview of theories and applications to optimization. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering**, v. 7, n. 2, p. 03121001, 2021.

SU, Andi *et al.* Behaviour and design of S960 ultra-high strength steel non-slender welded I-section beam–columns. **Engineering Structures**, v. 304, p. 117602, 2024.

TAO, Muxuan; WANG, Yulun; ZHAO, Jizhi. Simulation and analysis of the constraint effects of multi-cavity double steel plate composite walls. **Buildings**, v. 15, n. 9, p. 1556, 2025.

TEEUWEN, PA; KLEINMAN, CS; SNIJDER, HH. Mechanical model for steel frames with discretely connected precast concrete infill panels with window openings. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 6, n. 1-M12, p. 182–193, 2012.

TERZI, Vasiliki G.; MAKARIOS, Triantafyllos K. Finite element in-depth verification: Base displacements of a spherical dome loaded by edge forces and moments. **Modelling**, v. 5, n. 1, p. 37–54, 2023.

TOPKAYA, Cem. Block shear failure of gusset plates with welded connections. **Engineering Structures**, v. 29, n. 1, p. 11–20, 2007.

TRAN, Hau; THAI, Huu-Tai; UY, Brian. **System reliability-based design of composite frames with concrete–filled steel plate shear walls**. [*S. l.: s. n.*], Elsevier, 2024.

WANG, Zeyu; VOLLUM, Robert L. Punching resistance of flat slabs loaded with closely offset planted columns. **Engineering Structures**, v. 322, p. 119038, 2025.

WHALEN, Eamon Jasper. **Enhancing surrogate models of engineering structures with graph-based and physics-informed learning**. [S. l.]: Massachusetts Institute of Technology, 2021.

XU, Bo et al. Experimental and numerical investigation on the lateral force resistance of modular steel sub-frames with laminated double beam. **Journal of Building Engineering**, v. 46, p. 103666, 2022.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

YANG, Fan et al. Modeling the segmental lining behavior using an analytical segmental joint model. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v. 69, n. 1, p. 280–292, 2025.

ZHANG, Linlin et al. Seismic behavior of prefabricated-assembled frames with corrugated steel tube confined connections and piers: Experiments, numerical models, and design. **Engineering Structures**, v. 338, p. 120604, 2025.

ZHANG, Yanyang; MACORINI, Lorenzo; IZZUDDIN, Bassam A. Mesoscale partitioned analysis of brick-masonry arches. **Engineering Structures**, v. 124, p. 142–166, 2016.

ZHAO, Ying et al. Numerical simulation and experimental validation of the vibration modes for a processing reciprocating compressor. **Shock and Vibration**, v. 2017, n. 1, p. 5327326, 2017.

ZHOU, Yubao; SLUYS, Lambertus J.; ESPOSITO, Rita. An improved mean-field homogenization model for the three-dimensional elastic properties of masonry. **European Journal of Mechanics-A/Solids**, v. 96, p. 104721, 2022.

ZOHDI, Ali et al. Finite element method investigation of seismic design for enlarged beam section (EBS) connection in steel structures under cyclic loading. **Asian Journal of Civil Engineering**, p. 1–23, 2025.

ZSUZSANNA, Nagy. **A systematic review:** principles and steps. [*S. l.: s. n.*], 2022.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.