

ENSINO-APRENDIZAGEM DE PROJETOS DE ESTRUTURAS PARA ARQUITETURA COM TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS

TEACHING-LEARNING OF STRUCTURAL PROJECTS FOR ARCHITECTURE WITH EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

 Leticia Mattana ¹

 João Carlos Souza ²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, SC, Brasil.
leticiamattana@outlook.com

² Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, SC, Brasil,
joao.carlos@ufsc.br

Resumo

Entender o comportamento das estruturas faz parte das atribuições legais dos arquitetos. Essa compreensão é fundamental para que os profissionais possam desempenhar suas funções com liberdade, criatividade e segurança, garantindo a estabilidade da forma concebida. Entretanto, existem vários problemas no ensino de estruturas em escolas de arquitetura e urbanismo, como as aulas meramente expositivas e programas de ensino distantes da prática profissional. Esse trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma Revisão de Literatura que identifica tecnologias educacionais adotadas no processo de ensino-aprendizagem de estruturas para estudantes de arquitetura. O trabalho foi conduzido a partir da metodologia SSF (*SystematicSearchFlow*) e a pesquisa ocorreu em 11 bases de dados científicas. A organização bibliográfica dos documentos foi realizada no software Zotero. Após os procedimentos de buscas, foram selecionados 22 estudos correlatos que pautavam com os objetivos e temas estabelecidos nos critérios de seleção. Os resultados foram analisados e sistematizados por títulos, autores, data da publicação, nacionalidade das instituições, pesquisadores, locais de publicação, objetivos, métodos, palavras-chave, citações e contribuições ao ensino de estruturas para arquitetura. Os estudos selecionados apresentam diferentes recursos aplicados ao ensino de estruturas para arquitetura, adotados em variadas experiências brasileiras e internacionais. A maioria destes recursos está relacionada à implementação de novas tecnologias digitais em sala de aula, como uso de BIM, modelagem paramétrica, realidade virtual e a inserção de processos colaborativos para integração com o projeto de arquitetura. A contribuição deste trabalho consiste em apresentar recursos adotados no processo de ensino-aprendizagem de estruturas para estudantes de arquitetura.

Palavras-chave: estruturas, arquitetura, ensino, aprendizagem.

Contribuição dos autores:

LM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **JCS:** conceituação, administração de projetos, supervisão, validação, escrita - revisão e edição.

Fomento: Não houve fomento

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Regina Coeli Ruschel 

Abstract

Understanding how structures work is part of the legal responsibilities of architects. This understanding is essential for professionals to perform their functions with freedom, creativity and security, ensuring the stability of the designed form. However, there are several problems in teaching structures in schools of architecture and urbanism, such as expository classes and teaching programs far from professional practice. This paper aims to present the results of a Literature Review that identifies educational technologies adopted in the teaching-learning process of structures for architecture students. The research was conducted using the SSF Method (*SystematicSearchFlow*) in 11 scientific databases. The bibliographic organization of the documents was carried out using the Zotero software. After the search procedures, 22 correlated studies were selected that guided the objectives and themes established in the selection criteria. The results were analyzed and systematized by titles, authors, date of publication, nationality of the institutions, researchers, places of publication, objectives, research methods, keywords, citations, and contributions for teaching-learning structures for architecture. The selected studies present different resources applied to the teaching of structures for architecture, adopted in different Brazilian and international experiences. Most of these resources are related to implementing new digital technologies in the classroom, such as the use of BIM, parametric modeling, virtual reality and the insertion of collaborative processes for integration with the architectural design. The contribution of this work is to present resources adopted in the teaching-learning process of structures for architecture students.

Keywords: structures, architecture, teaching, learning.

How to cite this article:

MATTANA, L.; SOUZA, J. C. Ensino-aprendizagem de projetos de estruturas para arquitetura com tecnologias educacionais. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022011, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666013>

Submitted 11.06.2021 – Approved 09.12.2021 – Published 04.03.2022

e022011-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022011, 2022, ISSN 1980-6809



Introdução

Há muitos anos, o ensino de estruturas para cursos de Arquitetura vem sendo estudado por especialistas da área. Na década de 1970, ocorreu na cidade de São Paulo um evento denominado “I Encontro Nacional de Professores de Estruturas para Escolas de Arquitetura” (ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1974). Na ocasião, renomados profissionais e docentes de universidades brasileiras debateram os objetivos do ensino de estruturas para futuros arquitetos, bem como o processo de aprendizagem, os currículos dos principais cursos de arquitetura da época e a importância da pesquisa experimental no processo de ensino-aprendizagem. Nos registros do evento, é defendida, de forma ampla, a necessidade de uma aproximação menos abstrata do fenômeno e compreensão estrutural no processo de formação de arquitetos (VALE *et al.*, 2017).

Na década de 1970 mencionava-se que a integração entre as áreas do conhecimento de estruturas e arquitetura era fundamental para a formação dos arquitetos, visando a aprendizagem do comportamento estrutural e o dimensionamento correto na concepção estrutural dos projetos de arquitetura. Naquela época, havia críticas para as aulas demasiadamente expositivas no ensino de estruturas, para a ausência de programas de ensino voltados para a prática profissional do arquiteto e para a necessidade de material didático adequado para as técnicas de comunicação pertinentes para a época (ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1974).

Algumas demandas relatadas na década de 1970, relacionadas ao ensino de estruturas para arquitetos, permanecem sem solução. Há bibliografias que tratam de um distanciamento histórico entre disciplinas de estruturas e de projeto de arquitetura, nos cursos de graduação em arquitetura (SALVADORI; HELLER, 1976; SANTOS, 1983; SILVA; SOUTO, 2015; DI PIETRO, 2000; RONCONI, 2002; LEITE, 2005; ÜNAY; ÖZMEN, 2006; SARAMAGO, 2011; MOSCARDO, 2013; VALE *et al.*, 2017).

Contudo, sabe-se que os estudantes de arquitetura precisam desenvolver habilidades para compreender e conceber as estruturas e definir a materialidade dos projetos de arquitetura (BRASIL, 2010; UIA, 2017). Em virtude deste fato, e da necessidade de integrar os saberes entre os diferentes campos da educação em arquitetura, surgiu a seguinte pergunta de pesquisa: Quais recursos podem ser adotados no processo de ensino-aprendizagem de estruturas para estudantes de Arquitetura?

A partir do problema acima destacado, o objetivo desta pesquisa foi identificar tecnologias educacionais adotadas no processo de ensino-aprendizagem de projetos de estruturas, para estudantes de arquitetura. Para Tajra (2018, p. 50), o uso de recursos tecnológicos, para realizar novas práticas pedagógicas em ambientes educacionais, está contribuindo para transformar o processo de ensino-aprendizagem pelas “...mudanças sociais, culturais, econômicas e até mesmo políticas”. Esta autora explica o conceito do termo tecnologia, considerando três grupos: a) tecnologias físicas, como o computador e os softwares; b) tecnologias organizadoras, como os métodos de ensino, incluindo as metodologias ativas e c) as tecnologias simbólicas, que tratam das interfaces de comunicação. Desta forma, ela conceitua como tecnologias educacionais aquelas que são aplicadas no ambiente educacional.

Assim, foi realizada uma revisão de estudos relacionados ao processo de ensino-aprendizagem de projetos de estruturas para arquitetura, incluindo: (1) identificar tecnologias e instrumentos utilizados como recursos didáticos; (2) identificar processos de trabalho a partir de diferentes tecnologias educacionais e (3) investigar formas de implementação das tecnologias educacionais.

Método da pesquisa

Esta pesquisa classifica-se como um estudo bibliográfico, de natureza quali-quantitativa, na qual realiza-se uma revisão de forma sistemática na literatura sobre o tema ensino-aprendizagem de estruturas para cursos de graduação, em arquitetura. A busca de forma sistemática na literatura é um método de investigação científica que propõe eliminar vieses pela sistematização de buscas em bases de dados científicas e pela organização de um portfólio bibliográfico.

O método adotado neste trabalho é conhecido como “Método SSF” (*SystematicSearchFlow*), representado por 4 fases (FERENHOF; FERNANDES, 2016). A Fase 1 do “Protocolo de pesquisa” que contempla as atividades de estratégia de busca, consulta em base de dados, gestão de documentos, padronização e seleção dos documentos e composição de portfólio de documentos. A Fase 2 de “Análise” realiza consolidação dos dados. A Fase 3: refere-se à “Síntese”, que abrange a elaboração de relatórios. A Fase 4 compreende a “Escrita” científica.

Procedimentos

O protocolo para a busca sistemática da literatura foi definido conforme disposto no Quadro 1, e as estratégias de buscas foram consultadas nas bases de dados científicas e adaptadas de acordo com o recurso utilizado. As fontes de informação pesquisadas foram as bases de dados eletrônicas: *American Society of Civil Engineers* (ASCE), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), *Engineering Village - Compendex*, *Education Resources Information Center* (ERIC), Google Acadêmico, *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* (NDLTD), *Open Access Theses and Dissertations* (OADT), Catálogo de Teses e Dissertações - Portal CAPES, *Scientific Electronic Library Online* (Scielo), *Scopus* e *Web of Science* (WOS).

Quadro 1 – Seleção de tópicos para busca na literatura

Tópico 1 Ensino-aprendizagem	Tópico 2 Estruturas	Tópico 3 Arquitetura	Tópico 4 Desempenho
Termos Alternativos / sinônimos em português			
“Ensin” OR “Aprend” OR “Educação” OR “Curricul” OR “Estratégia” OR “Estudo” OR “Metodologia ativa” OR “BIM” OR Didática OR Inova OR Disciplina	Estruturas OR “Sistemas Estruturais” OR “Edificação” OR “Construção” OR “Elementos estruturais” OR Técnica OR Engenharia OR Tecnologia	Arquitetura OR Projeto OR Ateliê	“Desempenho” OR “Performance” OR “Competenc” OR “Habilit” OR “Comportamento” OR “Conhecimento” OR “Experiência” OR Estudante OR aluno
Termos Alternativos / sinônimos em inglês			
“Learn” OR “Teach” OR “Education” OR “Practice” OR “strateg” OR “study” OR “method” OR “Spaced Practice” OR “Active Learning” OR Didatic OR Inova OR discipline	Structure OR Construct OR build OR “Structural Elements” OR “Engineering” OR “Edification” OR “Techniq” OR “Structural Engineering”	Architecture OR Project OR studio OR design	“Activit” OR “Skill” OR “Abilities” OR “Effective” OR “Achievement” OR “Competence” OR “Experience” OR “knowledge” OR “expertise” OR “enhanc” OR “excel” OR Student OR Undergraduate

Fonte: os autores.

Realizaram-se as buscas nas onze bases de dados científicas durante o mês de janeiro de 2020. Como critérios de inclusão, foram elencados artigos científicos revisados por pares, escritos em português ou inglês. Os termos da *query* foram selecionados nos títulos, palavras-chave e resumos, sem recorte temporal. Os critérios de exclusão contemplaram trabalhos de literatura cinzenta: relatórios, documentos em outros idiomas e arquivos não disponíveis integralmente para leitura. Os filtros utilizados para restrições na busca estão indicados no Quadro 2. Foram encontrados 2.728 resultados para as buscas realizadas na primeira etapa (chamada de Etapa 1 - N.R1). Após a consulta nas bases de dados, os documentos encontrados foram organizados em pastas na

ferramenta ZOTERO® (RRCHNM, 2020), para compor o portfólio bibliográfico da pesquisa. Em seguida, foi verificada a duplicidade dos documentos encontrados, resultando em um total de 1.512 documentos para serem analisados. A próxima etapa, chamada Etapa 2, compreendeu a leitura e análise de títulos, palavras-chave e resumos de todos os 1.512 documentos selecionados na Etapa 1, excluindo-se os itens duplicados. O período de realização da Etapa 2 ocorreu entre 20/01/2020 a 28/02/2020. Com essa primeira leitura, foram selecionados 165 documentos alinhados com o tema e objetivo desta pesquisa. A base de dados *Science Direct* foi eliminada da pesquisa, pois todos os 22 resultados desta base estavam desalinhados com o objetivo deste estudo, tratando de assuntos relacionados à ciência da computação. Na Etapa 3, ocorrida no período de 24/02/2020 a 06/10/2020, foram realizadas as leituras dos 165 documentos na íntegra. A partir da análise integral dos documentos, 17 estavam relacionados com os objetivos desta pesquisa.

Houve também a busca exploratória de documentos para complementar a busca realizada de forma sistemática pelo Método SSF, chamada de Etapa 4. Outros 109 documentos, dentre teses, artigos científicos, livros e outros, que possuem relação com o tema e o objetivo desta pesquisa, foram adicionados à revisão de literatura. Com isso, considera-se que os principais estudos da área foram destacados na revisão de literatura, sendo que os mais relevantes foram encontrados pela busca de forma sistemática, e essas informações foram complementadas pela busca exploratória. Após seguir os mesmos procedimentos de leitura dos documentos, foram selecionados 5 trabalhos para complementar essa pesquisa. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos procedimentos realizados nas etapas 1, 2 e 3 e nas buscas exploratórias (Etapa 4) e a Figura 1 mostra os procedimentos adotados.

Após as leituras e a composição do Portfólio Bibliográfico contendo: 3 teses, 3 dissertações, 1 livro, 2 capítulos de livros, 2 artigos de periódico, 2 artigos de congresso nacional e 9 artigos de conferência internacional, optou-se pela construção de uma matriz do conhecimento na ferramenta MS Excel®, conforme proposto por Ferenhof e Fernandes (2016), a fim de analisar e sintetizar as informações coletadas, preparando as informações para a fase de elaboração dos relatórios e escrita científica. Destaca-se que essa revisão de literatura é parte de uma pesquisa de doutorado em andamento.

Quadro 2 – Síntese das buscas, leituras e filtros utilizados na busca sistemática em bases de dados científicas

N	Bases de dados científicas	Data da busca	Leituras integrais	Filtros	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
1	ASCE	09/01/2020	julho/2020	<i>Anywhere</i> : sem filtros	1835	45	1
2	BDTD	15/01/2020	fevereiro – março / 2020	Todos os campos – sem filtros	9	7	5
3	COMPENDEX	08/01/2020	Outubro - Novembro / 2020	<i>Subject/Title/Abstract</i> – filtro para língua inglesa (excluídas línguas chinesa, alemã, japonesa e espanhola)	553	63	1
4	ERIC	08/01/2020	Março / 2020	Sem filtros	2	1	0
5	GOOGLE ACADEMICO	15/01/2020	Junho - julho/2020	Sem filtros	117	10	3
6	OADT	08/01/2020	Abril / 2020	Sem filtros	7	2	0
7	NDLTD	15/01/2020	Março/2020	Filtros para Línguas: inglês, português e espanhol	20	7	0
8	PORTAL CAPES	08/01/2020		Realizada pesquisa por conteúdo. não relacionada com o objetivo deste trabalho	1	0	0
9	SCIELO	08/01/2020	Abril / 2020	Sem filtros	1	1	0
10	SCOPUS	08/01/2020	Maio - Junho / 2020	Títulos, Palavras-chave e resumos	75	24	6
11	WOS	08/01/2020	Junho / 2020	Títulos, Palavras-chave e resumos	35	5	1
TOTAL					2728	165	17
DUPLICIDADE					1216	0	0
TOTAL SEM DUPLICIDADE					1512	165	17

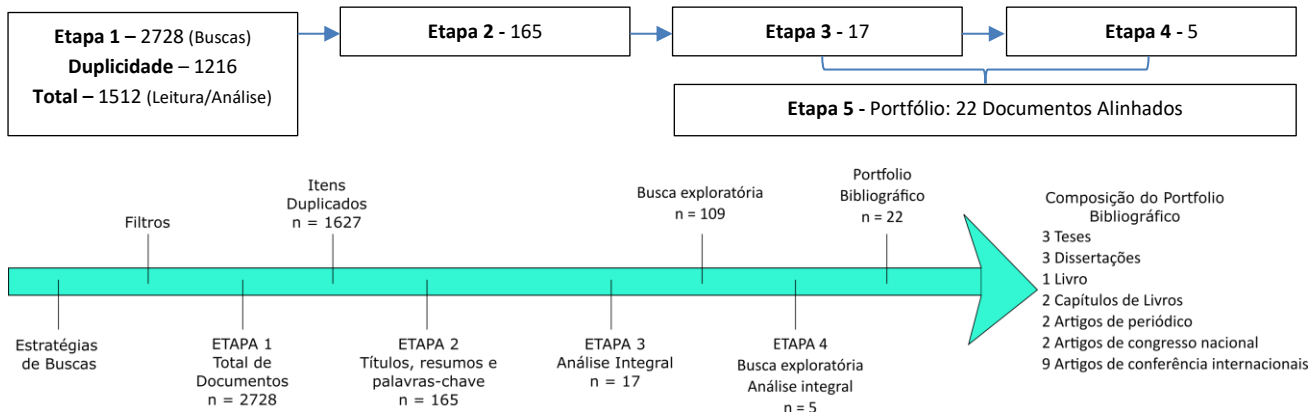
Fonte: os autores.

Quadro 3 – Documentos selecionados para composição do Portfólio Bibliográfico

DESCRIÇÃO	BUSCAS PELO MÉTODO SSF - <i>SystematicSearchFlow</i>			BUSCAS EXPLORATÓRIAS	
	Fases	Selecionados na Etapa 1 (Buscas)	Selecionados na Etapa 2 (Leitura 1)	Selecionados na Etapa 3 (Leitura 2)	Buscas e Leituras
Período da atividade	Jan/2020	Jan/2020 a Fev/2020	Fev/2020 a Out/2020	Jan/2020 a Set/2021	
Quantidade	2728	165	17	109	5

Fonte: os autores.

Figura 1 – Etapas dos procedimentos adotados na composição do Portfólio Bibliográfico



Fonte: os autores.

Resultados e discussão

Os resultados encontrados foram analisados e organizados para apresentar os objetivos teóricos dos trabalhos, a data de publicação, as palavras-chave, o número de pesquisadores, tipos de publicações, a nacionalidade das instituições envolvidas, o método de pesquisa e as citações. A amostra final da revisão de literatura é apresentada na lista de bibliografia ao final do texto.

Objetivos teóricos

Em relação aos objetivos teóricos, algumas pesquisas estudam modificações na estrutura curricular dos cursos, visando o ensino de estruturas para arquitetura com adoção de tecnologias digitais e/ou metodologias ativas no ensino, como: Barison (2015), que propõe um instrumento para adoção de BIM nos currículos, contendo habilidades para “análise estrutural” e competências de “análise e simulações”. Solnosky e Parfitt (2015) introduzem BIM e projeto integrado ao longo do currículo do curso de graduação e pós-graduação da Penn State University, nos Estados Unidos. Andrade (2018) propõe um modelo para adequar a matriz curricular à adoção de BIM no ensino da graduação em arquitetura pela “permeabilidade de conteúdo”.

Há pesquisas que propõem novos métodos, uso de ferramentas emergentes e processos inovadores para o ensino de estruturas na graduação em arquitetura. Nawari (2013), Nawari e Kuenstle (2015) e Nawari (2015a, 2015b) explicam o método *The Structure and Architecture Synergy Framework*, conhecido também como método SAS Framework, para ensinar estruturas por meio da melodia estrutural, da poesia estrutural e da análise estrutural. Em outras pesquisas do professor Nawari são apresentados os *Buildoids*, ou seja, uma proposta de criação de formas estruturais tridimensionais das estruturas dos projetos arquitetônicos para melhorar a compreensão de fundamentos da análise estrutural (NAWARI et al., 2014).

Andrade (2012) propõe o “Método BESO” para a geração da forma arquitetônica em ateliê com análise de desempenho estrutural usando ferramentas digitais de

modelagem paramétrica da forma. Silva (2021) realizou simulações estruturais em várias disciplinas de um curso de graduação em arquitetura no período de 2011 a 2019, implementando ferramentas digitais e observando o potencial destes recursos para ensinar concepção e projeto de estruturas arquitetônicas. Resende e Motta (2017) estudaram *plugins* comerciais de concepção estrutural pela modelagem paramétrica, para conceber a interface de um *plugin* para pré-dimensionamento estrutural.

Em relação à adoção de realidade virtual no ensino de estruturas, Kang *et al.* (2018) desenvolveram uma experiência didática adotando tablets, smartphones, modelos BIM e realidade virtual por meio do software *PIECE3D*, envolvendo estudantes de engenharia e arquitetura na *Korea University*, visando entendimento e compreensão de elementos estruturais. Além destes autores, Calderon-Hernandez *et al.* (2019) compararam o desempenho cognitivo de estudantes na adoção de desenhos bidimensionais de uma estrutura e de um modelo de realidade virtual imersivo, baseado em BIM. Eles perceberam melhorias na performance dos estudantes ao utilizar a realidade virtual, com o modelo BIM, para compreensão da estrutura de uma edificação.

Outros trabalhos estudam de forma qualitativa as percepções de estudantes e professores quanto à adoção de tecnologias digitais no ensino de concepção estrutural para arquitetura, a exemplo da pesquisa de Caixeta (2013), que investiga o potencial do BIM no desenvolvimento das estruturas no projeto arquitetônico em três universidades brasileiras, Medeiros (2015) que investiga como ocorre a integração estrutura-arquitetura em ateliês de projeto arquitetônico e Resende (2016) que investiga o ensino de concepção estrutural em disciplinas de ateliês de projetos de duas universidades brasileiras que desenvolvem projetos de edifícios verticais. O trabalho de Santos, Kapp e Silva (2017) reflete sobre a contribuição da modelagem paramétrica e BIM na etapa de concepção estrutural para estudantes de arquitetura, como instrumentos auxiliares para o cálculo e não apenas representação gráfica para a construção.

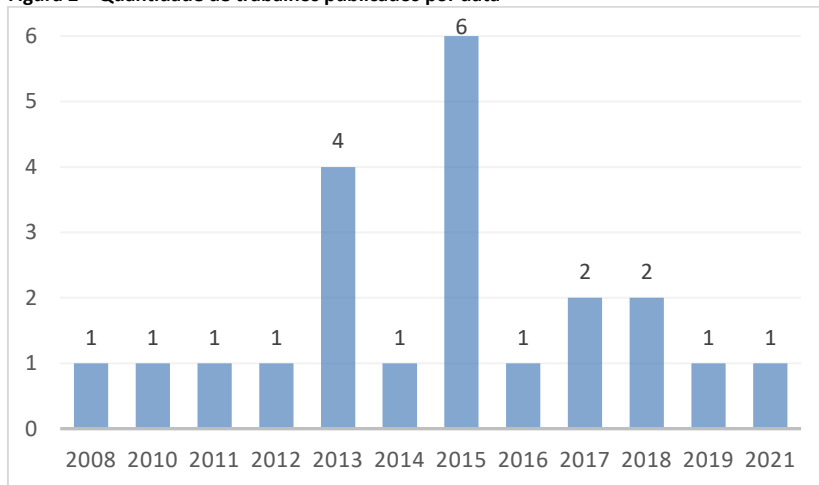
Alguns autores estudam o ensino multidisciplinar de estruturas para arquitetura, com práticas integradas e usando metodologias ativas. Gershfeld, Sheine e Lemarr Mcgavin (2011) incentivaram um processo colaborativo e interdisciplinar em um ateliê integrado chamado *AE Studio*, na *California State Polytechnic University*, envolvendo estudantes de Arquitetura e de Engenharia na solução de uma ponte de pedestres usando o software *SAP2000* para análise estrutural (COMPUTERS AND STRUCTURES INC., 2021). Hedges e Denzer (2008) realizaram um ateliê multidisciplinar com equipes de trabalhos colaborativas usando BIM para modelagem de projetos de arquitetura, estrutura e mecânica. Kovacic *et al.* (2013) propõem uma simulação de processo de planejamento BIM com estudantes da *Vienna University of Technology* a partir de equipes multidisciplinares, usando várias ferramentas BIM nas áreas de arquitetura, estruturas e energia. Sharag-Eldin e Nawari (2010) incentivaram a prática pedagógica integrada para desenvolvimento de projetos de arquitetura, estrutura e instalações, usando ferramentas BIM com estudantes de arquitetura do último ano da *Kenn State University* e *University of Florida*. Uihlein (2013) promoveu atividades de ensino-aprendizagem incentivando que cada aluno assumisse o “papel” de engenheiro estrutural e arquiteto, dentro do mesmo processo de projeto e usando diferentes ferramentas digitais.

Data de publicação

Analisando-se as datas de publicação dos trabalhos, identificam-se: 4 trabalhos publicados em 2013; 6 trabalhos publicados em 2015; 2 trabalhos publicados em 2017, 2 trabalhos publicados em 2018 e um trabalho publicado em cada um dos seguintes anos: 2008, 2010, 2011, 2012, 2014, 2016, 2019 e 2021 (Figura 2). A maioria dos trabalhos foi

publicada nos últimos 10 anos, o que demonstra que são assuntos discutidos recentemente.

Figura 2 – Quantidade de trabalhos publicados por data

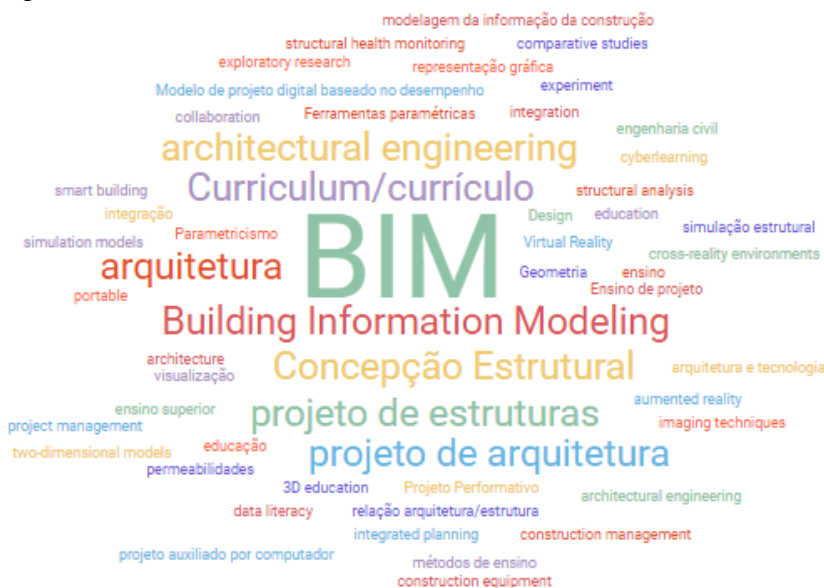


Fonte: os autores.

Palavras-chave

Foram encontradas 54 palavras-chave na análise dos estudos (Figura 3). A palavra BIM é a que mais ocorre nos estudos elencados (5 citações), seguida de duas citações de cada um dos seguintes termos: *Building Information Modeling*, *Concepção estrutural*, *Curriculum/Currículo*, *Projeto de estruturas*, *Projeto de Arquitetura*, *Arquitetura e Architectural engineering*.

Figura 3 – Palavras-chave



Fonte: os autores.

As demais palavras aparecem uma vez (*Geometria*, *Parametricismo*, *Ferramentas paramétricas*, *Design*, *Ensino de Projeto*, *Projeto performativo*, *Modelo de projeto digital baseado no desempenho*, *Visualização*, *Relação arquitetura/estrutura*, *Representação gráfica*, *Structural Analysis*, *Architecture*, *Education*, *3D education*, *Educação*, *Ensino*, *Ensino superior*, *Integration*, *Integração*, *Integrated planning*,

Collaboration, Permeabilidades, Exploratory research, Structural health monitoring, Cross-reality environments, Data literacy, Cyberlearning, Aumented reality, Smart Building, Experiment, Portable).

Nacionalidade das instituições

A nacionalidade das instituições dos autores dos trabalhos são: Brasil, Estados Unidos, Peru, Áustria e Canadá. No total, dos trabalhos selecionados, nove são brasileiros, dez trabalhos americanos, um trabalho peruano, um austríaco e um canadense. As pesquisas desenvolvidas no Brasil estão indexadas nas bases de dados BDTD ou foram selecionados pela busca exploratória, totalizando nove pesquisas. As instituições das pesquisas encontradas na base BDTD são Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Juiz de Fora, Universidade de Brasília, Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Universidade Estadual de Campinas. As instituições das pesquisas brasileiras elencadas pela busca exploratória são: uma pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, uma da Universidade Federal de Minas Gerais, uma da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e uma da Universidade Federal do Paráiba.

As pesquisas realizadas nos Estados Unidos foram encontradas nas bases de dados Scopus (4), Google Acadêmico (3), ASCE (1), Web of Science (1) e busca exploratória (1), totalizando dez trabalhos. As instituições das pesquisas encontradas na base Scopus são Penn State University, University of Florida, University of Wyoming e California State Polytechnic Pomona University. A instituição da base de dados ASCE é a Kent State University, com coautor pertencente à University of Florida. Esta última instituição também é a instituição que desenvolveu a pesquisa encontrada na Web of Science e as pesquisas encontradas no Google Acadêmico. A instituição do trabalho encontrado pela busca exploratória é a University of Illinois Urban-Champaign.

Também foi recuperada uma pesquisa para cada um dos seguintes países: Áustria, Peru e Canadá. A pesquisa realizada na Áustria foi encontrada pela base de dados Scopus e realizada na Vienna University of Technology. A pesquisa realizada no Peru foi recuperada na base de dados Scopus e realizada na Pontifical Catholic University of Peru, contando com um coautor da mesma instituição e dois coautores americanos pertencentes à Georgia Institute of Technology. A pesquisa realizada no Canadá foi recuperada na base de dados Compendex, realizada na University of Waterloo. Para esta última pesquisa, existem coautores da Coréia, que pertencem à Korea University.

Número de pesquisadores e tipos de publicações

Quanto ao número de pesquisadores, onze trabalhos têm autoria única, sendo este conjunto de trabalhos formado por: três dissertações, três teses, dois capítulos de livro, um artigo de periódico e dois artigos de conferência. Em relação aos capítulos de livro, referem-se ao *Building Information Modeling: Applications and Practices*, publicado em 2015 pela American Society of Civil Engineers e ao *Structures and architecture – Concepts, Applications and Challenges*, publicado em 2013 pela CRC Press – Taylor & Francis Group. Os artigos de conferência foram publicados nos eventos *Architectural Engineering Conference 2013* e *Structures Congress 2015*. O artigo de periódico foi publicado na revista brasileira *Pesquisa em Arquitetura e Construção (PARC)*.

Cinco trabalhos (quatro artigos de conferência e um livro) possuem dois pesquisadores como autores. O livro refere-se ao título: *Building Information Modeling: Framework for Structural Design*, publicado pela Crc Press-Taylor & Francis Group em 2015. Os artigos de conferência foram publicados nos seguintes eventos: *Architectural Engineering National Conference 2015: Birth and Life of the Integrated Building - AEI 2015*; *Structures Congress*

2008: *Crossing the Borders, Structures Congress 2010* e III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura – ENEEEA 2017.

Dois trabalhos possuem três pesquisadores, sendo um artigo publicado no evento III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura – ENEEEA 2017 e o outro no evento *ASEE Annual Conference and Exposition*. Outros três trabalhos (dois artigos de conferência e um artigo de periódico) possuem quatro pesquisadores. Os artigos de conferência foram publicados no *2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* e no *ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation - i3CE 2019*. O artigo de periódico foi publicado na revista *Visualization in Engineering*.

Um trabalho tem cinco autores e foi publicado no evento *ISARC 2018 - 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and International AEC/FM Hackathon: The Future of Building Things*. Nos Quadros 4 e 5 pode-se verificar dados das publicações e percebe-se que a maioria das conferências é relativa às áreas de estruturas e arquitetura. Dois periódicos foram selecionados, sendo que um não recebe publicações desde 2019: *Visualization in Engineering*. O evento no qual o tema pesquisado tem mais publicações é *Structures Congress*, organizado anualmente pelo *Structural Engineer Institute - SEI* da *American Society of Civil Engineers - ASCE* nos Estados Unidos. SEI é uma comunidade de mais de 30.000 engenheiros estruturais na *American Society of Civil Engineers*. Quase metade dos trabalhos selecionados possui autoria única e a maioria é originada de publicações em eventos internacionais.

Quadro 4 – Tipos e locais de publicação de Dissertações e Teses

Quant.	Tipo de publicação	Título	Ano(s)	Universidade
1	Tese	Estudo crítico sobre o uso de ferramentas de modelagens tridimensionais de informações digitais BIM no ensino contemporâneo da arquitetura	2013	Universidade de Brasília
1	Dissertação	Implementação do BIM no ensino: adequação de matrizes curriculares de cursos de arquitetura através da identificação de permeabilidades de conteúdo	2018	Universidade Federal de Juiz de Fora
1	Tese	Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista.	2015	Universidade de São Paulo
1	Tese	Projeto performativo na prática arquitetônica recente: estrutura Conceitual	2012	Universidade Estadual de Campinas
1	Dissertação	A concepção estrutural no processo de aprendizagem do projeto de arquitetura: uma análise a partir de duas experiências de ensino de projeto (UFRN e UFPE)	2016	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
1	Dissertação	Integração de projetos no ensino através do BIM: uma abordagem dos cursos de arquitetura e urbanismo da UFRN e da UFPB	2015	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Fonte: os autores.

Quadro 5 – Tipos e locais de publicação dos trabalhos de conferência e periódicos

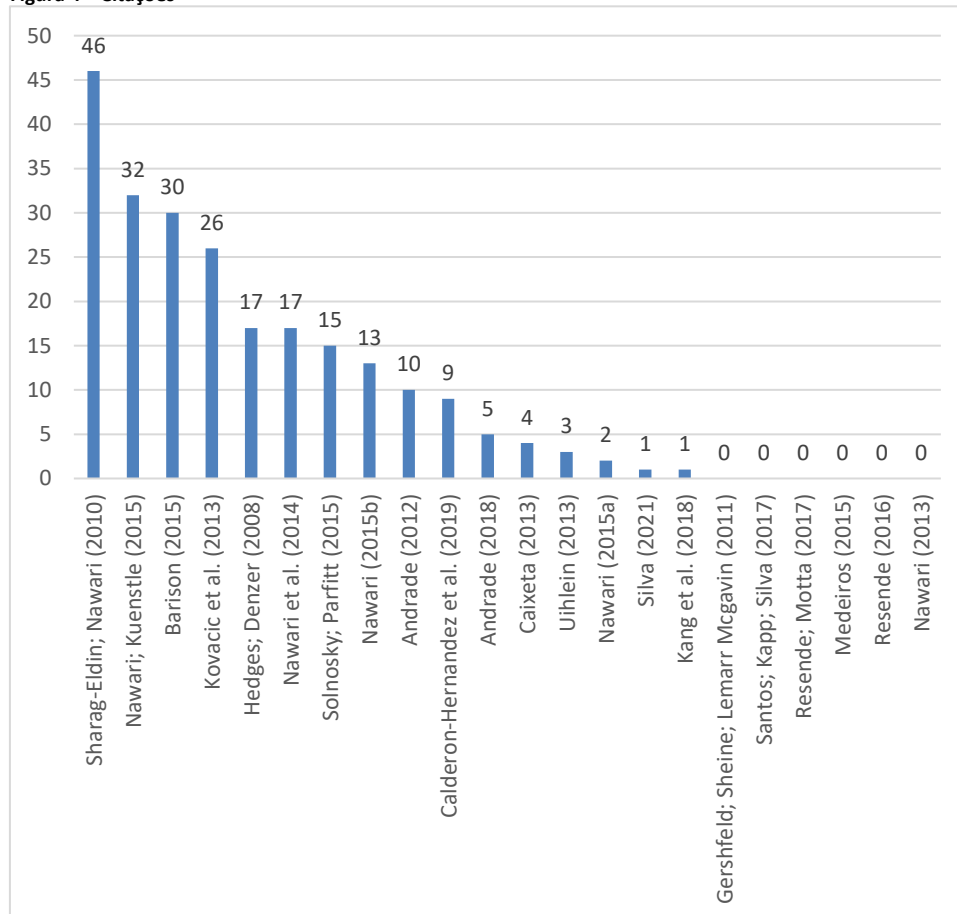
Quant.	Tipo de publicação	Nome/Título	Ano(s)	Organizador
3	Conferência	<i>Structures Congress</i>	2008, 2010, 2015b	<i>Structural Engineer Institute - American Society of Civil Engineers</i>
3	Conferência e Cap. Livro	<i>Architectural Engineering Conference Building Information Modeling: Applications and Practices</i>	2013 e 2015	<i>American Society of Civil Engineers</i>
2	Conferência	<i>International Conference on Computing in Civil and Building Engineering</i>	2014 e 2019	<i>The International Society for Computing in Civil and Building Engineering</i>
2	Conferência	Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura	2017	Universidade Federal de Ouro Preto e outras Universidades brasileiras
1	Conferência	<i>ASEE Annual Conference and Exposition</i>	2011	<i>American Society for Engineering Education</i>
1	Conferência	<i>35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and International AEC/FM Hackathon</i>	2018	<i>Int. Association for Automation and Robotics in Construction</i>
2	Cap. Livro e Livro	<i>Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges (ICSA 2013) e Building Information Modeling: Framework for Structural Design</i>	2013 e 2015a	Taylor & Francis Group
1	Periódico	<i>Visualization in Engineering</i>	2013	Springer
1	Periódico	Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo – PARC	2021	Universidade Estadual de Campinas

Fonte: os autores.

Citações

A Figura 4 apresenta as citações de cada pesquisa, mostrando que o artigo mais citado possui 46 citações e foi publicado em 2010 e, o artigo publicado mais recentemente, em 2021, já possui 1 citação, apesar da brevidade que consta para referência na comunidade acadêmica. As informações das citações foram verificadas em uma busca exploratória na ferramenta Google Acadêmico.

Figura 4 – Citações



Fonte: os autores.

Métodos de pesquisa

Foram apurados os métodos utilizados em cada trabalho, selecionados entre teóricos, prático ou teórico-práticos. Na busca exploratória, foram encontrados dois trabalhos teóricos e três práticos. Um dos artigos teóricos aborda resultados de um projeto de iniciação científica e o outro trata de uma pesquisa bibliográfica. Os trabalhos práticos referem-se a: uma tese que desenvolve estudos experimentais e/ou exploratórios para interação entre concepção estrutural e forma arquitetônica; um artigo de conferência que detalha uma aplicação prática em sala de aula, com aprendizagem participativa concebida para permitir que os estudantes explorem as perspectivas do engenheiro estrutural e do arquiteto e um artigo de periódico que apresenta experiências didáticas a partir da pesquisa-ação, em disciplinas de um curso de arquitetura brasileiro.

Na base ASCE, o artigo selecionado apresenta uma pesquisa experimental em sala de aula, cujo objetivo é fornecer prática de projeto integrado (projeto arquitetônico, estrutural, MEP) aos estudantes usando BIM no ensino. Na base BDTD, uma tese tem caráter teórico-prático, ao desenvolver pesquisa experimental, explicativa e

exploratória, e as outras teses tem caráter teórico. As duas dissertações possuem caráter teórico e utilizam pesquisa em campo com apoio de instrumentos como questionários e entrevistas. Na base Compendex, o artigo classifica-se com método teórico-prático, usando estudo em campo e experimento em sala de aula.

No Google Acadêmico, dois artigos têm caráter prático pela aplicação experimental em sala de aula. Outro documento refere-se a um livro, caracterizando uma pesquisa teórica. Na Scopus, dois trabalhos são teóricos, por tratar de matriz curricular e de conceituação do ensino de estruturas para arquitetura. Três artigos têm caráter prático, dois realizam experimentos em sala de aula e outro aborda um estudo em campo. Um artigo se caracteriza pelo método teórico-prático, com experimento prático e abordagem teórica. Na base *Web of Science* (WOS), um trabalho teórico foi selecionado nesta pesquisa, capítulo de um livro.

Discussões

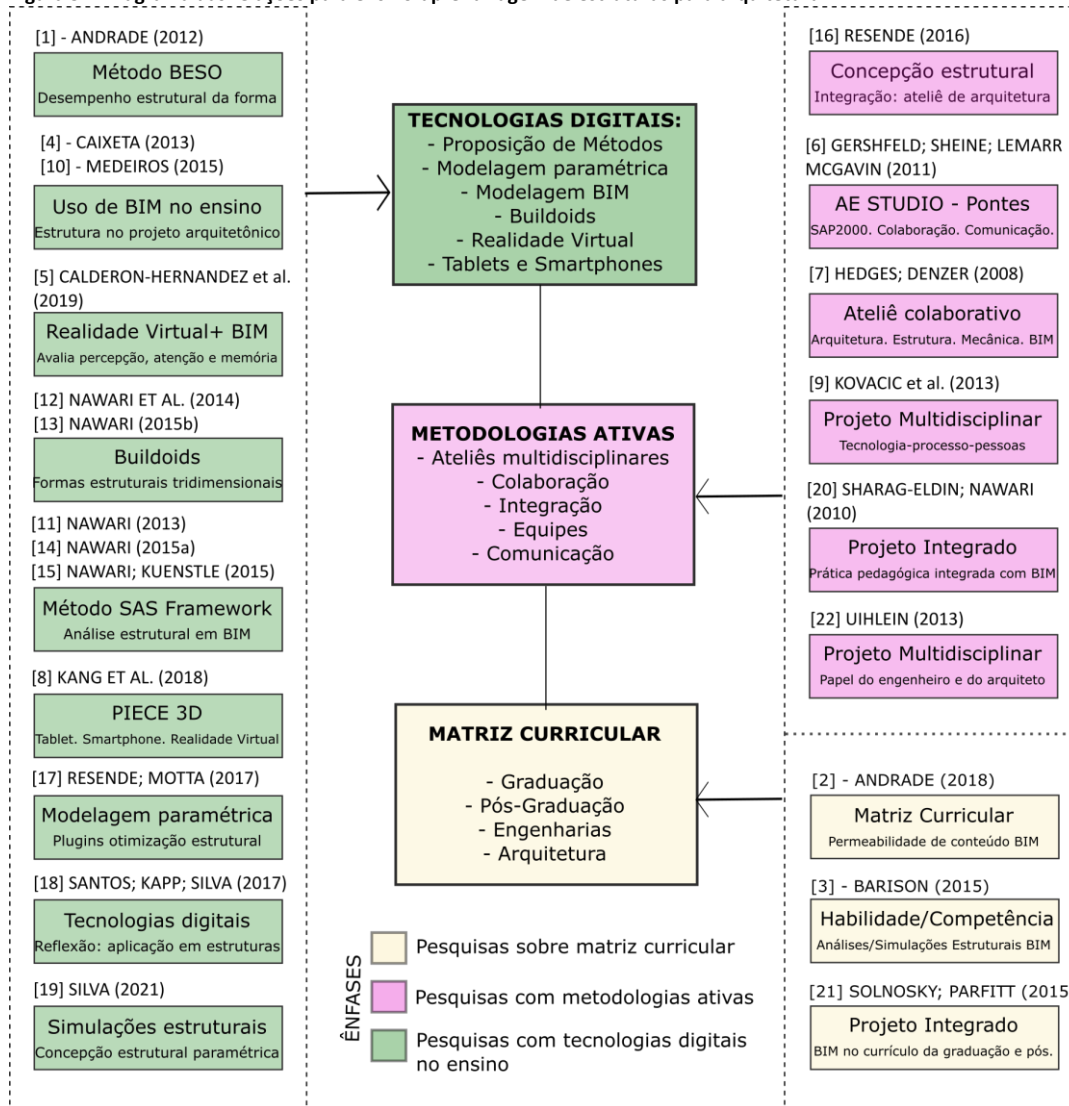
Os artigos apresentados nesta pesquisa mostraram a abrangência de esforços para uso de diferentes recursos didáticos no ensino de estruturas para arquitetura, adotados em diferentes experiências no Brasil e no exterior. Pelos relatórios analisados, as publicações que estudam o processo de ensino-aprendizagem de estruturas para arquitetura vêm aumentando desde 2008. O crescimento de publicações de 2008 até a recente data pode ter relação com a transformação que estas novas tecnologias têm provocado no setor da construção, com reflexos no ambiente universitário.

Percebe-se que as tecnologias educacionais adotadas no ensino de estruturas para arquitetura contemplam a adoção de modelagem paramétrica e BIM, a realidade virtual e a aplicação de metodologias ativas, diferenciando-se do uso de modelos físicos em escala reduzida para compreensão dos fenômenos estruturais (ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1974; DI PIETRO, 2000), amplamente usados no ensino de estruturas para arquitetura, mas que nem sempre representam a aceitabilidade mecânica-estrutural adequadamente (SILVA, 2021) ou possibilitam a realização de integração dos conhecimentos.

Fica perceptível, em muitas pesquisas, a realização de práticas integradas envolvendo estudantes de engenharia e de arquitetura na mesma disciplina, como forma de aprendizagem colaborativa. Esta prática integrada, que envolve a relação da arquitetura com a estrutura, foi por muitos anos almejada na literatura e destacada de forma clara como uma necessidade nos cadernos dos Encontros Nacionais de Ensino de Estruturas para Estudantes de Arquitetura (ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1974; VALE *et al.*, 2017).

Algumas publicações notáveis, encontradas nesta pesquisa, são originadas na *University of Florida*, com o Professor Nawari, que é autor ou coautor em cinco pesquisas no tema, desde 2010. Nas suas pesquisas, a principal ferramenta educacional adotada em sala de aula para ensino de estruturas é o uso de ferramentas de modelagem para construção dos “*Buildoids*”, cuja proposta de aprendizagem ocorre com a construção tridimensional de arranjos estruturais em BIM, e de processos de trabalho desenvolvidos em equipes, ou seja, incentivando as práticas colaborativas por meio de metodologias ativas de aprendizagem, as quais ele denomina “*SAS Framework*”. O evento com mais publicações relacionadas ao ensino de estruturas para arquitetura é o *Structures Congress*, uma conferência americana que ocorre anualmente, cujas publicações elencadas neste trabalho referem-se às pesquisas de autores de nacionalidade americana. A Figura 5 apresenta uma síntese das pesquisas que tratam da adoção de recursos ou práticas inovadoras para ensino-aprendizagem de estruturas.

Figura 5 – Diagrama das relações para ensino-aprendizagem de estruturas para arquitetura



Fonte: os autores.

As tecnologias físicas relacionadas com o ensino de estruturas para arquitetura podem ser categorizadas em quatro tipos principais, incluindo as tecnologias de modelagem, como (1) ferramentas de modelagem paramétrica e (2) ferramentas BIM; tecnologias de colaboração como a (3) realidade virtual ou aumentada; e tecnologias de integração como (4) uso de tablets, smartphones, plataformas de exibição e mídias de visualização. Os processos de trabalho elencados envolvem processos de integração por meio de ateliê integrado multidisciplinar, previstos em matriz curricular adaptada à implementação de novas tecnologias digitais; processos de colaboração e comunicação pela proposição de equipes multidisciplinares para realização do projeto integrado, que adotam a modelagem do projeto de arquitetura e estrutura integrados como suporte das diferentes tecnologias digitais.

Quanto às formas de implementação, há a possibilidade de adoção de modelagem nos currículos de cursos de graduação com a finalidade de realizar simulações e análises estruturais; também percebe-se a implementação de práticas colaborativas pela adoção de projeto integrado alinhado com o currículo do cursos de graduação, processo facilitado pela inserção das tecnologias no ensino; e outra forma de implementação refere-se à integração, que pode ocorrer por meio da adoção destes recursos na matriz

curricular de cursos de graduação, visando o desenvolvimento de habilidades e competências de análise e simulação do comportamento estrutural, em diferentes disciplinas e fases da graduação, integrando estruturas e projeto de arquitetura com uso de diferentes recursos didáticos e equipes.

Nas unidades curriculares, que consideram a relação entre a estrutura e a arquitetura, que adotam recursos emergentes e metodologias ativas no ensino, há tendência em melhorar o desempenho dos projetos de arquitetura por proporcionar maior clareza quanto às incoerências das ideias iniciais. No cenário internacional, muitas escolas têm introduzido ateliês integrados, onde há participação de estudantes de diferentes áreas para resolver problemas de ordem prática, como os projetos multidisciplinares. Destaca-se a necessidade de revisão da matriz curricular para inclusão destas tecnologias educacionais nos cursos de graduação, objeto estudado em três pesquisas brasileiras, visando a inclusão destes processos de trabalhos integrados que permitam maior reflexão sobre os projetos e aproximação com a prática.

Nestas pesquisas, foram observados poucos estudos para aferir a performance de estudantes no processo de ensino-aprendizagem de estruturas, diante das variadas tecnologias educacionais. Um dos estudos elencados nesta pesquisa é o que mais se aproxima de uma metodologia controlada, pois se propõe a medir a performance cognitiva de estudantes de Arquitetura e Engenharia Civil, de duas instituições de ensino, usando como recursos os modelos BIM e a realidade virtual, comparando-os com projetos bidimensionais do edifício *Crossland Tower*. O estudo aponta melhora na performance dos estudantes ao utilizar a realidade virtual por meio do modelo BIM estrutural (CALDERON-HERNANDEZ *et al.*, 2019). Neste contexto, diante desta lacuna identificada, sugere-se para estudos futuros a observação e/ou a análise sobre a influência destas novas tecnologias educacionais no desempenho dos estudantes de arquitetura na aprendizagem de estruturas.

Como contribuição desta pesquisa, há modelos extraídos de experiências estrangeiras e nacionais que podem influenciar o cenário brasileiro na adoção de novos recursos no ensino-aprendizagem de estruturas para estudantes de arquitetura. Salienta-se a relevância desta pesquisa pela identificação de tendências de tecnologias educacionais para ensino-aprendizagem de estruturas para arquitetura, bem como a lacuna encontrada, que poderá indicar os impactos de tais mudanças na performance dos estudantes de arquitetura no contexto do ensino-aprendizagem de estruturas.

Conclusão

Os sistemas estruturais são parte fundamental dos projetos de arquitetura, uma vez que conferem a solidez para a viabilidade técnica do projeto e interferem na qualidade espacial, funcionalidade e estética do edifício. Entender o funcionamento das estruturas é responsabilidade dos arquitetos, visando melhorar a qualidade técnica das ideias concebidas e incentivar processos que integrem os diferentes campos do conhecimento. Sendo assim, o processo de ensino-aprendizagem de estruturas para arquitetura tem papel importante na formação dos arquitetos. É responsabilidade das escolas de arquitetura promover a educação estrutural, que pode ser realizada com suporte de tecnologias educacionais, com metodologias ativas e recursos tecnológicos.

O presente artigo teve como objetivo identificar tecnologias educacionais para ensino-aprendizagem de estruturas para arquitetura. Foram selecionados e analisados 22 estudos publicados até o ano 2021. A amostra analisada permitiu concluir que há um crescimento de publicações no tema a partir de 2008, envolvendo adoção de

tecnologias educacionais no ensino, como *softwares* e equipamentos que facilitam a realização de projetos integrados e multidisciplinares.

Dentre eles, há ferramentas de modelagem paramétrica, modelagem BIM de estruturas, adoção de *smartphones*, *tablets*, aplicativos para celular e outros. Além das tecnologias, foram destacados processos de trabalho que envolvem a adoção destas tecnologias, como o “Método SAS” e o “*Buildoids*”, e outros que promovem ambientes de estudo integrados e colaborativos, relacionados com metodologias de ensino ativas. Para os processos de trabalho que envolvem metodologias ativas no ensino-aprendizagem de estruturas, verificou-se que é comum o uso de algum recurso tecnológico para suporte das atividades integradoras. Por fim, constatou-se a existência de ações voltadas para a estrutura curricular dos cursos de graduação, que preveem formas de facilitar os processos colaborativos e interdisciplinares, bem como inserção de tecnologias digitais.

Ainda não existem estudos experimentais para aferir o desempenho de estudantes usando as tecnologias educacionais. A maior parte das pesquisas apresenta recursos que facilitam o processo de projeto, a colaboração da equipe e a qualidade da arquitetura e estrutura concebidas. Com isso, destaca-se uma lacuna a ser preenchida, que pode ser melhor explorada dentro do contexto brasileiro. Evidencia-se então, a importância desta pesquisa com identificação da lacuna e tendências para o processo de ensino-aprendizagem de estruturas em cursos de graduação em arquitetura.

Referências

BRASIL. **Resolução nº 2, de 17 de Junho de 2010.** [Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, alterando dispositivos da Resolução CNE/CES nº 6/2006]. **Diário Oficial da União:**

Seção I, p. 37. 18 jun.2011. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2010. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192 . Acesso em 11 jan. 2020.

COMPUTERS AND STRUCTURES. **SAP2000:** Software para Análise Estrutural e Dinâmica, Linear e Não-Linear por Elementos Finitos. California: Computers and Structures Inc., 2021. Disponível em:

<https://multiplus.com/software/sap2000/index.html>. Acesso em 11 jan. 2020.

DI PIETRO, João Eduardo. **O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto e engenheiro.** Tese (Doutorado) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78548> Acesso em: 30 jan. 2021. Disponível em:

<https://www.bentley.com/pt/products/product-line/structural-analysis-software/ram-elements>. Acesso em 11 jan. 2020.

ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1., São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: *Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo*; Associação Brasileira de Escolas de Arquitetura, 1974.

FERENHOF, Helio Aisenberg; FERNANDES, Roberto Fabiano. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SFF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 555-563, 2016. Disponível em:

<https://revista.acbsc.org.br/racb/article/view/1194>. Acesso em: 11 jan. 2020

LEITE, Maria Amélia Devitte Ferreira D'Azevedo. **A aprendizagem tecnológica do arquiteto.** 2005. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em:

https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-15092014-145403/publico/TESE_MARIA_AMELIA_LEITE.pdf. Acesso em: 11 jan. 2020.

MOSCARDO, E. **Diseno y evaluacion de un programa para el aprendizaje de estructuras de edificacion mediante ABP.** 2013. Tese (Doutorado) – Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación, Universidade de Sevilla, Sevilla, 2013. Disponível em: <https://idus.us.es/handle/11441/15939>. Acesso em: 11 jan. 2020.

RONCONI, R. L. N. **Inserção do Canteiro Experimental nas faculdades de Arquitetura e Urbanismo**. 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RRCHNM. ROY ROSENZWEIG CENTER FOR HISTORY AND NEW MEDIA. **Zotero**. Fairfax: George Mason University: 2020. Disponível em: <https://chnm.gmu.edu/zotero/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SALVADORI, Mario; HELLER, Robert. **Estructuras para arquitectos**. 4a. ed. Buenos Aires: La Isla, 1976. 374 p.

SANTOS, José Amaro dos. **Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos qualitativos na engenharia de estruturas**. 1983. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

SARAMAGO, Rita de Cássia Ferreira. **Ensino de estruturas nas escolas de arquitetura do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-31052011-101630/publico/dissertacaorita.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SILVA, Daiçom Maciel da; SOUTO, André Kraemer. **Estruturas: uma abordagem arquitetônica**. 5. ed. Porto Alegre: UniRitter, 2015.

TAJRA, Sanmya Feitosa. **Informática na educação: o uso de tecnologias digitais na aplicação das metodologias ativas**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2018. 232p.

UIA. INTERNATIONAL UNION OF ARCHITECTS. **Charter UNESCO/UIA for architectural education**. Paris: UNESCO/UIA. 2017. Disponível em: <https://www.uia-architectes.org/webApi/uploads/ressourcefile/178/charter2017en.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ÜNAY, Ali Ihsan; ÖZMEN, Cengiz. Building structure design as an integral part of architecture: a teaching model for students of architecture. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 16, p. 253–271, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-005-5241-z>.

VALE, Clécio Magalhães; LOPES, João Marcos de Almeida; FREITAS, Maria Luíza Macedo Xavier; SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira; SANTOS, Roberto Eustáquio. A criação do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UAECSA-UFG e as expectativas para o ensino de estruturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS EM ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto. **Anais [...]**, Ouro Preto: UFOP, 2017.

Bibliografia [Artigos Classificados pelas Buscas na Literatura]

[1] ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente: estrutura conceitual**. 2012. 436 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2012.867049>.

[2] ANDRADE, Raphael Augusto de. **Implementação do BIM no ensino: adequação de matrizes curriculares de cursos de arquitetura através da identificação de permeabilidades de conteúdo**. 2018. 198 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/8231>. Acesso em: 20 jan. 2020.

[3] BARISON, Maria Bernadete. **Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista**. 2015. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21032016-101815/publico/TESE_Barison_Password_Removed.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

[4] CAIXETA, Luciano Mendes. **Estudo crítico sobre o uso de ferramentas de modelagens tridimensionais de informações digitais BIM no ensino contemporâneo da arquitetura**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

- [5] CALDERON-HERNANDEZ, Claudia, PAES, Daniel, IRIZARRY, J., BRIOSO, X. Comparing Virtual Reality and 2-dimensional Drawings for the Visualization of a Construction Project. In: ASCE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING (i3CE), 2019. **Proceedings [...]** Atlanta: ASCE, 2019.
- [6] GERSHFELD, M.; SHEINE, J. E.; LEMARR MCGAVIN, G. AE studio - Beyond pedestrian access: Creating bridges for learning. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION, 2011, Vancouver. **Proceedings [...]**. Vancouver: ASEE, 2011. Disponível em: <https://peer.asee.org/ae-studio-beyond-pedestrian-access-creating-bridges-for-learning.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [7] HEDGES, K. E.; DENZER, A. S. How a collaborative architecture influences structural engineering education. In: STRUCTURES CONGRESS 2008. **Proceedings [...]** STRUCTURES CONGRESS 2008. Vancouver: ASCE, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1061/41016\(314\)147](https://doi.org/10.1061/41016(314)147).
- [8] KANG, S.; CHO, H.; KANG, K.; KANG, M.; HASS, C.T. PIECE 3D: Portable interactive education for construction engineering in 3D. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND INTERNATIONAL, 35., 2018, Berlin. **Proceedings [...]**. Berlin: Organization for Automation and Robotics in Construction (IAARC), 2018.
- [9] KOVACIC, I.; OBERWINTER, L; MÜLLER, C.; ACHAMMER, C. The “BIM-sustain” experiment - simulation of BIM-supported multi-disciplinary design. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 1, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-13>.
- [10] MEDEIROS, Sanderson Carvalho Souza de. **Integração de projetos no ensino através de BIM: uma abordagem dos cursos de arquitetura e urbanismo da UFRN e da UFPB**. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20240/1/IntegracaoProjetosEnsino_Medeiros_2015.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [11] NAWARI, N. O. Understanding the interplay between structure and architecture using building information modeling (BIM). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURES AND ARCHITECTURE, 2., 2013. **Proceedings [...]**. Pittsburgh: ASCE, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84887952186&partnerID=40&md5=3fadd95a86d87f970cfo57328af41226>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [12] NAWARI, N. O.; CHICHUGOVA, T.; MANSOOR, S.; DELFIN, L. BIM in structural design education. In: Computing in Civil and Building Engineering, 2014, Orlando. **Proceedings [...]**. Orlando, International Society for Computing in Civil and Building Engineering/ International Council for Research and Innovations in Building and Construction / Technical Council on Computing and Information Technology of ASC, 2014. p. 2143–2150. Disponível em: <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2014-paper-266.pdf>. Acesso em 20 jan. 2020.
- [13] NAWARI, Nawari. O. Synthesizing aspects and constraints of structural design using BIM and a proposed framework in education. In: RAJA, R. A ISSA; OLBINA, S (org.). **Building Information Modeling: Applications and Practices**. ASCE, 2015, p. 1–32. 2015a
- [14] NAWARI, N. O. The role of BIM in teaching structural design. In: Structures Congress 2015, Portland, 2015. **Proceedings [...]** Portland: Structural Engineering Institute of ASC, 2015 p. 2622-2631. DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784479117.227>. 2015b
- [15] NAWARI, N. O.; KUENSTLE, M. **Building Information Modeling: Framework for Structural Design**. London: CRC Press, 2015.
- [16] RESENDE, Camila Cavalcanti. **A concepção estrutural no processo de aprendizagem do projeto de arquitetura: uma análise a partir de duas experiências de ensino de projeto (UFRN e UFPE)**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21677?mode=full>. Acesso em: 20 jan. 2020.

- [17] RESENDE, Maria Carolina de Oliveira; MOTTA, Silvio Romero Fonseca. Ferramenta paramétrica de apoio ao ensino da concepção estrutural. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: Editora da UFOP, 2017, p. 1049-1058.
- [18] SANTOS, Roberto Eustaáquio dos; KAPP, Silke; SILVA, Athos Souza. Esboço de uma genealogia da representação gráfica das estruturas. In: Encontro Nacional de Ensino de Estruturas para Escolas de Arquitetura, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto: Editora da UFOP, 2017. Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/01_biblioteca/arquivos/santos_17_esboco_de_uma_genealogia.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [19] SILVA, F. T. da. Experiências com ferramentas digitais no ensino de estruturas arquitetônicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 12, p. e021022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v12i00.8661548>.
- [20] SHARAG-ELDIN, Adil; NAWARI, Nawari. O. BIM in AEC education. In: STRUCTURES CONGRESS 2010, Orlando. **Proceedings [...]**. Orlando: ASCE, 2010. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/41130\(369\)153](http://dx.doi.org/10.1061/41130(369)153) .
- [21] SOLNOSKY, Rian L.; PARFITT, M. Kevin. A curriculum approach to deploying BIM in architectural engineering. In: ARCHITECTURAL ENGINEERING INSTITUTE (AEI) CONFERENCE, 2015, Milwaukee. **Proceedings [...]**. Milwaukee: Architectural Engineering Institute (AEI), 2015, pp. 651 - 662. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784479070.057>.
- [22] UIHLEIN, Marci S. Integration in the classroom: structural planning and design. In: ARCHITECTURAL ENGINEERING CONFERENCE, 2013, State College. **Proceedings [...]**. State College: ASCE, 2013, pp. 14 - 23. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412909.002>.

1 Leticia Mattana

Engenheira Civil. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorado em andamento em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Santa Catarina. Professora Assistente no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço postal: Campus Trindade - CP 470 - Florianópolis, SC – Brasil. CEP 88040-970

2 João Carlos Souza

Engenheiro Civil. Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Titular na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Arquitetura. Endereço postal: Campus Trindade - CP 470 - Florianópolis, SC – Brasil. CEP 88040-970