

# ENSINO-APRENDIZAGEM DE CONCEPÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL EM BIM

## TEACHING-LEARNING STRUCTURAL DESIGN AND ANALYSIS USING BIM

Leticia Mattana<sup>1</sup>, João Carlos Souza<sup>2</sup>

### RESUMO:

O entendimento de sistemas estruturais, fundações e componentes construtivos é essencial para a formação e atuação profissional de arquitetos e urbanistas. O objetivo deste trabalho é investigar a adoção de *Building Information Modelling* (BIM) no processo de ensino-aprendizagem de concepção e análise estrutural para estudantes de arquitetura e urbanismo. Adota-se a pesquisa-ação como método desta pesquisa, na qual foram utilizados questionários como instrumentos de coleta de dados, aplicados antes e após a realização de uma disciplina optativa da graduação. Os procedimentos compreendem a realização da concepção e análise estrutural por meio de simulações em BIM. Os resultados demonstram que a explicação teórica e as atividades práticas desenvolvidas em aula são os principais fatores que contribuíram para a aprendizagem de estruturas, influenciadas pelas seguintes ações: visualização tridimensional, percepções de erros de projeto indicadas pelo software BIM, realização de encontros semanais, integração da teoria com a prática e desenvolvimento de pensamento crítico. Como contribuições, essa pesquisa apresenta uma experiência de adoção de BIM na educação de arquitetos e urbanistas para ensino-aprendizagem de sistemas estruturais integrado ao projeto de arquitetura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação; Projeto; Arquitetura; Estrutura.

### ABSTRACT:

Understanding structural systems, foundations and building components is essential for the professional career of architects and urban planners. The objective is to investigate the adoption of Building Information Modeling (BIM) in the teaching-learning process of design and structural analysis for architectural and urbanism students. Adhering to action research as a research method, data collection instruments questionnaires were used, applied before and after the undergraduate elective discipline. The procedures include carrying out the design and structural analysis through BIM simulations. The results demonstrate that theoretical explanation and practical activities developed in class are the main factors that contributed to the learning of structures, influenced by the following actions: three-dimensional visualization, perceptions of design errors indicated by the BIM software, holding weekly meetings, integration of theory with practice and development of critical thinking. As contributions, this research presents an experience of adopting BIM in the education of architects and urban planners for teaching-learning of structural systems integrated into architectural design.

**KEYWORDS:** Education; Design; Architecture; Structure.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina

Fonte de Financiamento:  
Identificar fomentos à Pesquisa - Agência de Fomento, Universidade, Empresa, Etc.

Conflito de Interesse:  
Declarar potencial conflitos de interesse ou Declarar não haver.

Submetido em: 29/10/2021  
Aceito em: 21/03/2022

How to cite this article:

MATTANA, Leticia; SOUZA, João Carlos. Ensino-aprendizagem de concepção e análise estrutural em BIM. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n3, 2022. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i3.186945>



## INTRODUÇÃO

Compreender sistemas estruturais, fundações e componentes construtivos é essencial para a atuação profissional de arquitetos e urbanistas, para melhorar a qualidade técnica dos projetos arquitetônicos e a comunicação com as equipes no processo de projeto. Da mesma forma, estes assuntos são fundamentais para a formação de estudantes de arquitetura e urbanismo e devem estar presentes no processo de ensino-aprendizagem durante a graduação, trazendo a consciência das diversas possibilidades tecnológicas, construtivas e estruturais (BRASIL, 2010; INTERNATIONAL UNION OF ARCHITECTS, 2017). Sendo a estrutura um componente fundamental no projeto arquitetônico (REBELLO, 2000; LOPES; BOGÉA; REBELLO, 2006; NAWARI; KUENSTLE, 2015), os estudantes de arquitetura devem ter ciência da importância de conhecer e entender os sistemas estruturais e seu impacto na arquitetura desde a sua formação (BRASIL, 2010).

O ensino de estruturas para arquitetos, apesar da importância na formação profissional, envolve vários desafios. Há muitos anos este assunto é debatido por especialistas, que defendem um ensino menos abstrato e/ou fragmentado, e que ocorra por meios que facilitem o entendimento dos fenômenos e comportamentos estruturais (ASSOCIAÇÃO, 1974; ENEEEA, 2017). Nos Anais do “III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura”, que ocorreu em 2017 na cidade de Ouro Preto, há um indicativo de que a simulação do comportamento estrutural e o desenvolvimento do domínio para concepção e projeto estrutural, para estudantes de arquitetura e urbanismo, pode ocorrer com a adoção de tecnologias digitais no ensino (ENEEEA, 2017).

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo investigar a adoção de *Building Information Modelling* (BIM), no processo de ensino-aprendizagem de concepção e análise estrutural para futuros arquitetos e urbanistas. A pesquisa ocorreu em uma disciplina optativa do curso de graduação em arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, parte de uma tese em desenvolvimento, envolvendo estudantes de diferentes fases da graduação, na qual foram adotadas duas ferramentas BIM para ensino de estruturas: AltoQi Eberick e AltoQi QiBuilder. As atividades práticas da disciplina ocorreram por meio da aplicação da teoria em soluções de projetos estruturais para arquiteturas pré-concebidas. Para isso, foram organizados quatro módulos temáticos para o ensino-aprendizagem de concepção e análise estrutural usando BIM, envolvendo três diferentes sistemas estruturais: concreto armado moldado in loco, alvenaria estrutural e estruturas em aço-concreto, bem como o quarto módulo referente ao projeto final.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Muitos autores consideram que a concepção da estrutura deve surgir junto com a concepção da arquitetura (REBELLO, 2000; LOPES; BOGÉA; REBELLO, 2006; REBELLO, 2007; BREMER *et al.*, 2017). Desenvolver essa habilidade no processo de ensino-aprendizagem exige capacidade argumentativa e conhecimentos técnicos dos estudantes, mas pode auxiliar na melhora da qualidade da arquitetura concebida (BREMER *et al.*, 2017). A prática projetual de um estudante de arquitetura e urbanismo ocorre por meio da reflexão na ação, em atividades práticas e pelas tomadas de decisão, geralmente realizadas em ateliês de projeto (SCHÖN, 1983). Entretanto, no ensino de estruturas, estas práticas reflexivas não são usuais, e conseqüentemente, encontram-se várias problemáticas sobre este tema na literatura.

Alguns dos principais problemas que envolvem o ensino de estruturas para arquitetura, destacados na literatura, são: (a) o distanciamento entre as disciplinas ou unidades curriculares da matriz curricular, muitas vezes conhecido como ensino fragmentado (LEITE,

2005; UNAY; OZMEN, 2006; SARAMAGO, 2011; MOSCARDO, 2013); (b) ensino abstrato e similar às disciplinas curriculares dos cursos de graduação em engenharia (DI PIETRO, 2000; ENEEEA, 2017; MOSCARDO, 2013); e (c) falta de aplicação da teoria na prática (LEITE, 2005; SARAMAGO, 2011). Percebe-se que muitos problemas destacados há anos atrás, encontrados na literatura, ainda persistem atualmente.

Apesar dos problemas, existem experiências didáticas que integram estruturas e arquitetura em ateliês de projeto arquitetônico (AGUIAR; SPENCER; FAVERO, 2017; BALLAROTTI *et al.*, 2017; LLOYD; SILVA, 2017; RESENDE; VELOSO, 2021), e pesquisas acadêmicas que tratam da temática de ensino de estruturas para arquitetura (DI PIETRO, 2000; RONCONI, 2002; LEITE, 2005; SARAMAGO, 2011; BORBA, 2018). Porém, poucas ações adotam tecnologias digitais para entendimento de conceitos estruturais para futuros arquitetos, em unidades voltadas ao ensino de estruturas, sendo a maioria voltada para o ensino em ateliê de projeto de arquitetura (CAIXETA, 2013; MOTTA, 2014; MEDEIROS, 2015; ANDRADE, 2018; ITO, 2020). Há um indicativo na literatura de que é necessário readequar o material didático com recursos atuais para o ensino de estruturas para arquitetura, sendo uma possibilidade a simulação do comportamento estrutural (ENEAAA, 2017, p. 10).

Atualmente, encontra-se em difusão no Brasil a Modelagem da Informação da Construção, também chamada de *Building Information Modeling* (BIM). Esta, promove mudanças significativas na construção civil, impactando no processo de projeto e gestão de determinado empreendimento pela adoção de construções virtuais, que ocorrem de forma colaborativa, com suporte de tecnologias e políticas bem definidas ao longo de todo processo de projeto (EASTMAN *et al.*, 2014; KASSEM; SUCCAR, 2017). Na difusão de BIM em diferentes setores, como na educação, destaca-se a adoção de uma estrutura conceitual para os campos de políticas, processos e de tecnologias, que abrangem etapas voltadas à modelagem, à integração e à colaboração entre as pessoas envolvidas (KASSEM; SUCCAR, 2017).

Em BIM, existem várias tecnologias que dão suporte ao processo de projeto, incluindo ferramentas para projeto de arquitetura, outras específicas para projetos de estruturas, ou de instalações, e há ainda uma variedade de ferramentas BIM voltadas para gestão, colaboração e coordenação de projetos. As ferramentas BIM brasileiras para projetos de estruturas permitem realizar a simulação do comportamento estrutural adequado às Normas brasileiras, desde o lançamento, a análise, o dimensionamento e até o detalhamento estrutural, com recursos gráficos que auxiliam na visualização tridimensional do projeto concebido.

Aliadas às ferramentas BIM, em muitos países a modelagem da informação da construção já é obrigatória para licitações e contratos de projetos e obras públicas. No Brasil, o Governo Federal instituiu a “Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling*” por meio do Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, incentivando a promoção de BIM e investimentos neste âmbito e definindo cronograma de adoção de BIM no setor público brasileiro (BRASIL, 2019). No ano 2020, outro Decreto instituiu a implementação de BIM nas etapas de projetos públicos de arquitetura e engenharia, intitulado Decreto nº 10.306 de 2 de abril de 2020 (BRASIL, 2020). Dada a importância do tema no contexto atual, este é mais um indicativo de que inserir BIM no ensino é fundamental e contribuirá com a formação do profissional que o mercado está demandando atualmente.

## **EXPERIÊNCIAS DIDÁTICAS PARA ENSINO DE CONCEPÇÃO ESTRUTURAL**

Investigando na literatura, percebe-se a existência de diferentes estratégias para ensino-aprendizagem de estruturas em cursos de graduação em arquitetura e urbanismo. O uso de modelos em escala reduzida para aprendizagem do comportamento estrutural destaca-se como uma estratégia amplamente utilizada por professores, sendo essa alternativa adotada há

muito tempo no ensino de estruturas, conforme mencionado por diversos autores (SANTOS, 1983; DI PIETRO, 2000; LOBOSCO; CAMARA, 2018). Estes utilizam os modelos físicos para simulações e experimentações que direcionam uma compreensão diferenciada, intuitiva e prática da teoria, ajudando a entender o comportamento mecânico pela observação de fenômenos em modelos. Para alguns autores, essa forma de aprendizagem é vantajosa por não exigir tanto conhecimento avançado em estruturas, como seria necessário em ambiente computacional para as mesmas simulações, mas para ter contribuição no ensino, precisa permitir a visualização das deformações provocadas por esforços atuantes (LOBOSCO; CAMARA, 2018). Além dos modelos em escala reduzida, outros pesquisadores estudam a inserção de modelos estruturais em escala real no ensino, propostos por meio de atividades práticas e experimentais, muitas vezes chamadas de canteiros experimentais ou simplesmente canteiros (RONCONI, 2002; SILVOSO; CORDEIRO; ALBUQUERQUE, 2016), com abordagem voltada ao ato de construir.

Outros autores utilizam de esquemas, croquis e desenhos didáticos para explicação de conceitos estruturais, por meio de representação conceitual e gráfica de fenômenos (REBELLO, 2000, 2007; CHING; ONOUYE; ZUBERBUHLER, 2015), interligando como a representação é essencial e está evoluindo para uso de outros instrumentos digitais que permitem a representação construtiva virtual (SANTOS; KAPP; SILVA, 2017).

Em outra pesquisa, as autoras avaliam a integração de concepção estrutural com o projeto de arquitetura dentro de ateliês de projeto arquitetônico de um curso de arquitetura e urbanismo, recomendando melhorias no ensino-aprendizagem a partir de uma abordagem mais crítica e reflexiva pela solução projetual da arquitetura e estrutura (RESENDE; VELOSO, 2021). A integração entre estrutura e arquitetura em ateliê de projeto de arquitetura é objeto de estudo de outras pesquisas acadêmicas, algumas destacando a abordagem colaborativa dos experimentos (WETZEL, 2012; UIHLEIN, 2014; BALLAROTTI *et al.*, 2017; AGUIAR; SPENCER; FAVERO, 2017), outras destacando a adoção de BIM como o instrumento facilitador para tal método de ensino (MENEZES *et al.*, 2017; ANDRADE, 2018; ITO, 2020), e ainda há algumas que utilizam a modelagem paramétrica como artifício para a aprendizagem de estruturas (ANDRADE, 2012; RESENDE; MOTTA, 2017; PIRES; PEREIRA, 2020).

## **OBSERVAÇÕES SOBRE A COMPLEXIDADE DO PROJETO ESTRUTURAL**

O projeto estrutural é formado por diferentes fases, sendo as principais o lançamento da estrutura, a análise, o dimensionamento dos elementos e o detalhamento, este último com o intuito de permitir a leitura para execução do projeto em obra. As etapas se relacionam entre si, não há como conceber um projeto sem realizar sua análise, tampouco dimensioná-lo sem realizar sua análise e concepção. Os resultados numéricos do projeto estrutural dependem de inúmeros fatores associados a estas etapas projetuais e a outros conceitos envolvidos na concepção, como os vínculos estruturais adotados, os esforços atuantes na estrutura, as cargas existentes e o próprio sistema estrutural escolhido. Por exemplo, quanto mais flexível (rotulada) for a ligação entre vigas e pilares, maior será a rotação na extremidade, e maior será seu deslocamento ao longo do vão da viga. Também, quanto maior o vão da viga, maior será a sua flecha. Em relação aos deslocamentos, sabe-se que quanto menores forem as dimensões da seção transversal de uma viga, maiores serão seus deslocamentos. O aumento da altura da seção de vigas aumenta a sua rigidez, visto que aumenta seu momento de inércia.

Cabe destacar, que cada sistema estrutural possui suas características, que devem ser conhecidas pelos projetistas para viabilizar o projeto de estruturas. Devido a este motivo, destaca-se a complexidade do projeto de estruturas, especialmente para a formação de estudantes de arquitetura e urbanismo e de engenharia.

## MÉTODO

Esta pesquisa ocorreu no semestre 2020/2, na disciplina optativa Ateliê Livre da graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Devido a pandemia do coronavírus, as aulas ocorreram de forma remota pela plataforma Google Meet e em ambiente virtual de aprendizagem – Moodle, durante os meses de fevereiro a maio de 2021.

### MÉTODO E PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

O método adotado nesta pesquisa é a pesquisa-ação, que envolve investigação empírica e interação entre os pesquisadores e os participantes, com o objetivo de gerar soluções aos problemas investigados e compreensão dos resultados encontrados. A pesquisa-ação pode ser definida pelas tentativas continuadas, sistemáticas e empiricamente fundamentadas para aprimoramento da prática (TRIPP, 2005). Trata-se de uma estratégia baseada em experiências vivenciadas, na qual os pesquisadores desempenham “um papel ativo no equacionamento dos problemas encontrados, no acompanhamento e avaliação das ações desencadeadas em função dos problemas” (THIOLLENT, 1986, p. 15).

Para a condução da pesquisa-ação, diferentes etapas foram realizadas, sendo a primeira um estudo de campo com a participação de uma das autoras em ateliê de projeto de arquitetura, por meio do estágio em docência no semestre 2019/1, com o objetivo de auxiliar na solução estrutural do projeto arquitetônico dos estudantes. Nesta primeira etapa, foi possível identificar dúvidas, dificuldades e demandas dos estudantes nas soluções estruturais para o projeto de arquitetura, sendo realizada uma pesquisa bibliográfica no tema no mesmo período. Observou-se que estes estudantes possuíam dificuldades na concepção estrutural e na escolha do sistema estrutural conveniente para o projeto de arquitetura (MATTANA *et al.*, 2021).

Após conhecer a comunidade a ser pesquisada e suas dificuldades, foi formulada uma proposta de disciplina optativa para abordar as demandas observadas no estágio em docência, referentes ao ensino de estruturas para arquitetura. Desta forma, por meio de encontros síncronos da disciplina optativa “Ateliê Livre”, pesquisadores e estudantes de arquitetura e urbanismo tiveram a oportunidade de se reunir para desenvolver algumas atividades de concepção e análise estrutural para três diferentes sistemas estruturais, debatendo as potencialidades, dificuldades e sugestões para melhoria da aprendizagem de estruturas, tendo como suporte o uso de ferramentas e processos BIM.

Os dados da pesquisa foram coletados no decorrer do semestre letivo por meio de atividades práticas planejadas, debates e assessoramentos que aconteciam junto com a aplicação dos exercícios. Além disso, foram utilizados instrumentos de pesquisa no formato de questionários, aplicados no início e no final do semestre. Destaca-se que as aulas foram gravadas e disponibilizadas em ambiente virtual de aprendizagem. Cada estudante desenvolveu um vídeo ao final de cada módulo da disciplina, no qual explicou seu processo de concepção de cada exercício e realizou sua avaliação crítica da atividade de concepção estrutural. Pela interação dos participantes, houve produção de conhecimento e aprimoramento do ensino de estruturas, e conseqüentemente da aprendizagem dos estudantes, tendo como suporte a adoção de BIM.

### PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS

A disciplina “Ateliê Livre” tem como ementa “Programa de conteúdo livre, proposto por professor de quaisquer áreas do curso, a ser cumprido em um semestre letivo, para um grupo de no mínimo 15 alunos”. Nesta proposta, o ateliê teve como objetivo desenvolver habilidades para realizar a concepção e análise estrutural em diferentes sistemas estruturais e integração

com o projeto arquitetônico, proporcionando entendimento estrutural por meio de modelagem e simulações em BIM. Participaram da disciplina 17 estudantes de graduação em arquitetura e urbanismo. A disciplina optativa foi ofertada para estudantes de fases variadas de graduação, exceto para os estudantes da primeira fase, que ainda não possuem conhecimento básico dos conceitos estruturais. A carga horária total é de 54 horas-aula (3 créditos por semana), sendo divididas no ensino remoto emergencial em 27 horas-aula síncronas e 27 horas-aula assíncronas, durante as quintas-feiras a tarde.

As atividades foram desenvolvidas em quatro módulos, cujos procedimentos serão descritos a seguir, buscando alcançar os objetivos da disciplina. O conteúdo programático de cada módulo prioriza a aprendizagem baseada em projetos, exceto na primeira aula que teve teor teórico, com temática sobre a concepção estrutural e conceitos BIM, visando dar suporte às atividades práticas. Os estudantes foram instruídos a complementar seu conhecimento com consulta a materiais bibliográficos disponibilizados em ambiente virtual de aprendizagem (Moodle) e indicados no Plano de Ensino. A avaliação, baseada em roteiros disponibilizados aos estudantes, consistiu na entrega de arquivos de projeto (nativo e formato interoperável BIM), relatório de custos e gravação de um vídeo que demonstre o processo de elaboração do projeto e avaliação crítica da atividade. Este vídeo serviu como registro de campo na pesquisa-ação.

### **Módulo 1 – Concreto armado moldado in loco**

Na atividade de projeto do Módulo 1, a estrutura de uma Habitação de Interesse Social (HIS) foi elaborada em concreto armado moldado in loco na ferramenta AltoQi Eberick, em duas aulas síncronas, com o objetivo de compreender, aplicar e analisar a concepção estrutural em concreto armado. Na conclusão do módulo 1 ocorreu a entrega do Exercício Projeto 1 (peso 10% da nota final).

### **Módulo 2 –Alvenaria estrutural**

Na atividade de projeto do Módulo 2, a estrutura da HIS foi concebida em alvenaria estrutural usando a ferramenta AltoQi QiBuilder (Módulo QiAlvenaria) e foi realizada a análise estrutural no AltoQi Eberick em duas aulas síncronas, com o objetivo de compreender, aplicar e analisar a concepção estrutural em alvenaria estrutural. Na conclusão do módulo 2, ocorreu a entrega do Exercício Projeto 2 (peso 10% da nota final).

### **Módulo 3 –Estruturas híbridas aço-concreto**

Na atividade de projeto do Módulo 3, a estrutura da HIS foi elaborada com vigas e pilares em aço e lajes em concreto armado, na ferramenta AltoQi Eberick em três aulas síncronas, com o objetivo de compreender, aplicar e analisar a concepção estrutural em estruturas híbridas aço-concreto. Na conclusão do módulo 3 ocorreu a entrega do Exercício Projeto 3 (peso 10% da nota final).

### **Módulo 4 – Concepção e análise estrutural para o projeto final**

A atividade do Módulo 4 refere-se ao projeto final da disciplina, para o qual cada estudante realizou a concepção e análise estrutural de um projeto arquitetônico, podendo este ser o projeto público do Centro de Educação Infantil, modelado em BIM por meio de um projeto de extensão da Universidade Federal de Santa Catarina e disponibilizado pela professora, ou outro projeto de livre escolha do estudante. Cada estudante escolheu o sistema estrutural para elaboração de seu projeto, com o intuito de aplicar, analisar e avaliar os conteúdos aprendidos nos módulos anteriores. Ao final do módulo 4 ocorreu a entrega do Exercício Projeto Final (peso 50% da nota final). Os outros 20% da nota final são relativos à participação do estudante nas aulas e atividades propostas. Devido às limitações deste artigo, não serão apresentados os resultados encontrados no Módulos 4, referentes ao projeto final de cada estudante.

## CASO DE ESTUDO

Para a realização dos módulos 1, 2 e 3 da disciplina foi utilizado o modelo BIM arquitetônico de uma Habitação de Interesse Social de aproximadamente 42m<sup>2</sup>, referente a uma edificação financiada pela Caixa Econômica Federal para famílias de baixa renda, com projetos padrão disponíveis de forma gratuita para viabilizar o acesso à moradia (Figura 1). Esta HIS possui um único pavimento, com sala de estar, cozinha, quarto, lavabo e área externa (GIDUR/VT, 2006). A partir desta arquitetura, foram realizadas as concepções e análises estruturais em três diferentes sistemas estruturais: a) em concreto armado moldado in loco, b) alvenaria estrutural e c) estrutura em aço-concreto (Quadro 1). As ferramentas BIM adotadas foram disponibilizadas por meio de licenças acadêmicas em um termo de cooperação com a empresa AltoQi Engenharia, para realização de uma pesquisa de doutorado em andamento.



**Figura 1.** Caso de Estudo – HIS referenciada no AltoQi Eberick 2021

**Fonte:** Adaptado de GIDUR/VT (2006)

Módulos	Modelo Arquitetônico	Sistema Estrutural	Ferramentas BIM
Módulo 1	Habitação Social	Concreto Armado	AltoQi Eberick
Módulo 2	Habitação Social	Alvenaria Estrutural	AltoQi Eberick e QiBuilder
Módulo 3	Habitação Social	Aço-concreto	AltoQi Eberick

**Quadro 1.** Resumo das atividades dos Módulos  
**Fonte:** Autores

## PROCESSO PEDAGÓGICO – RESULTADOS DA APRENDIZAGEM

No encerramento do módulo, cada estudante produziu um vídeo para a entrega dos trabalhos, apresentando a sua experiência com cada atividade, o lançamento estrutural realizado, materialidade adotada, resultados da análise estrutural e correções de erros no lançamento preliminar do projeto. Também foram estimulados a apresentar o relatório de estimativas de custos e/ou lista de materiais emitidos pelo mesmo software de projeto e análise estrutural. Para a avaliação dos módulos, cada estudante entregou o trabalho via Moodle ou Google Drive, considerando, no mínimo, as seguintes etapas na apresentação dos resultados:

- Modelo BIM da estrutura concebida;
- Plantas baixas: tipos de lajes adotadas e dimensões das seções de vigas e pilares;
- Vínculos e cargas adotados em cada pavimento e ajustes realizados na vinculação;
- Análise estrutural: gráficos de momento fletor e deslocamentos máximos da estrutura;
- Modelo BIM das armaduras em concreto armado moldado in loco;
- Estimativa de custo do projeto concebido, ou o relatório de materiais, com base nos relatórios disponibilizados pelos softwares.

## PERCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

Para a coleta de informações sobre as percepções destes estudantes quanto ao uso de BIM na aprendizagem de estruturas, foram aplicados dois questionários, um antes do início das aulas e o outro após o encerramento da disciplina, chamados de Questionários Pré-Teste e Pós-Teste, respectivamente. Estes questionários foram elaborados na ferramenta *Google Forms* e disponibilizados online para quem desejasse participar da pesquisa. O Registro de pesquisa com seres humanos foi aprovado no Comitê de Ética da Universidade Federal de Santa Catarina (CAAE: 13522919.6.0000.0121, Número do Parecer: 3.400.810, aprovado em 19/06/2019; Emenda 1 - Número do Parecer: 4.647.934 aprovada em 13/04/2021), como parte de uma pesquisa de doutorado em andamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

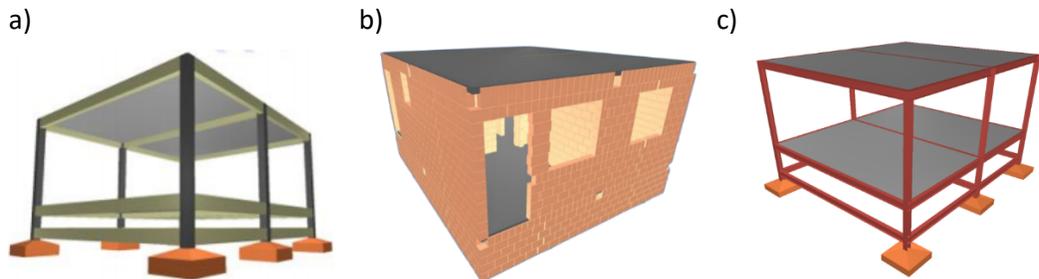
Os principais resultados obtidos com os modelos estruturais concebidos nos Módulos 1, 2 e 3 da disciplina Ateliê Livre são descritos nesta seção, destacando o desempenho de alguns projetos de concepção e análise estrutural. Além disso, são descritas as percepções dos estudantes obtidas com a aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste.

### PROCESSO PEDAGÓGICO – RESULTADOS DA APRENDIZAGEM

As concepções estruturais realizadas em sala de aula referem-se aos modelos BIM em a) concreto armado moldado in loco, b) alvenaria estrutural e c) estrutura em aço-concreto (Figura 2). Cada estudante teve autonomia para alterar as concepções estruturais modeladas nas aulas síncronas, modificando o lançamento e obtendo diferentes resultados de análise.

**Figura 2.** Exemplos de modelos estruturais desenvolvidos nos Módulos 1, 2 e 3

**Fonte:** Autores (2021)



Os resultados obtidos na disciplina contemplam os modelos estruturais em BIM, sendo: (a) 17 diferentes concepções e análises estruturais da HIS para cada um dos sistemas estruturais trabalhados nos módulos, 1, 2 e 3, totalizando 51 projetos; e (b) concepções e análises estruturais para outras arquiteturas elaboradas no trabalho final, sendo 10 projetos para a creche (arquitetura ofertada pela professora, com 2 propostas em aço e 8 propostas em concreto armado), 3 projetos estruturais de arquiteturas elaboradas no ateliê de projeto IV da Universidade Federal de Santa Catarina (tema: habitação social) todas em concreto armado, 2 projetos estruturais de arquiteturas elaborada no ateliê de projeto VI (tema: edifícios para centro cultural ou moradia compartilhada) todos em concreto armado, 1 projeto estrutural de arquitetura elaborada no ateliê de projeto I (tema: ateliê do arquiteto) em concreto armado e 1 projeto de uma residência unifamiliar em estrutura mista com aço e concreto armado, totalizando 17 diferentes concepções e análises estruturais. Conforme mencionado no método, a análise dos resultados do trabalho final não será realizada neste trabalho pelas limitações do artigo.

## RESULTADOS DA APRENDIZAGEM DO MÓDULO 1

Em relação aos modelos concebidos em concreto armado moldado in loco, a Tabela 1 apresenta os principais resultados encontrados por cada estudante no âmbito dos esforços de momentos fletores e deslocamentos, bem como a estimativa de custos obtida no software. Os custos foram emitidos com base nos valores padrões do software AltoQi Eberick, configurados pela base de dados SINAPI do ano 2016 (configuração padrão do software). As células destacadas em cinza na Tabela 1 representam os maiores ou menores resultados encontrados pelos estudantes.

Estudantes	Momento máximo positivo (kgf.m)	Momento máximo negativo (kgf.m)	Deslocamento (cm)	Custos (R\$)
Estudante 1	1.699,95	-2.620,42	0,71	31.309,08
Estudante 2	1.670,17	-2.563,28	1,62	31.896,44
Estudante 3	1.271,00	-1.757,00	1,21	31.460,28
Estudante 4	2.633,75	-1.848,38	1,79	28.000,00
Estudante 5	1.627,60	-2.599,97	1,64	31.810,95
Estudante 6	1.627,74	-2.600,52	1,64	31.940,56
Estudante 7	1.916,00	-2.357,00	2,95	29.987,64
Estudante 8	1.625,59	-2.605,55	1,64	31.826,15
Estudante 9	928,06	-2.143,87	1,96	30.399,00
Estudante 10	1.227,77	-2.074,00	1,64	31.912,11
Estudante 11	1.840,00	-2.102,52	0,76	36.587,99
Estudante 12	4.559,25	-3.607,48	5,56	33.116,19
Estudante 13	1.798,41	-3.065,10	1,50	27.782,63
Estudante 14	1.569,69	3.033,46	1,11	31.954,20
Estudante 15	1.229,08	-2.024,62	0,62	32.017,28
Estudante 16	1.290,00	-2.283,00	0,16	30.449,67
Estudante 17	946,42	-2.433,53	0,94	40.738,29

Tabela 1. Resultados do Módulo 1

Fonte: Autores (2021)

No Módulo 1, a estudante 12 obteve os maiores valores para o momento fletor positivo e negativo, “4.559,25 kgf.m” e “-3.607,48 kgf.m”, respectivamente, bem como o maior valor de deslocamento dentre os experimentos deste grupo (Figura 3). Esta estudante encontrou erros no lançamento estrutural em dois elementos de vigas, dois pilares e duas sapatas e não conseguiu resolver para a entrega final do exercício. A estudante optou pelo lançamento de vigas contínuas, com vinculações rotuladas no pavimento térreo, o que gerou os maiores momentos positivos das vigas, e adotou lajes maciças. No pavimento cobertura, optou pela vinculação semirrígida em todo pavimento, gerando momentos negativos nas vigas e pilares. Na entrega do exercício, essa estudante destaca que tem dificuldades em entender estruturas e que também teve pouco tempo para se dedicar ao exercício.

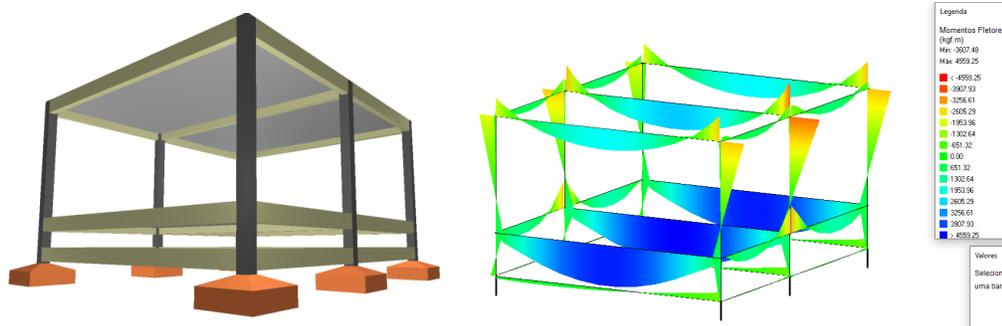


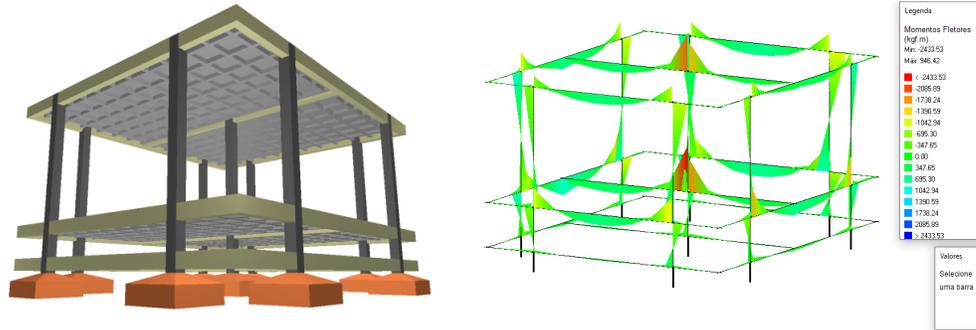
Figura 3. Resultados da estudante 12

Fonte: Elaborado pela estudante 12 (2021)

O estudante 17 optou por um lançamento estrutural tomando partido do uso de balanços nas vigas do projeto (Figura 4). Os momentos positivos tiveram uma redução significativa no modelo de análise estrutural, sendo o menor valor encontrado pelo grupo. A escolha pela colocação de um pilar no vão central do projeto, originou momentos negativos que poderiam ter sido otimizados se o estudante tivesse optado pela retirada do elemento central. Nesta concepção, o estudante adotou quatro vigas com balanços nas duas extremidades, e uma viga central contínua e com três apoios. O custo ficou elevado, pois ele lançou nove sapatas e adotou uma solução com laje nervurada com enchimento em EPS (*Expanded PolyStyrene*).

**Figura 4.** Resultados do estudante 17

Fonte: Elaborado pelo estudante 17 (2021)



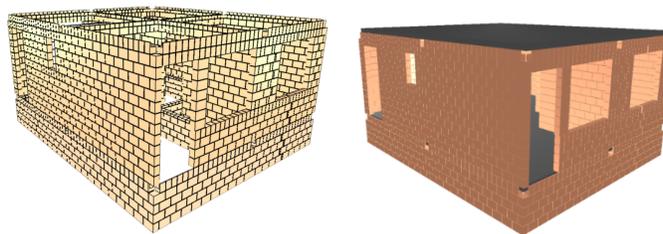
O menor deslocamento encontrado foi a solução da estudante 16. Isso deve-se, principalmente, à solução estrutural de laje adotada: uma laje maciça protendida com 20 centímetros de espessura para vãos de seis por três metros. Isso não significa que foi a melhor escolha de solução estrutural para o caso em estudo. E a proposta mais viável economicamente, dentre as soluções deste grupo de estudantes, refere-se à proposta do estudante 13, que optou pelo lançamento estrutural de elementos com dimensões mínimas e soluções mais econômicas, como a adoção de lajes pré-moldadas no térreo e treliçadas bidimensionais na cobertura, com preenchimento em lajota cerâmica e EPS, respectivamente, com pequenos vãos para as lajes de espessura 12 centímetros. A vinculação variou entre vínculos semirrígidos e rotulados, com adoção de vigas contínuas. A estudante 3 encontrou o menor valor para momento negativo, e isso deve-se à adoção de vigas isoladas em todos os pavimentos, sem vigas contínuas que poderiam gerar maior momento negativo no apoio.

## RESULTADOS DA APRENDIZAGEM DO MÓDULO 2

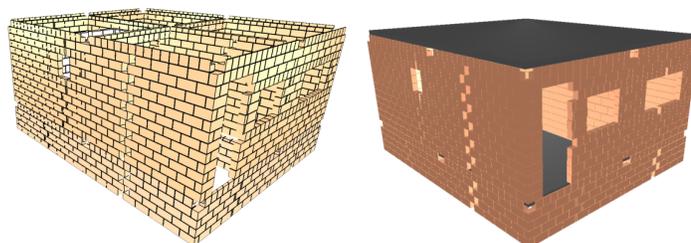
O projeto arquitetônico usado como referência utilizava blocos de 9x39x19 centímetros para paredes de 2,60 metros de altura (GIDUR/VT, 2006). Foi discutido o uso de blocos de concreto das famílias 14x29x19 ou 14x39x19 centímetros, visando melhores resultados de modulação e de esbeltez da parede. Outros elementos adotados no projeto foram os meios blocos e meios blocos canaletas nas cintas de amarração, nas contravergas e nas vergas, a exemplo do projeto realizado pela estudante 4 que adotou a família de blocos de 14x39x19 centímetros e meio bloco de 14x19x19 centímetros, que permitiu minimizar a geração de vazios na modulação das paredes (Figura 5).

**Figura 5.** Resultados do estudante 4

Fonte: Elaborado pelo estudante 4 (2021)



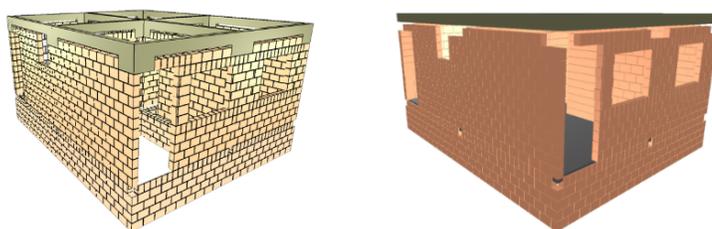
Para os casos dos lançamentos que geraram vazios nas paredes estruturais, foram adotados graute e pastilhas para preenchimento, a exemplo do projeto da estudante 15, cujo lançamento gerou vazios nas paredes (Figura 6). Destaca-se que apenas seis estudantes conseguiram ajustar a modulação do projeto e minimizar a ocorrência destes vazios nas paredes estruturais, reduzindo uso de pastilhas e graute na proposta, e também minimizando os custos com elementos extras de preenchimento. As principais estratégias adotadas por estes estudantes contemplam o reposicionamento das aberturas para uma configuração dentro da modulação adotada no projeto, a alteração da família de blocos (de 14x29x19 para 14x39x19 centímetros) e a movimentação das paredes estruturais no projeto visando adequar à modulação proposta.



**Figura 6.** Resultados da estudante 15

**Fonte:** Elaborado pela estudante 15 (2021)

Houve a possibilidade de lançamento da cinta de amarração com blocos tipo “J”, ou canaleta, bem como pelo uso de vigas de concreto armado e coxins para apoio e distribuição dos esforços nas paredes, a exemplo do projeto da estudante 17, que adotou vigamento na amarração (Figura 7). O lançamento das esquadrias conforme o projeto original gerou problemas de modulação que foram resolvidos pela maioria dos estudantes, adequando tamanhos e posicionamento das aberturas conforme o módulo adotado e sua disposição nas fiadas. No AltoQi Eberick, foi realizada a análise estrutural, sendo a maioria dos erros referentes às armaduras e posição de vergas e contravergas.



**Figura 7.** Resultados da estudante 17

**Fonte:** Elaborado pela estudante 17 (2021)

### RESULTADOS DA APRENDIZAGEM DO MÓDULO 3

Em relação aos modelos concebidos em aço-concreto no Módulo 3, a Tabela 2 apresenta os principais resultados encontrados por cada estudante no âmbito dos esforços de momentos fletores e deslocamentos, bem como a estimativa de custo de concreto armado obtida no software, uma vez que este ainda não estima custos globais de elementos em aço. Os custos se baseiam nos valores padrões do software AltoQi Eberick, configurados pela base de dados SINAPI do ano 2016. As células destacadas em cinza representam os maiores ou menores resultados encontrados pelos estudantes, que serão explicados na sequência.

No Módulo 3, a estudante 10 obteve os menores valores de deslocamento e momento máximo, pois lançou lajes maciças com espessuras de 15 centímetros, com nove pilares e dois vãos de lajes no térreo, com vinculação engastada nos pilares do térreo (soldada). Na cobertura, as ligações entre vigas e pilares foram rotuladas, com quatro vãos de lajes maciças. O momento negativo máximo deste modelo ocorreu no apoio central, que recebeu todas as vigas da

cobertura. Com a espessura da laje, a estudante obteve o menor valor de deslocamento, porém, esta foi uma das soluções mais caras.

**Tabela 2.** Resultados do Módulo 3

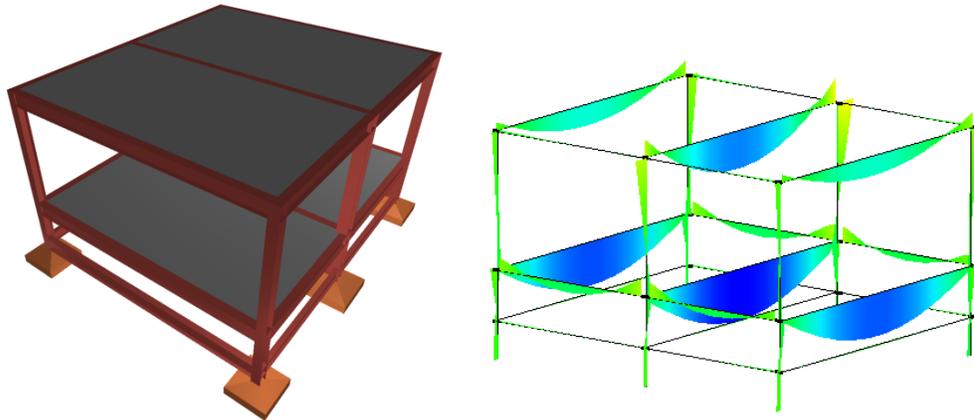
Fonte: Autores (2021)

Estudantes	Momento máximo positivo (kgf.m)	Momento máximo negativo (kgf.m)	Deslocamentos (cm)	Custos (R\$)
Estudante 1	5.811,67	-2.835,85	2,47	13.309,97
Estudante 2	6.383,20	-1.182,21	2,53	12.706,00
Estudante 3	2.127,00	-3.189,00	1,31	16.229,00
Estudante 4	4.919,60	-6.041,40	1,86	16.153,98
Estudante 5	3.172,56	-1.238,10	1,10	9334,81
Estudante 6	4.911,97	-6.010,12	2,34	11.506,64
Estudante 7	6.343,56	-6.793,93	1,70	12.296,96
Estudante 8	2.754,15	-5.009,76	1,71	17.434,89
Estudante 9	2.723,54	-1.838,52	1,49	17.409,29
Estudante 10	947,31	-2.177,82	0,56	17.944,83
Estudante 11	5.490,69	-2.700,53	1,71	14.887,55
Estudante 12	5.536,74	-2.689,26	3,60	16.260,87
Estudante 13	1.244,60	-2.170,62	1,46	9362,70
Estudante 14	1.326,00	-2.831,00	0,98	12.529,12
Estudante 15	5.890,17	-5.275,00	3,16	11.465,02
Estudante 16	989,32	-2.227,34	0,67	11.370,53
Estudante 17	4.234,02	-3.000,00	2,22	19.269,50

A estudante 12 obteve o maior deslocamento dentre os modelos BIM estruturais estudados. Ela lançou vigas rotuladas no térreo e lajes maciças com espessura de 25 centímetros, acima do necessário para os vãos existentes. Obteve elevados momentos fletores positivos nas vigas, conforme pode ser visualizado no diagrama de esforços, e conseqüentemente o deslocamento ficou elevado (Figura 8). A viga central da cobertura também recebe a carga de duas lajes pré-moldadas, ficando com momento fletor positivo elevado.

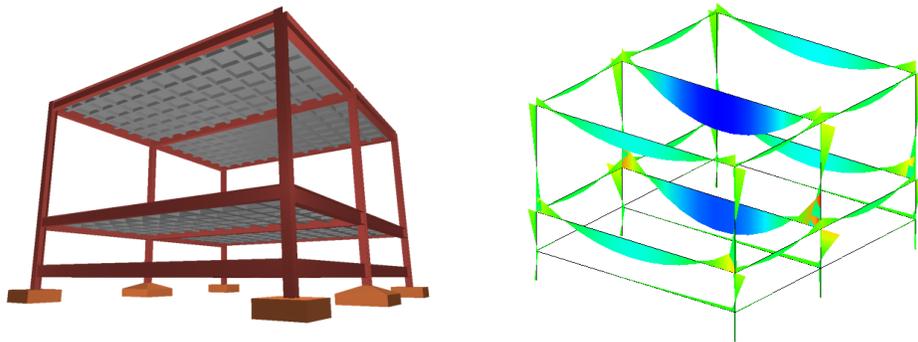
**Figura 8.** Resultados da estudante 12

Fonte: Elaborado pela estudante 12 (2021)



O maior custo refere-se ao modelo estrutural do estudante 17, que concebeu sua proposta estrutural adotando lajes em concreto armado nervuradas com enchimento em EPS. As vigas centrais ficaram com elevados momentos positivos devido ao recebimento das cargas dos dois vãos de lajes nervuradas, potencializados pela baixa altura das vigas (25 centímetros),

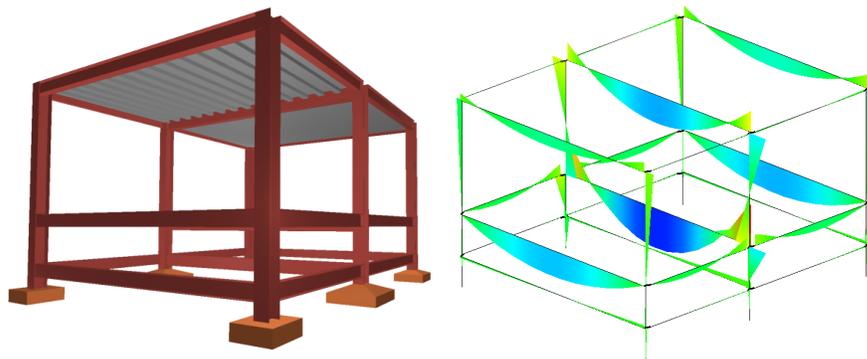
vinculação engastada gerando momento negativos elevados nos nós e cargas de paredes aplicadas nas vigas do térreo (Figura 9).



**Figura 9.** Resultados do estudante 17

**Fonte:** Elaborado pelo estudante 17 (2021)

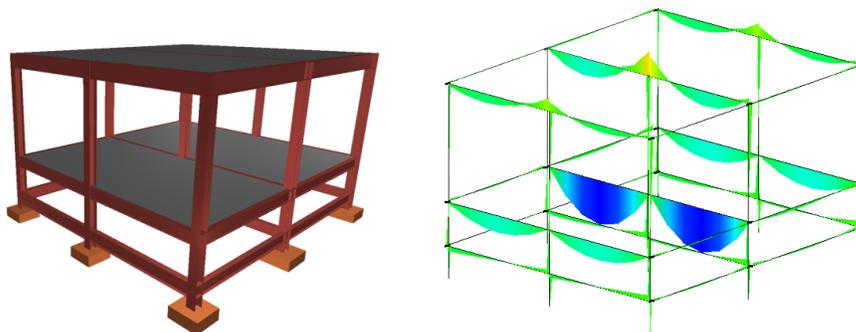
A estudante 7 obteve o maior momento máximo negativo e positivo. Isso ocorreu especialmente na viga central do térreo, devido a um problema de vinculação entre viga e pilares, que estavam lançadas deslocadas em seus eixos centrais, afetando diretamente a rigidez da ligação entre estes dois elementos (Figura 10).



**Figura 10.** Resultados da estudante 7

**Fonte:** Elaborado pela estudante 7 (2021)

A estudante 5 conseguiu diminuir os custos do projeto ao optar pelas soluções de lajes pré-moldadas, com custos inferiores em relação aos demais. Ela também adotou dimensões mínimas nos elementos estruturais e otimizou as dimensões das sapatas devido ao baixo peso da estrutura. Além disso, adotou vinculação variando entre engaste e rótula no térreo e cobertura, exceto nas vigas centrais do térreo que apresentam momento máximo positivo devido às duas rótulas inseridas nestes trechos. A estudante adotou nove pilares no lançamento estrutural e as vigas foram lançadas de forma isolada pela sua materialidade em aço. Essas soluções adotadas pela estudante permitiram chegar a uma configuração estrutural com momentos negativos inferiores aos demais colegas da turma (Figura 11).



**Figura 11.** Resultados da estudante 5

**Fonte:** Elaborado pela estudante 5 (2021)

## PERCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

Antes da realização das atividades práticas, os estudantes responderam ao questionário chamado “Pré-teste”, cujo objetivo foi identificar as percepções prévias em relação ao ensino de estruturas para arquitetura e adoção de BIM no ensino. A formulação das perguntas seguiu o formato adaptado da escala de Likert, no qual se avalia o grau de concordância ou discordância de cada respondente em relação a uma afirmação. A resposta “neutro” foi considerada uma resposta “indiferente” ou “sem opinião”, sendo o “ponto neutro”, equivalente aos casos em que os respondentes deixam a resposta em branco.

Do total de 17 estudantes matriculados na disciplina, 10 responderam ao questionário pré-teste, compreendendo uma amostra de 58,8% dos matriculados na disciplina neste semestre. No questionário pré-teste foi realizado o mapeamento das disciplinas curriculares de estruturas já cursadas pelos estudantes, visando identificar o conhecimento prévio em estruturas. Todos os dez estudantes já cursaram a disciplina introdutória e experimental de estruturas da primeira fase da matriz curricular e somente um não cursou a disciplina introdutória de análise estrutural da segunda fase, mas estava cursando concomitantemente à disciplina optativa. Por se tratar de uma amostra variada, com estudantes ingressantes na graduação desde o semestre 2016/2 até o semestre 2020/1, a maioria não cursou a grade completa de estruturas da matriz curricular. Os resultados encontrados mostram que cinco estudantes indicaram que têm conhecimento intermediário em estruturas, provavelmente por já ter cursado algumas disciplinas de estruturas anteriormente na matriz curricular.

Questionados se sempre realizavam o lançamento e pré-dimensionamento estrutural do projeto arquitetônico em ateliê de projeto, nenhum estudante manifestou acordo pleno com a afirmativa. Ao serem questionados sobre a exigência por parte dos professores para o lançamento e pré-dimensionamento em ateliê de projeto, as respostas indicaram que nem sempre essa atividade é uma exigência dos professores de projeto. Além disso, os respondentes apontaram que as atividades que mais contribuem com a aprendizagem de estruturas são: estudar casos reais de estruturas (9 respostas); realizar experimentação ou canteiros experimentais (9 respostas) e atividades desenvolvidas na aula (8 respostas). Nem todos consideram que o uso de uma ferramenta BIM de estruturas contribui com a aprendizagem, somente 4 estudantes concordaram com esta afirmação. E isso pode ocorrer pelo fato de que este grupo nunca experimentou simulações em estruturas usando tais ferramentas em sala de aula. Observa-se que as atividades desenvolvidas em aula, por meio de exercícios, foram consideradas importantes para a aprendizagem na visão destes estudantes.

Ao serem questionados sobre a adoção de BIM no ensino de estruturas, estes estudantes, na sua maioria, consideraram que BIM pode ajudar a entender estruturas (8 estudantes concordaram), indicaram que há demanda crescente para adoção de BIM nos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo (5 estudantes concordaram e 4 estudantes concordaram parcialmente) e que há necessidade de integrar BIM no ensino de estruturas, para dar suporte ao ateliê de projeto de arquitetura (6 estudantes concordaram e 3 estudantes concordaram parcialmente). Na percepção deste grupo de estudantes, não houve discordância com as afirmações sobre a adoção de BIM no ensino de estruturas.

A disciplina iniciou após a aplicação do questionário Pré-teste com duração de 16 semanas. Após o encerramento da disciplina, todos os estudantes foram convidados a responder o questionário Pós-Teste, mas somente sete estudantes responderam. Neste, todos os sete respondentes concordaram que os fatores que mais influenciaram a aprendizagem de estruturas no decorrer da oficina foram a visualização tridimensional, as aulas síncronas semanais, a detecção automática de erros do projeto indicadas pelo software BIM adotado, a teoria envolvida com a prática e o desenvolvimento de pensamento crítico. Percebe-se que dois

estudantes concordaram que a “aprendizagem colaborativa e decisões compartilhadas pelo grupo” é um fator que contribui com a aprendizagem. Apesar da importância das práticas colaborativas, poucos estudantes indicaram que tais práticas contribuíram com a aprendizagem e isso pode ter ocorrido pela dificuldade em promover estas ações de forma remota, na qual o contato e troca de experiências entre os estudantes (de fases variadas da graduação e que não se conheciam), durante o processo de projeto, ficou prejudicada.

Além disso, todos avaliaram que em relação aos métodos tradicionais, o ensino-aprendizagem de estruturas usando BIM para a concepção estrutural de projetos de arquitetura é mais fácil, e a maioria (6 estudantes) consideraram que é mais rápido, mais preciso e mais detalhado aprender com estes ferramentais. Apesar da realização das aulas de forma remota, devido a pandemia do coronavírus, todos concordaram que a explicação teórica em aula e as atividades desenvolvidas na aula (exercícios práticos) foram considerados como as ações que mais contribuíram com a aprendizagem, evidenciando a importância dos encontros semanais síncronos para explicação do conteúdo teórico pela professora, bem como os exercícios de projeto que foram solucionados conjuntamente nestas oportunidades. Quatro estudantes apontaram que a adoção de ferramentas BIM para projetos estruturais contribuiu para sua aprendizagem de estruturas, indicando que na percepção do próprio estudante, o uso de ferramentas BIM de forma isolada, sem o complemento teórico-conceitual no processo de ensino-aprendizagem, nem sempre se mostra adequado para que adquiram habilidades e competências técnicas almejadas.

Todos os estudantes responderam positivamente às atividades práticas realizadas nesta disciplina, e gostaram do método utilizado para o ensino durante as aulas. Todos concordaram que há uma demanda crescente pela adoção de BIM nos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Seis estudantes concordaram que o modelo de estruturas em BIM facilita o entendimento em comparação com o processo de aprendizagem realizado sem suporte de BIM, que o uso de ferramenta BIM para concepção estrutural ajudou a desenvolver novas habilidades para entendimento de estruturas e que ficou mais fácil detectar problemas no projeto arquitetônico usando BIM. Após a finalização da disciplina, a grande maioria dos respondentes aponta com total ou parcial concordância que há necessidade de integrar BIM no ensino de estruturas, para dar suporte ao ateliê de projeto de arquitetura.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a realização das atividades práticas, os estudantes perceberam a infinidade de soluções possíveis na concepção estrutural nos diferentes módulos da disciplina, bem como o impacto nos resultados da análise estrutural, a partir de alterações nos vínculos estruturais, nas cargas das estruturas, nas dimensões dos elementos e no próprio lançamento e disposição destes no projeto. Os estudantes entenderam como ocorre a relação entre a análise da estrutura e seu lançamento, e visualizaram a concepção estrutural a partir de dois importantes estágios do projeto de estruturas: o lançamento e a análise estrutural. Além disso, realizaram uma estimativa de custo global das soluções estruturais, por meio do software de projeto estrutural, com base em valores padrões disponibilizados pelo fornecedor da ferramenta.

Os estudantes tiveram contato com vários indicadores do projeto de estruturas, que proporcionaram reflexão e visão crítica perante a arquitetura pré-concebida. As interações realizadas entre o modelo de arquitetura e a estrutura, os ajustes realizados nos modelos estruturais para melhorar os resultados de análise, o estudo de três diferentes sistemas estruturais para a mesma arquitetura e uma aproximação dos custos estimados para cada decisão estrutural permitiram aos estudantes desenvolver novos conhecimentos, sendo um deles a maior clareza das incoerências dos lançamentos preliminares. Os estudantes aprenderam a simular o comportamento estrutural pelo lançamento e análise de estruturas,

aplicando conceitos teóricos em projetos estruturais didáticos. Desenvolveram, com isso, competências para integração dos saberes. Dentre as competências desenvolvidas, pode-se destacar também aquelas oriundas do uso de novo instrumental, visto que aprenderam uma nova ferramenta de projeto estrutural que permitiu, por meio do BIM, a integração com o projeto de arquitetura usando arquivos em formato aberto pela interoperabilidade BIM.

Ao final do curso, percebe-se que as atividades práticas dos módulos iniciais permitiram desenvolver as habilidades necessárias para que o estudante pudesse ter autonomia na concepção e análise estrutural dos projetos finais. Duas estudantes conseguiram integrar o conhecimento de estruturas promovido nesta disciplina optativa com os projetos desenvolvidos em ateliê de arquitetura no mesmo semestre, condição bastante almejada pelos estudantes de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, verificado durante o estágio em docência de uma das autoras deste artigo (MATTANA *et al.*, 2021).

A adoção de um modelo BIM com erros também teve valor didático nesta experiência. O modelo arquitetônico utilizado na HIS não seguia uma modulação correta para o projeto de alvenaria estrutural, sendo esse um grande desafio no lançamento da estrutura. A partir deste problema, os estudantes puderam vivenciar o papel do engenheiro de estruturas frente a um projeto não modulado pelo arquiteto e perceberam a importância do projeto arquitetônico modulado corretamente e seu impacto no projeto estrutural. Pela complexidade da solução para a ausência de modulação, este pode ter sido um fator relevante que fez com que nenhum estudante escolhesse o projeto de alvenaria estrutural para a entrega do trabalho final. Por meio das atividades práticas, foi possível observar a importância do tempo extracurricular dedicado aos estudos, pois uma das estudantes que obteve os piores resultados numéricos na proposta estrutural, declarou nos questionários que tinha muitas dificuldades com conteúdos técnicos de estruturas e afirmou que gostaria de ter mais tempo para se dedicar à disciplina. Outros estudantes, que puderam explorar melhor as concepções estruturais, que alteraram as propostas iniciais, que dedicaram tempo extra para investigar outras soluções induzidos pela curiosidade e pelo desafio proposto em encontrar novos e melhores resultados numéricos, obtiveram melhores resultados e modelos com melhores desempenhos estruturais.

Acredita-se que a experiência proporcionou grande contribuição acadêmica aos participantes, por permitir as simulações estruturais, entendimento do comportamento da estrutura com suporte de BIM e impacto das alterações e decisões de projeto nos resultados de análise estrutural e da solução de erros de projeto (muitos deles indicados pela própria ferramenta BIM na ocorrência de desacordo com as Normas Técnicas vigentes). Além disso, as atividades colocaram os estudantes frente à problemas reais, como os desafios para elaboração de projetos estruturais em habitações populares, nas quais o valor venal do imóvel deve ser baixo para que seja competitivo. Apesar deste tipo de habitação não exigir sistemas estruturais sofisticados, alguns estudantes simularam soluções não triviais para estes casos, permitidos nas atividades práticas por se tratar de uma atividade didática de experimentação e simulação. Outro desafio proposto na atividade foi a tentativa de equilibrar a funcionalidade, estética, economia e estabilidade do projeto, que não é tarefa simples dada a diversidade de soluções possíveis, e a influência de cada tomada de decisão no custo global da obra.

A entrega dos trabalhos, que ocorreu em ambiente digital (Moodle ou Google Drive), permitiu que todos os estudantes tivessem acesso às entregas dos colegas, compartilhando suas soluções com a turma. Como contribuição, os estudantes foram desmistificando o projeto estrutural, vivenciando a complexidade das tomadas de decisões e seus impactos diretos nos resultados do projeto e dos custos, além de perceber a infinidade de soluções possíveis para um projeto de estruturas, dando maior conhecimento e segurança para estes estudantes criarem suas soluções estruturais em ateliês de projetos de arquitetura.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à empresa AltoQi pelas licenças acadêmicas disponibilizadas para os estudantes e pelo suporte técnico realizado no decorrer da pesquisa. Também agradecemos aos estudantes participantes e ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como o Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo desta instituição, por apoiarem a pesquisa acadêmica realizada em sala de aula.

## **Referências Bibliográficas**

AGUIAR, Monica; SPENCER, Carlos Eduardo; FAVERO, Marcos. Da ideia à matéria: uma experiência pedagógica para o ensino de estruturas em ateliê de projeto. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 302-221

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. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, 2018. p. 199. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/8231>. Acesso em: 25 fev. 2020.

ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente: estrutura conceitual**. 2012. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012. 436 p f. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258559>. Acesso em: 9 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO, Brasileira de Escolas de Arquitetura. 1º Encontro de professores de estrutura para escolas de arquitetura. *In*: ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1., 1974, São Paulo, SP. **Anais [...]**. São Paulo, SP: FAUUSP, 1974.

MATTANA, L.; SOUZA, J. C.; PFÜTZENREUTER, A.H.; PIMENTA, A. F. P. de S. Interações da tectônica no ensino de projeto de arquitetura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, p. e021008, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8658502>

BALLAROTTI, Cesar; BARDELLA, Paulo Sérgio; CONTANI, Miguel Luiz; GUADANHIM, Sidnei Júnior; BALLAROTTI, Maurício Grade. Integração entre ensino de sistemas estruturais e de projetos arquitetônicos na UEL. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 612-622

BORBA, Isabel Maria de Melo. **Ensino de arquitetura e urbanismo - UTFPR na prática**. 2018. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17012019-145820/pt-br.php>. Acesso em: 9 jun. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* e institui o Comitê Gestor da Estratégia do *Building Information Modelling*. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15). Acesso em: 5 maio 2020.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos

e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação *do Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm). Acesso em: 5 maio 2020.

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. 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](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: 6 maio 2020.

BREMER, Cynara Fiedler; CASTRO, Maria Luiza Almeida Cunha; LIMA, Sofia Araújo; LOURA, Rejane Magiag. Metodologias de ensino voltadas ao ensino de tecnologias construtivas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA*, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 623-635

CAIXETA, Luciano Mendes. **Estudo crítico sobre o uso de ferramentas de modelagens tridimensionais de informações digitais BIM no ensino contemporâneo da arquitetura**. 2013. 175 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/14380>. Acesso em: 26 fev. 2020.

CHING, Francis D. K.; ONOUE, Barry; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas Estruturais Ilustrados: Padrões, Sistemas e Projetos**. [S. l.]: Bookman, 2015.

DI PIETRO, João Eduardo. **O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto e engenheiro**. 2000. Tese (Doutorado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 215 f. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78548> Acesso em 08 ago. 2021

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ENEEEA - ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS EM ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto. **Anais [...]** III ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS EM ESCOLAS DE ARQUITETURA, Ouro Preto: Editora da UFOP, 2017. Autores: Clécio Magalhães do Vale; João Marcos de Almeida Lopes; Maria Luíza Macedo Xavier de Freitas; Rita de Cássia Pereira Saramago; Roberto Eustaáquio dos Santos. 1v. ISBN: 978-85-98601-80-9

GIDUR/VT. Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares. 2006. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Cadernos\\_CAIXA\\_Projeto\\_padr%C3%A3o\\_casas\\_populares.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Cadernos_CAIXA_Projeto_padr%C3%A3o_casas_populares.pdf) Acesso em: 08 ago. 2021

INTERNATIONAL UNION OF ARCHITECTS. Charter UNESCO/UIA for architectural education. 2017. Disponível em: <https://www.uia-architectes.org/webApi/uploads/ressourcefile/178/charter2017en.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2021.

ITO, Armando Luis Yoshio. **Modelo da informação para aquisição de repertório arquitetônico de edifícios da arquitetura precedente**. 2020. 280 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/71119> Acesso em: 08 ago. 2021

KASSEM, Mohamed; SUCCAR, Bilal. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. **Automation in Construction**, v. 81, p. 286–299, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517303205?via%3Dihub> Acesso em 08 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.005>.

LEITE, Maria Amélia Devitte Ferreira D´Azevedo. **A aprendizagem tecnológica do arquiteto**. 2005. 366 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-15092014-145403/pt-br.php> Acesso em 08 ago. 2021

LLOYD, Ana Luísa Lima; SILVA, Maria Beatriz de Castro. Projeto de arquitetura e estrutura autoportante: uma experiência no ensino. *In*: III ENEEEA, 2017. **III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas para Escolas de Arquitetura** [...]. Ouro Preto: [s. n.], 2017.

LOBOSCO, Tales; CAMARA, Débora Carvalho. Desenvolvimento de modelos qualitativos para o ensino de estruturas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 3, p. 167–178, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650263> Acesso em 08 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650263>

LOPES, João Marcos; BOGÉA, Marta; REBELLO, Yopanan. **Arquitetura da Engenharia, ou, Engenharias da Arquitetura**. São Paulo: Mandarim, 2006.

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. 95f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

MENEZES, Alexandre Monteiro de; VIANA, Maria de Lourdes Silva; PEREIRA JUNIOR, Mário Lúcio; PALHARES, Sérgio Ricardo. O ensino integrado e simultâneo de projetos de arquitetura e estrutura. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 441-456

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 Sevilha. Sevilha, 2013. Disponível em: <https://idus.us.es/handle/11441/15939>. Acesso em: 9 jun. 2021.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Simulação estrutural e modelagem de formas arquitetônicas complexas: A interação entre forma e estrutura através de ferramentas digitais**. 2014. 256 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9NCHR8>. Acesso em: 9 jun. 2021.

NAWARI, Nawari O.; KUENSTLE, Michael. **Building information modeling: Framework for structural design**. [S. l.]: CRC Press, 2015.

PIRES, Janice de Freitas; PEREIRA, Alice T. C. Aplicações didáticas em modelagem paramétrica de geometrias complexas da arquitetura contemporânea. **Educação Gráfica**, v. 24, n. 2, p. 06–24, 2020. Disponível em: <http://www.educacaoografica.inf.br/revistas/vol-24-numero-02-2020> Acesso em: 08 ago. 2021

REBELLO, Yopanan. **A concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Ed. Zigurate, 2000.

REBELLO, Yopanan. **Bases para Projeto Estrutural na Arquitetura**. São Paulo: Ed. Zigurate, 2007.

RESENDE, Camila Cavalcanti; VELOSO, Maísa Fernandes Dutra. O ensino da concepção estrutural no ateliê de projeto de edifícios verticais: um estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 16, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.162464>. Acesso em 08 ago. 2021

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, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 1049-1058.

RONCONI, Reginaldo Luiz Nunes. **Inserção do Canteiro Experimental nas faculdades de Arquitetura e Urbanismo**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

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

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, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 996-1010

SARAMAGO, Rita de Cássia Ferreira. **Ensino de estruturas nas escolas de arquitetura do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2011.

SCHÖN, D. A. **The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action**. United States of America: Basic Books, 1983.

SILVOSO, M. M.; CORDEIRO, P.C.; ALBUQUERQUE, R. T. O ato de construir como uma ação integradora de conteúdos no canteiro experimental da FAU/UFRJ. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE ESTRUTURAS PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 3., 2017, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: Editora da UFOP, 2017, p. 141-160

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 2ª edição. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1986.

TRIPP, D. Action research: a methodological introduction\*. **Educação e Pesquisa**, v. 31, p. 443-466, 2005.

UIHLEIN, M. S. Integration insights from the field: Views from architectural practitioners. *In*: STRUCTURES CONGRESS 2014, 2014. STRUCTURES CONGRESS 2014 - **Proceedings [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 46–55. Disponível em: [10.1061/9780784413357.005](https://doi.org/10.1061/9780784413357.005). Acesso em: 3 abr. 2021.

UNAY, A. I.; OZMEN, C. Building structure design as an integral part of architecture: a teaching model for students of architecture. **International Journal of Technology and Design Education**, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10798-005-5241-z>. Acesso em: 8 ago. 2021.

WETZEL, C. Integrating Structures and Design in the First-Year Studio. **Journal of Architectural Education**, v. 66, n. 1, p. 107–114. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10464883.2012.715980>. Acesso em: 8 ago. 2021.