

USO DO MÉTODO EDUCACIONAL COLABORATIVO PARA AEC APOIADO POR MANUFATURA ADITIVA

USE OF THE COLLABORATIVE EDUCATIONAL METHOD FOR AEC SUPPORTED BY ADDITIVE MANUFACTURING

 **Márcio Henrique de Sousa Carboni¹**

 **Sergio Scheer²**

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, mhcarboni@ufpr.br

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, scheer@ufpr.br

Resumo

Inovação tecnológica na indústria da construção civil é tema recorrente. Para tanto, é importante que novas tecnologias sejam exploradas nos centros de capacitação de profissionais da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Entre várias tecnologias com grande potencial disruptivo, a Manufatura Aditiva (Additive Manufacturing - AM) se destaca. Somado a isso, nota-se a necessidade de experiências educacionais mais interdisciplinares durante a graduação, mais próximas da realidade encontrada no mercado de trabalho. Baseado nesse panorama, desenvolveu-se através do Design Science Research o MECA-AM - "Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva", que busca o aprendizado interdisciplinar de alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica através de atividades com abordagem PBL (Project-based Learning ou Aprendizado baseado em projetos) que priorizam o aprendizado colaborativo e utilizam a Manufatura Aditiva como uma ferramenta de estímulo a integração. Neste trabalho, apresentam-se duas experiências de aplicação deste método realizadas em 2021 e 2022, em workshops de 5 semanas, para o ensino da temática "Detalhes Arquitetônicos Construtivos". A percepção dos alunos sobre o curso foi avaliada de maneira objetiva e subjetiva através de questionário aplicado que revelou alto índice de aceitação e avaliação positiva. Também enalteceu a importância de os alunos de Expressão Gráfica participarem de grupos multidisciplinares AEC, uma vez que suas habilidades em modelagem virtual e manuseio de equipamentos de impressão 3D colaboraram para o sucesso das atividades propostas, já que os estudantes de Arquitetura e Engenharia Civil geralmente não possuem exposição quanto a esses conteúdos em seus cursos de graduação atuais.

Palavras-chave: manufatura aditiva, método educacional interdisciplinar, impressão 3d, detalhes arquitetônicos construtivos, ensino colaborativo.

Contribuição dos autores:

MHSC: conceituação, curadoria dos dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projeto, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **SC:** supervisão, escrita - revisão e edição.

Fomento: Não houve fomento

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:

Regina Coeli Ruschel 

Abstract

Technological innovation is a recurring theme in the construction industry. As such, new technologies must be explored in education centers for Architecture, Engineering and Construction (AEC) professionals. Among several technologies with great disruptive potential, additive manufacturing (AM) stands out. In addition, there is a need for more interdisciplinary educational experiences at the undergraduate level, closer to the reality of the labor market. Based on this background and through Design Science Research, the MECA-AM (Collaborative Educational Method for AEC supported by the use of Additive Manufacturing) was developed. It aims to encourage students' interdisciplinary learning in Architecture and Urbanism, Civil Engineering, and Graphic Expression through activities with a PBL (Project-based Learning) approach, prioritizing collaborative learning and using Additive Manufacturing to stimulate integration. In this work, we present two experiences of applying this method, carried out in 2021 and 2022, in 5-week workshops for teaching the subject "Constructive Architectural Details". The student's perception of the course was evaluated objectively and subjectively through a questionnaire, which revealed a high rate of application, showing a high acceptance and positive evaluation. It also highlighted the importance of the participation of Graphic Expression students in AEC multidisciplinary groups was also praised, since their skills in virtual modeling and handling 3D printing equipment contributed to the success of the proposed activities since Architecture and Civil Engineering students usually do not have any exposure to these contents in their current undergraduate courses.

Keywords: additive manufacturing, interdisciplinary educational method, 3d printing, constructive architectural details, collaborative teaching.

How to cite this article:

CARBONI, Márcio Henrique de Sousa; SCHEER, Sérgio. Uso do método educacional colaborativo para AEC apoiado por manufatura aditiva. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 15, p. e024008, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8673747>

Submitted 15.06.2023 – Approved 04.03.2024 – Published 14.06.2024

e024008-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 15, p. e024008, 2024, ISSN 1980-6809



Introdução

A Indústria da Construção Civil notoriamente é um setor importante na economia do Brasil. Em 2019, o setor detinha 7,31% da população ocupada do país. Em 2021, após sofrer quedas devido à pandemia do COVID-19, representava 2,6% do PIB (VABpb – Valor Adicionado Bruto) brasileiro, porém teve um acréscimo de 9,7%, após ter retraído no ano anterior 6,4%, enquanto o PIB brasileiro cresceu 4,6% (CBIC, 2022).

Mesmo que autores apontem atrasos na adoção de tecnologias e queda no nível de produtividade na Construção Civil, se comparada com outras indústrias, (Oliveira; Fabricio, 2011; Eastman; Teicholz; Sacks; Liston., 2011; NIST, 2016; Wu; Zhao; Baller; Wang, 2018), várias ações são notadas para o avanço e fortalecimento do setor.

Um exemplo a ser citado foi a iniciativa do Governo Federal brasileiro que lançou em 2019 a Estratégia Nacional para a Disseminação do BIM - Building Information Modeling (Brasil, 2019). O programa busca promover um ambiente apropriado para investimento em tecnologia da Construção Civil, principalmente no BIM, mas também nas demais tecnologias relacionadas a Indústria 4.0, fomentando a modernização da indústria. Como desdobramento, o Ministério da Economia lançou em 2022 o Projeto Construa Brasil (Brasil, 2022), que dentre as várias metas estabelecidas, há a submeta 7.2 que prevê a instalação de Células BIM em Instituição de Ensino Superior (IES), visando estimular a aplicação de novas tecnologias nos cursos de graduação.

A Manufatura Aditiva (AM – Additive Manufacturing), ou também conhecida como impressão 3D, é uma dessas tecnologias que podem auxiliar no desenvolvimento do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Consiste no processo de fabricação de modelos, a partir de dados de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que são fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (Monteiro, 2015; Go; Hart, 2016; Haavi; Tvenge; Martinsen, 2018; Stern; Rosenthal; Dresler; Ashkenazi, 2019).

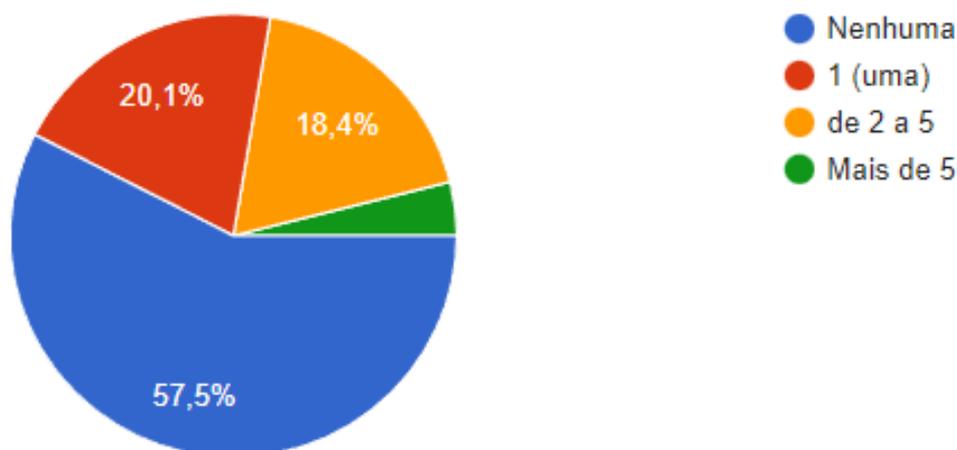
Ela pode ser inserida de maneira parcial ou integral no processo de projeto-construção da arquitetura, uma vez que pode atuar nas mais diferentes etapas, desde a concepção formal arquitetônica até a construção de moldes para elementos construtivos, ou até mesmo na confecção de elementos prontos para serem inseridos na obra. Porém, no Brasil, o uso da AM como técnica construtiva é incipiente. Por isso, é necessário que seja abordada e inserida nos centros de ensino superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalharem com elas (Martins; Pereira Filho, 2019).

No processo ensino-aprendizagem, já se percebeu o suporte e os benefícios que a utilização da impressão 3D pode proporcionar às mais diferentes áreas como: artes, matemática, engenharia, *design*, arqueologia e patrimônio histórico, astronomia, arquitetura e urbanismo, medicina e anatomia, entre outros (Kolitsky, 2014; Vaccarezza; Papa, 2015; Fukuda; Tokuhara; Yabuki, 2016; Chiu *et al.*, 2016; Huleihil, 2017; Ludwig; Nagel; Lewis, 2017).

Entretanto, Carboni e Scheer (2021) apontam que o tema não é consolidado dentro da academia brasileira na área de AEC. Em busca realizada em 2019 no portal de Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, apenas 3,8% dos trabalhos de mestrado e doutorado com o tema Manufatura Aditiva, ou impressão 3D, estão dentro da área de conhecimento da Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo.

Além disso, em um levantamento realizado pelos autores deste trabalho, durante o segundo semestre de 2020 e primeiro de 2021, com 181 alunos e professores de cursos de graduação da AEC de todo o Brasil, verificou-se que 57,5% dos respondentes não tinham acesso a impressoras 3D em seus cursos (Figura 1).

Figura 1 – Quantas impressoras 3D seu curso/departamento possui?



Fonte: os autores.

Para que haja uma transformação na construção civil, é necessário que sejam criados currículos mais alinhados com as necessidades educacionais da sociedade do século XXI, que envolvam, além da capacitação técnica e tecnológica, o ensino interdisciplinar com colaboração entre diferentes áreas, o protagonismo do aluno em sua formação e maior proximidade da academia com o mercado de trabalho.

Baseado nesse panorama, os autores deste trabalho desenvolveram o “Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva” ou MECA-AM (Carboni *et al.*, 2023). O método busca o aprendizado interdisciplinar de alunos de Arquitetura e Urbanismo (AU), Engenharia Civil (EC) e Expressão Gráfica (EG) através de atividades com abordagem PBL (Project-based Learning, ou Aprendizado baseado em projetos) que priorizam o aprendizado colaborativo e utilizam a Manufatura Aditiva como uma ferramenta de estímulo à integração.

Neste trabalho, a partir de duas experiências de aplicação deste método, realizadas no segundo semestre de 2021 e no primeiro semestre de 2022, é feita uma avaliação quantitativa e qualitativa da percepção dos participantes sobre o método. As experiências se deram em *workshops* de 5 semanas, para os quais foram convidados alunos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil de diversas universidades de Curitiba (Paraná) e alunos do curso de Expressão Gráfica da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

O método

O Método Educacional (MECA-AM) utilizado nos *workshops* (Figura 2) (Carboni; Scheer; Ito *et al.*, 2023) é resultado dos trabalhos de pesquisa relativos à tese de doutorado intitulada “Manufatura Aditiva na integração de estudantes de AEC durante a graduação”. Utilizou-se uma abordagem de Design Science Research (DSR) para produzir o “artefato” – Método. Entretanto, durante a formulação deste artefato e sua avaliação, novos artefatos foram gerados. Além do método, onde estão estabelecidos os passos a serem seguidos, a estrutura conceitual desenvolvida pode ser considerada um modelo da DSR, pois representam os componentes do método. Após a formulação do método, ele foi aplicado nos *workshops* expostos neste trabalho e, neste caso, foi gerado um terceiro artefato caracterizado como instanciação, ou método instanciado, pois é a aplicação do método no ambiente para qual foi projetado. Outros métodos de pesquisa, como revisão sistemática da literatura, pesquisa-ação e levantamentos, foram

utilizados durante as fases da DSR de conscientização do problema e sugestão de propostas até a concepção do artefato. O método de pesquisa utilizado – Design Science Research – é detalhado no Apêndice A deste artigo.

Figura 2 – Estrutura do Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva



Fonte: os autores.

O método busca o aprendizado interdisciplinar de estudante de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, baseando-se no conceito de interdisciplinaridade de Gatto *et al.* (2015), que é caracterizado por ter um objeto em comum a ser pesquisado e estudado ao mesmo tempo por diferentes especialistas em estreita cooperação, com constante troca de informações, e que compartilham os mesmos objetivos.

A partir disso, ele é estruturado em cinco campos: 1) Buscar a motivação dos alunos e condições necessárias para que seja um método de sucesso; 2) Utilizar ferramentas educacionais adequadas com o foco no aprendizado ativo dos estudantes; 3) Utilizar o ensino híbrido, mesclando o ensino à distância e aulas em laboratório para prática; 4) Utilizar o ensino de Manufatura Aditiva de maneira ativa e passiva, de acordo com o público (curso de graduação); 5) Seguir sete etapas no desenvolvimento das atividades.

Cada um dos campos é explicado no Apêndice B deste artigo.

Workshops

Organização para viabilização

Inicialmente, pretendia-se integrar alunos dos três cursos (Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Porém, como não há a previsão no planejamento pedagógico dos cursos, não foi viável realizar esta experiência vinculando disciplinas obrigatórias de cada curso. Também, ao tentar operacionalizar a experiência através de disciplinas optativas, os autores se depararam com mais uma dificuldade: viabilizar uma disciplina optativa de cada curso com a mesma carga-horária e mesmo horário.

Avaliadas as possibilidades, decidiu-se realizar *workshops* como uma atividade de extensão optativa para os alunos de AU e EC (não necessariamente da UFPR), juntamente com uma disciplina obrigatória do curso de Expressão Gráfica (CEG228 – Prototipagem I), onde os autores possuíam maior influência de decisão.

Dessa forma, o convite não se restringiu a alunos de uma universidade. O evento foi divulgado através de redes sociais, palestras e rede de contatos para alunos de AU e EC de diversas universidades da cidade de Curitiba/PR.

Além disso, durante o planejamento das atividades, o mundo se deparou com a pandemia do COVID-19, o que alterou significativamente todo o setor educacional brasileiro, especialmente do setor público. Dessa forma, só foi possível a realização dos *workshops* no segundo semestre de 2021, ainda com restrições quanto a aglomerações, e no primeiro semestre de 2022, quando a UFPR ainda buscava regularizar seu calendário e disciplinas ofertadas.

Em 2021, participaram 28 alunos (5 de EC, 5 de AU e 18 de EG). Em 2022, foram 17 alunos (4 de EC, 1 de AU, 1 de *Design* de Produto e 11 de EG), sendo que, neste ano, estendeu-se o convite para os demais alunos de Expressão Gráfica, não necessariamente apenas os que estavam matriculados na disciplina obrigatória.

As equipes criadas variaram entre 4 e 7 alunos, sendo que cada uma possuía ao menos um aluno de Engenharia Civil ou Arquitetura. Na oferta de 2022, como o convite foi estendido para todos os alunos do Curso de Expressão Gráfica, buscou-se mesclar alunos mais avançados com alunos mais iniciantes, além dos alunos de EC e AU.

Definição do objeto de estudo

A primeira etapa para aplicação do método é a definição de um objeto ou tema em comum que será estudado pelos alunos de diferentes cursos de graduação. Recomendamos que seja um tema que possa explorar diferentes óticas pelos diferentes alunos, mas que convirja para uma aplicação prática, ou seja, possa gerar a discussão de desafios a serem solucionados através de projetos de criação (abordagem PBL).

Durante a formulação do método, alguns temas foram levantados e testados como: BIM e sistemas estruturais (Carboni; Scheer, 2023).

O BIM já preconiza a colaboração, entretanto, os currículos de graduação brasileiros ainda necessitam de uma etapa anterior para a aplicação efetiva do BIM. Necessitam estimular a colaboração durante a graduação dos diferentes profissionais. Como exemplo, no levantamento, já mencionado, realizado com 181 alunos e professores de cursos de graduação da AEC de todo o Brasil, 63% dos respondentes afirmaram que não há algum tipo de integração com alunos de outros cursos.

Já o tema “sistemas estruturais” foi utilizado durante a fase de sugestão de soluções para o desenvolvimento do método (Carboni; Scheer, 2023). Segundo Nóbrega e

Nóbrega (2020), é pacífica a importância do tema nos cursos de Engenharia Civil, mas o foco se fixa sobre atividades de cálculo. Dessa forma, os alunos enfrentam dificuldades na etapa da concepção estrutural, que exige habilidades intuitivas e criativas. Já nos cursos de Arquitetura, o ensino de estruturas ainda é tema de grandes discussões sobre abordagens e aprimoramentos, mesmo que a concepção estrutural seja de fundamental importância para a concepção arquitetônica. Já para o curso de Expressão Gráfica o tema não é abordado especificamente. Porém, ele permite diversas abordagens que envolvem conhecimentos relativos a essa área do conhecimento, tanto do ponto de vista de representação, como do ponto de vista técnico relativo aos procedimentos de cálculo, análise e dimensionamento estrutural.

Tendo em vista o tempo que seria utilizado para os *workshops*, onde não se pretendia resolver as deficiências do ensino do tema acima exposto, buscou-se um recorte mais adequado. Ele deveria ser importante para o entendimento de sistemas construtivos e ao mesmo tempo permitisse relação com o conceito BIM, uma vez que se acredita que é necessário conhecer como as edificações são construídas para que se trabalhe bem com BIM.

Sendo assim, o tema central escolhido foi “detalhes arquitetônicos construtivos”. É uma pequena parte do todo, mas eles caracterizam e definem uma construção inteira. Como Weber (1991) diz: “de fato, detalhes são arquitetura em seu menor tamanho”.

A conexão entre diferentes materiais leva a vários problemas que precisam ser resolvidos pelos projetistas. É comum na academia uma abordagem ao tema apenas através de desenhos bidimensionais, uma representação abstrata. Mas, os estudantes precisam, primeiramente, entender a função de cada elemento tridimensional e seu contexto. Trabalhando com modelos físicos impressos em 3D, os alunos podem simular como se constrói, entender a relação entre os elementos e visualizá-los espacialmente.

Nóbrega e Nóbrega (2020, p. 189) ainda reforçam que “o modelo físico experimental é o recurso mais debatido e recomendado em seminários, encontros, palestras e trabalhos publicados sobre o ensino das disciplinas da área de estruturas”. Eles permitem a visualização real dos fenômenos, demonstrando conceitos de forma intuitiva, fidedigna e palpável. Isso nos dá mais confiança de que unir tais conceitos com a Manufatura Aditiva seja uma estratégia adequada para a colaboração entre os diferentes cursos já expostos.

Organização das atividades

No contexto dos momentos da pandemia sendo vivenciados, foram organizadas e realizadas as atividades como aqui descrito.

Foram realizados dois *workshops*, um no segundo semestre de 2021 e outro no primeiro semestre de 2022. Eles foram concebidos com uma duração de cinco semanas que totalizaram uma carga-horária de 20 horas, divididas em dois dias por semana.

As atividades foram realizadas seguindo o modelo pedagógico das sete etapas e dividindo as aulas de maneira híbrida. Dividiu-se as aulas em: *on-line* síncronas (OS), utilizando o Microsoft Teams; aulas presenciais (P) ocorridas no LAMPi (Laboratório de Modelagem, Prototipagem e Inovação) do Departamento de Expressão Gráfica da UFPR; EAD assíncronas (EA), onde os alunos deveriam ter contato com videoaulas gravadas e materiais de apoio disponibilizados na UFPR Virtual (ambiente digital de ensino a distância); e aulas livres (L), onde os alunos teriam à disposição o laboratório para se organizarem em suas equipes, para desenvolver o trabalho e realizar suas impressões 3D. O cronograma do *workshop* é apresentado no Quadro 1.

Na primeira aula, o principal objetivo era ganhar a atenção dos estudantes. Para tanto, buscando ativar a motivação acadêmica através dos componentes utilidade, interesse e cuidado de Jones (2009), apresentou-se o contexto da experiência, quais eram os objetivos esperados, e foi convidado um professor arquiteto e urbanista para realizar uma palestra¹ sobre detalhes construtivos e sua importância na arquitetura. Além disso, uma outra apresentação² sobre detalhes construtivos e a importância dos modelos 3D para o entendimento da construção foi disponibilizada.

Quadro 1 – Cronograma dos workshops. OS - On-line síncrona. P – Presencial. EA – EAD assíncrona. L – Livre

Semana	Tipo	AULA 1	Tipo	AULA 2
1	OS	Introdução - Aula expositiva sobre Detalhes Arquitetônicos Construtivos	OS	Conceitos básicos Impressão 3D - Aula expositiva sobre os principais conceitos sobre impressão 3D, vantagens e limitações.
2	OS	Seleção detalhes - Alunos deverão selecionar ao menos 3 detalhes construtivos buscando entender os componentes, funções, uniões.	P	Escolha detalhes – Equipes apresentam seus detalhes aos professores e deverão decidir qual detalhe irão realizar.
3	EA	Aulas EAD gravadas - 1) Interoperabilidade entre <i>software</i> de modelagem BIM (REVIT) e exportação de modelos em STL para impressão 3D. 2) Configuração básicas para impressão 3D em <i>software</i> de fatiamento de modelo STL e planejamento de impressão 3D	P	Apresentação preliminar dos modelos virtuais – Alunos apresentam aos professores e monitores para validação da construtibilidade.
4	L	Desenvolvimento e impressão 3D	L	Desenvolvimento e impressão 3D
5	L	Desenvolvimento e impressão 3D	P	APRESENTAÇÕES – Apresentação dos modelos finalizados a toda turma e discussão dos resultados.

Fonte: os autores.

Na sequência, como a impressão 3D ainda é pouco familiar aos alunos de AU e EC, realizou-se aula expositiva³ sobre o conceito e princípios básicos da Manufatura Aditiva, além das vantagens e limitações. Para os alunos de Expressão Gráfica, este era um momento de recuperarem o aprendizado prévio.

Posteriormente, os alunos já divididos em grupos, deveriam selecionar alguns materiais de detalhamentos construtivos, que pudessem ser base para modelagem e prototipagem. Após apresentá-los aos professores, deveriam fornecer argumentos para direcionar dúvidas e apresentar onde estariam as maiores dificuldades para cada escolha. Dessa forma, os alunos possuiriam embasamento e autonomia na escolha do desafio que o grupo enfrentaria.

Durante o curso, foram fornecidos materiais de apoio para auxiliar os alunos no desenvolvimento das atividades propostas de acordo com as necessidades. Foram disponibilizadas aulas gravadas sobre interoperabilidade entre *softwares* de modelagem BIM e de exportação para impressão 3D⁴, além de configurações básicas de fatiamento de peças 3D e planejamento de impressão⁵. Também se disponibilizou uma apostila com os 40 principais erros na impressão 3D, possíveis causas e soluções. Com ela, alunos poderiam prever possíveis problemas que geralmente ocorrem pela falta de experiência com a operação de impressoras 3D, adiantando-se para evitá-los. Esses materiais que podem ser revisitados a qualquer momento, dão segurança aos alunos mostrando que serão capazes de resolver o desafio proposto (obterão sucesso) e que há cuidado com seu aprendizado por parte dos professores.

¹ Disponível em: <https://youtu.be/eGOHnqczVzo?t=1056>

² Disponível em: <https://youtu.be/tBBgKvolPtc>

³ Disponível em: <https://youtu.be/sPWB1cMFDCI>

⁴ Disponível em: <https://youtu.be/x1jehungQJA>

⁵ Disponível em: <https://youtu.be/w50l3Yz1ckY>

Em uma aula presencial, as equipes puderam apresentar seus modelos preliminares aos professores, para que eles assessorassem com as dificuldades e pudessem avaliar a solução com o foco na construtibilidade das peças em uma impressora 3D FDM (disponível no laboratório).

Como parte das atividades pretendidas, após refletirem sobre suas soluções, os alunos puderam realizar alterações e, na sequência, com auxílio de um técnico responsável pelo laboratório, ou monitores, planejaram e executaram suas impressões 3D. Nesta etapa, o apoio de técnicos ou monitores foi de fundamental importância. Primeiro, por terem mais experiência, puderam prevenir os alunos de cometerem erros básicos. E, como as impressões demoram inúmeras horas para serem finalizadas, cuidaram de todo processo, garantindo a otimização de funcionamento dos equipamentos do laboratório. Dessa forma, os alunos participaram do planejamento da impressão, seu início e, depois, apenas buscaram as peças para finalização da montagem.

E, por fim, em uma última aula presencial, cada equipe apresentou para todos os seus modelos. Neste momento, o professor atuou como um mediador das discussões, instigando os alunos a refletirem e comentarem todos os trabalhos. Ele deve atentar para os pontos principais e diferentes soluções exploradas por cada equipe, e buscar a opinião dos alunos sobre quais foram as maiores dificuldades encontradas e quais foram as lições aprendidas.

Resultados e discussão

Durante os *workshops* os alunos se mostraram muito interessados e curiosos a respeito da impressão 3D. A afirmação de Carboni e Scheer (2021) de que a AM desperta maior interesse dos alunos, se mostrou verdadeira. Percebeu-se que o desejo de conhecer mais sobre o tema e de ter a oportunidade de experiência prática foi a motivação inicial para a inscrição dos alunos de Engenharia Civil, Arquitetura e os de Expressão Gráfica convidados.

Por outro lado, inicialmente percebeu-se certa apreensão dos alunos com a necessidade de trabalhar em equipes com alunos que não eram conhecidos, principalmente sendo de outros cursos. Para tranquilizá-los, a apresentação dos trabalhos realizados no ano anterior foi importante. Na primeira oferta, como não havia experiência anterior, apresentou-se os resultados de outras experiências semelhantes já realizadas entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura e Urbanismo (Carboni; Scheer, 2023). O fundamental é passar segurança de que serão capazes de atingir os objetivos e, ao apresentar referências semelhantes onde os alunos se reconheçam, eles se sentirão mais confiantes.

Solicitou-se aos alunos que escolhessem detalhes arquitetônicos construtivos de sistemas estruturais que tivessem uma complexidade considerável, normalmente sistemas com estruturas metálicas ou de madeira e com fechamentos em painéis, como *steelframe* e *woodframe*. Isto, por dois motivos: para estudarem sistemas não tão convencionais no Brasil e por terem mais elementos a serem representados e suas funções compreendidas.

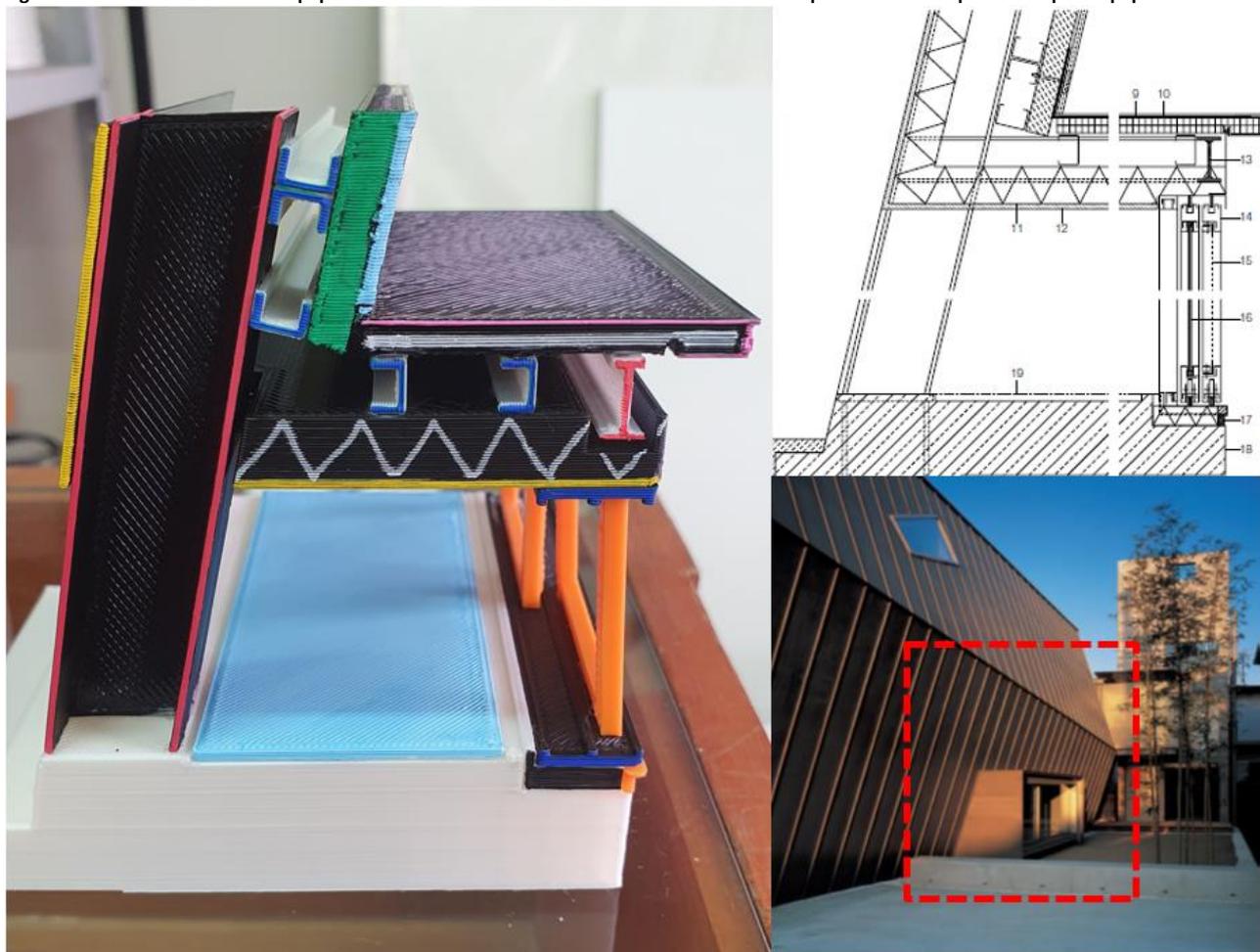
A Figura 3 mostra o detalhe escolhido por uma das equipes de 2021 e o resultado alcançado.

No decorrer do desenvolvimento das atividades, percebeu-se duas etapas que se destacaram como marcos importantes do trabalho e que necessitaram ser observadas de maneira mais próxima às equipes pelos professores: 1) discussão e entendimento dos detalhes; 2) modelagem virtual da solução.

Depois das equipes estudarem os detalhes escolhidos, tentando entender a função dos componentes arquitetônico, os professores se reuniram com cada equipe para que explicassem sua compreensão. Neste momento, a experiência do professor auxiliou os alunos. O foco da discussão com os alunos era, principalmente, sobre a função e a ordem estrutural de cada elemento. Ou seja, qual a ordem de construção ou fixação das partes, qual o caminho de distribuição de cargas, quais elementos tinham função estrutural, de fechamento, de isolamento ou de fixação.

A partir deste momento, os alunos começaram a criar a abstração mental espacial de cada elemento. Para a construção virtual, eles deveriam entender espacialmente a edificação a partir do material que dispunham. Em sua maioria eram apenas cortes bidimensionais. Em alguns casos possuíam fotos e plantas. Isso se mostrou determinante no segundo momento de atenção: o de modelagem virtual.

Figura 3 – Trabalho de uma das equipes de 2021. À direita as referências selecionadas e à esquerda o modelo produzido pela equipe



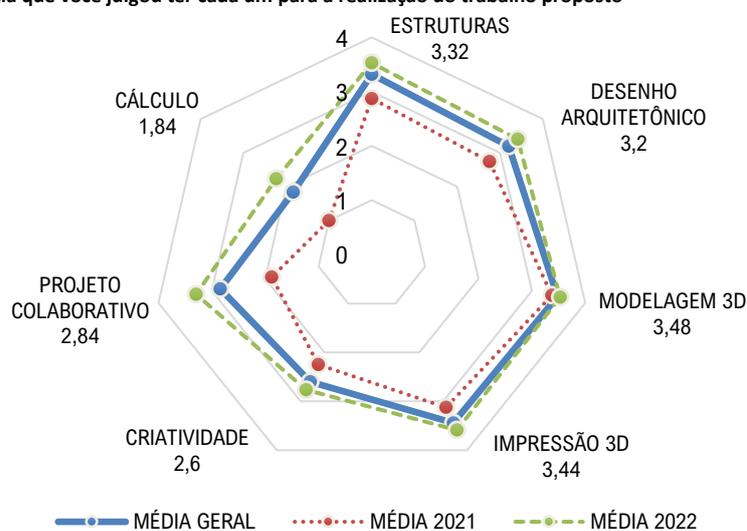
Fonte: os autores.

Nesta etapa, principalmente os alunos de Expressão Gráfica, e alguns de Arquitetura, assumiram a responsabilidade, por já terem alguma experiência em modelagem virtual tridimensional. Entretanto, percebeu-se que essa habilidade deveria ter sido um requisito mínimo exigido para a participação dos alunos de EG. Isso porque aqueles que se encontravam nos primeiros períodos da graduação, e não tiveram treinamento com softwares de modelagem, pouco puderam auxiliar suas equipes. Em alguns casos, notou-se uma sobrecarga de trabalho nos alunos mais avançados. Em outros, isso acabou atrasando as equipes e tornando-se um entrave no avanço do exercício.

Essa percepção é corroborada pela opinião dos próprios alunos. Após o final do exercício eles foram convidados a dar notas de 0 a 4 de acordo com a importância que julgaram ter sete conceitos/habilidades para a realização do trabalho proposto (Figura 4). A maior média, ou seja, maior importância ($M=3,48$) foi para o conceito “modelagem 3D”. Maior, até mesmo, que o conceito “impressão 3D” ($M=3,44$), que era o foco principal do *workshop*.

Esse resultado é coerente ao se pensar que sem a modelagem virtual 3D não é possível gerar qualquer impressão 3D. Dessa forma, para próximos *workshops*, acredita-se que seja necessário, no início, identificar o nível de habilidade de cada participante em modelagem 3D para que haja uma distribuição equilibrada entre as equipes. Ou então, exigir um nível mínimo de conhecimento em algum *software* de modelagem 3D aos participantes, como já mencionado.

Figura 4 - Após ter realizado o trabalho, entre os conteúdos, conceitos e habilidades listadas abaixo, dê notas de 0 a 4 de acordo com a importância que você julgou ter cada um para a realização do trabalho proposto



Fonte: os autores.

Os alunos se depararam com outros dois desafios. O primeiro foi a definição da escala do modelo. E o segundo, a aplicação do conceito de DFM (Design for Manufacturing) na modelagem, ou seja, limitações e regras de *design* de elementos para cada técnica de AM com o foco na construtibilidade das peças através da impressão 3D.

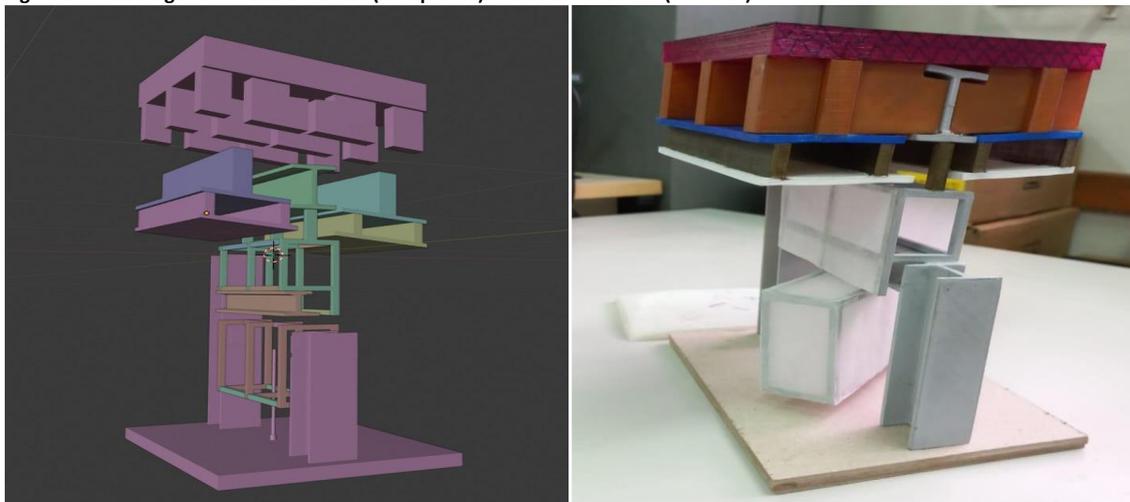
Os alunos tiveram bastante dificuldade na conversão da escala do modelo. Alguns estimaram as medidas dos elementos no detalhe bidimensional e já os modelaram tridimensionalmente com as dimensões finais que seriam impressos. Outros modelaram em verdadeira grandeza e depois aplicaram um fator de escala no modelo 3D para atingir o tamanho desejado de impressão. O problema enfrentado por ambos os grupos foi a conversão de unidades, ou seja, a exigência de que o modelo final tivesse suas medidas em milímetros, pois os *softwares* de impressão 3D trabalham com esse padrão, sendo que a unidade normalmente trabalhada em arquitetura é em centímetros.

Somado a isso, as equipes tinham que avaliar o tamanho total do modelo e de suas partes para comparar com as dimensões máximas de impressão de cada impressora 3D do laboratório, e as dimensões mínimas dos detalhes que seriam impressas de cada peça. Dessa forma, os professores buscaram auxiliar as equipes na confirmação de atendimento a essas questões.

Durante o processo de modelagem (Figura 5), os professores também discutiram com as equipes como pensavam em imprimir seus modelos e depois montarem e fixarem suas peças. Essa discussão foi importante para que os alunos já pensassem na modelagem com o foco na fabricação dos elementos (Design for Manufacturing). Por exemplo, quando possível serem impressos juntos, elementos já eram modelados conectados.

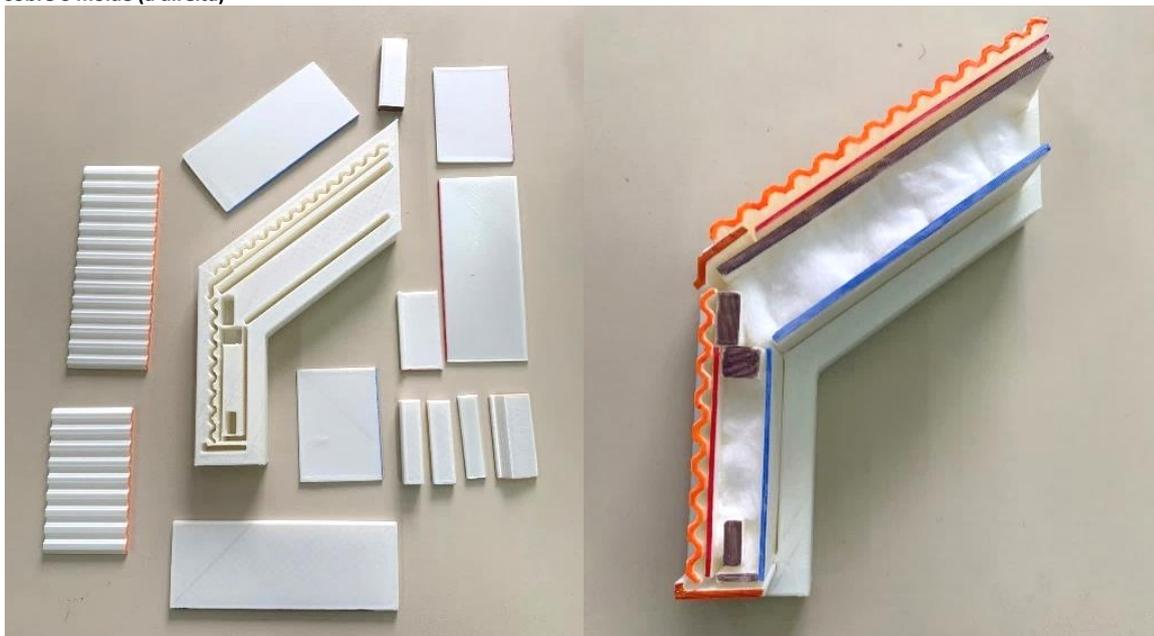
Neste momento, algumas equipes perceberam a agilidade que a Manufatura Aditiva dá ao processo de concepção, pois fizeram vários testes de pequenas partes para testar encaixes e fixações. Por exemplo, uma equipe que pensou em um modelo mais didático, onde as peças eram encaixadas em um molde. Para isso, fizeram vários testes para mensurar qual seria a tolerância adequada para que as peças se encaixassem no molde de maneira fácil, mas que mantivessem cada elemento fixo em seu lugar (Figura 6).

Figura 5 – Modelagem 3D dos elementos (à esquerda). Modelo físico final (à direita)



Fonte: os autores.

Figura 6 – Equipe desenvolveu um modelo onde cada elemento é encaixado em um molde. Modelo desmontado (à esquerda) e modelo montado sobre o molde (à direita)



Fonte: os autores.

Questionário de experiência do curso

Para avaliar a percepção dos alunos sobre a experiência obtida do *workshop*, aplicou-se um questionário aos participantes após o término das atividades. Este foi dividido em duas partes, uma com afirmações para avaliar o grau de concordância dos alunos através de uma escala de Likert, e outra com perguntas de respostas abertas.

Avaliação objetiva

Para a primeira parte, adaptou-se o questionário utilizado por Corbacho *et al.* (2021) que utiliza questões originalmente formuladas por Griffin, Coates, Mcinnis e James (2003) para avaliar a percepções dos alunos sobre a qualidade do ensino superior. O questionário original é intitulado Student Course Experience Questionnaire (SCEQ), e avalia vários aspectos, incluindo Bom Ensino, Objetivos e Padrões Claros, Avaliação Apropriada, Carga de Trabalho Apropriada e Habilidades Genéricas. Ao todo são avaliadas nove dimensões nesta adaptação do SCEQ.

Foram selecionadas 36 afirmações para as quais solicitou-se que os alunos respondessem qual era seu grau de concordância em uma escala de cinco pontos (de 0 a 4), onde 0 seria “discordo totalmente” e 4 “concordo totalmente”. Para a avaliação das respostas, algumas das afirmações foram consideradas mais de uma vez em categorias de avaliação diferentes. E o questionário foi respondido por 25 estudantes (de um total de 49) que cursaram os *workshops*.

Além das nove dimensões avaliadas, buscou-se relacionar as afirmações às cinco categorias do Modelo de Motivação Acadêmica MUSIC, desenvolvido por Jones (2009), a fim de obter resultados para fortalecer o método educacional desenvolvido. Essa organização pode ser verificada no Quadro 2.

Para validar a consistência interna desse questionário, utilizou-se o coeficiente alfa de Cronbach (Cronbach, 1951). O teste alfa de Cronbach é utilizado para verificar se pesquisas de escala Likert com várias perguntas são confiáveis. Ele mede a correlação entre as respostas dadas pelos respondentes, apresentando uma correlação média entre as perguntas. O coeficiente α é calculado a partir da variância dos itens individuais e da variância da soma dos itens de cada avaliador de todos os itens de um questionário que utilizem a mesma escala de medição.

Gaspar e Shimoya (2009), afirmam que para utilizar o alfa de Cronbach, o questionário deve estar dividido e agrupado em dimensões que buscam avaliar diferentes aspectos. Para isso, foram calculados os alfas de cada categoria da avaliação do SCEQ, além do alfa total do questionário (Quadro 2).

Os valores de alfa variam entre 0 e 1 e consideram-se como aceitáveis valores acima de 0,7. A consistência interna dos itens do questionário é considerada baixa para valores abaixo desse limite. “Por outro lado, o valor máximo esperado para o alfa é 0,9, uma vez que valores maiores podem significar presença de redundância ou duplicação, o que pode significar que vários itens estão medindo exatamente o mesmo elemento de um constructo” (Gaspar; Shimoya, 2009, p. 3).

Em todos os nove aspectos considerados, o alfa de Cronbach foi superior ou igual a 0,7. Exceção feita à categoria “objetivos claros e padrões”, que obteve o valor de 0,6. Dessa forma, essa dimensão não pode ser avaliada isoladamente. O alfa do questionário como um todo obteve um valor de 0,9, o que indica uma confiabilidade muito alta no instrumento.

Quadro 2 – Questionário aplicado sobre a experiência dos alunos

Afirmações do questionário		Média individual	Categorias Motivação Acadêmica MUSIC	Categorias de avaliação do SCEQ (Média categoria)	Alfa de Cronbach			
1.	Como resultado do curso, me sinto confiante em lidar com problemas desconhecidos	2,84	1. Autonomia (eMpowerment)	Autonomia pessoal e intelectual (M=3,05)	0,9			
2.	O curso estimulou meu entusiasmo para seguir aprendendo	3,20						
3.	O curso me ajudou a desenvolver habilidade em resolução de problemas	3,04						
4.	O curso me ajudou a desenvolver a habilidade de planejamento de meu trabalho	3,08						
5.	O curso me ajudou a desenvolver minha capacidade de investigação	2,84						
6.	O curso estimulou meu desenvolvimento de perspectivas éticas, sociais e profissionais relevantes	2,96						
7.	O curso me incentivou a ser ativo na busca do aprendizado	3,32						
8.	As atividades do curso ajudaram a desenvolver-me como pessoa	3,24						
9.	O curso promoveu minha independência pessoal e intelectual.	2,96						
10.	O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de trabalho em equipe	3,00				2. Utilidade (Usefulness)	Trabalho em equipe (M=2,88)	0,8
11.	Aprendi a ter confiança ao expor ideias com outras pessoas*	2,56						
12.	Me senti parte de um grupo de estudantes e docentes comprometidos a aprender**	3,08	3. Sucesso (Success)	Avaliação (M=0,81)	0,8			
13.	A equipe docente parecia mais interessada em examinar o que eu havia memorizado no lugar do que eu havia aprendido	0,92						
14.	Em geral, o retorno sobre meu trabalho foi dado apenas em forma de notas	0,60						
15.	A equipe docente apenas me fazia perguntas sobre os resultados	0,84						
16.	Para ter êxito neste curso tudo o que se necessita é uma boa memória	0,88		Carga de trabalho (M=1,83)		0,7		
17.	Houve muita pressão sobre mim como estudante durante este curso	1,76						
18.	A quantidade de trabalho foi muito pesada	1,88						
19.	O volume de trabalho que o curso implicou significou que nem todo conteúdo pudesse ser compreendido	1,84						
20.	Em geral tive uma clara ideia de onde eu ia e o que se esperava de mim durante o curso	2,32					Objetivos claros e padrões (M=2,52)	0,6
21.	Foi fácil saber o nível de trabalho que se esperava	2,32						
22.	A equipe docente deixou claro desde o princípio o que se esperava dos estudantes	2,92	4. Interesse (Interest)	Habilidades gerais (M=2,98)	0,7			
23.	O curso afiou minhas habilidades analíticas	2,88						
24.	O curso melhorou minhas habilidades de comunicação	2,76						
25.	O curso desenvolveu minha habilidade de usar comunicação oral, escrito e/ou visual	2,96		Interesse (M=3,60)		0,9		
26.	O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de usar informações de maneira efetiva	3,32						
27.	A equipe docente trabalhou duro para fazer o tema interessante***	3,68						
28.	Achei o curso intelectualmente estimulante	3,52	5. Cuidado (Caring)	Cuidado com a comunidade de aprendizado (M=3,04)	0,9			
29.	Me senti parte de um grupo de estudantes e docentes comprometidos a aprender**	3,08						
30.	As ideias e sugestões dos estudantes foram ouvidas durante o curso	3,28						
31.	Senti que pertencia a comunidade de alunos e professores	3,36						
32.	Fui capaz de explorar meus interesses acadêmicos com os professores e alunos	2,92		Cuidado com o ensino (M=3,58)		0,7		
33.	Aprendi a ter confiança ao expor ideias com outras pessoas*	2,56						
34.	O(s) docente(s) me deram retorno útil sobre como ia meu andamento	3,68						
35.	O(s) docente(s) do curso me motivaram a dar o melhor de mim no trabalho	3,52						
36.	A equipe docente se esforçou para entender as dificuldades que se enfrentavam no trabalho	3,64						
37.	A equipe docente foi extremamente boa em explicar coisas	3,40						
38.	A equipe docente trabalhou duro para fazer o tema interessante***	3,68	TOTAL		0,9			

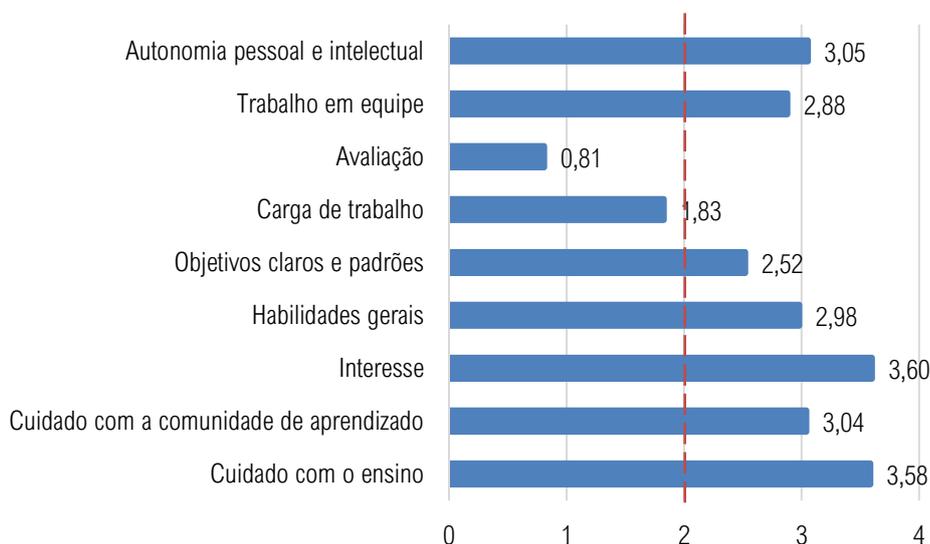
Fonte: os autores.

Observando a média obtida das respostas dos alunos (Figura 7), nota-se um alto nível de êxito no atendimento das expectativas pretendidas para os *workshops*. Em todas as categorias obtiveram-se resultados considerados positivos, ou seja, acima ou abaixo da mediana (2,00), dependendo da forma que as afirmações se apresentavam.

Por exemplo, para as categorias “avaliação” e “carga de trabalho”, esperava-se respostas abaixo da mediana, ou seja, que os alunos discordassem das afirmações como “A quantidade de trabalho foi muito pesada” e “Em geral, o retorno sobre meu trabalho foi dado apenas em forma de notas”. Nas demais categorias, esperava-se que os alunos concordassem com as afirmações, ou seja, que se obtivesse médias acima de 2,00.

Dentre as categorias, o “cuidado com o ensino” e o “interesse” se apresentaram com um alto nível de percepção positiva dos alunos. Pode-se afirmar que os alunos acharam o curso intelectualmente interessante e concordam que os docentes: os motivaram a dar o melhor de si no trabalho, se esforçaram para entender as dificuldades enfrentadas pelos alunos durante o trabalho, foram extremamente bons nas explicações e trabalharam arduamente para fazer do tema interessante.

Figura 7 – Média das respostas obtidas por categoria do SCEQ



Fonte: os autores.

Na categoria “avaliação”, esperava-se que os alunos discordassem das afirmações feitas no questionário e esse objetivo também foi alcançado. Pode-se afirmar que os alunos perceberam que o objetivo dos docentes era aprendizado significativo dos alunos, e não apenas a memorização de conceitos, ou obtenção de notas. O processo de todo desenvolvimento era muito mais importante do que o resultado dos modelos desenvolvidos, e os alunos tiveram essa percepção.

Apenas a categoria “carga de trabalho” ficou próxima da mediana, mas ainda dentro do esperado, ou seja, abaixo de 2,00. Comparativamente com os demais resultados, nota-se que é um ponto a ser revisto na concepção do curso.

Realmente o *workshop* foi bastante condensado em tempo, tendo em vista todo conteúdo trabalhado e exigiu bastante dedicação dos alunos para o desenvolvimento das atividades. Entretanto, os alunos conseguiram entregar satisfatoriamente o que foi proposto. Dessa forma, deve-se investigar a possibilidade de ampliação da duração do curso, porém, ressalva-se que há a possibilidade de que se disponibilizar mais tempo faça com que os alunos percam o envolvimento com a atividade, como sugere a

afirmação de um dos alunos de EG extraída das questões abertas do questionário (ver subseção seguinte “avaliação subjetiva”):

- “A sugestão seria aumentar o curso em mais uma ou duas semanas. Mas do jeito que foi, foi excelente, talvez se o curso fosse mais extenso, os estudantes de outras graduações, que não a de expressão gráfica, acabassem perdendo o ritmo”.

Avaliação subjetiva

Na segunda parte do questionário, propôs-se questões abertas (Quadro 3) na busca de se avaliar nuances que talvez não fossem observadas através das respostas objetivas.

Sobre as expectativas dos alunos, das 25 respostas, 22 indicaram que as expectativas iniciais foram atendidas ou superadas. Alguns dos comentários dos alunos foram:

- “Foi um dos trabalhos mais legais que já fiz durante o curso”;
- “O *workshop* foi além das expectativas. Apesar da curta duração, muito conteúdo foi repassado, sinto que aprendi novas habilidades e lembrei diversas coisas que tinha esquecido ao longo do curso de graduação”.

Para as pessoas que não tiveram as expectativas atendidas o principal motivo se deu pela má experiência com o grupo de trabalho, ocorrida pela falta de comunicação entre participantes. Algumas afirmações feitas foram:

- “Não houve interdisciplinaridade como era a proposta”;
- “Não houve comunicação com os membros da equipe”.

Quadro 3 – Questões abertas do questionário realizado após os *workshops*

Questões abertas	
1.	O <i>workshop</i> atendeu as suas expectativas iniciais? Caso a resposta seja negativa, explique o motivo.
2.	Você achou a experiência de trabalho interdisciplinar válida? Quais os benefícios na sua formação isso trouxe?
3.	Houve alguma divisão de trabalho ou papéis dentro do grupo? Explique brevemente.
4.	Você aprendeu algo com os alunos de outros cursos de graduação que não o seu? Explique.
5.	Os conteúdos expostos pelos professores e a forma de apresentação/trabalho (palestras, aulas gravadas, aulas síncronas <i>on-line</i> , encontros no laboratório para desenvolvimento etc.) foram suficientes para o trabalho? Você mudaria algo para um próximo curso?
6.	Quais as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho?
7.	Qual foi a importância da impressão 3D neste trabalho? Ela foi importante para algo além de gerar modelos físico com bom acabamento e precisão?
8.	Você tem algum comentário ou sugestão a ser feita? Sua colaboração é extremamente importante!

Fonte: os autores.

A segunda questão indagou sobre a validade do trabalho interdisciplinar para a formação dos alunos. Novamente, quase a totalidade das respostas foi positiva. As que não foram, se motivaram por não ter ocorrido uma real integração entre os alunos dos diferentes cursos no grupo. Mesmo assim, alguns alunos que não conseguiram uma boa relação com o grupo perceberam a validade da experiência, como apresentado na afirmação de um aluno de Expressão Gráfica:

- “Achei válida, mesmo que não tenha acontecido de forma efetiva [...] acredito que a experiência interdisciplinar se faz extremamente necessária num projeto deste, visto que precisamos entender corretamente como funcionam as estruturas para que o modelo final funcione bem e seja capaz de ser compreendido por terceiros”.

Outros benefícios citados foram: a aquisição de conhecimentos que não são trabalhados em seus cursos por falta de tempo, melhor compreensão espacial de

projetos arquitetônicos e estruturais, melhoria na habilidade de comunicação, aumento da rede de contatos, aprendizado sobre outras áreas do conhecimento e compreensão da importância da colaboração para alcançar um objetivo comum.

Sobre a divisão de responsabilidades e tarefas dentro das equipes, percebeu-se que, de forma geral, os alunos de expressão gráfica se sentiram um pouco mais sobrecarregados do que os alunos de engenharia civil e arquitetura. Isso porque eram as pessoas que melhor entendiam de modelagem e impressão 3D. Os alunos de EG, normalmente, lideraram as atividades de modelagem, enquanto os alunos de arquitetura e engenharia civil acompanharam a equipe buscando explicar a função dos elementos construtivos e funcionamento dos sistemas estruturais.

Em alguns casos, em grupos em que houve uma boa interação e integração dos alunos, houve a participação de todos os integrantes do grupo em todas as etapas. Um estudante de arquitetura descreveu o funcionamento de sua equipe:

- “Na etapa inicial, todos ajudaram a escolher o modelo, depois os estudantes de arquitetura e engenharia civil foram em busca de explicar os detalhes e elementos do corte; na etapa de modelagem eletrônica, todos participaram da confecção através do *software* SketchUp e, além disso, todos pensaram como seria feita a impressão, fazendo simulações através do *software* Cura; na etapa seguinte, da impressão 3D, o estudante de expressão gráfica acabou por tomar frente. Para os retoques finais, antes da entrega do modelo, todos contribuíram”.

Quando perguntados se aprenderam algo com os alunos dos outros cursos, ficou mais evidenciado que o aprendizado interdisciplinar foi mais explícito para os alunos de Arquitetura e de Engenharia Civil do que os de Expressão Gráfica. Os alunos de EG citaram aprendizados sobre termos arquitetônicos e da engenharia civil, sanaram dúvidas específicas sobre a função de elementos construtivos e leitura de um detalhe construtivo. Por exemplo:

- “[...] uma das alunas de arquitetura me auxiliou explicando e mostrando através de imagens como funcionavam algumas das estruturas que para mim eram abstratas no detalhamento”.

Já os alunos de AU e EC comentaram sobre o entendimento e a importância de cada área do conhecimento e sobre aprendizado em modelagem e impressão 3D:

- “[...] Aprendi quais são os enfoques de cada curso, portanto entendi como nossos cursos se complementam [...]. Portanto, algo que eu sabia superficialmente, outro soube explicar melhor, sanando as minhas dúvidas”.
- “[...] Aprendi muito sobre a parte da modelagem e impressão 3D, que, apesar de existir no curso de engenharia civil, é visto de uma forma menos prática, com ênfase em projetos de planta 2D”.

Na questão seguinte, foi perguntado se os conteúdos disponibilizados pelos professores foram suficientes para o desenvolvimento do trabalho e se havia alguma sugestão de melhoria. A maioria se demonstrou satisfeita. As aulas gravadas foram apontadas como de boa qualidade e de fácil compreensão, e foi citado que a aula inicial com a palestra do professor convidado foi uma das melhores que já assistiu.

Com relação a melhorias sugeridas, não se identificou melhorias quanto ao conteúdo em si. Houve três citações sobre haver pré-requisito em “modelagem” para a admissão dos alunos e duas citações sobre disponibilizar mais tempo para a atividade.

Na sequência, buscou-se entender quais foram as maiores dificuldades enfrentadas pelos alunos. Os temas mais relevantes foram:

- Modelagem virtual – 10 citações
- Conciliação de tempo entre os alunos – 6 citações.
- Comunicação entre os integrantes da equipe – 3 citações.
- Ajuste da escala do objeto para impressão 3D – 2 citações
- Falta de clareza no objetivo da atividade – 2 citações
- Falta de tempo – 1 citação
- Compreensão do detalhe arquitetônico – 1 citação.

Fica claro que a grande dificuldade enfrentada foi a modelagem virtual dos elementos construtivos e se relaciona com a sugestão feita na questão anterior, quando alguns alunos sugeriram a definição de pré-requisitos em modelagem para a participação de alunos.

Outro ponto de atenção foi a dificuldade de conciliação de tempo entre os membros da equipe. Como tratava-se de alunos de diferentes cursos e diferentes instituições de ensino, realmente não havia um controle sobre a disponibilidade de tempo dos alunos.

Essas questões serão abordadas na sequência, nas conclusões deste trabalho.

Por fim, buscou-se entender qual foi a percepção dos alunos sobre a importância da utilização da Manufatura Aditiva para o desenvolvimento da atividade, para além de gerar modelos precisos e com boa qualidade. Foram citadas vantagens como a agilidade para fazer testes rápidos e específicos e, principalmente, a possibilidade de evidenciar os elementos, o que facilitou a visualização espacial e o entendimento dos detalhes construtivos. Destacam-se algumas citações:

- “A impressão 3D possibilitou fixar os conhecimentos apreendidos durante o *workshop*. Criou certa empolgação e entusiasmo no grupo, pois uma característica de vários cursos é algo, muitas das vezes, não sair do papel ou, nos dias atuais, do computador. Portanto criar algo físico, é muito estimulante. E o processo de criá-lo, se torna tão divertido quanto desafiador, pois os erros seriam mais facilmente percebidos. Concluo ainda, que tanto o processo de materialização do modelo ajuda a fixar as informações, quanto quem nunca viu modelo e o vê pela primeira vez, consegue assimilar melhor as informações e a nomenclatura dos elementos, no caso (arquitetônicos)”.
- “Além do bom acabamento e precisão, desenvolvemos nossa capacidade de criatividade e expandimos nossas ideias a ponto de querer gerar mais impressões de modelos e formatos diferentes”.
- “Foi apenas quando eu vi o detalhe impresso que entendi sobre o que se tratava, a visualização de como as peças se encaixam e qual a função de cada uma ficou muito mais clara”.

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho demonstrou a aplicação do “Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva – MECA-AM” (Carboni; Scheer; Ito, 2023) em duas experiências de *workshops* realizados com alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica. Ainda que haja experiências

semelhantes na literatura, não se identificou nenhum método organizado, que pudesse ser replicado e com foco específico na área de AEC.

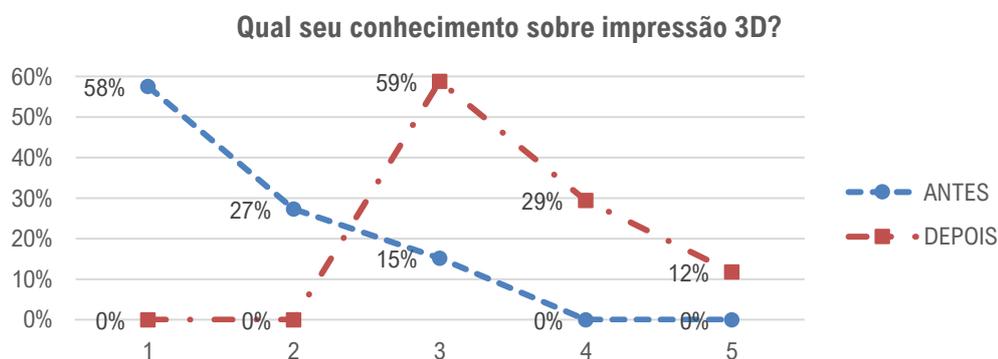
Portanto, o objetivo desse trabalho foi mostrar a validade do artefato através da percepção dos próprios alunos sobre a experiência vivenciada. E segundo os resultados, pode-se afirmar que o Método é válido por sistematizar em atividades acadêmicas (a) uma maneira de integrar diferentes atores da AEC, (b) incluir a Manufatura Aditiva como uma ferramenta educacional e de projeto, (c) elevar a motivação acadêmica dos alunos, e (d) facilitar a transferência de conhecimento em grupos multidisciplinares, que conta com a participação de um novo profissional, que é o bacharel em Expressão Gráfica.

De maneira geral, com base nos questionários aplicados e na percepção dos autores obtida pela observação pessoal das experiências, notou-se uma aceitação e avaliação bastante positiva por parte dos alunos. Houve animação dos alunos de AU e EC e valorização dos alunos de EG, que ainda buscam inserção e reconhecimento no mercado, por ser um curso único no Brasil, recente (criado em 2012) e ainda pouco conhecido.

A Manufatura Aditiva foi um fator que estimulou a participação e a interação de alunos de diferentes cursos. Também mostrou a importância de os alunos de Expressão Gráfica participarem de grupos multidisciplinares AEC, uma vez que suas habilidades em modelagem virtual e manuseio de equipamentos de impressão 3D colaboraram para o sucesso das atividades propostas, já que os estudantes de AU e EC geralmente não possuem exposição quanto a esses conteúdos em seus cursos de graduação atuais. Sem a participação e colaboração desses alunos, o uso da Manufatura Aditiva provavelmente seria menos proveitoso e talvez um fator complicador, que geraria mais fricção em sua adoção.

Pode-se afirmar que, mesmo com uma atividade de curta duração (apenas 5 semanas), os alunos conseguiram adquirir conhecimento e experiência em Manufatura Aditiva. Perguntou-se aos participantes, em dois questionários, um antes do início do *workshop* e outro ao final, qual era seu grau de conhecimento sobre impressão 3D, a partir de uma escala de 1 a 5, onde 1 seria nenhum conhecimento e 5 muito conhecimento. Nota-se na Figura 8 que houve um nítido incremento, no qual a maioria dos alunos migrou de nenhum conhecimento (escala 1) para um nível intermediário (escala 3).

Figura 8 – Autopercepção dos alunos de seu conhecimento sobre impressão 3D antes e depois do *workshop*



Fonte: os autores.

É evidente que dificuldades foram enfrentadas e cabe apontar situações que podem ser melhoradas.

O primeiro ponto relevante é a dificuldade na organização e logística da integração de alunos de diferentes cursos. Os próprios alunos apontaram a dificuldade de conciliação

de tempo entre os membros da equipe. Como tratavam-se de alunos de diferentes cursos e diferentes instituições de ensino, realmente não se tinha um controle sobre a disponibilidade de tempo dos alunos.

Seria ideal que houvesse um acordo institucionalizado entre os três cursos de graduação de uma mesma universidade, para que a atividade fosse parte de uma disciplina obrigatória em comum. Entretanto, isto depende de muito fatores, como mudança de currículos dos cursos de graduação, aprovação em inúmeras instâncias administrativas nas instituições de ensino, acordos entre coordenações de curso, disponibilização de grades horárias integradas para que haja coincidência de horários entre os cursos, entre outros. Do ponto de vista administrativo e burocrático, isto acaba se tornando praticamente inviável.

Por este motivo que se optou por criar um curso de extensão, onde alunos dos três cursos possam ser convidados a participar. Dessa forma, o sucesso depende da atuação dos professores envolvidos e do comprometimento dos alunos interessados.

Mesmo assim, essa foi uma das fraquezas identificadas: a falta de comprometimento por parte de alguns alunos, mesmo buscando formatar o curso seguindo os elementos de motivação acadêmica apresentados no método proposto.

Outro ponto identificado como uma falha, foi o fato de não haver pré-requisito para a inscrição dos alunos. Por esse motivo, muitos alunos do início do curso de Expressão Gráfica participaram e, apesar de todos os grupos terem conseguido realizar a atividade, percebeu-se que a modelagem, que é etapa fundamental para a impressão 3D, gerou tensão entre os alunos e atrasou o cronograma proposto, reduzindo o tempo que dispunham para realizar a confecção dos modelos físicos. Acredita-se que para novas experiências seja importante a implantação de um pré-requisito mínimo de conhecimento em modelagem virtual.

Não se pretende encerrar aqui as discussões sobre o método desenvolvido, e sim incentivar que novas experiências sejam realizadas buscando seguir o MECA-AM, Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva, e as sete etapas apresentadas. Sugere-se, principalmente, que sejam testados outros “objetos de estudo em comum” além do utilizado: Detalhes Arquitetônicos Construtivos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ao Departamento de Expressão Gráfica da UFPR, aos alunos participantes e aos professores Isabella de Souza Sierra e Cervantes Aires Filho que colaboram no desenvolvimento das atividades. Esta pesquisa foi aprovada pelo CEP da Universidade Federal do Paraná em 30 de junho de 2021, CAAE número 46994121.0.0000.0102.

Referências

CARBONELL, J. **Pedagogias do século XXI - bases para a inovação educativa**. 3º ed. Porto Alegre: Penso, 2016.

CARBONI, M. H. DE S.; SCHEER, S. Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC. Simpósio Brasileiro De Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção, 3. **Anais...** . p.1–14, 2021. Uberlândia: ANTAC. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/567>. Acesso em: 3/8/2021.

CARBONI, M. H. S.; SCHEER, S. A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 18, n. 1, p. 195–218, ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.201918>

CARBONI, M. H. S.; SCHEER, S.; ITO, A. L. Y. Proposal of a Collaborative Teaching Method for AEC Supported by Additive Manufacturing Use. In: S. Skatulla; H. Beushausen (ed.). **Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering**: ICCBE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. Cham: Springer, 2023. v. 358, p. 197–213. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-32515-1_14.

CHIU, P. H. P.; LAI, K. W. C.; FAN, T. K. F.; CHENG, S. H. A pedagogical model for introducing 3D printing technology in a freshman level course based on a classic instructional design theory. Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE. **Anais...** . v. 2014, p.1–6, 2015. IEEE.

CORBACHO, A. M.; MININI, L.; PEREYRA, M.; et al. Interdisciplinary higher education with a focus on academic motivation and teamwork diversity. **International Journal of Educational Research Open**, v. 2–2, n. June, p. 100062, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100062>>. Acesso em: 25/11/2021.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of test. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297–334, 1951.

ELMÔR FILHO, G.; SAUER, L. Z.; ALMEIDA, N. N. DE; VILLAS-BOAS, V. **Uma nova sala de aula é possível: Aprendizagem ativa na educação em engenharia**. 1º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

FORD, S.; MINSHALL, T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 131–150, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>>. Acesso em: 29/3/2020.

GAGNE, R. **The Conditions of Learning**. 4. ed. New York: Rinehart & Winston, 1985.

GASPAR, I. DE A.; SHIMOYA, A. Avaliação de confiabilidade de uma pesquisa utilizando o coeficiente alfa de cronbach. **Simpósio de Engenharia de Produção**, p. 1–7, 2009. Disponível em: <https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/ISAAC_DE_ABREU_GASPAR_2_-_email.pdf>. Acesso em: 17/7/2022.

GATTO, A.; BASSOLI, E.; DENTI, L.; IULIANO, L.; MINETOLA, P. Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering. (D. Eujin Pei, Org.) **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 598–603, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0134>>. Acesso em: 3/2/2020.

GRIFFIN, P.; COATES, H.; MCINNIS, C.; JAMES, R. The Development of an Extended Course Experience Questionnaire. **Quality in Higher Education**, v. 9, n. 3, p. 259–266, 2003.

JONES, B. D. Motivating students to engage in learning: the MUSIC model of academic motivation. **International Journal of Teaching and Learning in Higher Education**, v. 21, n. 2, p. 272–285, 2009. Disponível em: <<https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ899315.pdf>>. Acesso em: 27/6/2021.

NÓBREGA, P. G. B. DA; NÓBREGA, S. H. S. DA. Engenheiro civil X arquiteto: conflito no aprendizado das estruturas. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, n. 1, p. 183–191, 2020. Disponível em: <<http://revista.educacao.ws/REVISTA/INDEX.PHP/ABENGE/ARTICLE/VIEW/1623>>. Acesso em: 27/4/2021.

STERN, A.; ROSENTHAL, Y.; DRESLER, N.; ASHKENAZI, D. Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. **Additive Manufacturing**, v. 27, n. March, p. 503–514, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>>. Acesso em: 16/3/2020.

WEBER, P. D. **Beyond Bolts : architectural details, construction, meaning**, 1991. Boulder, Colorado: University of Colorado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1721.1/70861>>. Acesso em: 5/7/2022.

WOODS, M.; ROSENBERG, M. Educational Tools: Thinking Outside the Box. **Clin J Am Soc Nephrol**, v. 11(3), p. 518–526, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4791817/>>. Acesso em: 5/7/2022.

YOKAICHIYA, D. K.; GALEMBECK, E.; BRAGA, D. B.; TORRES, B. B. Aprendizagem Colaborativa no Ensino a Distância - Análise da Distância Transacional. Congresso Internacional de Educação a Distância, 11. **Anais...** . p.1–11, 2004. Salvador: ABED. Disponível em: <<http://www.abed.org.br/congresso2004/por/pdf/041-TC-B2.pdf>>. Acesso em: 25/5/2019.

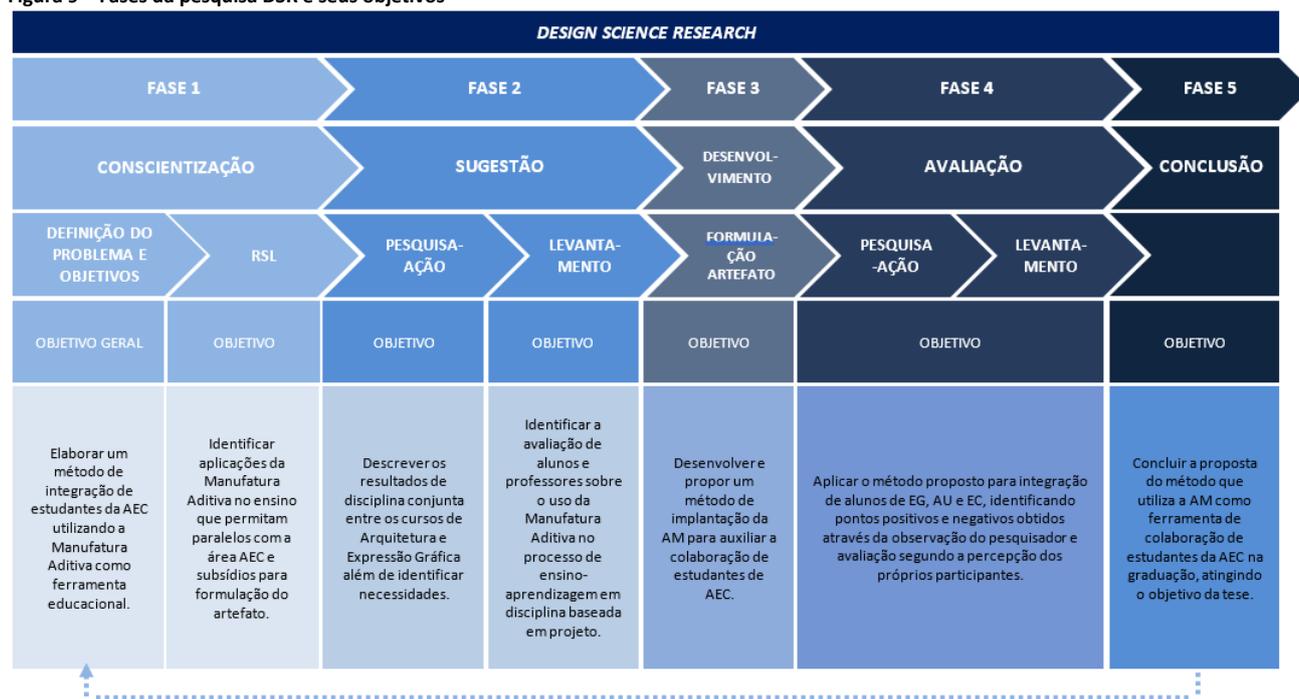
Apêndice A – Detalhamento do método de pesquisa utilizado: DSR

Esta pesquisa adota, fundamentalmente, uma abordagem conhecida como Design Science Research (DSR) e é realizada a partir de métodos variados de coleta de dados. Cada um foi utilizado com objetivos próprios a fim de colaborar com dados para responder as indagações feitas sobre o tema.

Cada método utilizado está relacionado com uma etapa da DSR que foi estruturada em cinco fases distintas (Figura 9), conforme sugerido por Lacerda, Dresch, Proença e Antunes Júnior (2013). Na primeira fase, a de conscientização, buscou-se definir o problema de pesquisa e objetivos da tese, bem como construir a base do conhecimento necessária para se atingir o objetivo principal do trabalho, utilizando principalmente Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Na segunda, a fase de sugestão, utilizou-se duas iniciativas: Pesquisa-ação e Levantamento (Survey), para iniciar o processo de resolução dos problemas identificados e consolidar a contextualização e o entendimento do problema. Na fase 3 (desenvolvimento) formulou-se o artefato pretendido (o método) e na fase 4, novamente utilizando Pesquisa-ação e Levantamento, ele foi aplicado e avaliado. E então, na última fase (fase 5), apresenta-se as conclusões da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

O artigo apresentado detalha especificamente a fase 4 da pesquisa, na qual se aplica o método desenvolvido.

Figura 9 – Fases da pesquisa DSR e seus objetivos



Fonte: os autores.

Apêndice B – Detalhamento do método MECA-AM

A Figura 10 apresenta o Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva – MECA-AM e seus elementos serão detalhados a seguir.

Figura 10 – Estrutura do Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva



Fonte: os autores.

Motivação acadêmica

Para este método é necessário um ambiente focado no aluno que o induza a um papel ativo no seu aprendizado. Um ambiente de aprendizado ativo deve ser um espaço comum onde alunos e professores estão cognitivamente ativos para participar de atividades de reflexão, interação, colaboração e cooperação (Elmôr Filho; Sauer; Almeida; Villas-Boas, 2019). E para tanto, é necessário não só o comprometimento dos alunos, mas também dos professores.

Para buscar amplificar a motivação dos alunos, o método tem como referência o Modelo de Motivação Acadêmica MUSIC, desenvolvido por Jones (2009). Ele se baseia em cinco componentes que devem ser considerados na elaboração de cursos e dão origem ao acrônimo MUSIC (em inglês). São eles: 1) Autonomia (*eMpowerment*); 2) Utilidade (*Usefulness*); 3) Sucesso (*Success*); 4) Interesse (*Interest*); e 5) Cuidado (*Caring*).

De maneira resumida, é importante que os alunos acreditem que possuem algum controle sobre algum aspecto do seu aprendizado (autonomia). Eles precisam entender por que as atividades serão úteis e importantes para sua educação e, posteriormente, na vida profissional (utilidade). Devem projetar que seus esforços terão valor para seu

futuro profissional e pessoal (sucesso), e para isso recomenda-se que os objetivos e critérios de avaliação do curso sejam claros. Os temas e atividades devem ser interessantes aos alunos (interesse), para isso, recomenda-se o desenvolvimento de atividades práticas, e se apoiar nos demais componentes do método MUSIC para promover o interesse individual de cada aluno. E, por fim, os alunos precisam sentir que os professores se importam com seu aprendizado e que querem impactar positivamente suas vidas (cuidado). O comportamento do professor é determinante. É importante que escute as ideias e opiniões dos estudantes, devote seu tempo para auxiliá-los e mostre interesse e preocupação em suas vidas pessoais e profissionais.

Desenvolver um curso considerando esses componentes possivelmente fará com que os alunos trabalhem mais motivados, comprometidos, sejam mais persistentes e mais resilientes em face a dificuldades no decorrer das atividades propostas.

Ferramentas educacionais para o aprendizado ativo

Ferramentas educacionais incluem tudo aquilo que possa ajudar no processo de ensino-aprendizagem. Especialmente as abordagens de aprendizado ativo demandam uma variedade de ferramentas para garantir o processo (Woods; Rosenberg, 2016).

O Método aplicado se baseia em três ferramentas educacionais: Aprendizado baseado em projetos (Project-based Learning - PBL), Ensino Colaborativo e Manufatura Aditiva.

Através de abordagens PBL, os alunos são tutorados a desenvolver conhecimento respondendo questões, problemas e desafios do mundo real. Isso permite que os alunos cresçam individualmente e coletivamente na sua experiência de aprendizado, através da construção de significados que geram reflexões (Stern; Rosenthal; Dresler, Ashkenazi, 2019; Carbonell, 2016).

De forma complementar à abordagem PBL, o Ensino Colaborativo é um método de aprendizagem onde alunos trabalham juntos, em pequenos grupos, na busca de objetivos em comum (Yokaichiya; Galembeck; Braga; Torres, 2004). Os alunos de diferentes cursos, com visões diferentes sobre um mesmo tema, podem ensinar a seus pares conceitos de forma eficiente enquanto trabalham na resolução de um problema definido. Nesse contexto, os alunos de Expressão Gráfica inseridos no contexto da AEC são importantes para que, possuindo maior conhecimento sobre tecnologias digitais (como Manufatura Aditiva), possam auxiliar os alunos de Arquitetura e Engenharia Civil, inclusive ensinando os conceitos importantes para *design* e fabricação de elementos físicos.

E a Manufatura Aditiva possui um papel especial na educação. Ela oferece ganhos no processo de ensino-aprendizagem como: gerar maior interesse dos alunos, permitir a compreensão de conceitos abstratos, estimular a construção de conhecimento centrado no aluno e de forma colaborativa, e possibilitar a integração interdisciplinar (Carboni; Scheer, 2021).

Ensino passivo/ativo de AM

Além do objetivo principal de integrar alunos da AEC, neste método proposto busca-se maior familiaridade e capacitação dos alunos com a Manufatura Aditiva. Seu ensino pode ser realidade de duas maneiras distintas: o ensino passivo e o ativo (Ford; Minshall, 2019).

Incorporar a AM de forma passiva em um curso significa utilizá-la como ferramenta de suporte para o aprendizado de outros temas. Isto faz sentido para a cursos como Arquitetura e Engenharia Civil, uma vez que o objetivo principal não é a operação de equipamentos de fabricação digital, mas sim capacitar profissionais que entendam a

tecnologia e possam tirar proveito dela para a solução de problemas (Carboni; Scheer, 2021).

Entretanto, umas das barreiras para a efetiva adoção da AM no ensino ainda é a falta de familiaridade com a tecnologia (Gatto *et al.*, 2015), tanto de alunos como de professores. Isso reforça a ideia de incluir futuros profissionais mais experientes e focados em AM em grupos multidisciplinares de AEC, como é o caso do aluno de Expressão Gráfica com outros alunos dos cursos de AEC. Para estes alunos de EG é importante o método de ensino ativo de AM durante as atividades, onde haverá um foco explícito no ensino sobre impressão 3D, tanto nos fundamentos básicos de operação e de *design* voltado para AM, como em ganhar experiência prática na utilização de equipamentos.

Ensino híbrido

Como o ensino de AM é apenas parte da proposta de atividade para integração de alunos da AEC, e como é comum haver limitação bastante reduzida de tempo para o desenvolvimento de atividades nos currículos brasileiros, utilizou-se a estratégia de educação híbrida. Além disso, o período atravessado de pandemia do COVID-19 reforçou a necessidade de se adotar esta abordagem.

Conteúdos teóricos e mais introdutórios sobre Manufatura Aditiva (como fundamentos sobre AM, princípios básicos de operação de impressoras 3D, e *design for manufacturing* - DFM) podem ser encaminhados através de atividades extraclasse a distância, utilizando videoaulas gravadas e materiais como textos e apostilas. Isso permite que, além dos alunos de Expressão Gráfica, os alunos de Arquitetura e de Engenharia Civil que tiverem interesse, possam se aprofundar no estudo de AM.

Com isso, reserva-se mais tempo efetivo em sala de aula (ou laboratório) para que seja utilizado para o desenvolvimento de habilidades e conhecimento através das experiências práticas em grupo. Nas aulas presenciais, além de desenvolverem o trabalho central do curso, os alunos são estimulados a aprimorarem sua competência criativa, ganham experiência na operação de equipamentos e conseguem identificar, na prática, vantagens e limitações da AM.

Modelo pedagógico de sete etapas

Para assegurar o melhor desenvolvimento das atividades propostas o método recomenda que sete passos sejam seguidos. Isto se baseia no modelo pedagógico de Chiu, Lai, Fant e Cheng (2015) que fundamenta-se na clássica teoria de aprendizagem e *design* instrucional de Robert Gagné: “The Conditions of Learning” (Gagné, 1985). Nela, são elencados nove eventos instrucionais que devem ser seguidos ao se criar um curso. Cada um desses eventos tem relação com processos cognitivos específicos.

No modelo pedagógico para o Método Educacional Colaborativo para AEC, são relacionadas também as categorias de motivação educacional (modelo MUSIC) envolvidas, o tipo de educação híbrida sugerida e o apoio envolvido em cada etapa (Figura 11).

Figura 11 – Os 7 passos do modelo pedagógico do Método Educacional Colaborativo para AEC apoiado pelo uso da AM.

Etapa	Modelo Pedagógico para Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de Manufatura Aditiva	Eventos Instrucionais (Processo cognitivo) (GAGNE, 1985)	Modelo de Motivação Acadêmica MUSIC (JONES, 2009)	Educação Híbrida	Apoio Envolvido	Observações
1 GANHAR ATENÇÃO	Professor apresenta o curso e expõe trabalhos similares já realizados. Instrutor ou profissionais convidados palestram sobre detalhes construtivos (objeto de estudo). Montar grupos de 3 a 6 alunos, se possível, ao menos um de cada curso de graduação AEC.	1. Ganhar a atenção [Recepção]	Utilidade, Interesse, Cuidado	Aulas presenciais / Encontros on-line	Professor, profissionais convidados	Professor divide em grupos baseado nas habilidades e conhecimento de cada aluno. Buscar misturar alunos mais iniciantes com mais avançados. Ativar motivação apresentando a importância da atividade na futura vida profissional.
2 EXPLICAR OBJETIVOS	Professor explica os objetivos. Aulas expositivas sobre detalhes construtivos (objeto de estudo), fundamentos da AM, configurações básicas para impressão 3D, e Design for Manufacturing (DFM). Alunos escolhem o detalhe construtivo que irão representar.	2. Informar o objetivo aos estudantes [Expectativa]	Autonomia, Sucesso e Interesse	Encontros on-line, Videoaulas gravadas	Professor	Ativar motivação deixando claro quais as expectativas da atividade, a importância do conteúdo para as vidas profissionais dos alunos, e dando autonomia para escolherem situações que queiram tratar ou resolver.
3 AUXILIAR NAS SOLUÇÕES	Professor ou tutores auxiliam os grupos no desenvolvimento das soluções, agindo como consultores, sem dizer o que está "certo" ou "errado".	3. Estimular a lembrança do aprendizado anterior [Recuperação] 4. Apresentar o estímulo material [Percepção seletiva] 5. Fornecer orientação de aprendizado [Código semântico]	Autonomia, Cuidado	Laboratório	Professor, tutores	Professor deve encorajar a geração de alternativas de solução para que os próprios alunos avaliem qual a melhor solução para o problema em questão.
4 REVISAR SOLUÇÕES	Alunos criam/revisam os modelos 3D de suas soluções com o foco no Design for Manufacturing (DFM). Se necessário, com o auxílio de alunos mais experientes ou monitores.	[Código semântico]	Autonomia, Interesse	Laboratório / Tarefa de casa	Monitores, Alunos avançados	Abordagem de autoaprendizado e ensino colaborativo permitem flexibilidade para atender diferentes estilos de aprendizado individual e necessidades. Alunos mais experientes podem auxiliar com orientação.
5 ASSESSORAR COM AS DIFICULDADES	Quando alunos encontrarem dificuldades técnicas, eles podem buscar ajuda com o professor, tutores ou monitores, que devem conferir as regras DFM.	5. Fornecer orientação de aprendizado [Código semântico] 6. Elicitar desempenho [Responder] 7. Fornecer feedback [Reforço]	Sucesso, Cuidado	Laboratório	Professor, Tutores, Monitores	Alunos com menos habilidades técnicas podem receber mais auxílio direto. Se necessário, alunos devem repetir etapa 4.
6 AVALIAR A CONSTRUTIBILIDADE	Alunos apresentam suas propostas de design e planejamento de impressão 3D para professor, técnico de laboratório ou monitores que avaliarão a construtibilidade da impressão 3D.	8. Avaliar desempenho [Recuperação]	Sucesso, Cuidado	Laboratório	Técnico de laboratório, Professor, Monitores	É muito importante a existência de técnicos de laboratório ou monitores, e que a manutenção dos equipamentos esteja em dia.
7 PROTOTIPAR E DISCUTIR RESULTADOS	Técnico de laboratório (ou responsável pelas impressões 3D) geram o planejamento final de impressão 3D das equipes buscando agrupar o máximo possível de peças. Alunos recebem as impressões 3D para finalizarem a montagem e apresentarem para todos. Professor avalia os resultados juntamente com os alunos mediando uma discussão.	9. Aumentar a retenção e a transferência [Generalização]	Sucesso, Interesse, Cuidado	Laboratório	Técnico de laboratório, Professor, Monitores	A impressão de peças agrupadas reduz o tempo de impressão. Compartilhar diferentes experiências para resolução do mesmo problema. Ouvir a opinião dos alunos sobre quais foram as maiores dificuldades, o que fariam de maneira diferente e quais foram as lições aprendidas.

Fonte: os autores.

CARBONI, Márcio Henrique de Sousa; SCHEER, Sérgio.

Uso do método educacional colaborativo para AEC apoiado por manufatura aditiva

1 Márcio Henrique de Sousa Carboni

Arquiteto e Urbanista. Doutor em Engenharia Civil. Professor do Departamento de Expressão Gráfica na Universidade Federal do Paraná. Endereço postal: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Bloco PA, 4º andar - Jardim das Américas, Curitiba – PR – Brasil. CEP: 81530-000.

2 Sérgio Scheer

Engenheiro Civil. Doutor em Informática. Professor Sênior na Universidade Federal do Paraná. Endereço postal: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Centro de Estudos de Engenharia Civil - Jardim das Américas, Curitiba – PR – Brasil. CEP: 81530-000