

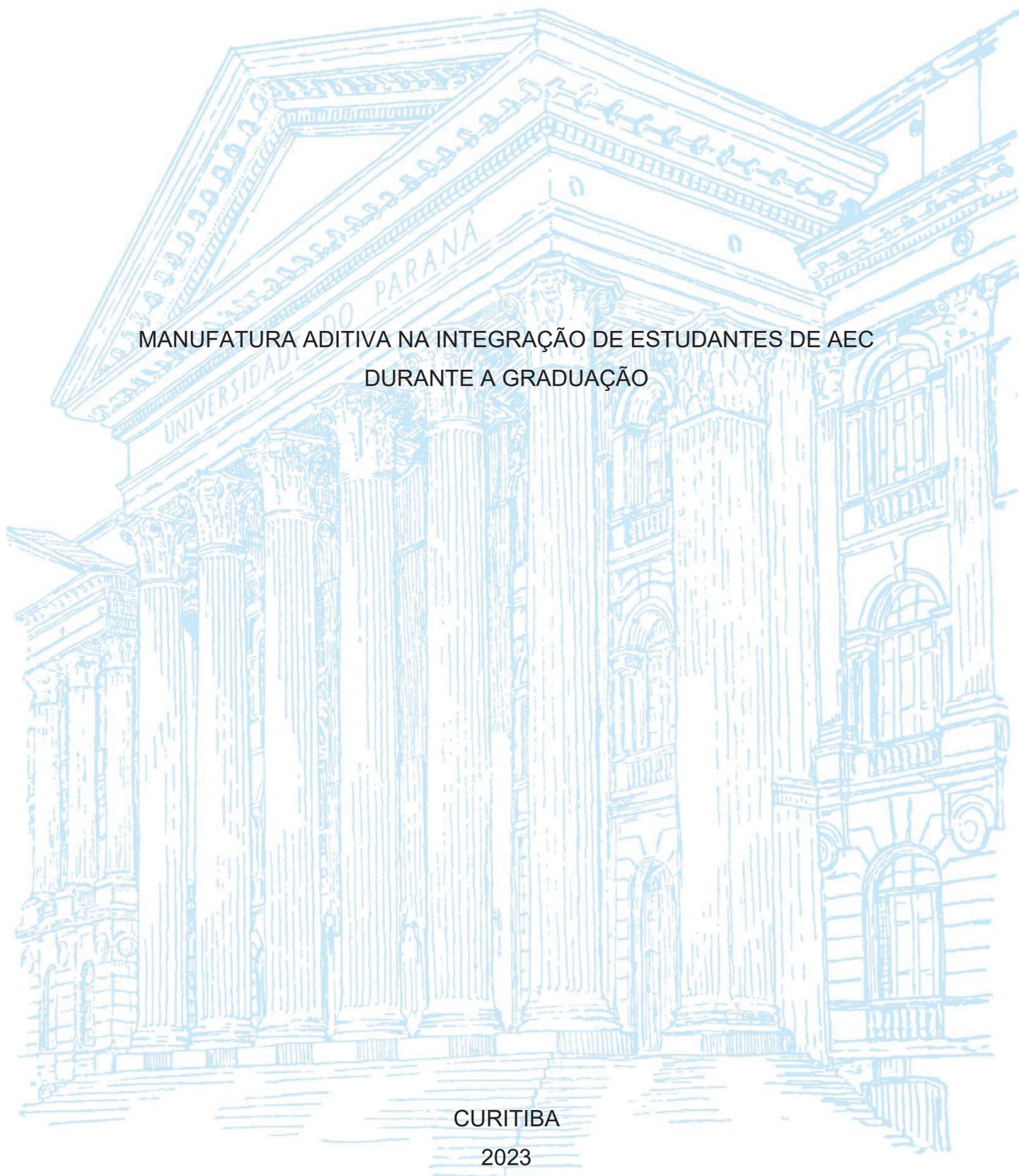
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI

MANUFATURA ADITIVA NA INTEGRAÇÃO DE ESTUDANTES DE AEC
DURANTE A GRADUAÇÃO

CURITIBA

2023



MÁRCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI

MANUFATURA ADITIVA NA INTEGRAÇÃO DE ESTUDANTES DE AEC
DURANTE A GRADUAÇÃO

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGEC, na Área de Concentração Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Carboni, Márcio Henrique de Sousa.

Manufatura aditiva na integração de estudantes de AEC durante a graduação. / Márcio Henrique de Sousa Carboni. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer.

1. Indústria 4.0. 2. Manufatura aditiva. 3. Impressão 3D. 4. Estudantes universitários . I. Scheer, Sergio. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Bibliotecário: Nilson Carlos Vieira Júnior CRB-9/1797

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MÁRCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI** intitulada: **Manufatura aditiva na integração de estudantes de aec durante a graduação**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO SCHEER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 07 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

07/02/2023 13:04:21.0

SÉRGIO SCHEER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

23/02/2023 08:16:27.0

REGINA COELI RUSCHEL

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS)

Assinatura Eletrônica

07/02/2023 18:31:13.0

MÔNICA SANTOS SALGADO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO)

Assinatura Eletrônica

24/02/2023 15:00:26.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/02/2023 17:18:41.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, professor Dr. Sérgio Scheer, por ter aceito o desafio e caminhado junto comigo nessa jornada. Obrigado pela paciência, compreensão e toda sabedoria confiadas a mim.

Aos professores Aloísio Schmid, Márcio Catapan e Mônica Salgado, que participaram da banca de qualificação e contribuíram muito para a melhoria do trabalho.

Ao Departamento de Expressão Gráfica (DEGRAF) da Universidade Federal do Paraná, especialmente à colega Bárbara, e a todos os professores, meu muito obrigado por permitirem me dedicar a esta etapa tão importante em minha vida pessoal e profissional.

À Coordenação do Curso de Expressão Gráfica, principalmente na pessoa da professora Arabella, que deu apoio para a realização das experiências com os alunos de Expressão Gráfica durante a pandemia.

Aos colegas de trabalho, professores Isabela, Maria Regina e Carlos Adão, dos cursos de Expressão Gráfica e Arquitetura e Urbanismo, que foram verdadeiros parceiros na realização das atividades com os alunos.

A todos os alunos que participaram de várias etapas da pesquisa e que sem eles este trabalho não faria sentido algum.

Aos colegas de doutorado Bruno e Armando que me ajudaram, incentivaram e compartilharam trabalhos e conhecimentos.

E principalmente à minha esposa e companheira Rafaela, quem me apoiou incondicionalmente, foi compreensiva em inúmeras vezes que precisei abdicar do convívio familiar e multiplicou esforços com nosso filho, João Vicente, para que eu pudesse encerrar este ciclo.

A todas essas pessoas, não existem palavras suficientes para agradecê-las.

*“A tarefa essencial do professor é despertar a
alegria de trabalhar e de conhecer.”*

(Albert Einstein)

RESUMO

É inegável que as evoluções tecnológicas mudaram significativamente a sociedade nos costumes, hábitos, assim como no que se espera de um profissional e de sua formação. Além da alfabetização tecnológica, espera-se que os profissionais da Era da Informação tenham habilidade e capacidade de solucionar os problemas que encontrarão em um mundo em constante transformação. Dentre várias tecnologias inovadoras, esta pesquisa se debruça sobre a Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*), por apresentar um grande potencial disruptivo para a indústria da construção civil, principalmente na educação. Extrai-se da literatura inúmeros benefícios de sua utilização no ensino. Entretanto, ainda não se observa uma efetiva adoção desta tecnologia na área de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), assim como não se identifica uma efetiva integração dos futuros profissionais dessa área durante sua formação, especialmente no contexto brasileiro. Nesse panorama, surgem novos profissionais capazes de se engajar no ecossistema AEC para auxiliar na adoção de novas tecnologias vinculadas à Indústria 4.0. Entre eles estão os profissionais de Expressão Gráfica, formados pela Universidade Federal do Paraná, que possuem potencial para serem agentes indutores dessa transformação. Seguindo uma abordagem de *Design Science Research*, esta pesquisa apresenta uma estrutura conceitual de integração de projetistas da indústria da AEC durante a graduação utilizando a Manufatura Aditiva como instrumento de colaboração e de apoio ao processo de ensino-aprendizagem. Este método, fundamentado na pedagogia construtivista de ensino e aprendizagem, é chamado Método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva - MECA-AM. Reúne alunos dos cursos de graduação em Engenharia Civil (EC), Arquitetura (AU) e Expressão Gráfica (EG), que trabalham em um ambiente interdisciplinar, estudando um tema comum. O método proposto utiliza Manufatura Aditiva, Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL) e Ensino Colaborativo como ferramentas de ensino, e dá especial atenção a motivação acadêmica, sempre considerando as melhores condições para os alunos. Este artefato foi aplicado e avaliado por alunos que cursaram dois workshops ocorridos em 2021 e 2022, em meio a dificuldades geradas pela pandemia do COVID-19. De acordo com suas percepções, são dadas as motivações acadêmicas adequadas em busca de um aprendizado significativo. Além disso, a integração de alunos de diferentes cursos, pouco habituados com trabalho interdisciplinar, se mostrou viável e o ensino por pares benéfico, principalmente pelos estudantes de Expressão Gráfica que puderam transmitir conhecimentos importantes aos alunos de AU e EC sobre modelagem 3D e Manufatura Aditiva. Em última instância, esta tese apresenta o protagonismo que o estudante de Expressão Gráfica pode exercer em uma equipe multidisciplinar de AEC. Estes alunos e profissionais ainda carecem de reconhecimento no mercado de trabalho por se tratar de um curso único no Brasil, relativamente recente, e pouco difundido. Este trabalho apresenta seu potencial latente e complementar aos arquitetos e engenheiros e joga-se luz a este tema, em prol do desenvolvimento do ecossistema da Construção Civil.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Impressão 3D, Ensino colaborativo, AEC, Aprendizagem baseada em projetos.

ABSTRACT

It is undeniable that technological developments have significantly changed society in terms of customs, habits, as well as what is expected of a professional and his training. In addition to technological literacy, professionals in the Information Age are expected to have skills and abilities to solve the problems they will encounter in a world in constant transformation. Among several innovative technologies, this research focuses on Additive Manufacturing (AM), as it presents a great disruptive potential for the construction industry, especially in education. Innumerable benefits of its use in teaching are extracted from the literature. However, there is still no effective adoption of this technology in the area of AEC (Architecture, Engineering and Construction), as well as an effective integration of future professionals in this area during their training, especially in the Brazilian context. In this scenario, new professionals emerge capable of engaging in the AEC ecosystem to assist in the adoption of new technologies linked to Industry 4.0. Among them are Graphic Expression professionals, graduated from the Federal University of Paraná, who have the potential to be inducing agents of this transformation. Following a Design Science Research approach, this research presents a conceptual framework for the integration of designers from the AEC industry during graduation using Additive Manufacturing as a collaboration and support tool for the teaching-learning process. This method, based on the constructivist pedagogy of teaching and learning, is called Collaborative Education Method for AEC supported by the Additive Manufacturing use - MECA-AM. It brings together students from undergraduate courses in Civil Engineering (CE), Architecture (AU) and Graphic Expression (GE), who work in an interdisciplinary environment, studying a common theme. The proposed method uses Additive Manufacturing, Project-Based Learning (PBL) and Collaborative Teaching as teaching tools, and pays special attention to academic motivation, always considering the best conditions for students. This artifact was applied and evaluated by students who attended two workshops that took place in 2021 and 2022, in the midst of difficulties generated by the COVID-19 pandemic. According to their perceptions, they are given the appropriate academic motivations in pursuit of meaningful learning. In addition, the integration of students from different courses, who are not used to interdisciplinary work, proved to be viable and peer instruction was beneficial, especially for Graphic Expression students who were able to transmit important knowledge to AU and CE students about 3D modeling and Additive Manufacturing. Ultimately, this thesis presents the role that the Graphic Expression student can play in a multidisciplinary AEC team. These students and professionals still lack recognition in the job market because it is a unique course in Brazil, relatively recent, and not very widespread. This work presents its latent and complementary potential to architects and engineers and sheds light on this theme, in favor of the development of the Civil Construction ecosystem.

KEYWORDS: Additive Manufacturing, 3D printing, Colaborative learning, AEC, Project based learning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz curricular do curso de Expressão Gráfica da UFPR.....	20
Figura 2 – Fases da pesquisa e seus objetivos.....	33
Figura 3 – Critérios para condução das pesquisas DSR.....	35
Figura 4 – Tipos de Artefatos da DSR.....	36
Figura 5 – Relação da tese com ambientes externo e interno.	37
Figura 6 – Processo e resultados da DSR.	38
Figura 7 – Planejamento e execução da DSR.....	40
Figura 8 – Planejamento e execução da Revisão Sistemática da Literatura...	42
Figura 9 – Planejamento e execução da Pesquisa-ação.	46
Figura 10 – Planejamento e execução do Levantamento.	49
Figura 11 – Catálogo de teses e dissertações CAPES por área do conhecimento.....	56
Figura 12 – Número de trabalhos por ano de publicação.....	61
Figura 13 – Conceitos de multi, inter e transdisciplinaridade.	67
Figura 14 – Classificação de 4 níveis para aprendizado transdisciplinar.	69
Figura 15 – Experiência concreta promove o desenvolvimento de aprendizado.	76
Figura 16 – Modelo educacional de Violante e Vezzetti (2017).	81
Figura 17 – Elementos do modelo de colaboração na formação de profissionais da AEC.....	94
Figura 18 – Proposta da equipe A para o “desafio da engrenagem”. À esquerda, a modelagem virtual; à direita, o protótipo realizado em impressora 3D FDM.....	103
Figura 19 – Primeiro protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.	104
Figura 20 – Segundo protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.	104
Figura 21 – Uso do “kit Mola” como referência de modelagem estrutural.	106
Figura 22 – Modelo didático desenvolvido por alunos que apresenta momento de inércia em vigas através da visualização gráfica da sua deformação.	107
Figura 23 - Modelo didático para o ensino de momento de inércia através da rotação da peça (a), mostrando respectivamente a peça em posição favorável à deformação (b) e em posição resistente à deformação (c).	108
Figura 24 - Modelo didático (a) para o estudo de momento de inércia em pilares sujeitos ao esforço de compressão simples, o qual é aplicado no centro geométrico da seção do pilar para visualização da direção de menor resistência da peça (b). Peças para o modelo didático (c e d).	109
Figura 25 – Modelos didáticos de círculo trigonométrico feitos respectivamente em MDF (esquerda) e em MDF com papel colorido (direita).....	111
Figura 26 – Modelos didáticos de círculo trigonométrico feitos em papelão, acetato e peça confeccionada em impressora 3D(esquerda), e em MDF com gravação e recortes à laser (direita).....	111
Figura 27 – Modelo didático estrutural A: viga biapoiada com balanços.	112

Figura 28 – Modelo didático estrutural B: treliça.	113
Figura 29 – Grau de importância de conceitos para a disciplina, segundo medição feita com alunos no início da disciplina.	115
Figura 30 – Grau pessoal de conhecimento, habilidades ou importância de conceitos para a disciplina	116
Figura 31 – Para o sucesso do trabalho 1, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura?.....	117
Figura 32 - Qual seu nível de conhecimento sobre estruturas ANTES e APÓS o primeiro trabalho da disciplina?.....	117
Figura 33 – Respostas do último questionário aplicado sobre modelos físicos.	119
Figura 34 – Grau de concordância dos discentes com a afirmação de que uma nova disciplina envolvendo Engenharia Civil seria benéfica ao processo de ensino-aprendizagem.....	119
Figura 35 – Grau de concordância sobre a importância da impressão 3D no resultado do trabalho 3 da disciplina.	120
Figura 36 – Resultados sobre o tempo destinado à impressão 3D e sobre os alunos estarem aptos a operar uma impressora 3D.....	121
Figura 37 – Estrutura conceitual do Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de Manufatura Aditiva.	124
Figura 38 – Os sete passos do modelo pedagógico do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de AM.	133
Figura 39 – Durante a graduação os alunos do seu curso possuem algum tipo de integração com outros cursos relacionados com Arquitetura, Engenharia e Construção?.....	140
Figura 40 – Trabalho de uma das equipes de 2021. A direita as referências selecionadas e a esquerda o modelo produzido pela equipe.....	146
Figura 41 - 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.	147
Figura 42 – Modelagem 3D dos elementos (esquerda). Modelo físico final (direita).	149
Figura 43 – Equipe desenvolveu um modelo no qual cada elemento é encaixado em um molde.	149
Figura 44 – Média das respostas obtidas por categoria do SCEQ.....	153
Figura 45 – Autopercepção dos alunos de seu conhecimento sobre impressão 3D antes e depois do workshop.	160

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Organização da estrutura da tese e produtos.	53
Quadro 2 – Lista de eventos e periódicos encontrados na RSL.....	60
Quadro 3 – Categorias identificadas nos trabalhos da RSL.....	61

Quadro 4 – Semelhanças e diferenças entre <i>Problem-based learning</i> e <i>Project-based learning</i>	74
Quadro 5 – Objetivos didáticos para manufatura aditiva.....	80
Quadro 6 – Modelo pedagógico para introdução de tecnologia de impressão 3D no ensino.....	85
Quadro 7 - Cronograma de aulas da disciplina.	100
Quadro 8 – Questões sobre grau de conhecimento ou familiaridade dos alunos	115
Quadro 9 – Comentários de alunos da disciplina sobre como os modelos físicos auxiliaram na disciplina.	118
Quadro 10 – Conteúdos sobre AM explorados e abordagem de ensino híbrido.	132
Quadro 11 – Cronograma dos workshops.....	143
Quadro 12 – Questionário aplicado sobre a experiência dos alunos	152
Quadro 13 – Questões abertas do questionário realizado após os workshops.	155
Tabela 1 – Número de trabalhos encontrado pela RSL	43

LISTA DE ABREVIações

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AM – *Additive Manufacturing* (Manufatura Aditiva)

AU – Arquitetura e Urbanismo

BIM – Building Information Modeling

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CAM – *Computer Aided Manufacturing* (Manufatura Assistida por Computador)

CAPES - Agência Federal de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CAU – Curso de Arquitetura e Urbanismo

CEGRAF – Curso de Bacharelado em Expressão Gráfica

CNC – Controle Numérico Computadorizado

DBL – Design-Based Learning

DFAM – Design for Additive Manufacturing

DFM – Design for Manufacturing

DSR – Design Science Research

EAD – Ensino a Distância

EC – Engenharia Civil

EG – Expressão Gráfica

FDM – Fused Deposition Modeling

LAMPi – Laboratório de modelagem prototipagem e inovação

MEC – Ministério da Educação

MECA-AM - Método educacional colaborativo para AEC apoiado no uso da manufatura aditiva

NDE – Núcleo Docente Estruturante

PBL – Problem-Based Learning ou Project-Based Learning

PR – Prototipagem Rápida

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

SCEQ - Student Course Experience Questionnaire

SLA - Stereolithography

STEM – Science, Technology, Engineering and Math

UFPR – Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Problema de pesquisa.....	21
1.2	Objetivos	21
1.3	Pressupostos	22
1.4	Justificativas.....	24
1.5	Organização da tese	30
2	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	31
2.1	Classificação da pesquisa.....	31
2.2	Métodos de pesquisa e abordagem adotada	32
2.2.1	Design Science Research (DSR).....	34
2.2.1.1	Metas da DSR para a tese	39
2.2.1.2	Planejamento e execução da DSR.....	40
2.2.2	Revisão Sistemática da Literatura (RSL).....	40
2.2.2.1	Metas da RSL para a tese	41
2.2.2.2	Planejamento e execução das etapas da RSL	41
2.2.3	Pesquisa-ação.....	44
2.2.3.1	Metas da Pesquisa-ação para a tese	45
2.2.3.2	Planejamento e execução das etapas da Pesquisa-ação	46
2.2.4	Levantamento.....	47
2.2.4.1	Metas do Levantamento para a tese	48
2.2.4.2	Planejamento e execução das etapas do Levantamento	48
2.3	Método de coleta e análise de dados.....	49
2.3.1	Grupo focal.....	50
2.3.2	Survey	51
2.4	Estrutura da tese.....	51
3	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA - O uso da Manufatura Aditiva como ferramenta para a formação de profissionais capacitados para o século XXI ..	54
3.1	Processo de Revisão Sistemática da Literatura	58
3.2	Referencial teórico	62
3.2.1	Educação para o século XXI	63
3.2.2	Abordagens interdisciplinares.....	66
3.2.3	Abordagens de ensino baseado em problemas	71

3.2.4	Manufatura Aditiva na educação	77
3.3	Discussão e resultados	88
3.4	Conclusões da RSL.....	91
4	SUGESTÃO DE ALTERNATIVAS - Prototipagem rápida e modelos estruturais: uma experiência de ensino colaborativo.....	95
4.1	Objetivos e estrutura da disciplina	97
4.2	Delineamento da disciplina	101
4.2.1	Expressão Gráfica (EG).....	101
4.2.2	Arquitetura e Urbanismo (AU).....	105
4.3	Atividades em comum propostas aos discentes	106
4.3.1	Modelo didático 1 - momento de inércia	106
4.3.2	Modelo didático 2 – círculo trigonométrico	110
4.3.3	Modelo didático 3 – sistema estrutural	111
4.4	Discussão dos resultados	113
4.4.1	Limitações e sugestões futuras	119
4.5	Conclusões da Pesquisa-ação 2019.....	120
5	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO DA DSR - Método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva - MECA-AM	123
5.1	Ensino interdisciplinar para AEC	124
5.2	Condições e motivação acadêmica.....	127
5.2.1	Autonomia (eMpowerment)	127
5.2.2	Utilidade (Usefulness).....	128
5.2.3	Sucesso (Success).....	128
5.2.4	Interesse (<i>Interest</i>).....	128
5.2.5	Cuidado (<i>Caring</i>)	129
5.3	Ferramentas educacionais para o aprendizado ativo.....	129
5.4	Aprendizado passivo/ativo de manufatura aditiva	131
5.5	Ensino Híbrido.....	132
5.6	Modelo pedagógico de sete passos	132
5.7	Conclusões sobre o desenvolvimento do artefato.....	137
6	APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO - Experiências interdisciplinares: aplicação do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva	138
6.1	Workshops	138

6.1.1	Organização para viabilização.....	138
6.1.2	Definição do objeto de estudo	140
6.1.3	Organização das atividades	142
6.2	Resultados e discussão	145
6.2.1	Questionário de experiência do curso	150
6.2.1.1	Avaliação objetiva.....	150
6.2.1.2	Avaliação subjetiva	154
6.3	Conclusões da aplicação e avaliação do artefato	159
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	163
7.1	Confirmação dos objetivos da pesquisa.....	163
7.2	Contribuições teóricas desta pesquisa.....	164
7.3	Limitações e dificuldades	166
7.4	Sugestão de trabalhos futuros	168
	REFERÊNCIAS.....	171
	APÊNDICES.....	188
	APÊNDICE 1	189
	APÊNDICE 2	204
	APÊNDICE 3	229
	APÊNDICE 4	248
	APÊNDICE 5	287
	APÊNDICE 6	291
	APÊNDICE 7	294
	APÊNDICE 8.....	299
	ANEXO 1.....	309

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 1980, houve uma transição no modo de projetar elementos tridimensionais (seja um edifício, um produto, uma máquina, etc.) e principalmente no modo de os representar graficamente, uma vez que se passou a projetar com o auxílio de um computador e não mais apenas com papel e caneta.

Atualmente, a modelagem geométrica digital, em praticamente todos os campos, passou a ser algo padrão e, segundo Pupo (2008), um dos seus principais benefícios é a melhoria da compreensão espacial. Isso também permitiu que novos métodos de prototipagem automatizada fossem explorados, o que fez com que se melhorasse o processo de projeto com sua retroalimentação de forma muito mais rápida e eficiente.

Tudo isso se deu devido ao avanço extraordinário no desenvolvimento de tecnologias digitais. Houve uma massiva adoção das ferramentas CAD (*Computer Aided Design*, ou Desenho/Projeto Assistido por Computador), como softwares de desenho bidimensional, modelagem tridimensional, animação digital, bem como das ferramentas CAM (*Computer Aided Manufacturing*, ou Manufatura Assistidas por Computador), que incluem ferramentas de Prototipagem Rápida (PR) e maquinário de Controle de Comando Numérico (CNC) (SILVA e AMORIM, 2010).

Na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), estes avanços impactaram o design das edificações e as práticas construtivas, permitindo maior liberdade no campo conceitual, gerando arquiteturas com geometrias complexas, que anteriormente eram muito difíceis e trabalhosas de se conceber, representar, produzir e construir usando as tecnologias tradicionais.

Entretanto, enquanto as técnicas de fabricação digital e prototipagem rápida muito beneficiaram as indústrias automobilística e aeroespacial (que sempre estiveram à frente da arquitetura na implementação de avanços tecnológicos), na indústria AEC ainda não são uma prática comum, especialmente no contexto brasileiro. Celani e Lenz (2014) afirmam que

enquanto na Europa e Estado Unidos a adoção dessas técnicas se deu por um movimento nascido na prática profissional, no Brasil há uma relativa indisponibilidade de serviços de fabricação digital específicos para a AEC e essas novas tecnologias ainda estão sendo disseminadas, principalmente pela comunidade acadêmica.

Professores e pesquisadores já estão cientes dos benefícios oferecidos ao se incorporar tais tecnologias na educação. Pupo (2008) afirma que hoje essas técnicas têm um papel decisivo na reflexão projetual e abrem um leque de possibilidade projetuais jamais alcançadas anteriormente. Florio et al. (2007), acrescentam que esta reflexão não é apenas sobre a criação em si, mas sobre todo o processo de concepção, pois a prototipagem permite desencadear ações cognitivas, experimentações, que possam contribuir para o desenvolvimento de habilidades, competências e pensamento crítico. Ou seja, os modelos físicos possuem uma latente capacidade de tangibilidade das ideias.

Na última década, a Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*) vem se destacando entre as tecnologias de prototipagem rápida, que engloba também as técnicas de fabricação por subtração e conformação. A Manufatura Aditiva consiste no processo de fabricação de objetos tridimensionais a partir de dados de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que vão sendo fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (MONTEIRO, 2015; GO e HART, 2016; VIOLANTE e VEZZETTI, 2017; HAAVI et al., 2018; STERN et al., 2019).

Apesar de se encontrar na literatura outros termos para se referir a esse processo (como prototipagem rápida, manufatura por camadas, *free form fabrication*, manufatura digital direta, técnicas aditivas, entre outras), para este trabalho será utilizada a terminologia “Manufatura Aditiva” e o seu sinônimo mais popular “Impressão 3D”.

Todos esses conceitos e evoluções citadas podem ser observadas sobre a ótica do campo de estudo chamado Expressão Gráfica, o qual:

... utiliza elementos de desenho, imagens, modelos, materiais manipuláveis e recursos computacionais aplicados às diversas áreas do conhecimento, com a finalidade de apresentar, representar,

exemplificar, aplicar, analisar, formalizar e visualizar conceitos. Dessa forma, a Expressão Gráfica pode auxiliar na solução de problemas, na transmissão de ideias, de concepções e de pontos de vista relacionados a tais conceitos. (GÓES, 2012, p.53).

Dada tal definição tão abrangente, é possível se estabelecer recortes de estudo, uma vez que este campo encontra interface com diversas áreas como matemática, arquitetura, engenharia, artes, entre outras. Entendendo que a Expressão Gráfica (EG) abrange muito mais do que simplesmente “desenho”, foi criado em 2012 o primeiro Curso de Bacharelado em Expressão Gráfica (CEGRAF) do Brasil, na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A motivação para a criação do curso veio por meio da identificação, dentro da indústria de desenvolvimento de projetos, da falta de comunicação e entendimento entre os profissionais envolvidos no processo. A carência de conhecimentos técnicos e de troca de informação entre os diferentes profissionais causava atrasos e conseqüentemente prejuízos financeiros aos projetos (DEGRAF, 2017).

Não há Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) específicas para a Expressão Gráfica. Ainda que existam outros cursos com o mesmo nome, o CEGRAF atualmente é único no país por se tratar de um bacharelado, enquanto os demais são licenciaturas. O curso objetiva “formar profissionais que trabalhem no desenvolvimento de projetos gráficos digitais e que atuem no intervalo de funções existente entre a criação e a produção e participem de equipes multidisciplinares” (SOUZA e COSTA, 2013, p. 3), nas áreas de arquitetura, engenharia e produtos industriais, baseando-se nos conceitos de projeto digital e na prototipagem. Uma formação abrangente é um requisito para esse profissional, a fim dele poder compreender elementos de várias áreas e poder se comunicar com diferentes profissionais, colaborando em processos de desenvolvimento de projetos.

Após a formatura das primeiras turmas do curso, em 2017 iniciou-se um processo de revisão do currículo ao se detectar a necessidade de mudanças e adaptações do perfil profissional do egresso. Foi percebido que os alunos foram bem recebidos pelo mercado em estágios na área de modelagem e maquetes digitais, compatibilização de projetos através de tecnologias digitais e produção

de produtos através de processos de fabricação digital. Adicionalmente, a evolução das tendências de mercado de trabalho com novas tecnologias reforçaram a necessidade de inclusão de novos conteúdos na grade curricular alinhados com os princípios de Economia Criativa e Movimento *Maker* (DEGRAF, 2018).

Em 2018, com Classificação Internacional Normalizada da Educação (CINE) realizada pelo Ministério da Educação (MEC), houve a aproximação do CEGRAF ao rótulo de Design. Nesse sentido, houve a necessidade de adaptar a proposta curricular às DCNs para Cursos de Design. Entretanto, para não se perder as características únicas já observadas desde o início do bacharelado, se estabeleceu o foco da formação do profissional egresso do curso de Expressão Gráfica nas áreas de: projeto de produto e de mobiliário, modelagem e fabricação digital, representação digital em interface de projetos nas áreas de Arquitetura e Engenharia.

As disciplinas do curso são divididas em cinco áreas (Figura 1). A área Básica concentra disciplinas sobre desenho geométrico, desenho técnico e geometria descritiva. A área de Linguagem Gráfica abrange conceitos de representação gráfica, composição, e conceitos principais de modelagem digital e animação. A área de Fundamentos de Projeto introduz conceitos das áreas de arquitetura, design, história da arte, e processos de fabricação. A área de Arquitetura possui disciplinas sobre desenho arquitetônico, BIM, prototipagem, ambiente construído e projeto de mobiliário. E, finalmente, a área de Projeto de Produto exercita o desenvolvimento de produtos utilizando modelagem mecânica, modelagem 3D para design e fabricação digital.

Figura 1 - Matriz curricular do curso de Expressão Gráfica da UFPR.

1º PERÍODO CH 300 - CHS 20	2º PERÍODO CH 330 - CHS 22	3º PERÍODO CH 330 - CHS 22	4º PERÍODO CH 330 - CHS 22	5º PERÍODO CH 270 - CHS 18	6º PERÍODO CH 315 - CHS 21	7º PERÍODO CH 315 - CHS 21	8º PERÍODO CH 165 - CHS 11
CEG302 DESENHO GEOMÉTRICO I CH 60 - CHS 4	CEG304 MATEMÁTICA APLICADA À EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG305 FUNDAMENTOS DA PROGRAMAÇÃO APLICADOS À CH 60 - CHS 4	CEG314 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG315 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO III CH 45 - CHS 3	CEG312 TRATAMENTO E EDIÇÃO DE IMAGENS CH 45 - CHS 3	CEG336 TCC I CH 60 - CHS 4	CEG337 TCC II CH 120 - CHS 8
CEG303 GEOMETRIA DESCRITIVA I CH 60 - CHS 4	CEG306 DESENHO TÉCNICO E CAD CH 60 - CHS 4	CEG311 FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO VISUAL CH 45 - CHS 3	CEG319 ERGONOMIA CH 60 - CHS 4	CEG324 PROTOTIPAGEM II CH 60 - CHS 4	CEG327 PROJETO DE MÓVEIS II CH 45 - CHS 3	OPTATIVA I	OPTATIVA III
CEG301 INTRO. À EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG308 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA II CH 60 - CHS 4	CEG313 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO I CH 45 - CHS 3	CEG321 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG326 PROJETO DE MÓVEIS I CH 45 - CHS 3	CEG323 AMBIENTE CONSTRUÍDO CH 60 - CHS 4	OPTATIVA II	
CEG307 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA I CH 60 - CHS 4	CEG310 COMPOSIÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG320 TECNOLOGIA DOS MATERIAIS CH 60 - CHS 4	CEG325 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG330 PROJETO DE PRODUTO I CH 60 - CHS 4	CEG331 PROJETO DE PRODUTO II CH 60 - CHS 4		
CEG309 COMPOSIÇÃO I CH 60 - CHS 4	CEG316 HISTÓRIA DAS ARTES VISUAIS CH 60 - CHS 4	CEG318 INTRODUÇÃO AO DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG328 MODELAGEM MECÂNICA I CH 45 - CHS 3	CEG333 MODELAGEM 3D EM DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG334 FABRICAÇÃO DIGITAL CH 45 - CHS 3		
	CEG317 INTRODUÇÃO À ARQUITETURA CH 45 - CHS 3	CEG322 DESENHO ARQUITETÔNICO I CH 60 - CHS 4	CEG332 PROTOTIPAGEM I CH 60 - CHS 4		CEG335 SEMINÁRIO DE EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4		
BÁSICA	LINGUAGEM GRÁFICA	FUNDAMENTOS DE PROJETOS	ARQUITETURA	PROJETO DE PRODUTO	TCC		

CH DISCIPLINAS OBRIGATORIAS: 2055H
CH DISCIPLINAS OPTATIVAS: 135H
ATIVIDADES FORMATIVAS: 240H
CH TOTAL: 2430H

FONTE: Adaptado de DEGRAF, 2018.

A possibilidade de introduzir a Manufatura Aditiva nos currículos de cursos de graduação que desenvolvem experimentações e se utilizam da criatividade como ponto chave na formação de seus alunos se mostra benéfica e atualmente, com o barateamento e disseminação dessas tecnologias, viável (HUANG e LIN, 2017; FORD e MINSHALL, 2019). Porém, de que maneira?

Além disso, a Manufatura Aditiva tem potencial para ser uma ferramenta pedagógica para integrar estudantes com diferentes expertises em projetos colaborativos e multidisciplinares, o que é extremamente desejável na formação de profissionais que irão atuar no mercado da construção civil da chamada revolução industrial 4.0. E integrar um aluno com maior experiência e capacitação específica em AM, o de Expressão Gráfica, a esses grupos multidisciplinares, pode facilitar o entendimento dos demais integrantes sobre a tecnologia e sua efetiva adoção no processo criativo inerente a área da AEC.

Sendo assim, esta pesquisa primeiramente investigou experiências já realizadas de como estão utilizando a Manufatura Aditiva no ensino, ao redor do mundo, para então propor um método com uma estrutura conceitual de implantação dessa tecnologia na formação de profissionais da área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), com um recorte específico envolvendo os cursos de graduação em Expressão Gráfica (EG), Arquitetura e Urbanismo (AU) e Engenharia Civil (EC), a fim de integrá-los e explorar suas habilidades específicas antes da prática profissional.

O método desenvolvido e apresentado se chama MECA-AM ou Método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva. Ele apresenta uma proposta de estruturação de atividades interdisciplinares com o uso da AM como ferramenta educacional. Ele apresenta passos a serem seguidos, com seus respectivos objetivos didáticos e a motivação acadêmica desejada aos alunos.

Este trabalho traz contribuições teóricas ao apontar os benefícios que a AM proporciona no processo de ensino-aprendizagem e apresenta o protagonismo ímpar que o profissional de Expressão Gráfica da UFPR (único no Brasil) pode exercer em equipes multidisciplinares da AEC, colaborando para que a área adote mais efetivamente as chamadas tecnologias disruptivas da indústria 4.0.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como integrar os cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, de modo a formar profissionais melhor capacitados para atuar no ecossistema da construção civil do século XXI, utilizando a Manufatura Aditiva como instrumento didático?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é apresentar um método de integração entre os cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica,

utilizando a Manufatura Aditiva como instrumento de colaboração entre estudantes e, conseqüentemente, de apoio ao processo de ensino-aprendizagem.

Somando-se a isso, alguns objetivos específicos foram perseguidos, como:

- Apresentar experiências mundo afora que buscam a implantação da AM em cursos de graduação afim de traçar paralelos com a área da AEC;
- Identificar estratégias de utilização da AM que possam gerar uma interface de conexão entre os currículos de Expressão Gráfica, Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil;
- Identificar modelos pedagógicos voltados ao ensino de Manufatura Aditiva;
- Sintetizar os objetivos didáticos necessários para a formação de profissionais versados em Manufatura Aditiva;
- Propor um modelo conceitual dos componentes envolvidos no método pretendido.
- Aplicar o método desenvolvido e avaliar a percepção dos alunos envolvidos.
- Reconhecer e divulgar o potencial latente e complementar aos arquitetos e engenheiros do aluno e profissional de Expressão Gráfica da Universidade Federal do Paraná para a efetiva adoção das tecnologias digitais na AEC.

1.3 PRESSUPOSTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho entende-se que atualmente, no contexto brasileiro do ensino de arquitetura e engenharia, a formação dos profissionais de diferentes disciplinas se dá de maneira muito fragmentada e isso se mostra incompatível com a futura prática profissional. Por isso, acredita-se que haja a necessidade de desenvolver modelos de integração que possam ser adaptados aos currículos desses cursos.

Nesse contexto, como já citado, em 2012 foi criado um curso único e inovador na Universidade Federal do Paraná intitulado Bacharelado em Expressão Gráfica. Com o conhecimento em tecnologias digitais (como modelagem digital, BIM, captura e digitalização tridimensional, fabricação e prototipagem digital, realidade virtual e aumentada, entre outras), e embasamento teórico em conceitos de geometria plana e espacial, arquitetura, design e engenharia, esse novo profissional se apresenta ao mercado com potencial para se inserir em projetos colaborativos com outros profissionais das áreas de Arquitetura, Engenharia, Artes e Design.

Acredita-se que o curso de Expressão Gráfica exercita satisfatoriamente em seus alunos competências relacionadas as tecnologias de modelagem e prototipagem digital. Incluir esses alunos no ecossistema e no processo de capacitação dos profissionais da AEC pode permitir o ensino colaborativo entre os pares (alunos) e complementar a formação dos alunos de Arquitetura e Engenharia.

Isto pois os cursos de AU e EC ainda possuem dificuldades para integrar as tecnologias digitais em seus currículos, carecendo de infraestrutura, capacitação dos docentes, e reformulação de seus currículos, enquanto o curso de EG já se apresenta mais bem preparado para tanto.

Além disso, a Manufatura Aditiva vem chamando a atenção da indústria e de pesquisadores por permitir a rápida transformação de ideias em objetos físicos. Extrai-se da literatura inúmeros benefícios de sua utilização no ensino, assim como dificuldades de implantação, principalmente para a área de Engenharia Mecânica. Sendo assim, acredita-se que ela possa ser uma ferramenta que permita a integração, colaboração e, conseqüentemente, incremento no processo de ensino-aprendizagem também para a área da AEC.

Aqui cabe salientar que a utilização da AM no ensino de Arquitetura não refuta a ideia do trabalho manual e das maquetes física tradicionais que são presentes em todos os cursos de Arquitetura e Urbanismo. Elas são excelente ferramentas para tangibilizar ideias como já dito por Florio et al. (2007). A Manufatura Aditiva pode auxiliar nesse processo, amplificando o processo de

criação ao permitir o teste ágil das ideias e criação de modelos, ou partes do modelo, de forma precisa e com bom acabamento.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Segundo relatório da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI da UNESCO (2010, p.14), no século XXI, todos serão obrigados a incrementar a “capacidade de autonomia e de discernimento, acompanhada pela consolidação da responsabilidade pessoal na realização de um destino coletivo”, utilizando-se de várias habilidades e competências humanas como “a memória, o raciocínio, a imaginação, as capacidades físicas, o sentido estético, a facilidade de comunicar-se com os outros, o carisma natural de cada um”. Para isso, é importante repensar a maneira de se educar cidadãos e de capacitar um futuro profissional.

Segundo Pellegrino e Hilton (2013), em seu trabalho “Educação para a vida e trabalho”, é papel dos educadores explorarem habilidades e competências pessoais dos alunos para que enfrentem os desafios de uma sociedade em constante evolução. Algumas das habilidades consideradas mais importantes para o século XXI são: o pensamento crítico e capacidade de solução de problemas, colaboração em equipe, capacidade de comunicação efetiva, imaginação, motivação e criatividade. Somado a isso, Elmôr Filho et al. (2019) citam a constatação de que “engenheiros brasileiros apresentam dificuldades em atitude empreendedora, em capacidade de gestão e de comunicação, em liderança e no trabalho em equipe multidisciplinares”.

Além das competências pessoais, é imprescindível que a formação de profissionais inseridos no contexto da Indústria 4.0 englobe tecnologias consideradas como disruptivas e grandes tendências. A 4ª Revolução Industrial, iniciada na primeira década do século XXI, é caracterizada pela fusão das esferas biológicas, físicas e digitais utilizando mecanismo controlados por algoritmos e computadores integrados à internet. Somados a tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e Big Data, a Manufatura Aditiva é uma das principais tendências deste período, citadas, por exemplo, no Fórum

Econômico Mundial ocorrido em Davos em 2015 (CELANI e FRAJNDLICH, 2016).

Com as constatações de uma formação de engenheiros pouco focada no ambiente de trabalho e desvinculada com as expectativas de uma indústria posicionada dentro da 4ª Revolução Industrial, a Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), movimento de grandes empresas no Brasil coordenado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) criado em 2008, em sintonia com a agenda de tendências internacionais, adotou a bandeira da luta pela melhoria do ensino de engenharia nas escolas.

Segundo Kern et al. (2019), em 2009 é lançado um manifesto intitulado “Inovação: A construção do futuro” que traz os pilares do movimento que apontam a importância da mobilização do sistema empresarial/industrial articulado com o governo. Dentro dos objetivos elencados a educação recebeu atenção especial, e o aprimoramento do modelo educacional, para criar uma cultura inovadora e empreendedora, foi apontado como fundamental, uma vez que é percebida uma baixa qualidade de ensino ofertado e um perfil inadequado dos egressos.

Do trabalho da MEI em conjunto com a ABENGE (Associação Brasileira de Educação em Engenharia), em 2019 é aprovada a reformulação das DCNs de Engenharia (BRASIL, 2019b) que haviam entrado em vigor em 2002, após aprovada a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional em 1996. As novas DCNs propõem uma nova organização institucional do currículo estimulado a diversidade das formas de aprendizado, extrapolação da sala de aula tradicional, interação do ensino com a pesquisa e a extensão como formas de aprendizado, e a busca por metodologias ativas de ensino (OLIVEIRA, 2019). Além disso, as novas DCNs consideram e priorizam um novo processo de capacitação e qualificação do docente, dando importância a experiência profissional não acadêmica a fim de favorecer a interação com os ambientes profissionais.

As diversas flexibilidades propostas reorganizam as atividades acadêmicas e estimulam as instituições a inovarem seus cursos a partir de atividades práticas, da interação entre estudantes, de estímulos de atividades de leitura, pesquisa, extensão e produção intelectual por meio de monografias e artigos, e especialmente por um

novo ordenamento do aprendizado na relação discente com os docentes (OLIVEIRA, 2019, p.5).

As atuais DCNs para Engenharia buscam criar um ambiente nos cursos de graduação que permita os estudantes saírem mais preparados para empreender dentro ou fora das empresas e com maior potencial de desenvolverem seus talentos, competências e habilidades (KERN et al., 2019).

Para isso, algumas estratégias sugeridas são: criar currículos flexíveis e centrados no aluno; dar ênfase no desenvolvimento de competências esperadas dos egressos; incentivar à adoção de metodologias ativas de aprendizagem (conhecimento aplicado); proporcionar a colaboração entre universidade-empresa (aproximação dos cursos com o mercado); desenvolver programas multidisciplinares; e combinar atividades em sala de aula e a distância (BRASIL, 2019b).

As novas DCNs podem induzir um movimento de modernização dos currículos de Engenharia, com maior incentivo ao desenvolvimento da cultura *maker* nas universidades, da oferta de cursos mais atrativos aos alunos e alinhados às necessidades da sociedade e do mercado, contribuindo, conseqüentemente, para a redução das taxas de evasão (KERN et al., 2019, p.41).

O caminho trilhado na área de Arquitetura e Urbanismo foi semelhante. A Resolução CNE/CES nº6/2006 (BRASIL, 2006) estabeleceu as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e foram alteradas pela Resolução CNE/CES nº2/2010 (BRASIL, 2010). Em 2013, novamente iniciaram discussões sobre a reformulação dessas DCNs em reuniões organizadas pela Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (ABEA) e, posteriormente, após 2018, nas Comissões de Ensino e Formação do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR). Em 2019, foi elaborada uma nova proposta de DCNs do curso de graduação em AU, a partir das discussões realizadas em dois eventos científicos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro: XXXVII Encontro Nacional sobre o Ensino de Arquitetura e Urbanismo e o XX Congresso Nacional da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (ABEA, 2019). Entretanto, ainda não vigoram no país.

Assim como nas novas DCNs dos cursos de Engenharia, algumas das principais alterações propostas no CONABEA para as DCNs de Arquitetura e Urbanismo buscam chamar a atenção para:

- O uso de metodologias ativas de ensino, com participação ativa do aluno no processo de construção do conhecimento (art. 30º, inciso I);
- Diversificação dos ambientes de ensino e aprendizagem, para que os alunos tenham a experiência profissional do mercado de trabalho e práticas interprofissionais colaborativas (art. 30º, inciso V);
- E a possibilidade de flexibilização curricular, que permita explorar a busca por inovação inerente a área da AEC (art. 30º, inciso VI), (ABEA, 2019).

Além disso, é citado como importante o incentivo à formação continuada dos alunos e também dos docentes, para que sempre estejam atualizados para atendimento de novas demandas e novas possibilidades do campo profissional da Arquitetura.

Cabe salientar que entende-se o conceito de Indústria 4.0 como a atual abordagem de mudanças nos processos de produção e de modelos de negócios que emprega alto grau de tecnologia na cadeia produtiva em busca de aumento de produtividade e competitividade, e gera novos valores e serviços para clientes e organizações (SANTOS et al., 2018). Para tanto tecnologias como internet das coisas (IoT), inteligência artificial, fabricação digital, manufatura aditiva, *big data*, computação em nuvem, entre outras, são fundamentais.

Na proposta do CONABEA, pela primeira vez cita-se como conteúdo curricular obrigatório os “Processos e Ferramentas de Modelagem Digital e Física” e a obrigatoriedade de ao menos um laboratório de modelagem e fabricação digital nos cursos de graduação, mostrando a importância percebida das novas tecnologias difundidas como conceitos fundamentais para a Indústria 4.0 e para a atividade de Arquitetura e Urbanismo. Isso se reflete nas competências e habilidades que se pretende desenvolver nos egressos dos Cursos de AU. Pela primeira vez destaca-se a experimentação e fabricação aplicada à arquitetura:

Art. 11º. O curso deverá estabelecer ações pedagógicas visando ao desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, competências e atitudes com responsabilidade técnica, artística e social que compreendam, pelo menos:...

V. o domínio dos instrumentais de informática para tratamento e modelagem da informação e paramétrica para a concepção, a expressão, a representação, a experimentação e a fabricação aplicadas à arquitetura, ao urbanismo e à arquitetura da paisagem (ABEA, 2019. p. 21).

Destaca-se desta forma, que assim como visto para a Engenharia, a formação em Arquitetura e Urbanismo também precisa ser reformulada, com foco no ensino mais aproximado da prática profissional, na colaboração, em metodologias ativas de ensino, e na formação tecnológica.

Com base nessas informações, destaca-se a necessidade da incorporação das tecnologias digitais na capacitação dos alunos de Arquitetura e Engenharia, para que possam no futuro avançarem na incorporação de tecnologia no setor da AEC. Entretanto, acredita-se que o objetivo para esses profissionais seja o entendimento das potencialidades e princípios dessas tecnologias para tirarem proveito, mas não desviar o foco das atividades e atribuições específicas de suas profissões.

Dessa forma, este trabalho busca colaborar com a discussão apresentando o grande potencial de um novo profissional: o de Expressão Gráfica. Ele é capaz de se inserir em grupos multidisciplinares da AEC e auxiliar, arquitetos e engenheiros, na adoção dessas tecnologias, além de apresentar possibilidades de como compreender essas tecnologias digitais durante o processo de formação acadêmica mais próximo da prática profissional.

Com as constantes evoluções tecnológicas é necessário utilizá-las para uma formação mais holística dos profissionais. O autor desta tese acredita que, para a área da AEC, tecnologias como Manufatura Aditiva unidas com abordagens educacionais centradas no aprendiz podem ser ferramentas valiosas para o desenvolvimento das competências citadas anteriormente e justamente por isso, este estudo pretende entender como utilizá-la para obter-se um resultado efetivo.

Ainda que nas últimas décadas a prototipagem rápida e fabricação digital muito tenham evoluído, a área de Arquitetura ainda não se utiliza de todo o potencial que essas tecnologias podem oferecer. O mesmo ocorre para Engenharia Civil e Expressão Gráfica. Ainda foca-se muito na representação e visualização de concepções projetuais. Entretanto, segundo Silva e Amorim (2010), é crescente a utilização dessas tecnologias como instrumentos de investigação para geração e transformação de formas em ambiente digital. E com a prototipagem rápida também de modo físico, pois modelos tangíveis permitem uma melhor compreensão espacial dos objetos (sejam arquitetônicos ou não) e justamente ampliam as possibilidades de criação por permitirem mais reflexão, análise e até mesmo validação das ideias.

No campo do ensino, Pupo (2008) afirma que da mesma forma que na década de 1990 se discutiu a inserção das técnicas de computação na grade curricular dos cursos de arquitetura, e que barreiras foram superadas para sua implementação, hoje é preciso haver o mesmo esforço ao se tratar das chamadas técnicas de fabricação digital e prototipagem rápida. Elas possuem um papel indiscutível na qualidade do ensino.

Após um período em que os avanços na computação gráfica quase fizeram desaparecer as maquetes de escritórios e cursos de arquitetura, a prototipagem rápida hoje permite retomar essa prática, desde os primeiros estágios do processo de projeto. Paralelamente, os novos métodos de construção fizeram possível a obtenção de formas que seriam irrealizáveis há pouco tempo. Portanto, essas técnicas deveriam ser utilizadas desde as primeiras fases de projeto, auxiliando nas decisões projetuais desde as primeiras etapas do processo (PUPO, 2008, p.1).

Por toda essa discussão existente no currículo dos novos arquitetos é que o tema se mostra importante também para a área de Expressão Gráfica. Ambos os conceitos, de modelagem e de prototipagem, compõem o currículo do Curso de Expressão Gráfica da UFPR. Dessa forma, é um nicho de atuação que vem a somar com os arquitetos, já que são raros os profissionais que dominam todas estas práticas.

No âmbito do Departamento de Expressão Gráfica da UFPR, no qual o este autor está inserido, esta pesquisa visa apoiar a reformulação do currículo do Curso de Bacharelado em Expressão Gráfica e contribuir para os de

Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, com o pensamento de contribuir na formação dos profissionais da área da AEC de maneira mais abrangente.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A organização da tese foi elaborada de tal forma que cada capítulo corresponda a um artigo produzido durante o período de realização da pesquisa. Alguns desses artigos já foram publicados, outros se encontram em fase de submissão a periódicos. Todos podem ser visualizados na íntegra nos Apêndices.

Os capítulos estão organizados da seguinte forma:

1. Introdução
2. Estratégia de pesquisa
3. Conscientização do problema - Revisão Sistemática da Literatura: O uso da manufatura aditiva como ferramenta para a formação de profissionais capacitados para o século XXI.
4. Sugestão de alternativas - Pesquisa-ação e Levantamento: Prototipagem rápida e modelos estruturais: uma experiência de ensino colaborativo.
5. Desenvolvimento do artefato: Proposta de método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva.
6. Aplicação e avaliação do artefato - Pesquisa-ação e Levantamento: Experiências interdisciplinares: aplicação do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva.
7. Considerações finais.

As fases desta pesquisa serão explicadas mais detalhadamente adiante, na seção 2.2, e a estrutura da tese, relacionando os capítulos com a estratégia de pesquisa, ficará clara ao final do capítulo 2, na seção 2.4.

2 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Neste capítulo apresenta-se o método de pesquisa adotado para este trabalho, destacando a abordagem, as técnicas e instrumentos de pesquisa que foram utilizados, além da definição das fases realizadas.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa qualitativa e quantitativa de caráter exploratório e prescritivo, realizada a partir de multimétodos.

Para Gil (2002), as pesquisas exploratórias buscam maior familiaridade com um problema, a fim de deixá-lo mais explícito. Pesquisas com caráter prescritivo objetivam a proposição de soluções para responder à um problema levantado ou prescrever um modelo teórico ideal que pode ser utilizado posteriormente para obtenção de respostas diretas (BONAT, 2009).

A pesquisa qualitativa se preocupa com o aprofundamento da compreensão do objeto observado (que em geral são experiências humanas) e não com a representatividade numérica. Nesse caso, é importante a explicação do porquê de algo, mas não quantificar os valores, uma vez que os dados analisados normalmente são não-métricos. A pesquisa quantitativa, por sua vez, se centra na objetividade. Ela recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno e relações entre variáveis (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

A utilização conjunta dessas abordagens permite a captura de mais informações do que de maneira isolada. Segundo Goldenberg (2004), a integração da pesquisa quantitativa e qualitativa permite que o pesquisador realize cruzamentos de suas conclusões de modo a obter maior confiança de que seus dados não são produto de uma situação particular. Dessa forma, Wisdom e Creswell (2013) elencam vantagens desse tipo de estudo, como: auxiliar no entendimento de contradições entre os resultados quantitativos e descobertas qualitativas; refletir a percepção e experiência dos participantes;

incentivar a interação multidisciplinar de pesquisadores; e, permitir flexibilidade metodológica.

Julga-se adequada a este trabalho a abordagem mista através de métodos variados (análises a partir de bibliografia, observações, questionários, etc.), pelo tipo de fenômeno a ser observado e por buscar respostas mais abrangentes aos problemas levantados.

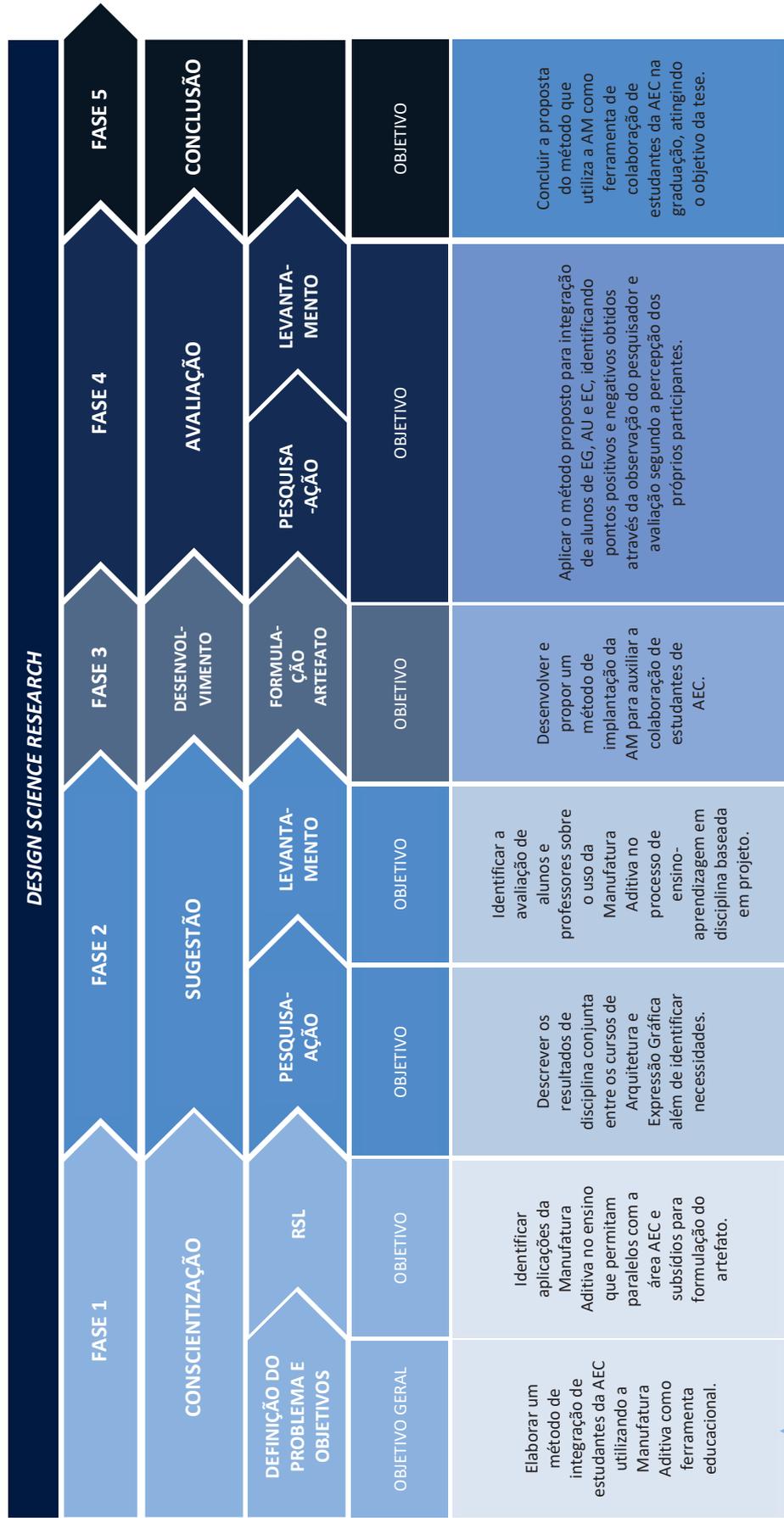
2.2 MÉTODOS DE PESQUISA E ABORDAGEM ADOTADA

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 fase da DSR que foi estruturada em cinco fases distintas, conforme sugerido por Lacerda et al. (2013). Cada uma delas é melhor explicada na sequência, na seção 2.2.1. Por enquanto, deseja-se apenas introduzir a organização desta pesquisa de acordo com a abordagem DSR e os métodos utilizados que a apoiam (Figura 2).

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 se 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.

Figura 2 – Fases da pesquisa e seus objetivos.



FONTE: O autor.

2.2.1 Design Science Research (DSR)

Para Dresch *et al.* (2015), “*design* significa realizar mudanças em um determinado sistema a fim de transformar as situações em busca da sua melhoria”. E para isso, é necessário que o homem aplique conhecimento para criar artefatos que ainda não existem.

No final do século XX começou-se a discutir sobre a ciência do artificial (aquilo que é produzido ou alterado pelo homem) que também passou a ser chamada de “ciência do projeto”, “ciência da engenharia” ou “*design science*”. Esse paradigma surgiu quando se identificou uma lacuna decorrente do uso exclusivo das ciências tradicionais na condução de investigações, principalmente, interessadas na resolução de problemas ou no projeto de algo novo. Isso porque tais ciências objetivam explorar, descrever, explicar e, quando possível, prever. Porém, quando se prescreve soluções e métodos para resolução de determinado problema, ou até mesmo se projeta um novo artefato, busca-se uma maior aproximação da teoria com a prática (DRESCH *et al.*, 2015), e é assim que a *design science research* - DSR (método de pesquisa) visa orientar a condução de um trabalho: com o foco na solução aplicada.

Seguindo a *design science*, pode-se caracterizar a DSR como um método rigoroso para se projetar artefatos para soluções específicas. E para isso, sugere-se que as pesquisas que adotam esse método sigam a sete critérios (Figura 3) elaborados por Hevner *et al.* (2004). O objetivo da pesquisa deve ser criar um artefato (critério 1), em busca de solucionar um problema específico e relevante (critério 2). Este artefato proposto deve ser avaliado (critério 3) e a pesquisa fornecer contribuições para a área de interesse (critério 4). Além disso, é importante que a pesquisa siga critérios rigorosos de condução (critério 5) e ser considerada como um processo de constante busca, para entendimento e proposição de uma solução do problema levantado (critério 6). E por fim, o trabalho será divulgado a toda comunidade (critério 7).

Figura 3 – Critérios para condução das pesquisas DSR

1. Design como artefato	• Pesquisas DSR devem produzir artefatos viáveis, na forma de um constructo, modelo, método ou instanciação.
2. Relevância do problema	• O objetivo da DSR é desenvolver soluções para problemas específicos e relevantes.
3. Avaliação do design	• A utilidade, qualidade e eficácia do artefato deve ser demonstrado de maneira rigorosa através de métodos de avaliação bem executados.
4. Contribuições da pesquisa	• Uma DSR deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, com fundamentações e metodologias de design.
5. Rigor da pesquisa	• Uma DSR deve ser baseada em métodos rigorosos tanto para construção quanto para avaliação dos artefatos.
6. Design como um processo de busca	• A busca por um artefato efetivo requer a utilização de meios disponíveis para alcançar os fins desejados ao mesmo tempo que satisfaça leis e requisitos do ambiente no qual o problema foi identificado.
7. Comunicação da pesquisa	• Uma DSR deve apresentar os resultados para todo o público interessado na resolução do problema inicial.

FONTE: Adaptado de Hevner *et al.* (2004. p.83)

Apesar da *Design Science Research* ser focada na solução de problemas específicos, os resultados gerados podem ser generalizados para uma determinada classe de problemas, a fim de que outros pesquisadores possam fazer uso do conhecimento gerado. Nesse sentido, para esta pesquisa pode-se considerar como a classe de problemas sendo: Métodos de utilização da Manufatura Aditiva em cursos de graduação.

Pode-se afirmar que o produto de uma DSR é um 'artefato', que é considerado como algo artificial, concebido pelo homem, realizado com o objetivo de cumprir um propósito em um determinado ambiente (SIMON, 1996 *apud* LACERDA *et al.*, 2013). Dresch *et al.* (2015) classificam os artefatos, no contexto da *Design Science Research*, em 4 categorias (Figura 4), seguindo a elaboração de March e Smith (1995).

O primeiro tipo de artefato são os constructos ou conceitos que consistem em um vocabulário utilizado para descrever problemas dentro de um contexto e especificar respectivas soluções. O segundo são os modelos, que são um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Podem ser uma representação da realidade, ou seja, uma descrição de como as coisas são. A terceira categoria são os métodos, entendidos como um conjunto de passos necessários para desempenhar uma determinada tarefa. Enquanto o quarto tipo são as instanciações, que é o artefato que operacionaliza outros artefatos (MARCH; SMITH, 1995 *apud* DRESCH *et al.*, 2015). Ou seja, as instanciações informam como implementar ou utilizar determinado(s) artefato(s) e seus possíveis resultados em um determinado ambiente real (LACERDA *et al.*, 2013).

Figura 4 – Tipos de Artefatos da DSR

CONSTRUCTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções. Eles definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas.
MODELOS	<ul style="list-style-type: none"> • Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de <i>design</i>, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. Na <i>Design Science</i> a preocupação é a utilidade de modelos, não a aderência de sua representação à verdade. Embora tenda a ser impreciso nos detalhes, um modelo precisa sempre capturar a estrutura da realidade para ser uma representação útil.
MÉTODOS	<ul style="list-style-type: none"> • Um método é um conjunto de passos (algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe.
INSTANCIÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> • Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam.

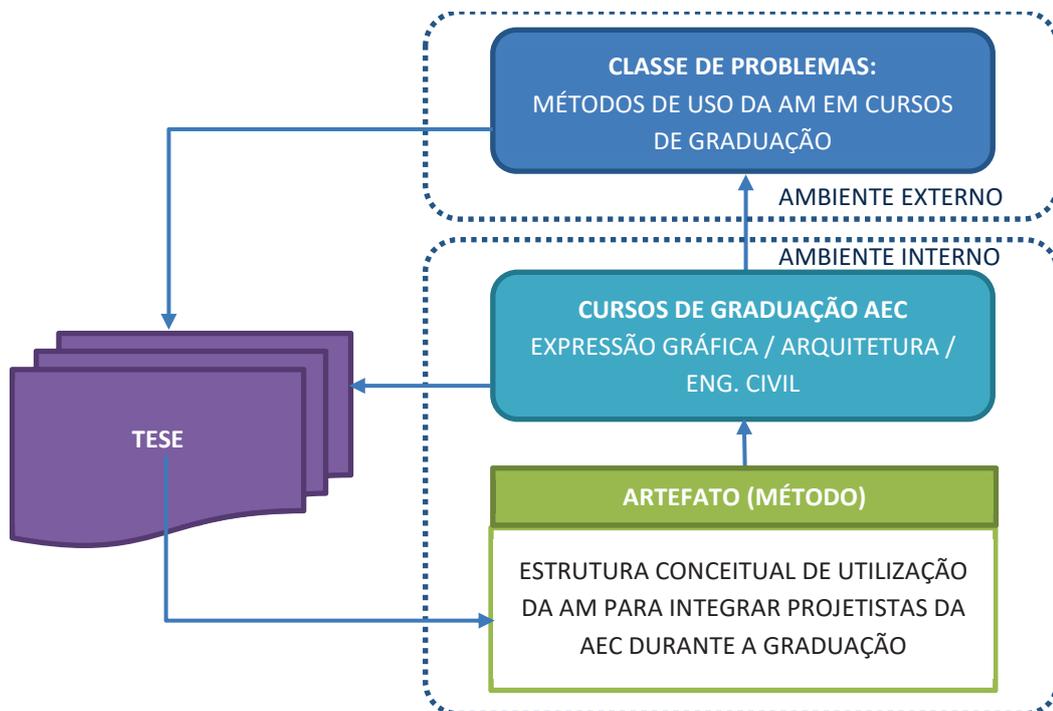
FONTE: Adaptado de MARCH; SMITH (1995, p.257-258)

A luz dessas definições, o **tipo de artefato pretendido para esta pesquisa é fundamentalmente um método**. Pretende-se apresentar um método com uma estrutura conceitual de utilização da Manufatura Aditiva como ferramenta educacional potencializadora de integração de alunos de AEC.

Entretanto, durante a formulação deste artefato e sua avaliação, novos artefatos foram gerados. Além do método, no qual estão estabelecidos os passos a serem seguidos, a estrutura conceitual desenvolvida pode ser considerada um **modelo** da DSR, pois representam o componentes do método. Após a formulação do método, ele foi aplicado com alunos de Expressão Gráfica, Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, 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.

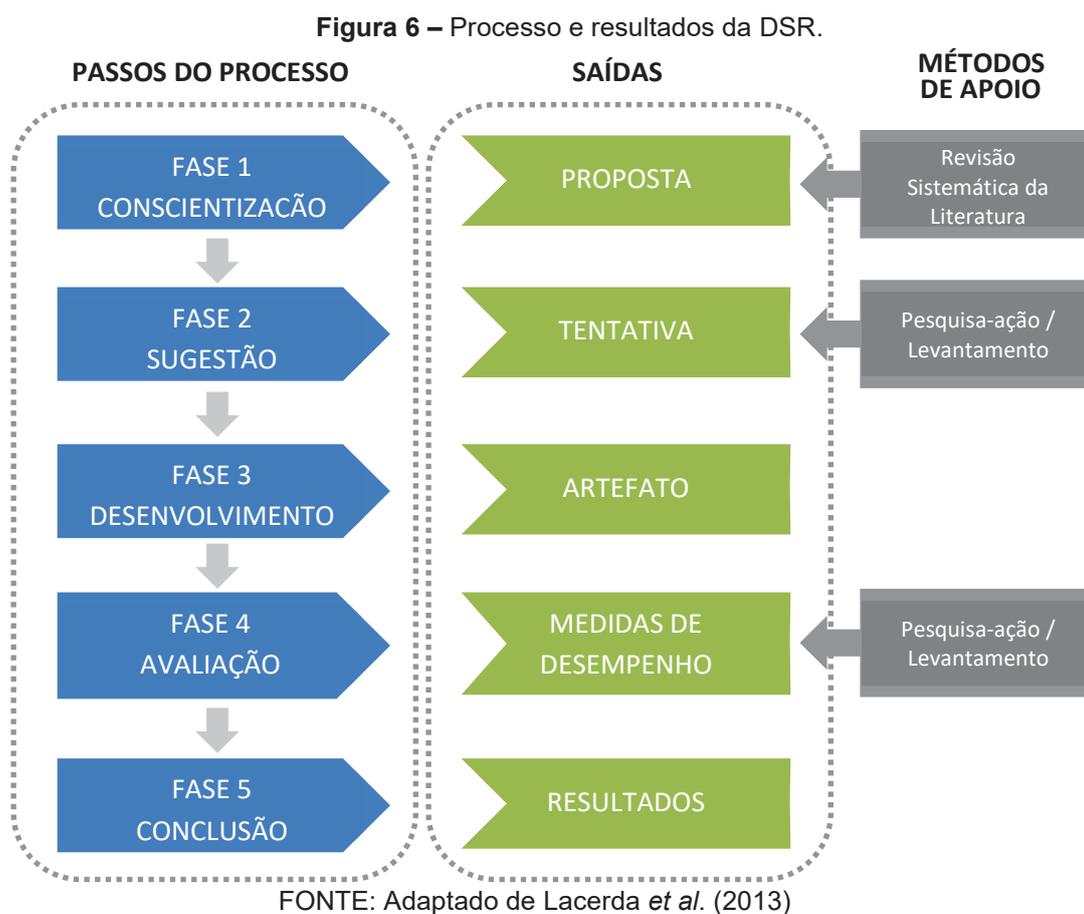
Conclui-se que este trabalho, que seguiu o paradigma de *Design Science*, se posiciona conforme apresentado da Figura 5, de tal maneira que se buscou informações no ambiente externo para a criação do artefato, foi aplicado em uma situação específica para validá-lo, para então o resultado ser comunicado, retroalimentando o ambiente externo.

Figura 5 – Relação da tese com ambientes externo e interno.



FONTE: O autor.

Como a DSR é um método de pesquisa rigoroso, ela segue etapas do trabalho bem definidas. Uma possível organização é apresentada por Lacerda *et al.* (2013), com base em Takeda *et al.* (1990) e Manson (2006), conforme Figura 6, na qual são apresentados os passos do processo e suas respectivas saídas. Nessa mesma imagem ainda se apresenta como outros métodos de pesquisa utilizados nesta tese se relacionam com as fases da DSR, o que demonstra que ela não rejeita os demais métodos tradicionais, mas sim combina-se a eles, justificando, assim, a escolha dos multimétodos para este trabalho.



Na fase de ‘conscientização’, fundamenta-se a respeito do problema a ser enfrentado, buscando entendê-lo de uma forma mais abrangente. O principal resultado é a definição do problema, suas fronteiras (ambiente externo) e soluções satisfatórias esperadas. Já na ‘sugestão’, espera-se que se desenvolva uma ou mais alternativas de artefatos para a solução do problema e a escolha de qual, ou quais, serão desenvolvidos. O ‘desenvolvimento’ envolve ao processo de constituição do artefato em si e do ambiente interno do artefato. Na ‘avaliação’, verifica-se o comportamento do artefato no ambiente para o qual foi

projetado. Nessa fase é importante explicitar o ambiente interno, o externo e os objetivos; explicitar como o artefato pode ser testado; e descrever os mecanismos que medem os resultados. E por fim, na 'conclusão', formaliza-se o todo o processo para comunicá-lo às comunidades acadêmicas e profissionais (LACERDA *et al.*, 2013).

Como já apresentado anteriormente (Figura 2) esta tese está organizada em 5 fases que utilizam de métodos de pesquisa complementares a DSR. Na fase 1 utiliza-se a Revisão Sistemática da Literatura. Na fase 2 e 4 são utilizadas a Pesquisa-ação e Levantamento. Na fase 3, é onde se desenvolve o artefato pretendido para este trabalho e as conclusões são apresentadas na fase 5.

Todos os métodos de apoio à DSR são detalhados na sequência deste capítulo.

2.2.1.1 Metas da DSR para a tese

Nesta tese, caracteriza-se como *Design Science Research* a estratégia central da pesquisa, na qual objetiva-se desenvolver um método com uma estrutura conceitual de implantação da Manufatura Aditiva na formação dos projetistas de AEC, mais especificamente incluindo os alunos de Expressão Gráfica em grupos interdisciplinares com alunos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil.

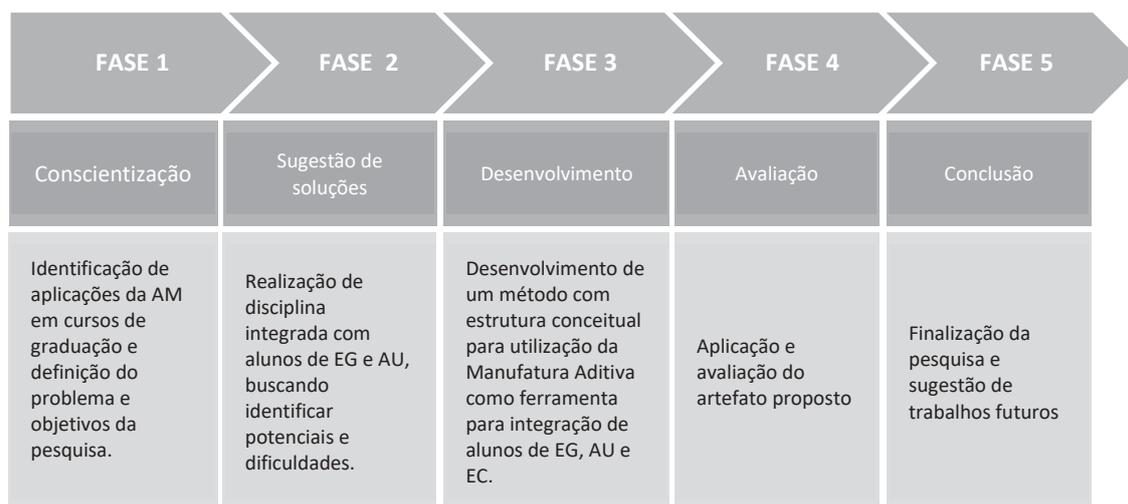
Como resultados tem-se:

- Apresentação de um método educacional de integração de cursos AEC;
- Levantamento de especificades relacionadas a tecnologias digitais e formação mais abrangente apresentadas nas novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) dos cursos de Engenharia e Arquitetura;
- Identificação do potencial papel do estudante e futuro profissional de Expressão Gráfica em grupos multidisciplinares de AEC.

2.2.1.2 Planejamento e execução da DSR

As fases da *Design Science Research* foram organizadas conforme a Figura 7 apresentada a seguir:

Figura 7 – Planejamento e execução da DSR.



FONTE: O autor.

2.2.2 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Antes de efetivamente desenvolver um artefato que responda a indagação principal desta pesquisa, é importante entender profundamente o problema. Dessa forma, a fim de contribuir para a etapa de conscientização da DSR, realizou-se um Revisão Sistemática da Literatura. Esta parte inicial do presente trabalho é fundamentalmente uma pesquisa exploratória realizada através de revisão bibliográfica, uma vez que Gil (2002) caracteriza dessa forma aqueles estudos que têm como objetivo principal proporcionar maior familiaridade com um problema esclarecendo conceitos e ideias. Além de atingir esse objetivo mais abrangente, utiliza-se uma RSL a fim de identificar lacunas no estudo de um assunto específico e minimizar tendências ou vieses.

De acordo com Briner e Denyer (2012), uma revisão bibliográfica só pode ser classificada como “sistemática” se seguir os seguintes princípios: a) ser conduzida por um sistema ou método sistemático; b) apresentar método transparente e explícito; c) replicável e atualizável; d) resumir e sintetizar as evidências relativas a questão da revisão. Além disso, uma RSL segue ao menos 5 passos principais: 1) planejamento da revisão; 2) delimitação do local dos

estudos; 3) avaliação da seleção; 4) análise e síntese das informações; e 5) resumir e sistematizar as evidências obtidas.

Segundo Denyer e Tranfield (2009), um dos aspectos mais importantes da RSL está na etapa de análise e síntese das informações levantadas nos estudos selecionados, na qual é possível realizar duas abordagens diferentes. A primeira é uma meta-análise estatística, que extrai e agrega dados inicialmente dispersos para aumentar a representatividade da amostra, e para isso é importante identificar quais resultados (de estudos diferentes) são consistentes (homogêneos) e quais não são (heterogêneos). No primeiro caso há a possibilidade de se realizar uma análise quantitativa. Porém, raramente os estudos apresentam homogeneidade, dessa forma, abordagens alternativas, como análises de conteúdo e qualitativas, podem ser incorporadas.

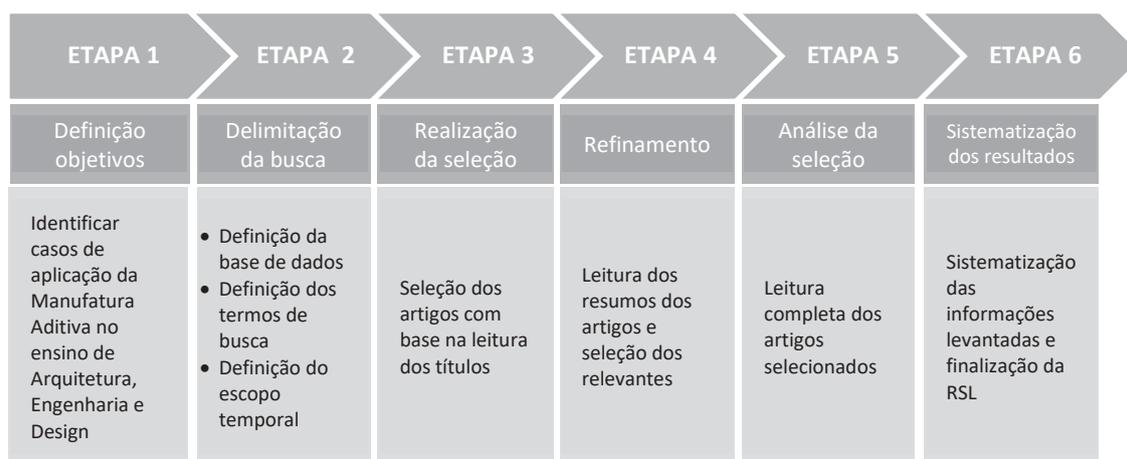
2.2.2.1 Metas da RSL para a tese

Além do objetivo das revisões bibliográficas de se familiarizar com um problema, para esta tese a RSL busca identificar aplicações da Manufatura Aditiva no ensino, em específico de engenharia civil, arquitetura e design. Como resultados da utilização deste método tem-se:

- Identificação dos principais autores, publicações e instituições que desenvolvem trabalhos utilizando Manufatura Aditiva no ensino.
- Identificação de palavras-chave utilizadas nas publicações sobre o tema.
- Identificação de paralelos das aplicações encontradas com a realidade dos cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica.

2.2.2.2 Planejamento e execução das etapas da RSL

As etapas da RSL foram organizadas conforme a Figura 8 apresentada a seguir:

Figura 8 – Planejamento e execução da Revisão Sistemática da Literatura.

FONTE: O autor.

Para a revisão sistemática, realizada em agosto de 2019, inicialmente definiu-se o objetivo da RSL e na sequência delimitou-se a base de busca para realização da pesquisa. Visando um levantamento abrangente selecionou-se quatro plataformas de busca, cientificamente reconhecidas, e inicialmente selecionou-se os termos “*3D printing*” OR “*Rapid Prototyping*” OR “*Prototipagem Rápida*” OR “*Impressão 3D*”. O número de referências encontradas foi: Scopus – 53.238; ScienceDirect – 24.448; Periódicos CAPES – 124.886; e Engineering Village – 29.168.

Para filtrar a grande quantidade de resultados, a primeira estratégia foi a de restringir a procura por referências entre os anos de 2015 a 2019. Posteriormente, conjugou-se os termos anteriores com os seguintes: “*Architecture*” OR “*Civil engineering*” OR “*Design*” OR “*Arquitetura*” OR “*Engenharia civil*”. E na sequência, foram adicionados os termos: “*Teaching*” OR “*Learning*” OR “*Education*” OR “*Ensino*” OR “*Aprendizagem*” OR “*Educação*”. Dessa forma, o objetivo era abranger trabalhos recentes sobre o campo mais amplo, ou seja, “*impressão 3D*” (e sinônimos), focados nas áreas de Arquitetura, Design ou Engenharia Civil, e relacionados com experiências educacionais.

Mesmo com essas restrições, nas plataformas em que havia a possibilidade, ainda se refinou a busca para apresentar apenas trabalhos revisados por pares, como artigos em periódicos científicos e na sequência a exclusão de termos ou áreas como: medicina, matemática, ciência da

computação, química, farmácia, biologia. Para então fazer a leitura dos títulos dos resultados encontrados e após verificar quais possuíam texto completo disponível. Cabe aqui ressaltar que devido à instabilidade no site de buscas durante a filtragem, o portal Periódicos CAPES não foi considerado para esta RSL.

Dessa forma, a estrutura da RSL se ilustra conforme a Tabela 1, com uma seleção total de 71 artigos. Na sequência, foi realizada a leitura detalhada dos resumos e eliminou-se outros 22 trabalhos, que não possuíam foco com a área de pesquisa ou com o tema desejado. E então, efetuou-se a leitura completa de 49 artigos.

Tabela 1 – Número de trabalhos encontrado pela RSL

FILTRO	SCOPUS	SCIENCEDIRECT	ENGINEERING VILLAGE
“3D Printing” OR “Rapid prototyping” OR “Prototipagem rápida” OR “Impressão 3D”	53.238	24.488	29.168
Filtro temporal: 2015-2019	33.283	13.111	12.426
“Architecture” OR “Civil Engineering” OR “Design” OR “Arquitetura” OR “Engenharia civil”	24.555	11.336	5.773
“Teaching” OR “Learning” OR “Education” OR “Ensino” OR “Aprendizagem” OR “Educação”	3.949	2.524	743
Artigos em periódicos e eventos revisados por pares	3.468	1.920	743
Exclusão termos e áreas relacionados à Medicina, Matemática, Ciência da computação, Química, Farmácia, Biologia.	1.058	1.465	743
Leitura do Título	118	24	24
Disponibilidade de texto completo	46	24	12
SUB-TOTAL		82	
TOTAL SEM DUPLICIDADE		71	
LEITURA COMPLETA APÓS RESUMO		49	

FONTE: O autor.

Após a leitura na íntegra dos textos, sistematizou-se as evidências encontradas. Foram extraídas informações como: autores, ano de publicação, se o trabalho foi publicado em periódicos ou eventos, e buscou-se categorizar os trabalhos com o intuito de identificar a abordagem do trabalho com relação a Manufatura Aditiva e a educação, a estratégia de adoção da AM em sala de aula e a área de conhecimento envolvida.

As conclusões obtidas a partir da RSL são apresentadas no capítulo 3, juntamente com o embasamento teórico para esta tese.

2.2.3 Pesquisa-ação

A pesquisa-ação surge nas ciências sociais e é definida como um tipo de pesquisa com base empírica, na qual pressupõem uma associação com uma ação para resolução ou explicação de um problema, em um determinado contexto, em que participantes e pesquisadores estão envolvidos (THIOLLENT, 1985 *apud* GIL, 2002; DRESCH *et al.*, 2015).

Para Gil (1989), umas das maiores características da pesquisa-ação é o envolvimento do pesquisador e pesquisado que não se dá como mera observação do primeiro pelo segundo. Busca-se o oposto das pesquisas tradicionais, focadas no positivismo, nas quais se propõem um conhecimento neutro, objetivo, livre de juízos de valores e de implicações sociopolíticas, pautado no distanciamento entre sujeito-objeto.

Por exemplo, assim como o estudo de caso, esse tipo de pesquisa tem um cunho exploratório, descritivo e explicativo, porém, na pesquisa-ação o pesquisador deixa de ser apenas um observador para ter uma participação ativa na investigação (DRESCH *et al.*, 2015). Dessa forma, o objetivo permanece sendo de descrever e analisar experiências pontuais, porém o autor, como agente envolvido no processo, pode direcionar certas práticas (GIL, 1989).

Neste trabalho, este método de pesquisa subsidiou a etapa de proposição da DSR, observando uma disciplina optativa com alunos e professores dos cursos de Expressão Gráfica e Arquitetura e Urbanismo, ambos da UFPR. Bem como foi utilizado na etapa de avaliação da DSR, observando a aplicação do método proposto em workshops com alunos de Expressão Gráfica, Arquitetura e Engenharia Civil. Essas aplicações são apresentadas em detalhes a seguir.

Como o autor desta pesquisa foi um dos professores ministrantes, atuou como agente participativo na execução e análise do processo.

2.2.3.1 Metas da Pesquisa-ação para a tese

Neste trabalho foram analisadas três experiências de utilização da Manufatura Aditiva no ensino. Foram observados alunos, professores e suas práticas em uma disciplina optativa realizada em conjunto com os cursos de Arquitetura e Urbanismo e Expressão Gráfica da UFPR ocorrida em 2019, e em dois workshops realizados com alunos de EG da UFPR e de Arquitetura e Engenharia Civil, convidados de várias universidades de Curitiba, realizados em 2021 e 2022.

Na etapa de proposição da DSR, a disciplina optativa para os alunos de Arquitetura, da área de tecnologia do curso, abordou tipologias de estruturas através do desenvolvimento de modelos estruturais físicos, visando compreender o seu comportamento estrutural e entender a relação entre a concepção estrutural, a concepção arquitetônica e a dimensão construtiva propriamente dita. Concomitantemente, ocorreu a disciplina optativa do curso de Expressão Gráfica, Tópicos em Prototipagem, de ementa aberta e flexível, na qual buscou-se desenvolver a habilidade do profissional de Expressão Gráfica em trabalhar de maneira colaborativa e desenvolver a capacidade de planejamento de projeto, além de focar em conceitos e noções básicas de utilização dos equipamentos de prototipagem rápida.

Dado o potencial multidisciplinar das disciplinas e de complementariedade dos temas abordados e habilidades dos alunos, os professores decidiram juntar as disciplinas e realizar trabalhos em que grupos de alunos de ambos cursos interagissem para criar modelos estruturais físicos.

Almejou-se esta iniciativa a fim de levantar os pontos positivos e negativos desta integração de áreas (cursos) e analisar como o uso da prototipagem rápida influenciou os resultados dos trabalhos. Como resultados obtiveram-se:

- Identificação das vantagens e dificuldades da utilização da Manufatura Aditiva em disciplinas de projeto.
- Identificação das dificuldades de integração de disciplinas de diferentes cursos.

- Observação do potencial do alunos de Expressão Gráfica em grupos multidisciplinares AEC.

Já na etapa de avaliação da DSR, novamente aplicou-se a pesquisa-ação. Dessa vez em dois workshops realizados nos anos de 2021 e 2022, após severas restrições devido a pandemia do COVID-19.

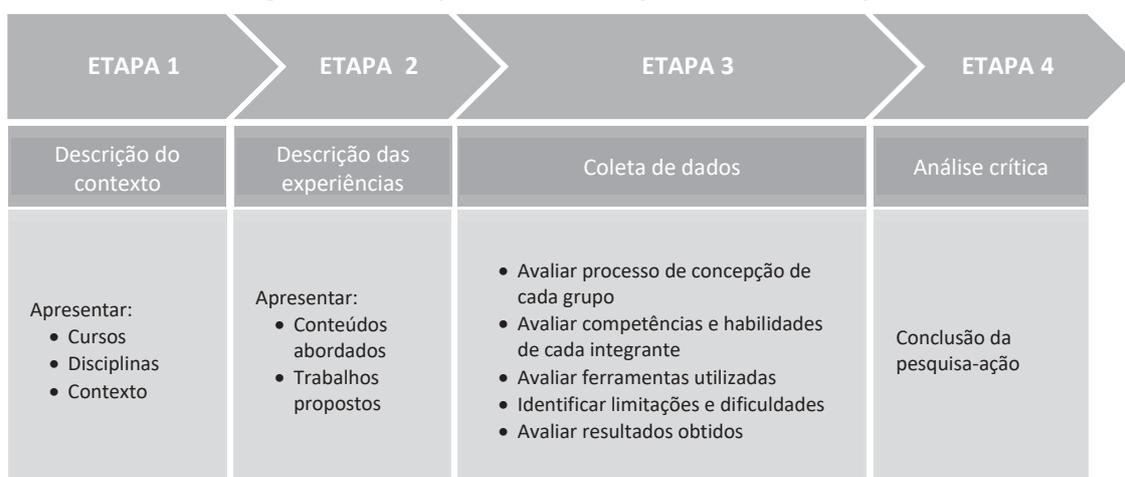
Após a identificação das dificuldades burocráticas encontradas na integração de disciplinas de diferentes cursos e da formulação do artefato proposto, decidiu-se aplicá-lo em workshops utilizando uma disciplina obrigatória do curso de Expressão Gráfica, porém convidando alunos de Arquitetura e Engenharia Civil interessados, independentemente da instituição de ensino a que estivessem vinculados. Participaram alunos de diversas universidades de Curitiba.

Para se avaliar a aplicação do método proposto nessas experiências, utilizou-se outro método de pesquisa, o Levantamento, a fim de extrair a percepção dos próprios participantes.

2.2.3.2 Planejamento e execução das etapas da Pesquisa-ação

As etapas da Pesquisa-ação foram organizadas conforme a Figura 9 apresentada a seguir:

Figura 9 – Planejamento e execução da Pesquisa-ação.



FONTE: O autor.

Pode-se coletar evidências a partir de várias fontes. Segundo Yin (2001) é importante que se baseie a coleta em mais de um tipo de fonte, que podem ser documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

Neste trabalho, as informações foram levantadas através de: documentos, como planos de aula das disciplinas, planejamento pedagógico dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Expressão Gráfica; observação participante, uma vez que o pesquisador fez parte do contexto, sendo docente da disciplina/cursos e observou os participantes no decorrer de todas as aulas, fazendo registros documentais e fotográficos; e artefatos físicos, como os modelos resultantes dos trabalhos desenvolvidos e criados pelos alunos.

2.2.4 Levantamento

Pesquisas do tipo Levantamento se caracterizam pela interrogação direta de um grupo de pessoas cuja opinião, percepção, sentimentos, comportamentos ou atitudes sobre um determinado fato ou contexto busca-se conhecer (GIL, 2002; MARTIN e HANINGTON, 2012).

Duas principais técnicas de coleta de dados em um levantamento são questionários e entrevistas. Ambos apresentam questões aos participantes que podem ser, segundo Martin e Hanington (2012):

- Fechadas – forçam a escolha de respostas estruturadas e limitadas;
- Abertas – encorajam a discussão com respostas longas sem um padrão definido;
- Gerais – se pautam em aspectos gerais ou assuntos de grande espectro;
- Específicas – buscam detalhes particulares de uma situação;
- Fatuais – com respostas que podem ser verificadas através da observação ou informações de apoio;
- Hipotéticas – fazem o participante especular sobre comportamentos ou ações;

- De julgamento – questionam o participante sobre sua opinião sobre algo;
- Comparativas – questionam sobre o julgamento entre duas ou mais alternativas;
- Requisitam sugestões – convidam o participante a sugerir novas ideias ou opiniões.

2.2.4.1 Metas do Levantamento para a tese

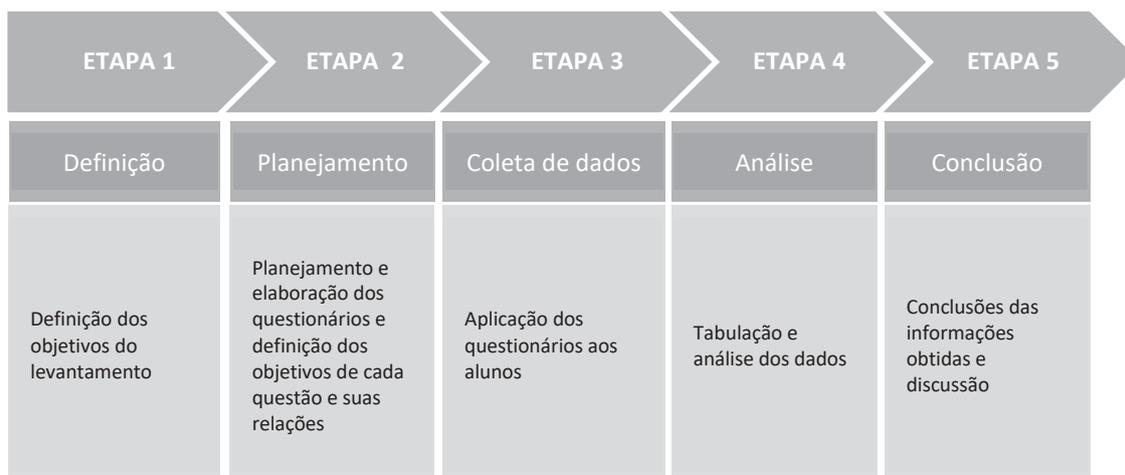
Uma vez que os sujeitos investigados informam suas opiniões, esse tipo de pesquisa torna-se mais livre de interpretações subjetivas do pesquisador e mais adequada para estudos descritivos (GIL, 2002). Por isso, neste trabalho o levantamento foi escolhido para complementar a investigação realizada durante a pesquisa-ação.

Foram levantadas as opiniões dos alunos participantes das disciplinas/cursos ofertados. O objetivo foi observar suas avaliações sobre uso da prototipagem rápida, mais especificamente a Manufatura Aditiva, no processo de ensino-aprendizagem de conceitos da AEC, e seu apoio para a colaboração de alunos de diferentes cursos. Bem como avaliar percepção dos alunos sobre o método desenvolvido na DSR. Como resultados obtiveram-se:

- Identificação de dificuldades enfrentadas pelos alunos na aplicação da AM segundo suas próprias visões;
- Identificação da percepção dos alunos sobre vantagens e desvantagens de se trabalhar com um grupo interdisciplinar ;
- Identificação da avaliação positiva dos alunos sobre as etapas do método e motivação adequada durante as experiências.

2.2.4.2 Planejamento e execução das etapas do Levantamento

As etapas do Levantamento foram organizadas conforme a Figura 10 apresentada a seguir:

Figura 10 – Planejamento e execução do Levantamento.

FONTE: O autor.

Os questionários foram aplicados à alunos nas fases de proposição e avaliação da DSR, utilizados juntamente com a pesquisa-ação já apresentada.

2.3 MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Como já apresentado, este trabalho se utiliza de múltiplos métodos de pesquisa para coleta de dados. Para a análise de dados serão adotados procedimentos mistos, que combinam análises tanto qualitativas quanto quantitativas. Segundo Saunders et al. (2009), análises mistas permitem converter dados quantitativos em uma narrativa que possa ser analisada qualitativamente, e da mesma maneira, é possível quantificar dados qualitativos, convertendo-os em códigos numéricos que possam ser analisados estatisticamente.

Isso traz alguns benefícios como: a possibilidade de triangulação de dados que facilitam a validação das respostas obtidas; a complementariedade que um método pode ter em relação a outro; permitem estudos de diferentes aspectos em macro e micro escala; e um método pode auxiliar nas conclusões quando o outro resulta em dados insuficientes ou inconclusivos.

Wisdom e Creswell (2013) afirmam que as características centrais para um estudo de métodos mistos bem desenhado incluem:

- Coleta e análise tanto de dados qualitativos quanto quantitativos;
- Uso de procedimentos rigorosos na coleta e análise de dados apropriados para cada método, como assegurar o tamanho da amostra apropriado para as análises;
- Integração de dados durante a etapa de coleta, análise ou discussão;
- Uso de procedimentos que implementem componentes qualitativos e quantitativos tanto de maneira concorrente, como de maneira sequencial, com a mesma amostra ou diferentes amostras.

Entretanto, ressalta-se que este trabalho buscou conclusões qualitativas sobre o método desenvolvido, como apresentado no capítulo 6. A aplicação do método não se deu com quantidade suficiente de participantes para se inferir conclusões estatísticas.

Para a coleta de dados primários, ou seja, aqueles inéditos desta pesquisa, serão utilizadas as técnicas de “grupo focal” e “*survey*” que se utilizam de entrevistas ou questionários, a fim de obter percepções dos alunos dos cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica. Tais dados foram obtidos durante as fases da DSR de sugestão e de avaliação do artefato.

2.3.1 Grupo focal

Segundo Marczyk et al. (2005), grupos focais são grupos estruturados de indivíduos agrupados para discutir um tema durante um período específico e são úteis para obter suas impressões individuais. Tipicamente tais indivíduos possuem características em comum relevantes para o tema estudado.

O objetivo do pesquisador ao se utilizar de um grupo focal é obter dados qualitativos dos indivíduos e não há a pretensão estatística. Segundo Marczyk et al. (2005), normalmente evita-se grupos maiores de 10 participantes. O grupo focal permite a interação entre o pesquisador e os participantes e entre os próprios participantes, e se mostra adequado principalmente durante a pesquisa-

ação na qual entrevistou-se os grupos de alunos que participarem das disciplinas integradas entre Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica.

A entrevista realizada com um grupo focal é do tipo não estruturada o que permite a discussão aberta e irrestrita de ideias e opiniões entre os participantes. O pesquisador atuará como um moderador, evitando perguntas fechadas que não gerem um diálogo, sem estimular o debate, assim como questões que iniciem com “por que” que possam acarretar em adivinhações (o famoso “chute”), ou ainda em respostas socialmente mais bem aceitas quando um indivíduo estiver incerto ou inseguro. Ao invés, pode ser mais interessante perguntar aos participantes sobre o que foi realizado, como foi o processo e detalhes sobre seus comportamentos (MARCZYK et al., 2005).

2.3.2 Survey

A coleta de dados do tipo *survey* (levantamento) busca perguntar a um grupo maior de pessoas a respeito de seus comportamentos, atitudes e opiniões através de questionários. Também pode-se buscar relações entre características dos respondentes e suas opiniões (MARCZYK et al., 2005).

O questionário é estruturado pensando-se nos objetivos da investigação. Nesta pesquisa foram desenvolvidos dois questionários (Apêndice 5 e 6) utilizados na fase proposição da DSR, na disciplina ocorrida em 2019. Para a fase de avaliação da DSR outro questionário foi desenvolvido e aplicado (Apêndice 7).

2.4 ESTRUTURA DA TESE

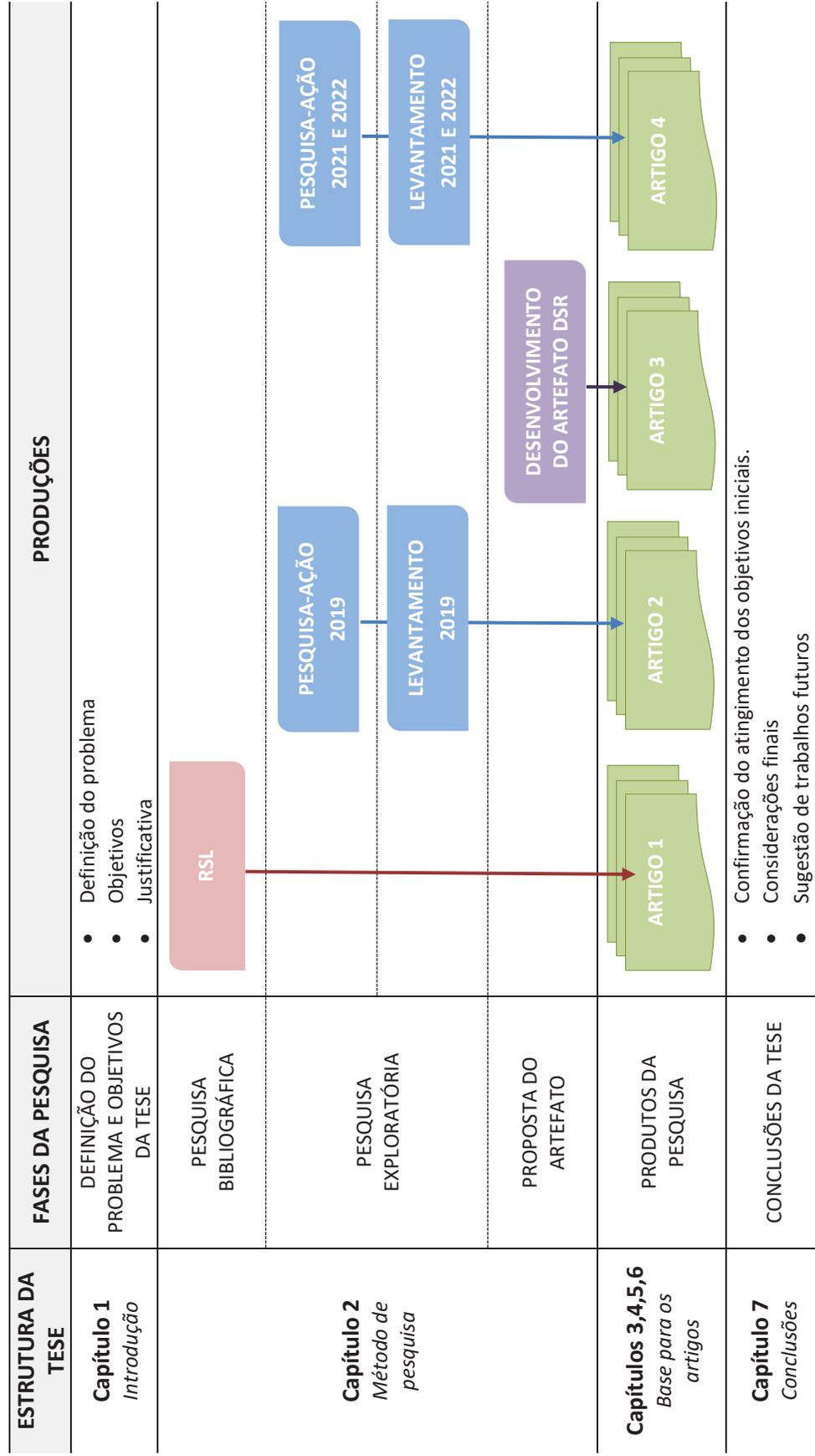
Seguindo as fases da pesquisa já apresentadas na Figura 2, a estrutura da tese é exposta no Quadro 1, a seguir.

No capítulo 1, são apresentados a definição do problema, os objetivos e justificativa da pesquisa. Introduz-se no capítulo 2 os métodos utilizados durante o trabalho, explicando como estão apoiando uma abordagem de *Design Science Research* e originam os capítulos seguintes .

Nos capítulos 3 a 6 são apresentados os produtos da Revisão Sistemática da Literatura, das experiências de Pesquisa-ação e Levantamento ocorridas em 2019, 2021 e 2022, e do desenvolvimento e avaliação do artefato gerado em todo processo de DSR. Cabe enfatizar que a RSL (capítulo 3) consiste no embasamento teórico; a experiência de pesquisa-ação e levantamento realizada em 2019 (capítulo 4) consiste na sugestão de soluções; o capítulo 5 apresenta a sistematização do artefato desenvolvido; e o capítulo 6 (experiências de pesquisa-ação e levantamento realizadas em 2021 e 2022) consiste na aplicação e avaliação do artefato.

E por fim, o capítulo 7 conclui o trabalho buscando sintetizar o trabalho apresentado, confirmar o atingimento dos objetivos pretendidos e sugerir futuras investigações a respeito do tema.

Quadro 1 – Organização da estrutura da tese e produtos.



FONTE: O autor.

3 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA - O uso da Manufatura Aditiva como ferramenta para a formação de profissionais capacitados para o século XXI

Já no início do século XXI, Kolarevic (2001) afirmava que a Era da Informação estava transformando não apenas a maneira de se projetar os edifícios, mas também a maneira como estes são construídos. Devido ao rápido avanço das tecnologias e principalmente os meios de produção digitais, novas possibilidades de experiências tridimensionais na arquitetura se tornam possíveis por meio de técnicas de fabricação digital ou prototipagem rápida que podem ser inseridas de maneira parcial ou integral no processo de projeto-construção da arquitetura, uma vez que podem atuar nas mais diferentes etapas (MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019). Desde a concepção formal arquitetônica, até na construção de moldes para elementos construtivos, ou até mesmo na confecção de elementos prontos para serem inseridos na obra.

Prototipagem Rápida (PR) é a tecnologia que viabiliza a geração de protótipos físicos feitos por máquinas controladas por computador, a partir de modelos 3D desenvolvidos em sistemas CAD, e isso engloba todos os processos de prototipagem como os aditivos (impressoras 3D), os subtrativos (corte a laser e fresas), e os conformativos (SANTOS, 2000; PUPO, 2008). Já a fabricação digital utiliza-se dos mesmos conceitos, porém, para se produzir peças e componentes finais. Apesar de ser um fenômeno relativamente recente na arquitetura, já é utilizado há mais de 50 anos no desenvolvimento de veículos, aviões e produtos (DUNN, 2012).

Todavia, no Brasil, o uso da fabricação digital como técnica construtiva é insipiente, dada a pequena industrialização do país na área da AEC. É por isso que tais tecnologias são abordadas nos centros de ensino superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalhar com elas (MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019). Mesmo assim, ainda é um tema que não está consolidado dentro dos cursos de graduação de profissionais da AEC.

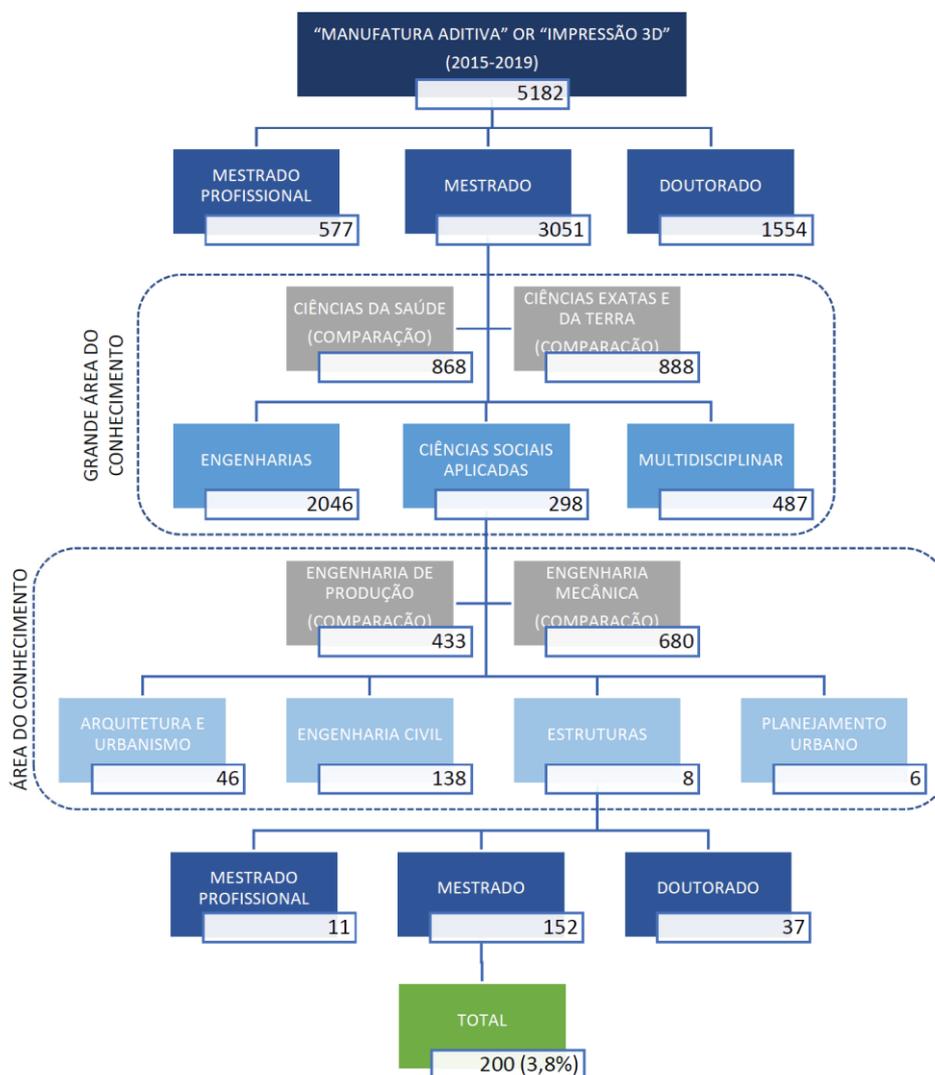
Martins e Pereira Filho (2019) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar a forma que as discussões a respeito da fabricação digital nas escolas de arquitetura e urbanismo no Brasil estão se desenvolvendo e concluíram que há uma crescente tendência de pesquisas com escopos abrangentes. Isso demonstra que a fabricação digital ainda está em fase de estudo e compreensão nas academias brasileiras, para então culminar em análises de aplicações mais específicas.

Em 2008, Pupo (2008) buscou identificar grupos de pesquisa existentes no Brasil relacionados com prototipagem rápida e fabricação digital focadas para arquitetura. Apenas 3 grupos foram encontrados. Em 2019, Martins e Pereira Filho (2019) refizeram essa investigação e identificaram 4 grupos diferentes, com 5 linhas de pesquisa, sendo que apenas um dos elencados em 2008 ainda existia.

Em busca de dados complementares aos de Pupo, Martins e Pereira Filho, o presente autor buscou no portal de catálogo de teses e dissertações da CAPES (Agência Federal de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), em dezembro de 2019, os termos “manufatura aditiva” OR “impressão 3D” com um filtro temporal de 2015 a 2019 e obteve um resultado de 5182 trabalhos de mestrado, mestrado profissional e doutorado. Realizando filtros por área do conhecimento permitidos pela própria plataforma (conforme apresentados na Figura 11) notou-se o baixo número de pesquisas relacionadas com a área de Arquitetura e Engenharia Civil. Apenas 3,8% do total de trabalhos elaborados no Brasil.

Ainda que a maioria das pesquisas se enquadrem na grande área do conhecimento “Engenharias”, fica claro que os trabalhos estão relacionados com Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção. A pouca abrangência para as áreas da Engenharia Civil e Arquitetura reforça a importância da discussão da utilização da fabricação digital e prototipagem rápida na formação dos profissionais da AEC.

Figura 11 – Catálogo de teses e dissertações CAPES por área do conhecimento.



FONTE: O autor.

Dentro das técnicas de PR, uma vem se destacando: a Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*), ou Impressão 3D. A AM consiste no processo de fabricação de modelos a partir de dados de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que vão sendo fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (MONTEIRO, 2015; GO e HART, 2016; HAAVI et al., 2018; STERN et al., 2019). Essa tecnologia está se tornando rapidamente disponível e acessível ao público devido à constante redução dos preços das impressoras 3D desktop, além da disponibilidade de ferramentas CAD livres, ou *open-source*, (NOVAK e WISDOM, 2018). Na educação já se percebeu o suporte e os benefícios que a utilização da impressão 3D podem 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 e PAPA, 2015; FUKUDA et al., 2016; FAN et al., 2016; HULEIHIL, 2017; LUDWIG et al., 2017).

Além de expandir as possibilidades de design para objetos complexos, a Manufatura Aditiva aplicada na educação permite aumentar o engajamento ativo dos estudantes, enfatizar o aprendizado colaborativo, aumentar a exposição dos estudantes às habilidades de resolução de problemas, melhorar a capacidade de visualização 3D e, no caso de áreas que envolvam a criatividade, realçar o aprendizado através de processos de design interativos (KOLITSKY, 2014).

O rápido crescimento e potencial disruptivo das tecnologias AM demandam programas educacionais que forneçam seus princípios fundamentais e igualmente permitam aos designers e engenheiros descobrirem suas capacidades (GO e HART, 2016). Tais capacidades deveriam estar alinhadas com as necessidades de uma educação voltada para uma sociedade baseada em informação e tecnologia.

Na literatura comumente se encontra termos como “habilidades para o séc. XXI”, “aprendizado aprofundado” (*deeper learning*), “aprendizado centrado no estudante”, entre outros utilizados para se referir às habilidades tanto cognitivas como não cognitivas que podem ser estimuladas durante a formação de estudantes para que obtenham sucesso na educação, no trabalho e em outras áreas da vida adulta (PELLEGRINO e HILTON, 2013).

Além disso, considera-se que experiências práticas (chamadas “*hands-on*”) e baseadas em problemas, podem ajudar estudantes a um melhor entendimento de conceitos analíticos complexos associados ao conhecimento de ciências, tecnologia, engenharias e matemática, também conhecido pelo acrônimo STEM (VIOLANTE e VEZZETTI, 2017). Para o sucesso futuro, alunos precisam praticar a resolução de problemas e tomada de decisão com embasamento, ao invés de apenas armazenar uma coleção de fatos e conteúdos (KOLODNER et al., 2003 *apud* VIOLANTE e VEZZETTI, 2017).

A Manufatura Aditiva tem potencial de auxiliar as escolas, universidades e centros de treinamento na exploração dessas habilidades e competências, juntamente com estratégias pedagógicas como a abordagem PBL (*problem-based learning* ou aprendizado baseado em problemas). A AM permite transformar ideias em modelos tangíveis, ou seja, permite que os estudantes criem e construam o conhecimento conforme vão transformando ideias, a partir da imaginação, em objetos físicos e modelos que as representem (TRUST e MALOY, 2017). Somado a isso, as tecnologias de impressão 3D podem servir como uma poderosa ferramenta educacional através da exposição dos alunos a ciclos interativos de design que é central para a prática da engenharia e arquitetura (NOVAK e WISDOM, 2018).

Isso exposto, este capítulo indaga: Como capacitar os futuros profissionais da AEC, de forma a exercitarem suas capacidades e habilidades técnicas e pessoais, e como a Manufatura Aditiva pode auxiliar o processo de ensino-aprendizagem desses profissionais? Tendo em vista a obtenção dessas respostas, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que buscou identificar como a Manufatura Aditiva está sendo utilizada e abordada em cursos de graduação em Arquitetura e Engenharia Civil ou em outras áreas com as quais seja possível estabelecer um paralelo. Além disso, pesquisou-se temas que durante a RSL foram encontrados e o autor os julga como importantes para apoiarem a utilização da impressão 3D na educação, como habilidades indispensáveis para os futuros profissionais do século XXI, educação multidisciplinar e abordagem PBL.

O objetivo desta RSL é detectar abordagens de utilização da Manufatura Aditiva na educação, bem como vantagens e dificuldades em sua adoção, para estabelecer possíveis paralelos com a área de Arquitetura, Engenharia e Construção.

3.1 PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A Revisão Sistemática da Literatura foi realizada em agosto de 2019. Visando uma busca abrangente, inicialmente selecionou-se três plataformas de

busca, cientificamente reconhecidas, e buscou-se os termos “*3D printing*” OR “*Rapid Prototyping*” OR “Prototipagem Rápida” OR “Impressão 3D”. Nessa primeira busca obteve-se o seguinte número de resultados: Scopus – 53.238; ScienceDirect – 24.448; e Engineering Village – 29.168.

Para filtrar a grande quantidade de resultados, a primeira estratégia foi a de restringir a busca por referências entre os anos de 2015 a 2019. Posteriormente, conjugou-se os termos anteriores com os seguintes: “*Architecture*” OR “*Civil engineering*” OR “Design” OR “Arquitetura” OR “Engenharia civil”. E na sequência, adicionou-se os termos: “*Teaching*” OR “*Learning*” OR “*Education*” OR “Ensino” OR “Aprendizagem” OR “Educação”. Dessa forma, o objetivo era abranger trabalhos recentes sobre o campo mais amplo, ou seja, “impressão 3D” (e sinônimos), focados nas áreas de Arquitetura, Design ou Engenharia Civil, e relacionados com experiências educacionais.

Mesmo com essas restrições de busca, nas plataformas onde havia essa possibilidade, ainda se refinou a procura para apresentar apenas trabalhos revisados por pares, como artigos em periódicos científicos e na sequência a exclusão de termos ou áreas como: medicina, matemática, ciência da computação, química, farmácia, biologia, para então fazer a leitura dos títulos dos resultados encontrados e após verificar quais possuíam texto completo disponível.

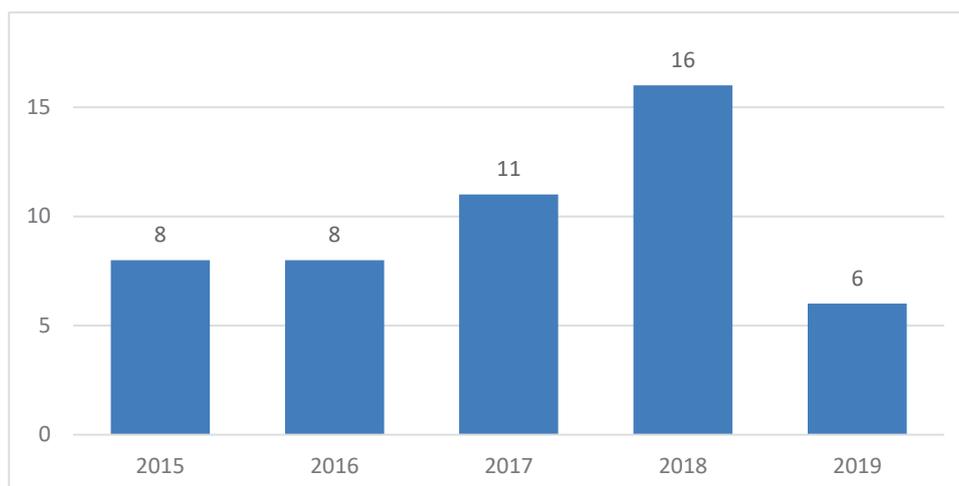
Dessa forma, obteve-se uma seleção total de 71 artigos. Na sequência, foi realizada a leitura detalhada dos resumos e eliminou-se outros 22 trabalhos, que não possuíam foco com a área de pesquisa ou com o tema desejado. E então, efetuou-se a leitura completa de 49 artigos.

A maioria dos artigos encontrados são do ano de 2018, conforme ilustra a Figura 12, o que mostra a atualidade desses trabalhos. No total, 16 trabalhos foram publicados em anais de eventos científicos e 33 em periódicos internacionais. Uma lista dos eventos e periódicos encontrados é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Lista de eventos e periódicos encontrados na RSL.

NOME EVENTOS/PERIÓDICO		Nº DE TRABALHOS
Eventos	1st International Scientific Conference of Engineering Sciences - 3rd Scientific Conference of Engineering Science (ISCES)	1
	13th Global Conference on Sustainable Manufacturing	1
	2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2015	1
	2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)	1
	2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)	1
	2018 19th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)	1
	2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)	1
	25th CIRP Design Conference	3
	28th CIRP Design Conference	1
	44th Proceedings of the North American Manufacturing	1
	CISPÉE 2016 - 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education	1
	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	1
	ISEC 2017 - 7th IEEE Integrated STEM Education Conference	1
	SPIE - Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018	1
	Periódicos	3D Printing and Additive Manufacturing
Additive Manufacturing		3
Architectural Science Review		1
Arte, Individuo y Sociedad		1
Australian Academic and Research Libraries		1
Automation in Construction		2
Computer Applications in Engineering Education		1
Design Studies		1
Educational Media International		1
Engineering Structures		2
European Journal of Engineering Education		1
Heritage Science		1
Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning		1
International Journal of STEM Education		1
International Journal of Technology and Design Education		2
Journal of Architectural Engineering		1
Journal of Engineering, Design and Technology		1
Journal of Manufacturing Science and Engineering		1
Journal of Science Education and Technology		1
Journal of Visual Languages and Computing		1
Materials		1
Materials Today Communications		1
Rapid Prototyping Journal		2
Research Papers in Education		1
Telematics and Informatics	1	
Thinking Skills and Creativity	1	

FONTE: O autor.

Figura 12 – Número de trabalhos por ano de publicação.

FONTE: O autor.

Nem todos os trabalhos selecionados tratavam especificamente do uso da AM na educação, bem como foram encontrados trabalhos que não eram da área da AEC, entretanto, foram considerados por apresentarem evidências de como a impressão 3D está sendo utilizada em outras áreas e pode-se estabelecer paralelos que auxiliem no objetivo da pesquisa. Categorizou-se os trabalhos conforme apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 – Categorias identificadas nos trabalhos da RSL

CATEGORIA	Nº DE TRABALHOS	REFERÊNCIAS
Experiências na graduação/pós-graduação	16	Minetola et al. (2015); Bekke e Mersha (2018); Bonet et al. (2017); Chiu et al. (2016); Gatto et al. (2015); Go e Hart (2016); Greenhalgh (2016); Haavi et al. (2018); Junk e Matt (2015a); Ludwig et al. (2017); Luna e Chong (2018); Saorín et al. (2017); Smith et al. (2018); Stern et al. (2019); Virgin (2017); Wang et al. (2018).
Experiências no ensino básico	5	Bull et al. (2015); Huleihil (2017); Nemorin e Selwyn (2017); Stavridi (2017); Çelik e Özdemir (2019).
Experiências no ensino de professores	5	Cairns et al. (2018); Novak e Wisdom (2018); Schelly et al. (2015); Song (2019); Verner e Merksamer (2015).
Métodos, modelos, diretrizes de ensino/aprendizado	9	Fernandes e Simoes (2016); Tsongas et al. (2018); Lynn et al. (2016); Junk e Matt (2015b); Kadhim (2018); Huang e Lin (2017); Violante e Vezzetti (2017); Song (2018); Chiu et al. (2015)
Uso AM na educação	3	Wong e Partridge (2016); Ford e Minshall (2019); Pieterse e Nel (2016)
Uso e adoção da AM no mercado/indústria	11	Kianian et al. (2016); Schniederjans e Yalcin (2018); Wu et al. (2018); Buchanan e Gardner (2019); Menold et al. (2017); Bhardwaj et al. (2019); Ghaffar et al. (2018); Fukuda et al. (2016); Vranich (2018); Bayar e Aziz (2018); Pérez-Pérez et al. (2018)

FONTE: O autor.

Com relação às áreas do conhecimento abordadas nas pesquisas, elas eram diversas. Entretanto, percebeu-se uma maior ocorrência de trabalhos que abordavam duas áreas: Engenharia Mecânica (MINETOLA et al., 2015b; GATTO et al., 2015; GO e HART, 2016; SMITH et al., 2018; STERN et al., 2019; PIETERSE e NEL, 2016), principalmente focada no desenvolvimento de produtos, e a área que, no Brasil, pode ser identificada como Ciências, mas na literatura internacional é comumente referida com o acrônimo STEM (*Science, Technology, Engineering and Math*), que envolve Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (FERNANDES e SIMOES, 2016; TSONGAS et al., 2018; CAIRNS et al., 2018; SCHELLY et al., 2015; ÇELIK e ÖZDEMIR, 2019; BULL et al., 2015; NEMORIN e SELWYN, 2017; NOVAK e WISDOM, 2018).

Outras áreas encontradas foram: Arquitetura (KADHIM, 2018; BAYAR e AZIZ, 2018), Planejamento Urbano (FUKUDA et al., 2016), Artes (STAVRIDIS, 2017; SONG, 2019), Construção Civil (WU et al., 2018; BUCHANAN e GARDNER, 2019; GHAFAR et al., 2018; BHARDWAJ et al., 2019), Design de interiores (GREENHALGH, 2016), Engenharia de Automação (BONET et al., 2017), Patrimônio Cultural (FAN et al., 2016; VRANICH, 2018), Topografia (WANG et al., 2018), Modelagem Digital (HUANG e LIN, 2017) e Manufatura Aditiva em geral (SCHNIEDERJANS e YALCIN, 2018; HAAVI et al., 2018; SONG, 2018; FORD e MINSHALL, 2019; KIANIAN et al., 2016; PÉREZ-PÉREZ et al., 2018).

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresenta-se o referencial teórico obtido a partir da RSL principalmente a respeito da Manufatura Aditiva na educação. Durante a Revisão Sistemática da Literatura outros conceitos encontrados foram julgados como importantes fatores para o entendimento de como implantar a AM na formação de profissionais da AEC. Para maior profundidade de compreensão, utilizou-se literatura complementar à RSL para esses temas.

3.2.1 Educação para o século XXI

É inegável que as evoluções tecnológicas mudaram significativamente a sociedade nos costumes, hábitos, assim como o que se espera de um profissional e da sua formação. Segundo o *NMC Horizon Report 2018* para educação superior (ADAMS BECKER et al., 2018), as ferramentas digitais e tecnológicas tornaram-se onipresentes, mas podem ser ineficazes ou perturbadoras se não forem integradas ao processo de aprendizado de maneiras significativas. A força de trabalho contemporânea exige funcionários com conhecimento digital que possam trabalhar perfeitamente com diferentes mídias e novas tecnologias à medida que surgirem. Um elemento importante para promover essa fluência tecnológica é reconhecer que simplesmente compreender como usar um dispositivo ou determinado software não é suficiente. Professores, funcionários e alunos precisam poder fazer conexões entre as ferramentas e os resultados pretendidos, alavancando a tecnologia de maneiras criativas que lhes permitam se adaptar de maneira mais intuitiva de um contexto para outro.

Além da alfabetização tecnológica, espera-se que os profissionais da Era da Informação tenham habilidade e capacidade de solucionar os inúmeros problemas que encontrarão em um mundo de constante evolução e transformações. De uma maneira mais abrangente, essas competências pessoais estão inseridas em três amplos domínios identificados por Pellegrino e Hilton (2013): cognitivo, intrapessoal e interpessoal. O domínio cognitivo envolve raciocínio e memória; o domínio intrapessoal envolve a capacidade de gerenciar o comportamento e as emoções para atingir seus objetivos (incluindo objetivos de aprendizado); e o domínio interpessoal envolve expressar ideias, interpretar e responder as mensagens de outras pessoas. Ou seja, as habilidades desejadas nos profissionais envolvem um conjunto de conhecimentos, hábitos e características pessoais. As principais habilidades consideradas valiosas para a formação de profissionais no século XXI são (TRUST e MALOY, 2017; PELLEGRINO e HILTON, 2013):

- Pensamento crítico e capacidade de solução de problemas;
- Colaboração em equipe;

- Agilidade e adaptabilidade;
- Proatividade e empreendedorismo;
- Capacidade de comunicação oral e escrita efetiva;
- Curiosidade e imaginação;
- Motivação e persistência.

Saorín et al. (2017) ainda complementam ao dizer que engenheiros precisam de habilidades para solucionar problemas de maneira original e inovadora. Eles precisam ter mente criativa para criar produtos ou incrementar os existentes. A criatividade como competência se tornou relevante e uma obrigatoriedade curricular nos estudos de engenharia, para responder a sociedade que demanda perfis de habilidades criativas. Segundo Bonet et al. (2017), ela envolve processos cognitivos (flexibilidade, fluidez, originalidade e geração de conexões inovadoras), processos afetivos (como a abertura, inclinação a correr riscos, persistência, tolerância e a gestão das emoções durante o processo criativo) e processos neurológicos, sociais e de comunicação, uma vez que seu estudo não pode ser abordado de um único ponto de vista. O autor ainda cita que a Academia Nacional de Engenharia dos Estados Unidos, no informe "o engenheiro de 2020", indica que as ciências humanas, ciências sociais e as habilidades de apresentação e comunicação são tão importantes como os conhecimentos técnicos para um profissional de engenharia.

Não se pode discutir essa mudança na educação dos profissionais sem se discutir o próprio conceito de educação. Existem diversas teorias da educação e não se pretende, aqui, esgotar tal discussão. Entretanto, pode-se afirmar que para a formação desse profissional apresentado anteriormente necessita-se de uma escola diferente daquela chamada "tradicional". Nesse paradigma tradicional de educação o "conhecimento humano possui um caráter cumulativo, que deve ser adquirido pelo indivíduo pela transmissão dos conhecimentos (MIZUKAMI, 1986, p.11 *apud* LEÃO, 1999, p. 190). Isto está relacionado com a concepção de aprendizagem empirista que afirma que esta é gerada por um estímulo externo daquele que ensina para aquele que aprende (HILGARD, 1973 *apud* ELMÔR FILHO et al., 2019). O aluno, no processo de aprendizagem, atua

basicamente de forma passiva, recebendo estímulos do ambiente em que se encontra.

De maneira diferente, um dos paradigmas contemporâneos de educação é o da escola construtivista e a concepção interacionista de aprendizagem. O construtivismo pressupõe que:

...nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância, como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais; e se constitui por força de sua ação e não por qualquer dotação prévia, na bagagem hereditária ou no meio, de tal modo que podemos afirmar que antes da ação não há psiquismo nem consciência e, muito menos, pensamento (BECKER, 1993, p.88).

Talvez o teórico mais importante do construtivismo seja Jean Piaget que, segundo Elmôr Filho et al. (2019), afirma que a experiência constitui um dos fatores fundamentais na construção do conhecimento. A aprendizagem só ocorre com a ação do sujeito sobre objetos e sofre influência das respostas dessa ação sobre si próprio. Porém, somente a ação motivada, com sentido, que o estudante entende como necessária.

Nesse sentido, percebe-se que o ensino esperado para os futuros profissionais está muito mais próximo dos preceitos construtivistas. Para o desenvolvimento das competências e habilidades esperadas aos engenheiros do século XXI são necessários métodos ativos de ensino, ou seja, um ambiente focado no aluno, onde ele tenha papel ativo em seu aprendizado e possa agir, discutir, problematizar e analisar sua ação. Segundo Elmôr Filho et al. (2019) um ambiente de aprendizagem ativa é o lugar comum em que alunos e professores estejam cognitivamente ativos, participando ativamente de atividade de reflexão, interação, colaboração e cooperação. Isso exige comprometimento dos primeiros, mas também dos professores para que conduzam as atividades de forma que os estudantes se sintam valorizados e acolhidos pelo grupo.

Dessa forma, é fundamental que sejam adotadas abordagens de ensino ativas que sejam estimulantes aos alunos para engajá-los no processo de aprendizagem. Algumas delas são discutidas a seguir.

3.2.2 Abordagens interdisciplinares

Na indústria da AEC, não diferente de outros campos, cada vez mais se nota a necessidade da integração de diferentes profissionais para atingirem objetivo em comum com êxito e qualidade. Um exemplo claro dessa urgência apresenta-se nas discussões a respeito do BIM (*Building Information Modeling*) e a necessidade da interação, desde as fases iniciais de projeto, de todos os profissionais envolvidos no projeto, construção e operação de um edifício. Cada um possui expertise em áreas diferentes que devem convergir. Sendo assim, é esperado que tal prática seja explorada e exercitada durante a formação desses profissionais.

Porém, antes deste assunto ser aprofundado, é importante diferenciar três conceitos: multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade. Tais conceitos são pouco compreendidos mas muito utilizados, tanto que vários autores afirmam que acabam sendo banalizados (POMBO, 2010; BERGMANN, 2005; PIRES, 1998).

A multidisciplinaridade pressupõe a interação de mais de uma disciplina de forma ainda que coordenada, mas sem integração. Algo multidisciplinar supõe elementos, um tema, ou um problema, observados de uma perspectiva de mero paralelismo por diferentes disciplinas (POMBO, 2010; ROQUETE et al., 2012). A multidisciplinaridade no âmbito educacional “parece esgotar-se nas tentativas de trabalho conjunto, pelos professores, entre disciplinas em que cada uma trata de temas comuns” porém cada uma sobre sua ótica (PIRES, 1998, p.176).

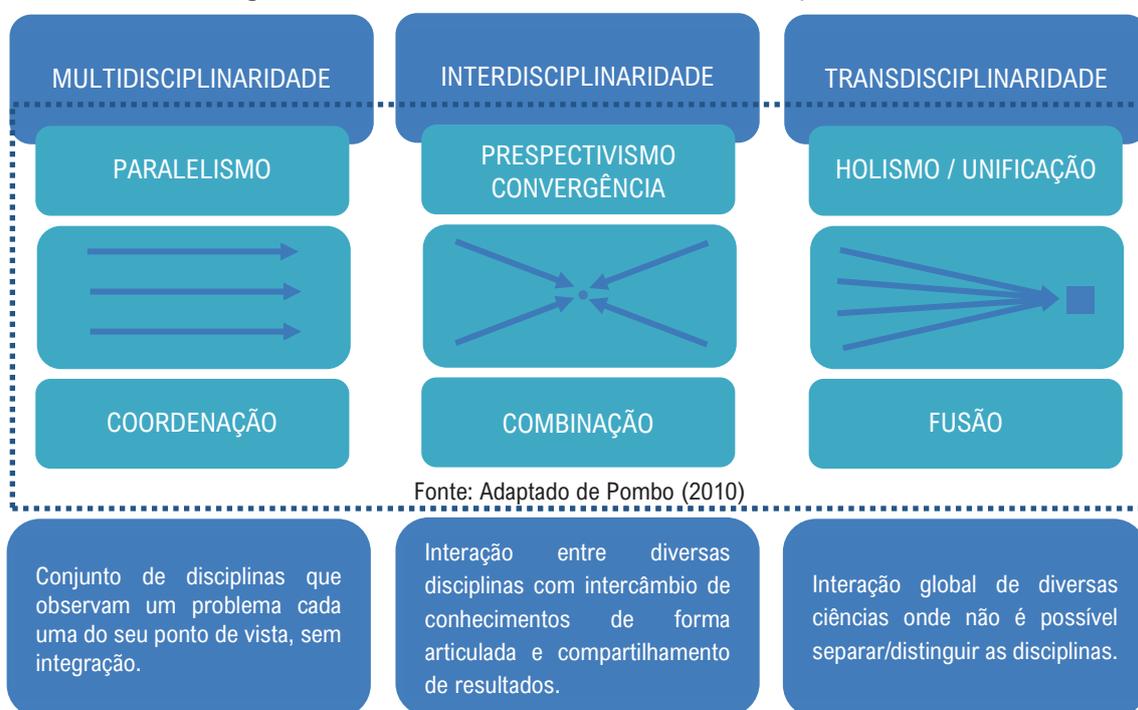
Quando consegue-se ultrapassar essa dimensão do paralelismo e se observam elementos conjuntos e se avança no sentido de combinação, convergência ou complementaridade, chega-se no estágio da interdisciplinaridade (POMBO, 2010). Ela é mais abrangente que a multidisciplinaridade e pressupõe a troca de conhecimentos de forma recíproca e coordenada. No campo do ensino este tema ganhou força nos anos 1970 e surgiu na busca da superação da super especialização dos currículos e da desarticulação da teoria e prática. No entanto, a interdisciplinaridade não deve

ser entendida como uma superação das disciplinas, mas uma etapa superior, onde elas constituem um recorte mais amplo do conhecimento em uma determinada área (PIRES, 1998). Ou seja, na interdisciplinaridade há o intercâmbio mútuo e interação articulada de diversos conhecimentos ainda que se mantenha os interesses próprios de cada disciplina. Dentro desta perspectiva, este autor entende ser o termo que mais converge para o interesse do ensino de AEC.

Ao se aproximar de um ponto de fusão, unificação, que permita uma perspectiva holística, onde não se possa separar as diferentes disciplinas, então pode-se falar em transdisciplinaridade. Roquete et al. (2012) afirmam que ela incorpora os conceitos de multi e interdisciplinaridade e vai além, abrindo diálogos entre as ciências, a arte e as tradições culturais e espirituais.

Para Pombo (2010), os três conceitos precisam ser entendidos como um *continuum* que vai da coordenação à combinação e desta à fusão, e estão relacionados na mesma ordem crescente com paralelismo, perspectivismo ou convergência e finalmente ao holismo ou unificação (Figura 13).

Figura 13 – Conceitos de multi, inter e transdisciplinaridade.



FONTE: O autor.

Segundo Pires (1998), currículos escolares constituídos por compartimentos estanques, fragmentados e incomunicáveis produzem uma formação humana e profissional insuficiente para atender à sociedade que exige que ela seja cada vez mais crítica e competente. A indústria AEC necessita da ampliação das competências dos estudantes para exercitarem o conhecimento teórico adquirido e entenderem o papel do conhecimento específico de cada disciplina em um ambiente interdisciplinar (FRUCHTER e LEWIS, 2000). Para Gatto et al. (2015), uma abordagem interdisciplinar pode contribuir de maneira mais eficaz para contrabalançar a especialização, ampliando os horizontes e fornecendo uma consciência mais rica e global dos campos de aplicação dos métodos e técnicas de engenharia.

Fruchter e Emery (1999) afirmam que a busca dos estudantes de AEC pelo entendimento mais amplo dos objetivos, linguagem e representação de outras disciplinas, em grupos e em projetos interdisciplinares, é uma jornada que passa por quatro estágios (Figura 14), que podem ser utilizados como base para a avaliação do desenvolvimento dos alunos em uma disciplina, por exemplo:

- **Ilhas do conhecimento (*Islands of knowledge*):** o estudante aprimora sua disciplina, mas não tem experiência em outras.
- **Consciência (*Awareness*):** o estudante tem consciência dos objetivos e limitações de outras disciplinas.
- **Apreciação (*Appreciation*):** o aluno começa a construir uma estrutura conceitual a respeito das outras disciplinas, é interessado em entender e apoiar os objetivos e conceitos de outras disciplinas e sabe quais questões fazer.
- **Entendimento (*Understanding*):** o aluno desenvolve um entendimento conceitual das outras disciplinas, pode negociar, é proativo nas discussões com os outros participantes, fornece dados antes que sejam requisitados e começa a usar a linguagem específica de cada área.

Figura 14 – Classificação de 4 níveis para aprendizado transdisciplinar.



FONTE: Adaptado de Fruchter e Emery (1999).

Para Gatto et al. (2015), pode-se entender a interdisciplinaridade como uma abordagem pedagógica à luz da definição de Van Dusseldorp sobre pesquisa interdisciplinar, que implica um alto nível de interação e pode ser caracterizada em 6 critérios:

- Possuir objeto em comum;
- A ser pesquisado ao mesmo tempo (simultaneidade);
- Por especialistas de diferentes disciplinas, ou áreas;
- Em estreita cooperação (trabalho colaborativo);
- Com constante troca de informações;
- Compartilhando dos mesmos objetivos para alcançar uma análise integrada do objeto ou problema em comum.

Assim como a prática de arquitetura e engenharia pressupõem a integração de várias áreas do conhecimento e profissionais de diferentes especialidades, a Manufatura Aditiva como ferramenta educacional também admite o ensino interdisciplinar. Como afirma Song (2018), tecnologias de fabricação digital podem promover currículo interdisciplinar, sala de aula invertida e abordagens de aprendizado prático. Vários trabalhos apresentam a utilização da AM na educação superior em disciplinas que unem alunos de

diferentes cursos para desenvolverem um projeto comum, ou apontam abordagens que envolvem o trabalho em equipes do mesmo curso, que necessitam buscar respostas em diversas áreas, para que solucionem um determinado problema.

Bekke e Mersha (2018) em seu trabalho apresentam uma metodologia de desenvolvimento de habilidades interdisciplinares de engenharia, que apesar de ser focada para a área de engenharia mecânica, pode-se traçar um paralelo para a área da AEC. Os autores a chamam de *Smart Solution Semester (3S)*, ou Semestre de Solução Inteligente (tradução livre). Durante um semestre são criados grupos de alunos de ao menos três cursos para desenvolverem projetos oriundos de uma parceria público-privada entre universidade e indústrias/empresas, com base em necessidades reais. Os grupos são formados por 1 a 2 estudantes de mecatrônica, 1 a 2 estudantes de engenharia mecânica, 1 de engenharia elétrica, 1 de ciência da computação e 1 de física aplicada. Além disso, normalmente os grupos têm ao menos um aluno de outras áreas como design industrial e administração. São orientados por um pesquisador que normalmente trabalha meio período na empresa parceira e meio período na universidade, e um tutor que é um professor. Os autores afirmam que os alunos se esforçam ao máximo uma vez que sabem que há o envolvimento de uma companhia real que podem utilizar diretamente seus conhecimentos em um novo produto. Além disso, os estudantes acreditam ser inspirador obter mais conhecimento acerca do campo de expertise dos demais colegas de equipe.

Ludwig et al. (2017) apresentam os resultados de um curso piloto de inovações médicas, no qual mesclam alunos de graduação dos cursos de engenharia, biologia e enfermagem. Em um ambiente rodeado de tecnologias e que estimula a criatividade, como um *MakerSpace*, os docentes incentivaram os estudantes, em grupos multidisciplinares, a identificarem problemas na área da saúde e desenvolverem soluções para a comunidade local. O laboratório, que possui equipamentos de manufatura, como impressoras 3D, cortadoras a laser, tornos CNC, além de ferramentas de oficina manuais, permitiu que eles exercitassem as habilidades de resolução de problemas, colaboração, e proficiência nas novas tecnologias disponíveis. Além dessas conquistas,

segundo os próprios discentes, o trabalho interdisciplinar permitiu não só ampliarem o entendimento da profissão de seus colegas, mas também aprenderem mais sobre sua própria profissão, percebendo as limitações e interfaces possíveis com outras áreas.

Em disciplinas que não envolvam mais de um curso e trabalhem com trabalho em equipe, ainda é importante o exercício de delegação de responsabilidades diferentes para cada membro. Smith et al. (2018) afirmam que dar aos estudantes papéis específicos na tarefa se mostrou muito mais efetivo do que simplesmente dar um objetivo para o grupo. Por exemplo, em sua experiência no curso de engenharia aeroespacial, um aluno com maior experiência em metalurgia foi definido como responsável pelo controle de integridade do material, enquanto aqueles com mais experiências com CAD e Design ficaram responsáveis pela preparação do arquivo a ser impresso.

Ludwig et al. (2017) denomina a abordagem com trabalhos em grupo como “aprendizado colaborativo” (*collaborative learning*) e mostra um acréscimo nos ganhos de aprendizado de estudantes de engenharia. Os autores apontam que um estudo (STUMP et al., 2011) com 150 futuros engenheiros indicou uma significativa e positiva relação entre aprendizado colaborativo, autoeficácia¹, construção do conhecimento e notas. Além disso, aqueles que trabalharam com pares (*peers*) obtiveram maiores notas do que os que reportaram que estudaram sozinhos, de forma independente, fora da sala de aula.

Experiências educacionais que se utilizam de trabalhos em grupo com abordagens interdisciplinares fazem sentido para o ensino de arquitetura e engenharia ao pensar na prática profissional dessas áreas. No ensino, uma das abordagens coerentes com essa prática é apresentada a seguir.

3.2.3 Abordagens de ensino baseado em problemas

Pesquisas mostram que estudantes aprendem melhor quando encorajados a construir seu próprio conhecimento sobre mundo ao seu redor.

¹ Julgamento que o indivíduo realiza sobre a própria capacidade para agir num dado domínio (IAOCHITE et al., 2016).

(SATCHWELL e LOPES, 2002 *apud* VIOLANTE e VEZZETTI, 2017). Stice (1987), em seu estudo sobre retenção do conhecimento, mostrou que apenas 20% do conhecimento é retido quando apenas conceitualizações abstratas são envolvidas, e mais de 90% é retido se experiência concreta é envolvida (WANG et al., 2018). É por isso que vários estudos sugerem programas educacionais que envolvam aprendizado baseado em resolução de problemas com foco em situações reais e com investigações práticas (VIOLANTE e VEZZETTI, 2017).

Problem-based learning (PBL), ou aprendizado baseado em problemas, surge na década de 1970 na área de ensino de ciências da saúde com o objetivo de promover o engajamento do estudante com sua aprendizagem (ELMÔR FILHO et al., 2019). É considerado, segundo Savary (2006), uma abordagem instrucional centrada no aprendiz que o empodera a conduzir pesquisa, integrar teoria e prática e aplicar conhecimentos e habilidades para desenvolver uma solução viável para um problema definido. Nesta abordagem o professor assume o papel de tutor dos alunos, que facilitará o processo de aprendizagem propiciando uma estrutura adequada para tanto, mas os estudantes que são os responsáveis pelas atividades e processos (FREZATTI e MARTINS, 2016; ELMÔR FILHO et al., 2019).

A resolução de problemas é o ponto chave dessa estratégia de aprendizado trazendo o ensino mais próximo da realidade do estudante, o que gera um aprendizado mais significativo. “O problema deve estar conectado com a prática profissional, abrangendo conceitos de várias disciplinas, oferecendo um bom modelo para estudo, envolvendo uma grande quantidade de pessoas e contemplando um emaranhado de questões e subquestões” (ELMÔR FILHO et al., 2019, p.127).

Para a área da AEC, há outras abordagens e denominações mais próximas as práticas profissionais dos arquitetos e engenheiros. É possível considerar PBL como uma abordagem similar denominada “*project-based learning*”, ou aprendizado baseado em projeto. Também é centrada no aprendiz e as atividades são organizadas em busca de atingir objetivos compartilhados através de um projeto. Dentro dessa abordagem, normalmente os estudantes trabalham com especificações para um produto final desejado (como um edifício

ou um produto de consumo) e encontrarão vários “problemas” durante o processo (SAVARY, 2006). Os professores se apresentam como gestores das equipes dando orientações e sugestões de maneiras possíveis de desenvolvimento do produto (FREZATTI e MARTINS, 2016). Luna e Chong (2018) afirmam que interdisciplinaridade é uma característica chave do PBL, uma vez que é necessário entender e aplicar diferentes áreas do conhecimento em um projeto, conectando teoria com prática. Experiências como a de Silva et al. (2012) apontam, ainda, outro benefício do PBL relacionado à motivação dos estudantes de Engenharia Civil com disciplinas que adotam essa abordagem. Os autores atribuem esse engajamento pelo fato de os alunos poderem desenvolver um projeto muito próximo da prática profissional.

Cairns et al. (2018) ainda caracterizam um subtipo do PBL chamado “*Design-based learning*” (DBL), mais voltado para o ensino de design de produto, no qual as soluções requerem modelagem e fabricação 2D e 3D e a avaliação, redesign e teste de protótipos interativos são enfatizados. O processo de design é similar ao de resolução de problemas que de maneira geral consiste em seis estágios: definir o problema e identificar as necessidades, coletar informações, desenvolver várias alternativas de solução, escolher a melhor solução, desenvolver e construir um protótipo e avaliá-lo (DOPPELT, 2009).

Fruchter e Lewis (2000) vão além ao proporem uma abordagem chamada de P5BL (*People/Problem/Process/Product/Project-Based Learning*), na Escola de Engenharia de Stanford, a qual se utiliza de uma metodologia PBL que foca na resolução de *problemas*, através de *projetos* com atividades organizadas para produzir um *produto* para um cliente, baseada em *processos* que permitam *pessoas* de várias disciplinas exercitarem suas habilidades especializadas como engenheiros, arquitetos e construtores em experiências interdisciplinares, colaborativas e com grupos de trabalho geograficamente distribuídos pelo mundo (FRUCHTER e LEWIS, 2000; FRUCHTER e EMERY, 1999).

Independentemente da denominação ou abordagem escolhida, é comum entre elas a existência de fatores críticos para seu sucesso, como a seleção de problemas (ou situações) bem estruturados, normalmente

interdisciplinares, e o tutor que guiará o processo e conduzirá uma avaliação e conclusão da experiência educacional (CAIRNS et al., 2018). Isso exige um novo papel do professor que precisa mudar de uma perspectiva avaliativa para uma interpretativa uma vez que ele deixa de guiar os alunos a respostas corretas para enfatizar o engajamento deles em seu aprendizado autônomo (DOERR e ENGLISH, 2006). Educadores precisam encorajar seus pupilos a refletirem e interpretar sobre situações problema, mais do que advertir que deram algum passo errado nos seus esforços para a solução, encorajando-os a focarem em suas interpretações e ideias expressadas, mesmo que seguindo caminhos de solução "incorretos" (ACHER et al., 2007; LUDWIG et al., 2017). Estar "errado", gerar "soluções incorretas" e tentar criar algo que "não funciona" se torna incrivelmente poderoso como experiência de aprendizado para que possam aprofundar o conhecimento (CAIRNS et al., 2018). Um quadro resumo com semelhanças e diferenças entre *Problem-based Learning* e *Project-based Learning* é apresentado a seguir (Quadro 4).

Quadro 4 – Semelhanças e diferenças entre *Problem-based learning* e *Project-based learning*.

SEMELHANÇAS	DIFERENÇAS	
	PROBLEM-BASED LEARNING	PROJECT-BASED LEARNING
-Envolvem os alunos em problemas reais. -O aluno é o centro do processo de ensino-aprendizagem.	-Desfecho: apresenta, por meio de relatório ou apresentação oral, uma proposta de solução para um problema de baixa complexidade conceitual e teórica.	-Desfecho: apresenta relatório, tratando problema de grande complexidade, demanda consenso no grupo e poder ser finalizado com criação de um produto ou protótipo.
-Desenvolvem as competências do século XXI. -Proporcionam aplicações autênticas de conteúdos e habilidades.	-Atividade principal: o inquérito de situações problemáticas; normalmente o problema é definido pelo professor.	-Atividade principal: desenvolver soluções baseadas em evidências para um problema.
-Incentivam a autonomia e a pesquisa. -Trabalho em pequenos grupos.	-Duração: uma ou duas aulas.	-Duração: semanas ou meses.
-Simulação de uma situação profissional. -Processamento de múltiplas fontes de informação.	-Princípio: aprendizagem interativa.	-Princípio: gerenciamento de projetos, considerando até mesmo a perspectiva de implementação.
-O professor é o facilitador no processo de ensino-aprendizagem. -A avaliação é formativa e baseada no desempenho (autoavaliação e pelos pares).	-Aprendizagem autodirigida: plenamente centrada no aluno em um ambiente pré-definido.	-Aprendizagem autodirigida: aprendizagem centrada no aluno dentro de um projeto definido.

FONTE: Adaptado de FREZATTI e MARTINS (2016).

Tais abordagens pressupõem a capacidade de trabalhar em equipe e retroalimentam o desenvolvimento das habilidades necessárias para o século XXI (como comunicação), já apontadas anteriormente, uma vez que Fruchter e Lewis (2000) afirmam que o “saber” é fundamentalmente uma atividade social, mais do que individual. Dentro da indústria AEC, o arquiteto, engenheiro ou construtor necessita conhecer não apenas sua disciplina, como também saber como se comunicar, colaborar e negociar com os demais profissionais, reconhecendo os objetivos e limitações de cada um para a realização de tarefas. E para tanto, o aprendizado interdisciplinar é a chave.

Para o ensino focado no desenvolvimento de competências de resolução de problemas e metacognitivas, recomenda-se currículos que usem técnicas de modelagem e feedback que destaquem os processos de pensamento, em vez de se concentrarem exclusivamente nos produtos do pensamento. As competências deveriam ser ensinadas e avaliadas dentro de uma área de tópico específica, e não como um curso autônomo e isolado, não sendo necessário aguardar até que todas tenham alcançado fluência (PELLEGRINO e HILTON, 2013).

Cairns et al. (2018), apesar de seu estudo explorar o uso da Manufatura Aditiva no ensino médio, elencam alguns benefícios da abordagem educacional que mescla impressão 3D com PBL, como:

- Modelagem 3D e impressão 3D são oportunos para que estudantes desenvolvam um entendimento aprofundado de processos de design em engenharia;
- Atividades de design proporciona motivação para pensamento geométrico e algébrico dentro do ambiente de um software de modelagem 3D;
- Impressão 3D proporciona realização concreta de produtos virtuais que podem ser manipulados no mundo real;
- Fabricar partes que podem ser usadas para testar critérios de design e compartilhar resultados com pares capazes de gerar oportunidades para reflexão.

- O processo em sala de aula é análogo ao usado na prática por engenheiros e designers, o que promove melhor compreensão e consciência sobre a futura carreira.

Em resumo, segundo Kolb (1984), aprender é o processo onde o conhecimento é criado através da transformação de experiências. Além disso, conhecimento é a combinação de como nós coletamos informação e como nós a transformamos. Justamente, o PBL permite um aprendizado focado em experiências. Nesse contexto, a Manufatura Aditiva pode ser avaliada como uma poderosa ferramenta para incentivar e apoiar experiências educacionais com abordagens PBL onde os alunos possam buscar solução de problemas explorando de maneira ágil várias soluções, de forma alinhada ao modelo de aquisição de conhecimento de Kolb (Figura 15).

Figura 15 – Experiência concreta promove o desenvolvimento de aprendizado.



FONTE: Adaptado de Kolb (1984).

Dos trabalhos avaliados na revisão sistemática da literatura, entre aqueles que apresentavam experiências didáticas na graduação, vários recomendam a utilização de abordagens PBL em conjunto com a Manufatura Aditiva no ensino e serão mais explorados na sequência (BONET et al., 2017; FAN et al., 2016; GATTO et al., 2015; GO e HART, 2016; LUDWIG et al., 2017; LUNA e CHONG, 2018; SMITH et al., 2018; STERN et al., 2019; WANG et al., 2018).

3.2.4 Manufatura Aditiva na educação

Segundo Violante e Vezzetti (2017), educar uma nova geração de estudantes que se tornará a futura força de trabalho permitirá aproveitar ao máximo a AM. Seu uso tem a capacidade de reduzir o tempo necessário para projetar, construir e testar produtos manufaturados, fazendo com que a competitividade global aumente, ajudando os fabricantes a reduzir custos, melhorar a qualidade e acelerar o desenvolvimento de produtos. Educar a comunidade em geral sobre AM permite que as pessoas construam o que sonham e democratiza a fabricação, o que estimula a criatividade e a inovação. Além disso, tecnologias de Manufatura Aditiva possuem benefícios como: permitir maior liberdade de design do que os métodos tradicionais de manufatura, baixo custo de produção de pequenas quantidades de partes complexas, menos necessidade de montagem das partes de um objeto, menores estoques de reposição de peças e menor desperdício (STERN et al., 2019).

Para a área de AEC, a construção de modelos, ou prototipagem, é considerada uma parte de um processo maior que permite a designers, arquitetos e engenheiros a entender a construtibilidade da criação de um artefato. Também permite aos alunos se comunicarem e demonstrarem ideias através de formas visuais, receber feedback uns dos outros, identificar erros e problemas e revisar o modelo se necessário (SONG, 2019). Ou seja, prototipar não apenas assiste estudantes em tornar ideias abstratas em concretas e visuais, como também permite disseminar seus processos de criação e descobertas aos outros, para que assim todos aprendem a partir das experiências de tentativa e erro de seus pares.

Existem vários estudos que apontam experiências da utilização da Manufatura Aditiva na educação, seja em escolas ensino básico, em universidades, em bibliotecas ou em treinamento de profissionais do mercado (FORD e MINSHALL, 2019). Segundo Go e Hart (2016), o conteúdo relativo a AM pode ser alinhado de acordo com o público alvo e objetivos desejados.

Nas escolas, a literatura aponta a utilização da impressão 3D como ferramenta de apoio a educação de ciências, tecnologia, engenharia e

matemática, também conhecida como STEM (FORD e MINSHALL, 2019). Nas universidades é possível incorporar AM como um método de prototipagem nos currículos de design e manufatura, por exemplo, ou pode-se criar cursos semestrais específicos. Para a capacitação de profissionais da indústria, normalmente é mais interessante apresentar métodos e aplicações da AM do que os fundamentos dos processos, além dos cursos terem um formato de menor duração (GO e HART, 2016). Neste trabalho o foco se dará sobre as experiências dentro das universidades, principalmente em cursos de graduação.

Em uma revisão sistemática da literatura, Ford e Minshall (2019) analisaram 324 artigos na busca de identificar onde e como a impressão 3D está sendo utilizada no sistema educacional. Os trabalhos analisados apontaram que a impressão 3D é empregada de seis maneiras diferentes: para ensinar alunos sobre impressão 3D; para ensinar professores sobre impressão 3D; para ensinar metodologias e habilidades de design e criatividade; para produzir artefatos que apoiem o ensino; para criar tecnologias assistivas; e para apoiar atividades de extensão.

Especificamente dentro das universidades, Ford e Minshall (2019) identificaram o uso da Manufatura Aditiva:

- Para a aquisição do conhecimento de matérias específicas por meio da criação de impressoras 3D;
- Para criação de modelos científicos e modelos de teste;
- Como ferramenta durante a aprendizagem baseada em projetos;
- Para o desenvolvimento de habilidades em Manufatura Aditiva, buscando a integração no currículo de cursos através de disciplinas existentes ou em novas;
- No engajamento externo além da universidade, como projetos de pesquisa, extensão e parcerias com empresas privadas.

Pode-se afirmar que é possível integrar nos currículos o ensino sobre Manufatura Aditiva e o desenvolvimento de habilidades em impressão 3D de duas formas: ativa e passiva (FORD e MINSHALL, 2019). A integração ativa envolve a criação de cursos e projetos que tem o foco explícito em ensinar

Manufatura Aditiva. Já a integração passiva envolve o uso da AM como ferramenta de apoio para o ensino de outros conteúdos.

Através da RSL realizada para esta pesquisa, em relação aos trabalhos que apresentam experiências educacionais que utilizam a AM nas universidades, identificou-se que a forma de integração da tecnologia nos cursos em sua maioria é passiva. Buscam integrar a AM em disciplinas, principalmente, como ferramenta para estimular criatividade, interdisciplinaridade, tomada de decisão, e o aprendizado de outros conteúdos apoiando projetos PBL. Ford e Minshall (2019) também apontam que, de maneira geral, a AM está sendo introduzida nos cursos para encorajar experimentação criativa, inovação e empreendedorismo, apoiar a integração de conhecimento técnico com outros cursos e facilitar abordagens multi e interdisciplinares.

Ainda que a maioria das experiências encontradas não estejam focadas exclusivamente no ensino de Manufatura Aditiva, um resumo dos objetivos didáticos referentes à impressão 3D é apresentado no Quadro 5.

A RSL encontrou alguns trabalhos que propõem modelos educacionais, ou diretrizes para um modelo, para o ensino de Manufatura Aditiva, como o de Violante e Vezzetti (2017). Seu objetivo é a capacitação de futuros profissionais da área de desenvolvimento de produtos. Segundo os autores, essa estrutura oferece etapas de aprendizado, de treinamento e de comunidades de prática que estão alinhadas com habilidades necessárias para o século XXI. A etapa de aprendizado provém competências principais através de módulos *e-learning* (ou de EAD – ensino a distância), sobre metodologias e ferramentas de Design, tecnologias de Manufatura Aditiva, materiais e equipamentos, entre outros. A etapa de treinamento cria ambientes físicos e um contexto que apoia práticas de aprendizado, como laboratórios de Manufatura Aditiva que permitem que o aluno crie e construa seus projetos. A etapa de comunidades de prática tem o intuito de os alunos colaborem e compartilhem as melhores práticas e expertise observadas durante as etapas anteriores, estimulando a utilização de redes sociais, a participação em conferências e seminários, e criação de parcerias com indústrias e empresas.

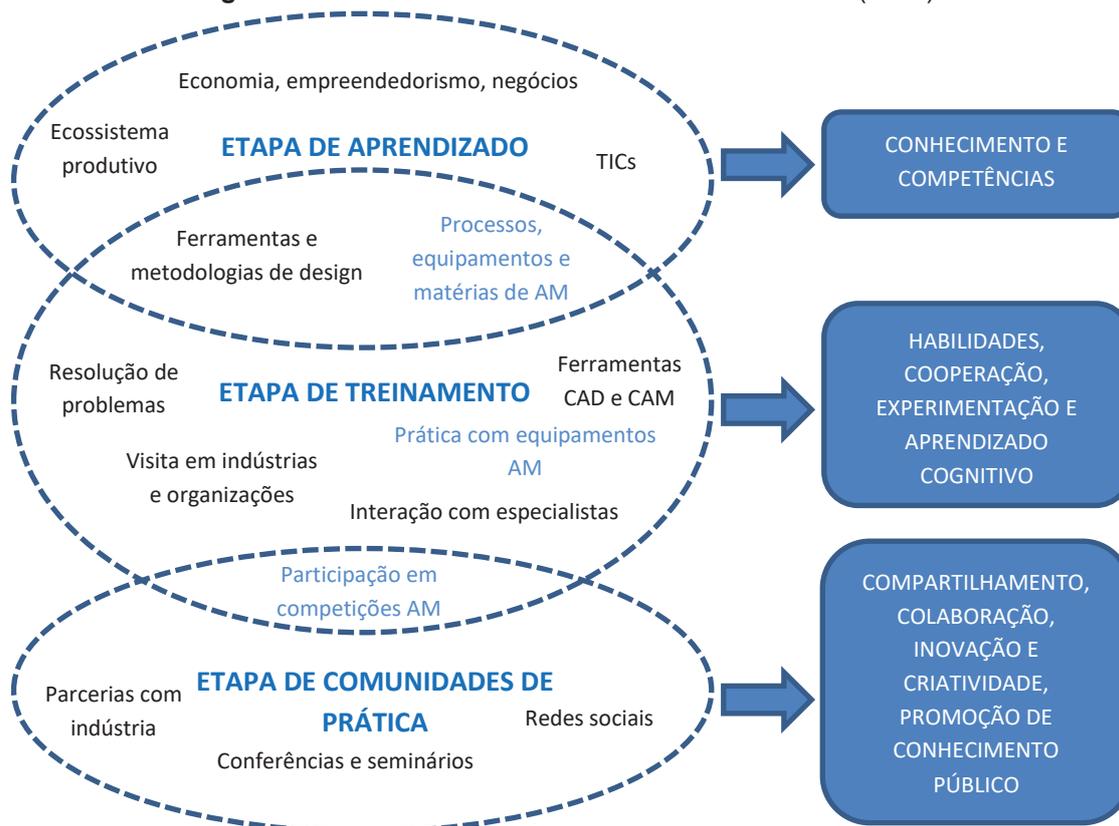
Quadro 5 – Objetivos didáticos para Manufatura Aditiva.

OBJETIVOS DIDÁTICOS	REFERÊNCIAS
Aprender e aplicar os princípios de design para fabricação aditiva	Minetola et al. (2015); Go e Hart (2016); Smith et al. (2018);
Aprender e aplicar tecnologias de engenharia reversa ou técnicas de digitalização 3D	Gatto et al. (2015); Saorín et al. (2017)
Aprender os fundamentos da AM e os princípios básicos de operação	Go e Hart (2016); Stern et al. (2019); Bekke e Mersha (2018); Junk e Matt (2015a); Saorín et al. (2017); Luna e Chong (2018); Chiu et al. (2016); Wang et al. (2018)
Comparar técnicas de impressão 3d com prototipagem tradicional	Greenhalgh (2016); Go e Hart (2016);
Entender desvios de mensuração entre modelo digital e impresso com tecnologia AM	Haavi et al. (2018);
Entender e aprender a selecionar as técnicas de pós-processamento	Stern et al. (2019);
Entender e reconhecer as causas e irregularidade na produção de peças em impressoras 3D	Stern et al. (2019); Bekke e Mersha (2018);
Entender processo completo de desenvolvimento de produto	Gatto et al. (2015);
Estimar propriedades mecânicas de peças impressas	Stern et al. (2019); Bekke e Mersha (2018); Virgin (2017);
Estimular competência criativa utilizando impressão 3D como ferramenta	Bonet et al. (2017);
Ganhar experiência na operação de máquinas de AM	Go e Hart (2016); Smith et al. (2018); Junk e Matt (2015a); Saorín et al. (2017); Haavi et al. (2018); Chiu et al. (2016);
Identificar vantagens e/ou limitações de tecnologias AM	Stern et al. (2019); Junk e Matt (2015a); Virgin (2017);

FONTE: O autor.

A Figura 16, a seguir, apresenta a estrutura proposta por Violante e Vezzetti (2017) para um modelo educacional para Manufatura Aditiva, identificando atividades ou conteúdos em comum entre as três etapas de aprendizado e os benefícios extraídos de cada uma.

Figura 16 – Modelo educacional de Violante e Vezzetti (2017).



FONTE: Adaptado de Violante e Vezzetti (2017).

Nesse modelo educacional proposto, o ambiente da etapa de treinamento reflete um espaço de trabalho real onde os alunos irão explorar habilidades e competências rodeados de educadores, profissionais mais experientes e outros estudantes com diferentes bagagens e níveis de experiência. Ou seja, esse ambiente oferece oportunidades de:

- **Experimentação:** experiência de aprendizado mais autêntica baseada na experimentação e ação, o que motiva os alunos, uma vez que eles comumente expressam maior preferência pelo “fazer” do que apenas “escutar”, e educadores consideram que “aprender fazendo” é o jeito mais efetivo de aprender. Além disso, se possível, é interessante propor parcerias com indústrias/organizações para expor os alunos a projetos reais de manufatura, para que desenvolvam trabalhos que atendam a reais necessidades de clientes e do mercado. Nesse ambiente os educandos não aprendem rotinas de solução de problemas específicos, mas sim desenvolvem estratégias metacognitivas e de tomada de decisão

que indiquem como proceder quando nenhuma abordagem padrão parece ser aplicável.

- **Cooperação:** permite que alunos trabalhem em conjunto para solução de problemas, o que é um poderoso fator de motivação e mecanismo para aquisição de conhecimento cognitivo, assim como para o desenvolvimento da habilidade de comunicação. Além disso, existe a possibilidade de se trabalhar em grupos interdisciplinares aproveitando as melhores habilidades de cada aluno envolvido.
- **Aprendizagem cognitiva:** envolve o aluno em práticas autênticas, assim como em um trabalho real, dando a oportunidade de ver os elementos sutis e tácitos da prática especializada que não poderiam ser explicados em um formato de palestra. A aprendizagem cognitiva fornece instruções diretas para habilidades cognitivas e técnicas, apoiada por instrutores e pares (outros alunos) mais capacitados, que desaparecem à medida que os níveis de habilidade dos alunos aumentam.

Em outro estudo, Go e Hart (2016) apresentam um delineamento conceitual para ensinar os fundamentos da Manufatura Aditiva. Os professores do *Massachusetts Institute of Technology*, criaram um curso 14 semanas dedicados aos fundamentos e aplicações da AM. O curso, pensado para alunos de pós-graduação e para alunos de graduação nos últimos períodos, incluiu aulas expositivas, aulas de laboratório e projetos práticos. A experiência evidenciou os benefícios de uma proposta multidisciplinar para educar e estimular o uso das tecnologias AM. Os objetivos de aprendizado eram:

- Aprender os fundamentos de manufaturas aditivas em diferentes materiais, como em polímeros, metais, cerâmicas, juntamente com os princípios de operação das técnicas relacionadas.
- Ganhar experiência prática com máquinas de Manufatura Aditiva e entender todas as etapas do processo, como concepção e modelagem, fabricação e mensuração, além de avaliar sua desenvoltura frente restrições técnicas.

- Aprender como realizar o design dos componentes para a produção em máquinas de AM e realizar a medição dos produtos usando técnicas de digitalização 3D.
- Comparar processos de AM com manufatura convencional em termos de qualidade, tempo, custo e flexibilidade de uso.
- Integrar os objetivos anteriores em um projeto cumulativo que propusesse, prototipasse e avaliasse as capacidades da AM.

Nas 5 primeiras semanas, os professores combinaram aulas expositivas com práticas em laboratório sobre uma visão geral da indústria de Manufatura Aditiva e um estudo mais aprofundado sobre as principais técnicas de AM (ex. por extrusão, fotopolimerização e cama de material em pó), no qual abordou-se os mecanismos fundamentais de operação, principais aplicações, e história da tecnologia. Em cada aula em laboratório, grupos de alunos realizaram exercícios que envolviam pré-processamento usando os softwares das impressoras 3D, impressão (enquanto discutiam e observavam a operação da máquina), pós-processamento e inspeção do produto criado.

Na prática com impressora FDM² (*Fused Deposition Modeling*), os alunos estudaram a influência estética e estrutural da orientação da impressão da peça, observaram o posicionamento das estruturas de suporte necessárias, e discutiram a importância do aquecimento da mesa de impressão e a influência do controle de temperatura do ambiente. Na prática com a impressora 3D SLA³ (*Stereolithography*), eles inspecionaram o mecanismo usado para o posicionamento do laser, aprenderam como a cura no pós-processamento da peça influencia nas propriedades mecânicas do material e compararam as capacidades e desenho de estruturas de suporte entre as tecnologias FDM e SLA. O objetivo destes exercícios era que os alunos aprendessem como

² Impressoras FDM, ou por Deposição de Material Fundido, utilizam filamentos de material termoplástico, como PLA e ABS, como matéria prima que é amolecida através de seu aquecimento e extrudadas por um bico extrusor, que segue um caminho determinado, construindo o objeto camada a camada.

³ A tecnologia SLA, ou Estereolitografia, foi a primeira técnica de impressão 3D desenvolvida na década de 1980, e consiste em um sistema de sobreposição de camadas que utiliza uma resina polimérica líquida fotossensível. Esta resina é depositada sobre uma plataforma e, através de um feixe de laser UV que vai percorrendo um caminho determinado, é solidificada, sendo que a cada camada concluída a plataforma desce alguns décimos de milímetros. Esse processo ocorre camada a camada, até que se obtenha a peça completa.

selecionar o processo adequado baseando-se nas características da técnica (resolução, qualidade de superfície, tempo, custo) e os objetivos de design, além de relacionar o processo com o método de deposição do material e arquitetura do equipamento.

Durante o desenvolvimento do projeto da disciplina, outros tópicos foram abordados, que foram julgados como importantes para um aprendizado mais completo, como por exemplo: o Design para Manufatura Aditiva (DFM ou DFAM – *Design for Additive Manufacturing*), ou seja, limitações e regras de design de elementos para cada técnica de AM; Economia da AM através da discussão de vários exemplos de estudo de custos e comparação com processos tradicionais (como moldes de injeção); e Empreendedorismo na AM.

Após os estudantes estarem familiarizados com a operação e limitações das tecnologias AM, realizou-se um desafio para utilizar o potencial de liberdade de design que a Manufatura Aditiva permite. Inspirados pelas competições de construção de modelos de pontes, muito comum em cursos de engenharia civil, grupos de 3 a 4 alunos eram convidados a conceber e prototipar uma ponte exclusivamente através de uma impressora 3D FDM e/ou SLA, que vencesse um vão de 30cm. As pontes receberiam carga e a vencedora seria determinada pelo maior valor resultante da carga antes do rompimento, dividida pela sua altura.

Para completar o desafio, os alunos necessitaram realizar experimentos para avaliar características mecânicas das peças analisando questões como anisotropia (influência do sentido de impressão das peças no comportamento mecânico), vazios e defeitos superficiais, e cura no pós-processamento. Também, uma importante limitação era o uso das impressoras disponíveis no laboratório, pois o vão que a ponte deveria vencer era mais do que o dobro do tamanho máximo de impressão dessas máquinas. Isso resultou em várias soluções que necessitavam a união de várias partes impressas separadamente.

Como conclusões, Go e Hart (2016) acreditam que esse modelo de inserção da AM no ensino pode ser facilmente replicado para outros cursos e universidades, ainda que adaptados para seus interesses e áreas. Entretanto,

frisam a importância da disponibilidade de laboratórios com espaço e equipamentos adequados para as práticas. O desenvolvimento pedagógico através da estrutura de PBL é uma boa oportunidade para iniciar pesquisas colaborativas com a indústria e setor privado, o que poderia caracterizar um apoio financeiro para a melhoria das estruturas dos laboratórios.

Apesar de todos os benefícios já apontados para a adoção da AM no ensino, ainda existem dificuldades e problemas práticos que são enfrentados durante a implementação dessa tecnologia, como a falta de familiaridade dos alunos, e até mesmo dos professores, com os equipamentos AM, a diferença entre os alunos de nível de conhecimento em modelagem digital e impressão 3D, além da baixa velocidade de impressão e reduzida produtividade das impressoras 3D (CHIU et al., 2015).

Para enfrentar esses problemas, Chiu et al. (2015) apresentam um modelo pedagógico de sete passos para introdução da tecnologia de impressão 3D no ensino, com soluções práticas para as dificuldades apontadas. Eles se basearam em uma clássica teoria de design instrucional chamada Condições do Aprendizado de Robert Gagne, que aponta nove eventos instrucionais que são base para o planejamento instrucional, e cada um deles corresponde a um processo cognitivo específico. O modelo é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Modelo pedagógico para introdução de tecnologia de impressão 3D no ensino.

	Modelo pedagógico	Nove eventos instrucionais	Processo cognitivo	Apoio envolvido	Observação
Passo 1	Instrutor explica a adoção da impressão 3D em tarefas de aprendizado em grupos de 3 a 6 alunos	1. Ganhar de atenção	-Atenção: Prontidão	Instrutor	Abordagem de aprendizado colaborativo se mostra efetiva em aumentar a criatividade e permite adoção da tecnologia em salas com muitos alunos.
Passo 2	Instrutor explica os objetivos das tarefas e conduz um seminário introdutório sobre tecnologias de impressão 3D	2. Informar o aprendiz sobre os objetivos: ativar motivação.	-Expectativa	Instrutor e Técnico de laboratório	Ativar a motivação dos alunos usando exemplo reais e aplicações.
Passo 3	Tutor auxiliar individualmente cada time durante a criação de designs voltados à impressão 3D	3. Estimular resgate de conhecimento prévio	-Recuperação de memória -Percepção seletiva	Tutores	Alunos com conhecimento mais avançado dentro de cada time pode ajudar na orientação dos colegas.

		4. Apresentar material de estímulo 5. Prover orientação	-Codificação: entrada para armazenamento de memória de longo prazo		
Passo 4	Estudantes criam/revisam seu próprio design no computador (na escola ou em casa)		-Codificação: entrada para armazenamento de memória de longo prazo		Abordagem em autoaprendizado permite flexibilidade para atender estilo e necessidades individuais do aluno.
Passo 5 (repetir passo 4 se necessário)	Quando alunos encontrarem dificuldades técnicas, eles podem buscar o tutor para auxiliar no problema e conduzir uma conferência preliminar de regras de design para AM	5. Prover orientação 6. Verificar desempenho 7. Fornecer feedback	-Codificação: entrada para armazenamento de memória de longo prazo -Atendimento ao desafio proposto Reforço do aprendizado	Tutores	
Passo 6	Estudantes submetem o design final à uma avaliação detalhada da construtibilidade e recebem feedback do técnico de laboratório	8. Avaliar desempenho	-Recuperação	Técnico de laboratório	
Passo 7	Técnico de laboratório combina vários modelos em um único arquivo para serem impressos simultaneamente e alunos recebem os objetos 3D e avaliam os produtos com o instrutor	9. Aprimorar a retenção e transferência de conhecimento	-Generalização	Técnico de laboratório e Instrutor	A impressão de várias peças ao mesmo tempo otimiza o longo tempo de impressão comparada com impressão individual de cada modelo.

FONTE: Adaptado de Chiu et al. (2015).

Apesar desses equipamentos serem de manuseio mais simplificado, se comparado com equipamento de manufatura subtrativa, existem ainda aspectos relacionados a construtibilidade importantes a serem mapeados e considerados durante o processo de design, como apresentado por Chiu et al. (2015) no passo 6 descrito anteriormente. Lynn et al. (2016) se referem à “análise de manufaturabilidade” para AM como sendo a necessidade de avaliar fatores como:

- Volume de impressão: dá uma estimativa da quantidade de material necessária para manufaturar uma peça. Além disso, normalmente as impressoras 3D possuem uma restrição quanto ao volume máximo que conseguem admitir para produzir uma peça.
- Tamanhos mínimos: ainda que através da AM seja possível produzir peças com geometrias complexas, ainda existem

limitações quanto a tamanhos mínimos de características das peças. O tipo de processo aditivo e a resolução do equipamento utilizado determinarão tais restrições. Além disso, partes com proporções de razão muito grande, como paredes muito finas e altas, podem ser muito frágeis.

- Volume de material de suporte: em processos AM cada camada produzida deve ser suportada pela camada anterior. Dependendo do tipo de processo e da geometria do objeto desejado algumas peças necessitarão de material de suporte, que posteriormente precisará ser removido. Sempre que possível deve-se evitar tais suportes uma vez que aumentam a quantidade de material utilizado, o custo e o tempo de impressão, além de criar a necessidade de pós-processamento, o que pode afetar na qualidade superficial do objeto.
- Tempo de impressão: depende principalmente da espessura desejada de cada camada.
- Estimativa da rugosidade da superfície: para várias aplicações a rugosidade da superfície de um produto feito por AM é um importante quesito a ser considerado, uma vez que a estética do produto geralmente depende deste fator. A qualidade da superfície dependerá de outros fatores como a espessura das camadas, a área de contato com a base de impressão, quantidade de material de suporte.
- Orientação da peça durante a impressão: todos os fatores apresentados anteriormente dependem desta característica. A melhor orientação depende da intenção de uso da peça, assim como de sua funcionalidade, e prioridades do usuário. Por exemplo, se o tempo de impressão é o fator mais importante, então a orientação da peça deve ser aquela que gere a menor altura em relação ao eixo Z da máquina, apesar de que talvez isso gere maior quantidade de suportes.

Em complemento a esses fatores, Junk e Matt (2015b) apresentam algumas características mais específicas como regras para modelagem para manufatura digital, principalmente em relação à impressoras do tipo FDM, como:

- Pensar em uma base maior possível para melhor adesão à mesa de impressão;
- Evitar seções transversais muito pequenas, em comparação com o restante do objeto, na região das camadas mais próximas à base, pois o movimento rápido do equipamento pode gerar vibrações na peça e sua eventual quebra durante o processo;
- Preferir seções transversais com formas curvas, pois arestas retas são mais difíceis de serem representadas;
- E superfícies que se projetem além do suporte das camadas anteriores devem ser projetadas com no máximo 45° em relação ao plano vertical, para que não sejam necessários suportes, e conseqüentemente gasto maior de tempo e material.

Por fim, Bonet et al. (2017) comentam que ambiente educacional também precisa ser considerado em conjunto com abordagens educacionais para propiciar a criatividade. Ainda que tenha várias definições, criatividade está relacionada com a capacidade do pensamento divergente, ou seja, gerar múltiplas soluções a um problema. Metodologias baseadas em trabalho em grupo e o aprendizado baseado em projetos (PBL) somadas com um espaço que disponha de equipamentos e ferramentas (como laboratórios de prototipagem ou *makerspaces*), permitem explorar múltiplas e diferentes soluções a um mesmo problema de maneira rápida e dinâmica. Nos *makerspaces* se potencializa o pensamento reflexivo, analítico e crítico, procurando uma alfabetização tecnológica que converta os alunos em criadores, em lugar de serem usuários passivos e consumidores compulsivos dos distintos avanços tecnológicos.

3.3 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Fernandes e Simoes (2016) afirmam haver, majoritariamente, dois tipos de método de ensino. O direto, centrado no professor e baseando-se principalmente na exposição de conteúdo didático, e o indireto, que é centrado

no aluno, no qual ele adquire habilidades e conhecimento construindo seu próprio aprendizado pelo desenvolvimento ativo de competências. Pela pesquisa realizada, pode-se afirmar que a nova geração de profissionais necessita cada vez mais de uma formação indireta, na qual construam seu conhecimento e desenvolvam o pensamento crítico e habilidades como a de resolução de problemas.

Vale enfatizar que a RSL foi importante para afirmar a relevância da discussão a respeito da utilização da AM no ensino superior, ao encontrar inúmeros relatos apontando ganhos no processo de ensino aprendizagem de engenharia que mesclam Manufatura Aditiva e abordagens PBL, como maior interesse dos alunos, facilidade de entendimento de conceitos abstratos, estímulo para a construção do conhecimento centrado no aluno e colaborativo entre seus pares, e a possibilidade da efetiva integração interdisciplinar.

Segundo Smith et al. (2018), os atuais cursos de graduação normalmente possuem uma exposição limitada quanto à impressão 3D. Tradicionalmente possuem aulas expositivas que podem prover conhecimento teórico, porém, o entendimento detalhado para operação necessário pela próxima geração de engenheiros precisa de experiências mais práticas. E esta Revisão Sistemática da Literatura evidenciou vários trabalhos que apresentam a utilização da AM em sala de aula.

Como já apontado no capítulo 3.1 (Processo de Revisão Sistemática da Literatura), foram encontrados poucos trabalhos que apontam o uso da Manufatura Aditiva na área de Arquitetura, Engenharia e Construção, bem como na revisão da literatura realizada por Ford e Minshall (2019). Em ambos, majoritariamente os trabalhos encontrados são das áreas de Engenharia Mecânica e Design de Produto. Por isso, cabe a este trabalho identificar paralelos dessas experiências que possam ser transportados para área da AEC.

Bekke e Mersha (2018), apresentam uma metodologia de desenvolvimento de habilidades interdisciplinares de engenharia viável de ser adotada como modelo para a capacitação de profissionais da AEC. O objetivo seria aproximar a universidade de empresas do mercado que apresentem

demandas e desafios aos alunos, e que esses, em grupos que englobem indivíduos de vários cursos (e expertises complementares), desenvolvam soluções, as prototipem e as apresentem. Tal experiência permite uma reflexão a respeito da realidade da maioria dos cursos de arquitetura e engenharia civil brasileiros. Ainda que a falta de familiaridade com a Manufatura Aditiva seja uma dificuldade, seria benéfica a união desses cursos com outros mais habituados a essa tecnologia, a exemplo do Bacharelado em Expressão Gráfica existente na Universidade Federal do Paraná, ou mesmo cursos de Design, em disciplinas nas quais os discentes possam compartilhar seus conhecimentos com seus pares e somar suas expertises em projetos colaborativos e interdisciplinares.

Como já citado, a maioria dos trabalhos encontrados buscam incorporar a AM em disciplinas de forma passiva. Parece fazer sentido utilizar esse tipo de abordagem para a AEC, uma vez que o objetivo principal da capacitação desses profissionais não é a operação de equipamentos de fabricação digital, e sim capacitar profissionais que entendam a tecnologia, saibam como tirar proveito dela para solucionar problemas e estejam aptos a trabalharem em equipes multidisciplinares.

Uma das barreiras para a adoção da AM no ensino é a falta de familiaridade com a tecnologia (GAO et al., 2015 *apud* GATTO et al., 2015), tanto por parte dos alunos, quanto dos professores. Dessa forma, vários trabalhos ainda apontam que um conteúdo importante, em disciplinas que visam utilizar ferramentas de Manufatura Aditiva, deva ser uma apresentação dos fundamentos de AM, diferenças de técnicas, equipamentos e materiais. Entretanto, este conteúdo deveria tomar apenas uma pequena parte da carga horária de uma disciplina, apesar de sua extensão, pois tão importante quanto o conhecimento teórico é a experiência prática. Para os cursos de graduação brasileiros, ao se pensar em uma disciplina que dispõem de carga horária entre 20 e 40 horas semestrais, as diretrizes de Violante e Vezzetti (2017) apresentadas anteriormente são interessantes quando sugerem abordar esses temas teóricos com atividades extra classe com abordagem EAD. Enquanto pode-se utilizar maior parte do tempo explorando o desenvolvimento de habilidades e de conhecimento através de experiências práticas em grupo, como

apresentado por Bekke e Mersha (2018), Violante e Vezzetti (2017), Go e Hart (2016), por exemplo. Essa organização está alinhada com o conceito de “sala de aula invertida”, que é definida como a “abordagem pedagógica na qual os estudantes fazem o trabalho da sala de aula em casa e o trabalho de casa na sala de aula” (ELMÔR FILHO et al., 2019, p.45).

Contudo, imaginando uma disciplina com alunos de vários cursos relacionados com AEC, acredita-se que seja de fundamental importância tratar de alguns assuntos relacionados a AM de forma prática. Trata-se, por exemplo, do conceito de Design para Manufatura abordado por Go e Hart (2016), Chiu et al. (2015), Lynn et al. (2016) e Junk e Matt (2015b). Mesmo entendendo os fundamentos básicos de funcionamento dos equipamentos de Manufatura Aditiva, é importante que os alunos saibam as características desejáveis para a modelagem de um objeto que será prototipado em uma impressora 3D, considerando principalmente o tempo e volume de impressão, quantidade de material utilizado, orientação da peça e necessidade de estruturas de suporte, além da qualidade da superfície da peça e necessidade de pós-processamento.

3.4 CONCLUSÕES DA RSL

Nesta RSL identificou-se benefícios, limitações e exemplos da utilização da Manufatura Aditiva na graduação de futuros profissionais alinhados com as necessidades da sociedade do século XXI.

Essa pesquisa não visa encerrar a discussão de como implantar essa tecnologia nos cursos relacionados com a Arquitetura, Engenharia e Construção, mas sim buscar pistas de como fazê-lo. Pelas experiências encontradas, parece que a maneira mais direta de se implantar a Manufatura Aditiva e integrar diferentes cursos de graduação é criando disciplinas em comum que explorem o aprendizado interdisciplinar utilizando abordagens pedagógicas como a *Project-Based Learning*. Para isso, é necessário, inicialmente, identificar um objeto em comum que possa ser explorado pelos diferentes cursos, como Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, para que utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta educacional e fator de integração e

estímulo, os alunos desenvolvam suas habilidades de comunicação, colaboração, resolução de problemas, alfabetização tecnológica e autonomia, além do conhecimento técnico necessário para suas profissões.

Nessa configuração, o modelo pedagógico de sete passos sintetizado por Chiu et al. (2015) é um modelo que, na prática, parece se repetir na maioria das demais experiências de disciplinas analisadas. É necessário, primeiramente, ganhar a atenção dos alunos e ser bastante claro nos objetivos da disciplina utilizando-se o máximo possível de exemplos e aplicações reais para então propor desafios que os capacitem de forma guiada, mas de maneira que eles próprios construam seu conhecimento. Durante esse processo, é importante estimular o resgate de arcabouço teórico (conhecimento prévio) de diferentes naturezas e proporcionar situações em que os estudantes possam testar suas soluções, avaliá-las, reformulá-las se necessário e testarem novamente.

No caso da busca de integração dos cursos da área AEC, sem a intenção de esgotar a investigação, levanta-se uma hipótese a respeito da possibilidade de um tema que pode ser utilizado como “objeto em comum” e ponto de partida para se ganhar a atenção dos estudantes e propor desafios.

Um possível tema seria o estudo de “sistemas estruturais”. Pois segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), a importância e necessidade do ensino da teoria do tema nos cursos de Engenharia Civil é pacífico, porém o foco é bastante tecnicista fixando-se em atividades de cálculo e análise de dimensionamento estrutural. Os alunos de engenharia acabam tendo dificuldades na etapa anterior, que seria de concepção estrutural e estabelecimento do arranjo estrutural e que requer habilidades intuitivas e criativas.

Por outro lado, os autores afirmam que “o ensino de estruturas parece continuar (ainda) deficiente nos cursos de Arquitetura” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184), ainda que seja tema de recorrentes pesquisas, publicações, e inclusive eventos específicos para tal, como é o caso do ENEEEA – Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura.

De toda forma, é inegável que a concepção estrutural é etapa fundamental da concepção arquitetônica. Sem a estrutura “a forma não pode ser

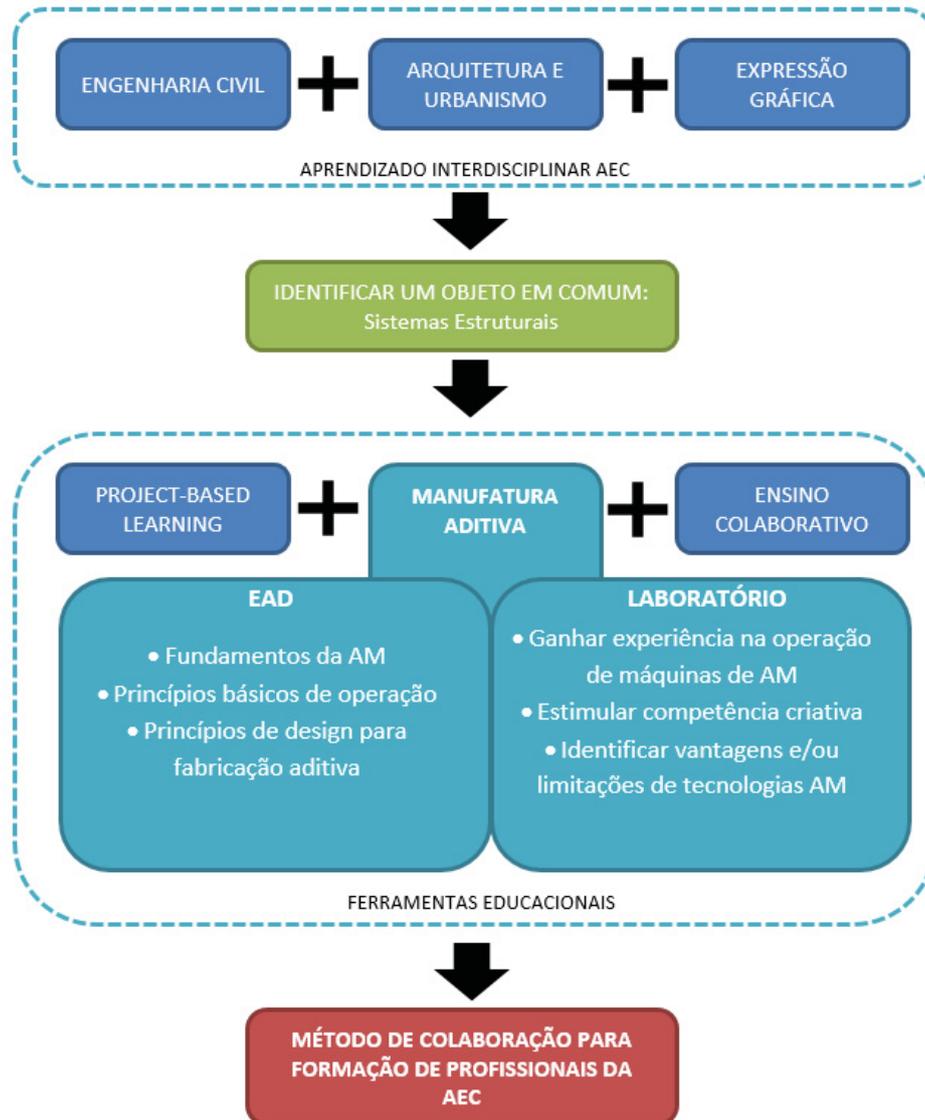
preservada e assim o organismo funcional arquitetural ficará comprometido, ou sequer existirá” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184). Por isso, o aluno de Arquitetura necessita de domínio sobre o uso e funcionamento dos sistemas estruturais.

Ainda que não seja tal tema não seja tópico específico abordado no Curso de Expressão Gráfica, ele permite diversas abordagens que envolvam conhecimentos relativos à essa área do conhecimento, tanto do ponto de vista de representação, como do ponto de vista técnico respectivo à cálculo.

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.

A Figura 17 ilustra a organização dos elementos necessários para atingir o objetivo maior da tese de doutorado na qual este trabalho está inserido.

Figura 17 – Elementos do modelo de colaboração na formação de profissionais da AEC.



FONTE: O autor.

O artigo gerado a partir deste capítulo foi publicado no III Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção (SBTIC21) e encontra-se no Apêndice 1 desta tese.

4 SUGESTÃO DE ALTERNATIVAS - Prototipagem rápida e modelos estruturais: uma experiência de ensino colaborativo

Como observado no capítulo anterior, vários trabalhos apresentam como a Manufatura Aditiva pode proporcionar benefícios no processo ensino-aprendizagem das mais diferentes áreas, como artes, matemática, engenharia, design, arqueologia e patrimônio histórico, astronomia, arquitetura e urbanismo, medicina e anatomia, entre outros (KOLITSKY, 2014; VACCAREZZA e PAPA, 2015; FUKUDA et al., 2016; FAN et al., 2016; HULEIHIL, 2017; LUDWIG et al., 2017).

Ciências cognitivas constroem modelos para simular fenômenos, em vez de descobrir como são as coisas indagando a realidade. Assim, o aprendizado de ciência está mais relacionado ao exercício de se comparar e diferenciar modelos, do que à aquisição de saberes absolutos. (POZO e CRESPO, 2009; DALLA VECHIA, 2012).

Os modelos físicos podem auxiliar discentes na compreensão espacial de fenômenos variados e, conseqüentemente, aumentar o seu envolvimento em aulas. Eles permitem uma linguagem adequada ao aprendizado, capaz de facilitar e racionalizar o pensamento do aprendiz, de forma a substituir uma visão ingênua da realidade por uma postura mais crítica e abrangente (BASSANEZI, 2015). No caso de áreas que envolvem projeto e criação, eles facilitam o entendimento do processo de concepção, permitem que o discente transfira suas ideias para a realidade e que aprenda sobre as fraquezas e virtudes de seus projetos, vivenciando o ciclo interativo do processo de design (HULEIHIL, 2017; NOVAK e WISDOM, 2018).

Com relação aos métodos de AM, eles permitem maior liberdade de design do que os métodos tradicionais de manufatura e oferecem baixo custo de produção de pequenas quantidades de partes complexas (STERN et al., 2019). O uso de modelos no ensino permite que se ensine ciência conforme visões contemporâneas sobre o processo ensino-aprendizagem, como um saber

provisório, com a participação dos discentes, suas dúvidas e incertezas no processo de elaboração do conhecimento científico, abordando o aprendizado como um processo construtivo, de busca de significados e de interpretação. Ao se abordar a modelagem matemática com uma caracterização educacional, associa-se teorias matemáticas à busca pela solução de problemas (POZO e CRESPO, 2009; DALLA VECHIA, 2012).

A evolução das tecnologias digitais ocorrida desde o final do século XX submeteu a sociedade a profundas mudanças no processo de concepção, produção, difusão, aprendizado e aplicação do conhecimento, com implicações sociais, culturais e técnicas e com desdobramentos educacionais (NERY, 2016). Nesse contexto de rápidas mudanças e evoluções tecnológicas, o papel dos diferentes profissionais envolvidos na indústria da construção civil está sendo modificado. Novos nichos de atuação vêm surgindo especificamente para emprego das novas tecnologias, uma vez que a maneira de se projetar e chegar ao produto final é alterada (PUPO, 2008; MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019). E ao mesmo tempo que as tecnologias AM se apresentam com rápido crescimento e potencial disruptivo, elas exigem programas educacionais que forneçam os seus princípios fundamentais e igualmente permitam aos designers, arquitetos e engenheiros descobrir suas capacidades (GO e HART, 2016).

Este capítulo apresenta uma abordagem adotada para o ensino e aprendizado dos conteúdos de estruturas arquitetônicas e prototipagem rápida, para os cursos de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo e Bacharelado em Expressão Gráfica, ambos da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Tais conteúdos foram ministrados como disciplina optativa semestral de 15 semanas durante o 1º semestre letivo de 2019 em uma oferta de aproximação dos dois cursos com expertises complementares para área da AEC.

A abordagem escolhida foi a PBL (*project-based learning*), também conhecida em português como “aprendizado centrado em projetos”. É uma estratégia educacional centrada no estudante que envolve atividades de ensino-aprendizagem interdisciplinares, a partir de um ambiente de aprendizado ativo e colaborativo, no qual estudantes são tutorados por professores qualificados e ganham conhecimento profundo através de respostas a questões do mundo real,

problemas e desafios. Dessa maneira os discentes se tornam gerentes do seu processo de aprendizagem. A PBL encoraja o desenvolvimento da habilidade de comunicação, coleta de dados, sintetização de informação e gerenciamento de tempo, preparando os discentes para suas futuras carreiras (STERN et al., 2019). Através de sua prática, a sala de aula torna-se um espaço aberto para receber ideias, saberes, linguagens e realidades, estimulando conversações e gerando vínculos. A abordagem de problemas permite aos alunos um crescimento individual e coletivo em sua experiência de aprendizagem, através da construção de significados que geram reflexões e dão sentido às suas experiências (CARBONELL, 2016).

4.1 OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISCIPLINA

A disciplina aqui apresentada foi desenvolvida a partir da iniciativa de docentes dos cursos de Expressão Gráfica (CEGRAF) e Arquitetura e Urbanismo (CAU), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que buscavam maior integração entre áreas com potencial de complementação de expertises. A união de discentes de dois cursos diferentes em uma disciplina em comum procurou aplicar na prática a sistemática instrucional *Peer Instruction* (ou *Peer to Peer*, também conhecida por “instrução por pares”) entre os discentes durante as aulas, conforme os princípios expostos por Mazur que afirma que estudantes podem ensinar conceitos entre si de forma mais eficiente do que seus professores. Acreditou-se que após entender os conceitos relacionados à sua área de aprendizado, os estudantes de cada curso teriam consciência das dificuldades que enfrentaram para chegar a esse ponto de compreensão, podendo por isso elaborar para os seus colegas do outro curso explicações claras sobre o próprio assunto assimilado. Com isso, a provável monotonia de aulas expositivas passivas apresentadas pelos professores poderia ser rompida (MAZUR, 2015, p.13-14).

Como já citado, o CEGRAF foi criado em 2012 e é único no país. Seu objetivo é “formar profissionais que trabalhem no desenvolvimento de projetos gráficos digitais e que atuem no intervalo de funções existentes entre a criação e a produção e participem de equipes multidisciplinares” (SOUZA e COSTA,

2013, p.3), nas áreas de arquitetura, engenharia e produtos industriais, baseando-se nos conceitos de projeto digital e na prototipagem. Uma formação abrangente é um requisito para esse profissional, a fim dele poder compreender elementos de várias áreas e poder se comunicar com diferentes profissionais, colaborando em processos de desenvolvimento de projetos. No ano de início do CEGRAF, o CAU já completava 50 anos de existência, sendo um curso já consolidado, com discentes acostumados a trabalhar em disciplinas práticas e de atelier, explorando conceitos da arquitetura, design e engenharia. Entretanto, tratando-se de tecnologias de fabricação digital o curso carece de infraestrutura. Possui apenas uma máquina de corte a laser e recentemente foi adquirida uma impressora 3D (3D Cloner ST), ainda pouco utilizada.

Para a experiência deste trabalho, uniu-se duas disciplinas optativas específicas de cada curso em uma disciplina em comum na prática. Ao curso de Expressão Gráfica (EG), foi oferecida a chamada CEG247 – Tópicos Especiais em Prototipagem I, uma disciplina de 60 horas semestrais com objetivo de desenvolver a capacidade de planejamento de projeto do profissional e sua habilidade em trabalhar de maneira colaborativa, além de focar em noções básicas de utilização dos equipamentos de prototipagem rápida. Ao curso de Arquitetura e Urbanismo (AU), foi oferecida a chamada TA159 - Tópicos Especiais em Tecnologia I: Modelos Estruturais, uma disciplina de 30 horas semestrais com o objetivo geral de possibilitar ao discente o estudo de diferentes tipologias de estruturas através do desenvolvimento de modelos estruturais físicos, visando a compreensão do seu comportamento estrutural e da relação entre a concepção estrutural, a concepção arquitetônica e a dimensão construtiva propriamente dita.

Para a disciplina CEG247, não era exigido pré-requisito aos alunos de EG. Ao total, 11 alunos cursaram-na integralmente, sendo que 10 eram alunos do último ano do curso. Dessa forma, pressupôs-se que a maioria já tinha conhecimentos sobre modelagem 3D virtual, base para qualquer desenvolvimento com impressão 3D. Para a disciplina TA159, também não foi exigido pré-requisito aos alunos de Arquitetura e Urbanismo, mas

coincidentalmente todos os inscritos já haviam cursado as disciplinas básicas de Sistemas Estruturais. Ao total, 6 alunos cursaram integralmente a disciplina.

A disciplina prática em comum entre os dois cursos foi proposta com seguintes objetivos gerais:

- Apresentar aos discentes fundamentos, potencialidades e limitações de técnicas da AM.
- Capacitar os discentes a utilizar impressoras 3D como ferramentas para validação de propostas de projetos.
- Promover trabalho colaborativo e interdisciplinar entre discentes dos dois cursos, visando o uso complementar de seus conhecimentos, para o desenvolvimento de modelos didáticos úteis para a área de estruturas arquitetônicas. Os alunos de Arquitetura e Urbanismo, supostamente seriam conhecedores de princípios de funcionamento dos elementos estruturais quando sujeitos a carregamentos e poderiam explicar aos alunos de Expressão Gráfica as necessidades de elementos, articulações, movimentos e deformabilidade dos seus modelos. Por outro lado, os alunos de EG supostamente seriam conhecedores de possibilidades e limitações dos equipamentos de prototipagem rápida e poderiam, assim, materializar os fenômenos estruturais em modelos duradouros e didáticos.
- Difundir o uso da AM como técnica de prototipagem útil para o processo de concepção de estruturas arquitetônicas.
- Criar modelos didáticos e duradouros para o curso de Arquitetura e Urbanismo, visando o seu uso posterior em aulas sobre sistemas estruturais.

Os objetivos específicos da disciplina visaram oferecer aos discentes:

- Capacitação para identificar materiais e escalas apropriados para a construção de modelos estruturais didáticos;
- Experimentação sensorial de fenômenos estruturais;
- Identificação de relações entre a concepção arquitetônica e o comportamento de sistemas estruturais.

Para atingir os objetivos propostos, a disciplina mesclou aulas teóricas com aulas de laboratório onde os discentes desenvolveram trabalhos práticos, nos quais eram incentivados a unir o arcabouço teórico com a utilização prática de equipamentos, softwares e criatividade para desenvolver modelos físicos tridimensionais.

Quadro 7 - Cronograma de aulas da disciplina.

Semana	Data	AULA 1 e 2 - 13:30h - 15:10h ALUNOS EG	AULA 3 e 4 - 15:30h – 17:10h ALUNOS EG + AU
1	28/02	Introdução: Prototipagem e Fabricação Digital	Introdução aos modelos estruturais na Arquitetura
2	07/03	Métodos de fabricação digital: Subtração	Apresentação do Kit Mola como referência de modelos estruturais
3	14/03	Métodos de fabricação digital: Adição	Proposição Trabalho 1: modelo didático sobre momento de inércia
4	21/03	Seminário Manufatura Aditiva	Desenvolvimento dos trabalhos sobre momento de inércia
5	28/03	APRESENTAÇÃO TRABALHO 1	
6	04/04	Impressão 3D: Uso e dicas	Proposição Trabalho 2: modelo didático sobre círculo trigonométrico.
7	11/04	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico (SEM AULA)	
8	18/04	Impressão 3D: Softwares para impressão	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
9	25/04	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
10	02/05	APRESENTAÇÃO TRABALHO 2	
11	09/05	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Proposição Trabalho 3: Modelo didático sistemas estruturais
12	16/05	Estudos dos Anais do III ENEEEA	
13	23/05	Entrega Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais
14	30/05	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
15	06/06	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
16	13/06	APRESENTAÇÃO TRABALHO 3	

FONTE: O autor.

Como as disciplinas possuíam cargas horárias diferentes entre os cursos envolvidos, pensou-se em um cronograma com essa consideração (Quadro 7). Para os alunos da Expressão Gráfica (EG), as aulas foram organizadas em quatro horas semanais, com duas horas iniciais destinadas ao estudo de conteúdos específicos sobre Manufatura Aditiva (princípios básicos de Prototipagem Rápida, noções básicas de modelagem voltada para impressão 3D e processos de impressão 3D). Nas duas horas finais, os alunos de Arquitetura e Urbanismo se uniam aos demais para a troca de informações sobre noções básicas de elementos e sistemas estruturais arquitetônicos e para o

desenvolvimento de trabalhos em equipes constituídas por discentes de ambos os cursos.

4.2 DELINEAMENTO DA DISCIPLINA

Como a disciplina realizada surgiu da união de duas disciplinas optativas, de dois cursos diferentes e com cargas horárias diferentes, planejou-se conteúdos e trabalhos específicos para os alunos de cada um dos cursos, apresentados a seguir.

4.2.1 Expressão Gráfica (EG)

Durante a graduação no CEGRAF, os discentes são estimulados com teoria sobre prototipagem rápida em algumas disciplinas que não possuem foco específico no assunto, ou seja, não há disciplina específica sobre AM no currículo atual do curso. Alguns poucos discentes têm a oportunidade de participar voluntariamente de projetos de extensão como o LAMP (Laboratório de Modelagem e Prototipagem) que busca atender demandas para impressão 3D da comunidade interna e externa da UFPR (CARBONI, 2019). Com o processo da primeira reformulação curricular do CEGRAF em andamento, notou-se a necessidade de abordar o assunto “prototipagem rápida” com maior profundidade. Dessa forma, viu-se em disciplinas optativas com ementa mais abrangente, uma alternativa de proporcionar aos discentes essa experiência.

Inicialmente, aulas expositivas abordaram conceitos principais sobre Prototipagem e Fabricação Digital, a importância dos modelos físicos como ferramentas para dar tangibilidade às ideias e a importância do desenvolvimento dos sistemas CAD e CAM para a concepção e construção da arquitetura. Nesta etapa, a sensibilização principal pretendida era a de que no contexto atual da busca por industrialização da construção civil, a concepção do projeto de arquitetura estivesse vinculada aos processos de fabricação digital, em um mercado ainda a ser explorado. Assim, o profissional de expressão gráfica poderia ter mais oportunidades de inserção no mercado de trabalho.

Explanou-se sobre a categorização das técnicas de fabricação digital: adição, subtração e conformação. Mais especificamente com relação aos processos de Manufatura Aditiva, abordou-se através de seminários preparados pelos discentes as principais classificações de impressão 3D: estereolitografia (SLA), modelagem por fusão e deposição (FDM), jateamento de material (IJP), sinterização seletiva a laser (SLS) e *3 dimensional printing* (3DP). Para cada processo discutiu-se conceitos, maquinário utilizado, mecanismo de operação do sistema, materiais, processo de trabalho, vantagens e limitações dos métodos ou equipamentos e exemplos de aplicação.

Na sequência, foram expostos conceitos importantes sobre impressão 3D, a serem observados pelos discentes posteriormente durante o uso das impressoras disponíveis no laboratório, destacando-se:

- processo de fatiamento da geometria CAD e geração do código de comunicação com a impressora;
- espessura da camada de impressão que resulta nos chamados “degraus” (ou “*steps*”) na superfície do objeto impresso e consequentemente maior ou menor resolução da peça final;
- preenchimento interno (“*infill*”) das peças a ser configurado no software de fatiamento, considerando resistência da peça versus economia de material;
- necessidade de suportes para regiões do modelo que não estão conectadas ao próprio objeto ou à mesa de impressão, incluindo a análise da combinação entre geometria da peça, orientação de sua impressão e modelagem voltada à impressão;
- subdivisão do objeto em várias partes e estudo de tolerâncias na modelagem, visando sua união para a constituição do objeto final através de encaixes ou colagens.

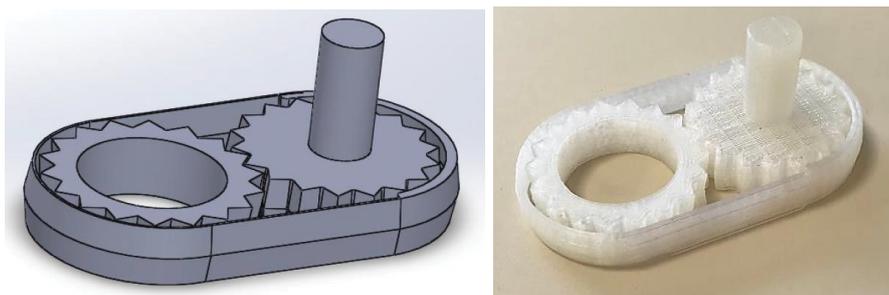
Os conceitos foram apresentados de forma a enfatizar a importância da avaliação da melhor maneira de imprimir uma geometria, analisando-se qualidade de impressão, tempo e consumo de material.

Os discentes também receberam orientação de como operar o software e a máquina de impressão 3D. Para um aprendizado aplicado, propôs-se a eles

o “desafio da engrenagem”, com o intuito de se conceber a modelagem de ao menos duas peças que se encaixassem e que uma movimentasse a outra. Apesar do objeto proposto ser aparentemente simples, o maior desafio de projeto era que a sua impressão fosse única, ou seja, que as peças não necessitassem nenhum encaixe ao final da impressão. Para essa atividade, os alunos foram organizados em duplas ou trios, tiveram que conceber digitalmente suas ideias já pensando nas limitações dos equipamentos disponíveis. Dessa forma, perceberam a importância da modelagem digital focada à Manufatura Aditiva e puderam refletir sobre alguns aspectos de projeto, como: (1) descobrir a tolerância entre as dimensões da modelagem e da peça prototipada para que seus elementos não ficassem nem muito justos, nem muito soltos entre si, garantindo o funcionamento pretendido; (2) planejar a geometria das peças com foco na orientação de impressão para que não houvesse necessidade de suportes durante a impressão, o que poderia inviabilizar a geração de um protótipo funcional, sem pós processamento ou montagem; (3) planejar a geometria para que o conjunto não se desmontasse ao ser manuseado.

As soluções propostas foram bastante diferentes entre si e permitiram a absorção de conceitos importantes pelos discentes. A equipe “A”, por exemplo, concebeu duas engrenagens envoltas por uma peça cuja função era de manter o conjunto unido. Na sua primeira versão, o afastamento entre as peças na modelagem virtual não foi suficiente para que as peças impressas se movimentassem com facilidade e o pino que serviria para girar uma das peças ficou com diâmetro muito reduzido, o que dificultava o manuseio. A segunda versão conseguiu corrigir esses problemas e atendeu os objetivos da atividade (Figura 18).

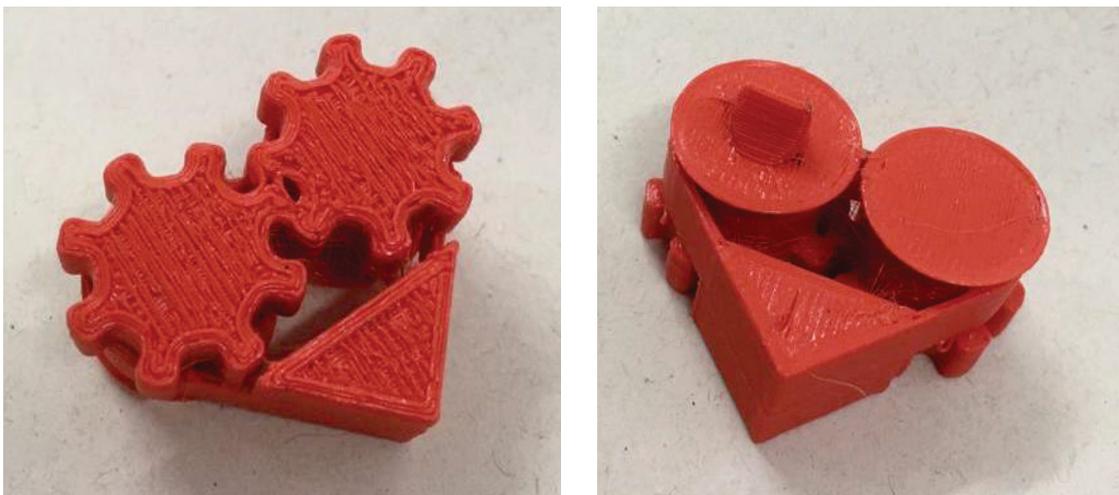
Figura 18 – Proposta da equipe A para o “desafio da engrenagem”. À esquerda, a modelagem virtual; à direita, o protótipo realizado em impressora 3D FDM.



FONTE: Registros dos alunos.

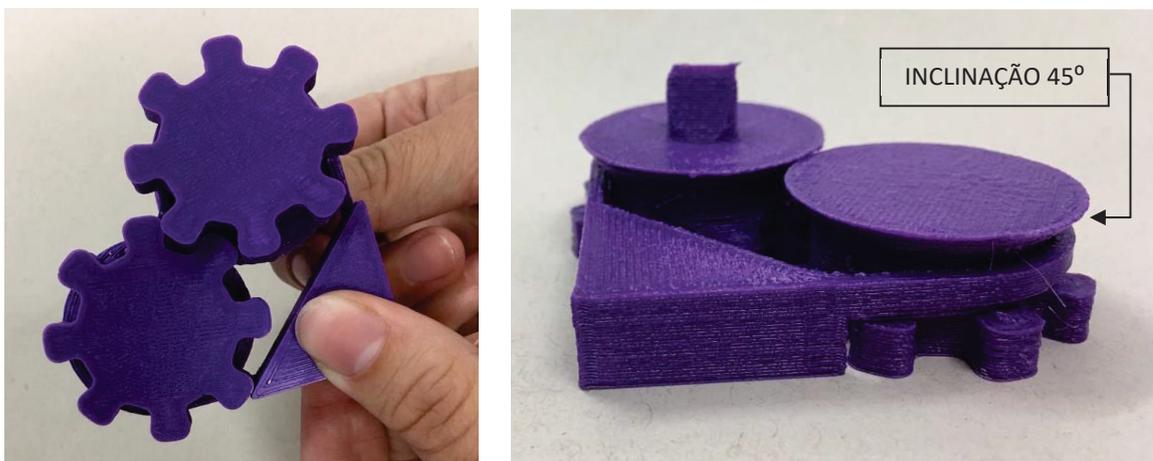
Ainda como exemplo, a equipe “B” desenvolveu duas engrenagens redondas envoltas por um suporte externo, com o design inspirado no formato de um coração. O prato superior da engrenagem foi modelado de forma cônica, ou seja, com uma inclinação de 45° para que as peças não se desmontassem, mas ao mesmo tempo não fosse necessária impressão de suporte. O primeiro protótipo impresso (Figura 19) foi modelado com medidas em centímetros e permitiu a constatação de uma falha de unidades, uma vez que o software da impressora trabalha em milímetros. Como resultado, o objeto ficou fora de escala, muito pequeno e com os componentes grudados entre si. Correções no modelo virtual e redução de sua altura, visando economia de material, resultaram em um segundo protótipo (Figura 20) que atingiu os objetivos do desafio proposto.

Figura 19 – Primeiro protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.



FONTE: Registros dos alunos.

Figura 20 – Segundo protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.



FONTE: Registros dos alunos.

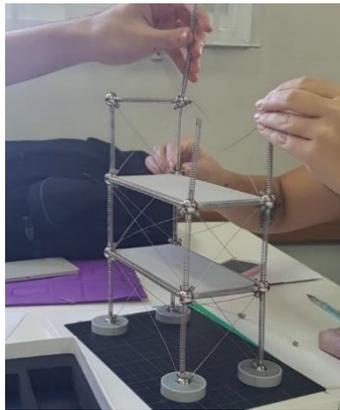
4.2.2 Arquitetura e Urbanismo (AU)

Durante seis semestres da graduação, os discentes de AU estudam elementos e sistemas estruturais em disciplinas variadas, consideradas difíceis por grande parte dos discentes e comumente relacionadas a altos índices de desistência ou reprovação no curso. A adoção de modelos físicos didáticos nessas disciplinas e a sua possível manipulação pelos discentes costuma ser um potencial facilitador para a explicação dos seus conteúdos. Isso enfatiza a afirmação de Mazur, quando o autor defende que “uma melhor compreensão dos princípios leva também a uma melhor capacidade de resolução dos problemas” (MAZUR, 2015, p.41), o que indica que fundamentos bem compreendidos colaboram para que problemas sejam resolvidos. As vantagens de se adotar modelos físicos didáticos como facilitadores de ensino podem ser fundamentadas pela exposição de Bassanezi, quando o autor defende que “a modelagem – que pode ser tomada tanto como um método científico de pesquisa quanto como uma estratégia de ensino aprendizagem – tem se mostrado muito eficaz”. O autor defende a modelagem em vários campos do conhecimento, afirmando que ela pressupõe multidisciplinaridade e por isso combina com novas tendências de remoção de fronteiras entre diferentes áreas (BASSANEZI, 2015).

O início do semestre se deu com a apresentação para os discentes de um sistema didático de modelagem denominado “Kit Mola”⁴ (Figura 21), desenvolvido a partir da dissertação de mestrado de Márcio Sequeria de Oliveira (OLIVEIRA, 2008), que se baseia na montagem de elementos e sistemas estruturais através de peças metálicas e uniões imantadas. O material foi apresentado como referência de qualidade para os modelos que seriam desenvolvidos na disciplina, através de outras técnicas. A continuidade do semestre letivo se deu com o desenvolvimento de três modelos diferentes por cada grupo, como parte das atividades em comum para os discentes dos dois cursos, conforme exposto na sequência.

⁴ <https://molamodel.com>

Figura 21 – Uso do “kit Mola” como referência de modelagem estrutural.



FONTE: O autor.

4.3 ATIVIDADES EM COMUM PROPOSTAS AOS DISCENTES

Ao longo da disciplina, foram propostos três trabalhos práticos em conjunto entre os discentes dos dois cursos, visando a experimentação aplicada dos conceitos de Manufatura Aditiva.

4.3.1 Modelo didático 1 - momento de inércia

Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar a conceituação de “momento de inércia”. A eficácia de elementos estruturais está diretamente relacionada com a sua rigidez, a qual, por sua vez, depende diretamente da forma da sua seção transversal. A rigidez é uma propriedade da peça, definida como a relação entre a tensão aplicada e a sua deformação elástica. Ela pode ser avaliada a partir de uma característica geométrica da seção transversal denominada de momento de inércia, cujo cálculo é fundamental à análise estrutural. A rigidez está relacionada com a posição da peça em relação à sua seção transversal e explica o fato de uma viga de seção retangular ser mais eficiente quando sua maior dimensão fica na direção vertical.

A existência de modelos didáticos para explicar o momento de inércia é interessante porque os alunos têm dificuldade de entender o seu conceito abstrato. Os modelos, sendo flexíveis, permitem a comparação da deformação

das peças sob diferentes solicitações e em diferentes posições da sua seção transversal em relação aos seus eixos. Isso pode facilitar a compreensão analítica do conceito.

Neste primeiro trabalho proposto, o uso da Manufatura Aditiva ainda não foi um requisito, mas deixou-se em aberto a escolha de técnicas e materiais para o desenvolvimento dos protótipos. O objetivo pretendido era, primeiramente, a integração entre os alunos dos dois cursos e que eles percebessem a importância dos modelos didáticos para exprimir conceitos por vezes abstratos. O trabalho também visava explorar a capacidade dos discentes de AU em explicar o fenômeno estudado aos alunos de EG, uma vez que estes não têm em seu currículo disciplinas que envolvam conceitos estruturais.

As fotografias a seguir mostram alguns modelos didáticos desenvolvidos por alunos para o assunto em questão. A Figura 22 ilustra o modelo da equipe “A” com a proposta de representar visualmente a deformação de vigas simplesmente apoiadas variadas em um gráfico, conforme a sua posição e o carregamento a elas imposto.

Figura 22 – Modelo didático desenvolvido por alunos que apresenta momento de inércia em vigas através da visualização gráfica da sua deformação.

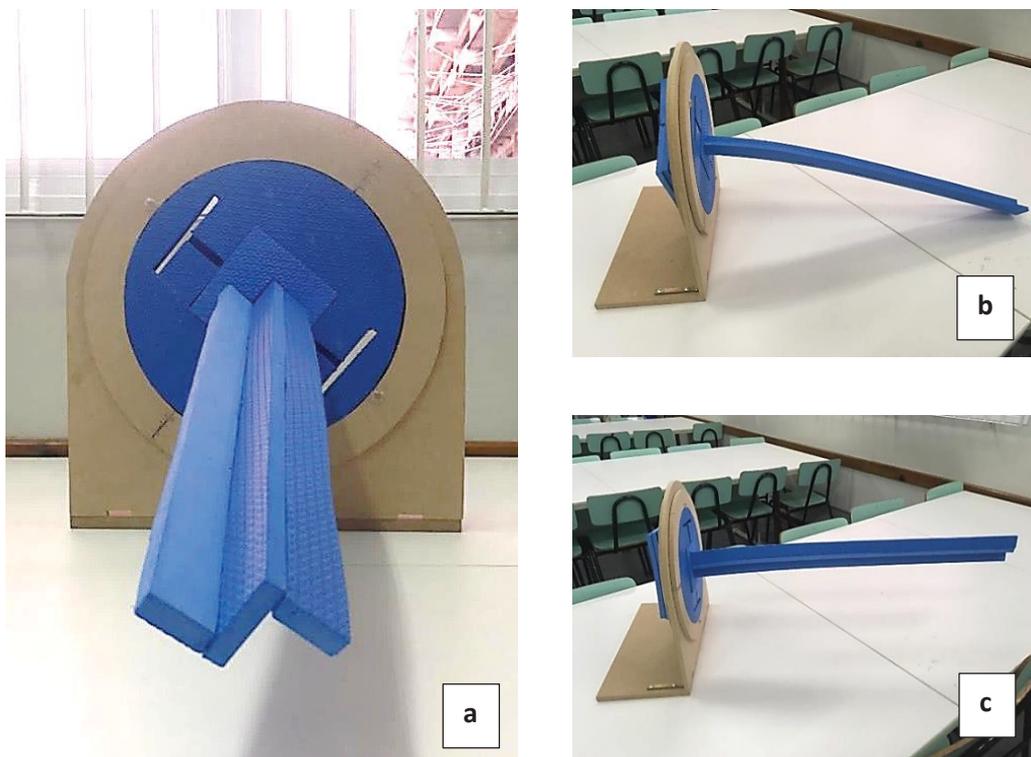


FONTE: O autor

A Figura 23 ilustra o modelo da equipe “B”, que permite fixar peças com diferentes seções transversais por uma das suas extremidades, simulando o comportamento de vigas em balanço, em um apoio capaz de aplicar um giro de 360 graus à peça. O modelo permite que a peça fique fixada (engastada) em

uma extremidade e livre na outra e possa ser rotacionada em torno do seu eixo longitudinal central. À medida em que a seção transversal gira, sua deformação aumenta ou diminui. Quando aumenta, significa que o momento de inércia diminuiu, e vice-versa. A variação de deformação da peça permite que o aluno identifique as posições dos eixos da seção transversal que apresentam maior resistência e assim, identificar a posição mais apropriada para aplicação das peças em projetos arquitetônicos.

Figura 23 - Modelo didático para o ensino de momento de inércia através da rotação da peça (a), mostrando respectivamente a peça em posição favorável à deformação (b) e em posição resistente à deformação (c).

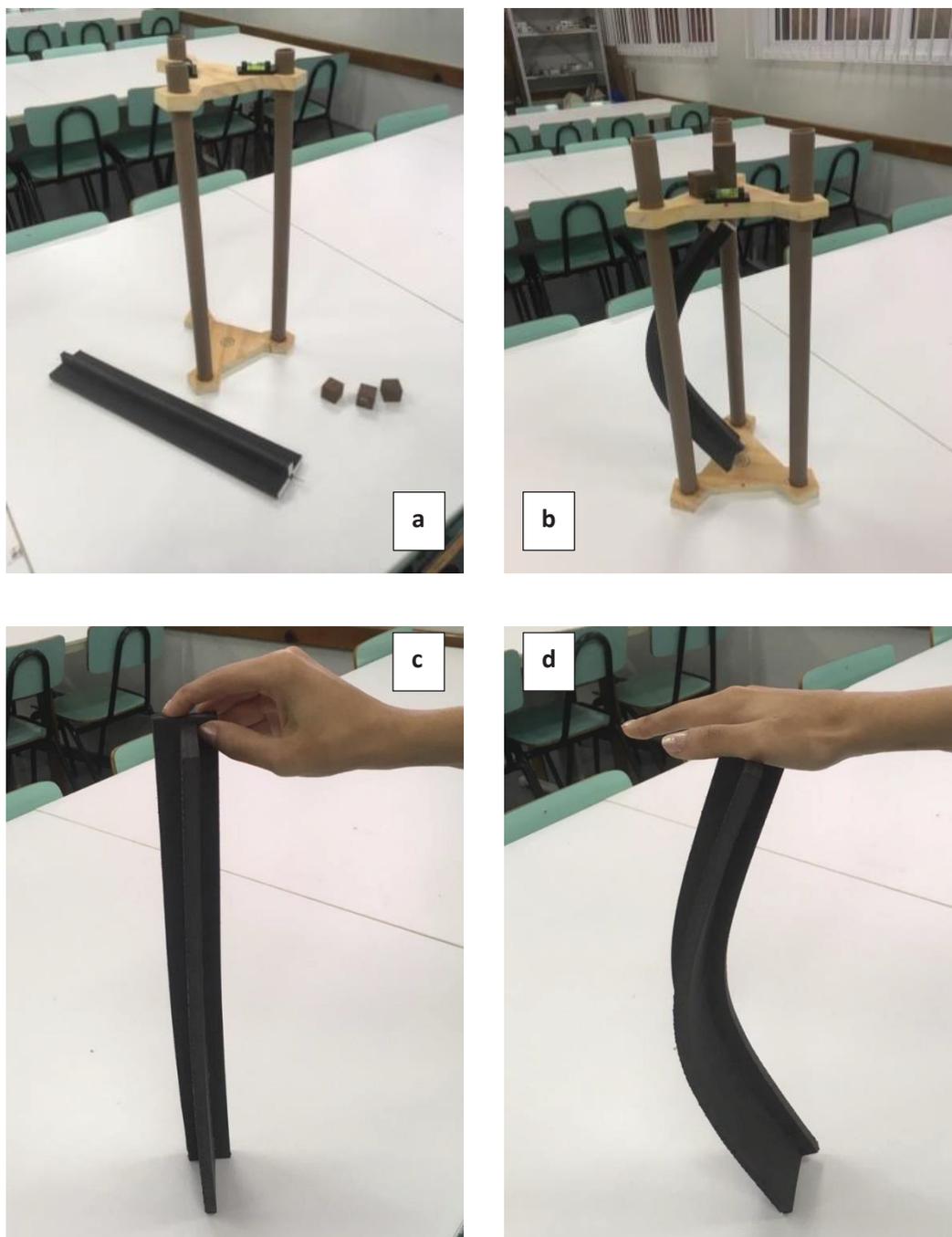


FONTE: O autor

A Figura 24 ilustra o modelo da equipe “C”, que buscou reproduzir o comportamento de pilares perante a aplicação de esforços de compressão. Foram desenvolvidos diferentes tipos de peças, mostrando seções transversais mais ou menos resistentes e provando que pilares com momento de inércia mais baixo se deformam mais do que aqueles com momento de inércia mais elevado. A equipe se preocupou em desenvolver todas as peças com a mesma área de seção transversal, de forma a obter uma comparação real entre a efetividade das seções. Como em situações reais de projeto de estruturas procura-se conceber peças o mais rígidas possível, por questões de segurança e economia, o modelo

permite uma conclusão bastante objetiva sobre seções mais coerentes para a aplicação em pilares.

Figura 24 - Modelo didático (a) para o estudo de momento de inércia em pilares sujeitos ao esforço de compressão simples, o qual é aplicado no centro geométrico da seção do pilar para visualização da direção de menor resistência da peça (b). Peças para o modelo didático (c e d).



FONTE: O autor

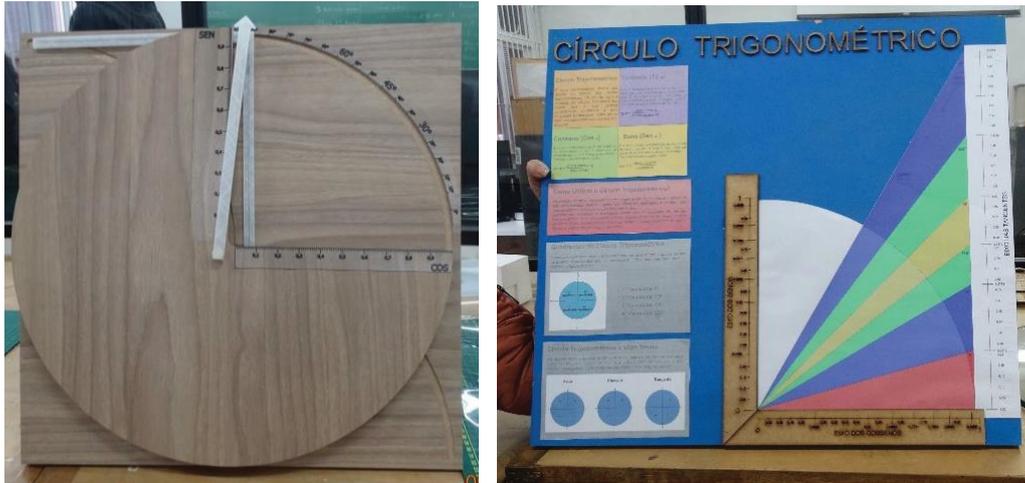
4.3.2 Modelo didático 2 – círculo trigonométrico

Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar e se ensinar o comportamento do círculo trigonométrico. A análise gráfica do círculo trigonométrico é bastante representativa no ensino de geometria plana. O gráfico permite, entre outras possibilidades, entender a relação entre seno, cosseno, tangente e cotangente e visualizar diversas relações trigonométricas que são estudadas no ensino da geometria, mas que podem ser totalmente abstratas se ensinadas somente pelo seu aspecto analítico.

O trabalho proposto teve como requisitos a criação de um modelo didático que permitisse ao usuário simular diferentes ângulos e verificar o seu comportamento de forma fácil e interativa. Sugeriu-se também que os modelos fossem facilmente transportáveis, visando o seu uso em escolas. Nesse trabalho, a utilização da Manufatura Aditiva não era obrigatória, porém foi incentivada. Também se incentivou a utilização de outras técnicas de prototipagem rápida como o corte e gravação a laser. De modo contrário ao primeiro trabalho, esperava-se que os alunos de EG tivessem maior conhecimento sobre o tema, uma vez que em sua grade curricular existem disciplinas como desenho geométrico, três disciplinas de cálculo e geometria dinâmica.

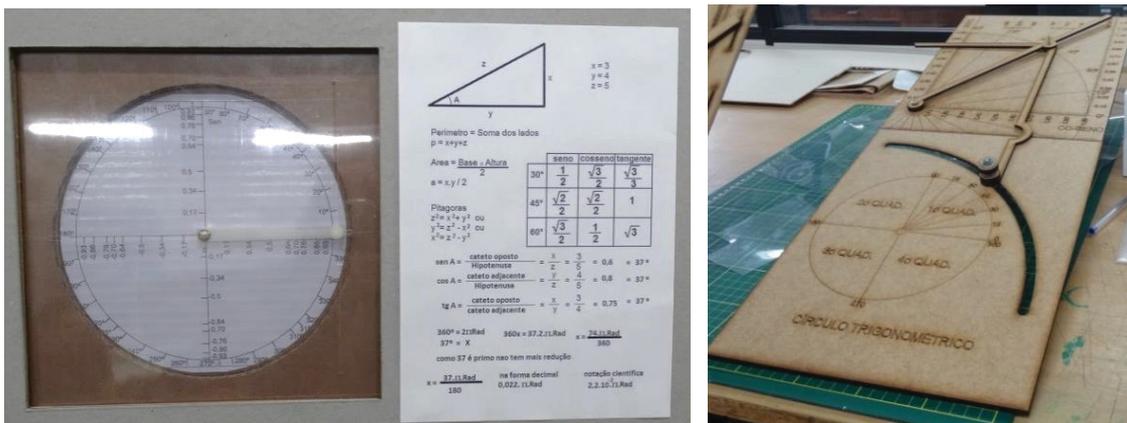
As equipes foram criativas na construção do mecanismo e na variedade de materiais utilizados, que variaram entre MDF, papelão, acetato, vinil, acrílico e alguns componentes impressos em 3D. As figuras Figura 25 e Figura 26 ilustram alguns modelos apresentados nesse trabalho.

Figura 25 – Modelos didáticos de círculo trigonométrico feitos respectivamente em MDF (esquerda) e em MDF com papel colorido (direita).



FONTE: O autor.

Figura 26 – Modelos didáticos de círculo trigonométrico feitos em papelão, acetato e peça confeccionada em impressora 3D(esquerda), e em MDF com gravação e recortes à laser (direita).



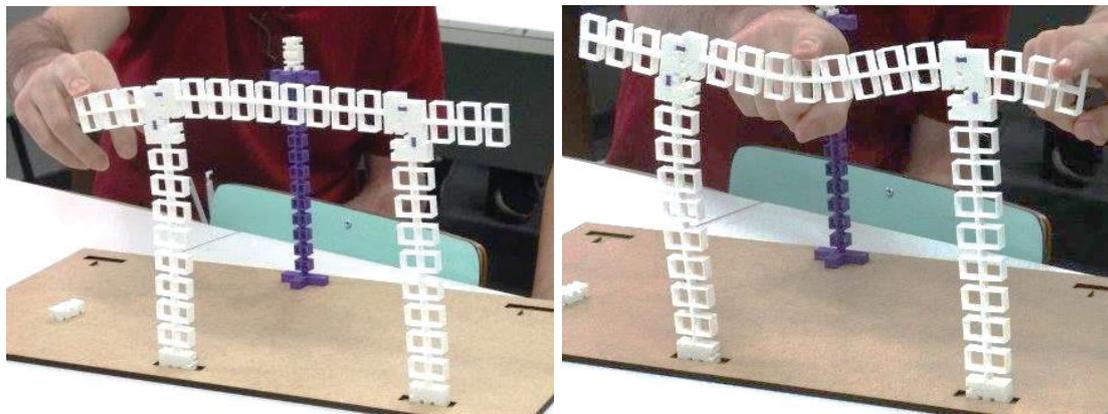
FONTE: O autor.

4.3.3 Modelo didático 3 – sistema estrutural

O último trabalho proposto para os alunos foi a criação e o desenvolvimento de um modelo reduzido didático com a finalidade de mostrar o mais fielmente possível o comportamento de elementos de um sistema estrutural quando submetido a um determinado carregamento. Neste trabalho específico, a partir do conhecimento dos vários tipos de elementos ou sistemas estruturais, cada equipe foi solicitada a conceber e confeccionar o referido modelo prioritariamente através da impressão 3D.

O protótipo representado na Figura 27, simbolizando um modelo estrutural com dois pilares sustentando uma viga biapoiada com balanços, apresentou comportamento bem interessante. Formado por um conjunto de elementos retangulares vazados interligados por uma linha central, o modelo idealizado proporcionou de forma bastante clara e didática a visibilidade de deformações de tração e compressão, características da flexão. Na Figura 27, pode-se perceber diferentes deformações nas peças estruturais, ocasionadas pela mudança do local de aplicação da carga.

Figura 27 – Modelo didático estrutural A: viga biapoiada com balanços.



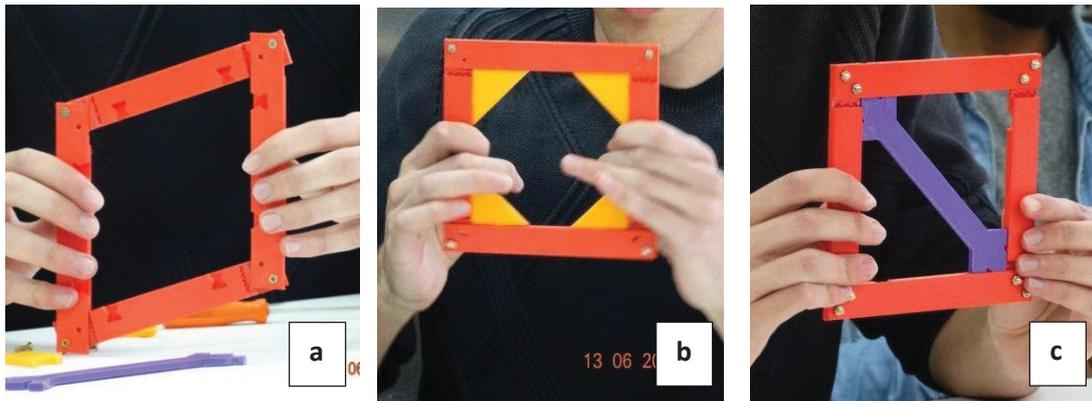
FONTE: O autor.

Um elemento estrutural muito utilizado na construção civil é a treliça, formada pela associação de barras curtas conectadas entre si de forma a constituir triângulos. Todas as ligações entre as barras de uma treliça são admitidas articuladas, com giro livre de uma barra em relação às outras. Na Figura 28, uma das equipes apresentou os módulos básicos conceituais deste modelo. Inicialmente, construíram um módulo formado por quatro barras ligadas entre si por parafusos, que comprovou que o conjunto assim constituído não é estável para uma carga atuando no plano das quatro barras (Figura 28a). Para estabilizá-lo, foi constatada a necessidade de se impedir a rotação (giro) relativa entre as barras, tendo sido então propostas as seguintes maneiras de travamento:

- O uso de dois ou mais parafusos em cada ligação de barras, de forma a constituir um módulo menos flexível que o anterior.

- A inserção de elementos triangulares nos vértices do quadro, para impedir o giro entre as barras, obtendo assim o módulo básico de uma viga do tipo Vierendeel (Figura 28b).
- O acréscimo de uma barra diagonal entre as quatro barras, formando o módulo básico dos sistemas estruturais treliçados (Figura 28c).

Figura 28 – Modelo didático estrutural B: treliça.



FONTE: O autor.

Esses e os demais trabalhos apresentados na disciplina cumpriram com todos os requisitos estabelecidos para a atividade, ilustrando conceitos importantes para o estudo de elementos e sistemas estruturais, como articulações, deformações, vinculações e relações dimensionais entre as peças.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A avaliação dos modelos detectou vários deles com potencial para serem usados como ferramentas didáticas. Como ponto forte, todos os modelos desenvolvidos apresentaram a característica da interatividade, permitindo a intervenção do seu usuário. Como ponto fraco, percebeu-se que alguns modelos apresentaram baixa durabilidade após sua apresentação em sala de aula.

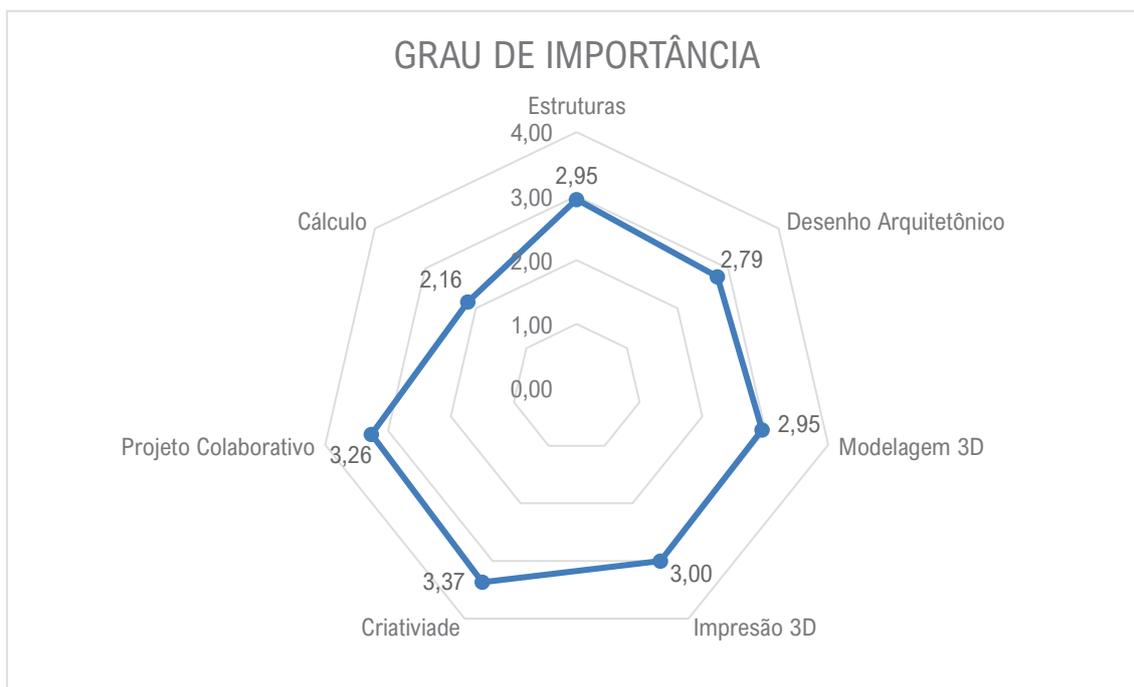
As avaliações dos trabalhos mostram que em todos os casos, houve um resultado positivo relacionado à capacidade de experimentação, abstração e resolução de cada equipe. Contudo, os trabalhos foram testados e avaliados somente dentro da sala de aula da disciplina, entre as diferentes equipes, e não em sua aplicação didática em disciplinas específicas do curso de Arquitetura e Urbanismo, que abordam os conceitos ilustrados através dos protótipos. Assim,

considera-se que o item validação, importante na aprovação de modelos, foi atendido parcialmente, porque os modelos foram testados e avaliados somente pelos docentes e discentes que participaram diretamente da disciplina. Para validar os modelos como ferramentas didáticas, seria ainda necessário levá-los às salas de aula e aplicá-los como recursos pedagógicos e não houve tempo hábil para isso no decorrer da disciplina em questão.

Durante a disciplina, foram aplicados alguns questionários para registrar a percepção dos discentes. O primeiro (Apêndice 5) foi proposto após o lançamento do tema do primeiro trabalho, para entender como os discentes avaliavam a importância e seu próprio conhecimento ou familiaridade com alguns conceitos importantes à disciplina, como: conhecimento sobre estruturas, capacidade de participar de uma equipe multidisciplinar, conhecimento teórico e prático sobre modelagem e impressão 3D. Desse questionário, participaram 14 alunos de EG e 5 de AU.

Primeiramente, perguntou-se qual seria a importância de certos conceitos e/ou habilidades para esta disciplina. Para as respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero seria nenhuma importância e quatro muita importância. Foram listados sete conceitos: estruturas, desenho arquitetônico, modelagem 3D, impressão 3D, criatividade, projeto colaborativo e cálculo. Pelas médias obtidas, os alunos demonstraram que acreditavam que conhecimento de cálculo era o menos relevante para a disciplina. Conhecimento sobre estruturas foi considerado tão importante quanto sobre modelagem 3D e a criatividade foi considerada como o conceito mais importante para a disciplina, seguida pelo projeto colaborativo e pela impressão 3D, respectivamente (Figura 29).

Figura 29 – Grau de importância de conceitos para a disciplina, segundo medição feita com alunos no início da disciplina.



FONTE: O autor

Também foram feitas aos discentes as seguintes perguntas (Quadro 8), sobre como eles julgavam seu próprio conhecimento ou familiaridade com alguns conceitos, com o mesmo sistema de respostas variando de 0 a 4, onde o zero seria nenhum conhecimento ou familiaridade e quatro muito conhecimento ou familiaridade:

Quadro 8 – Questões sobre grau de conhecimento ou familiaridade dos alunos

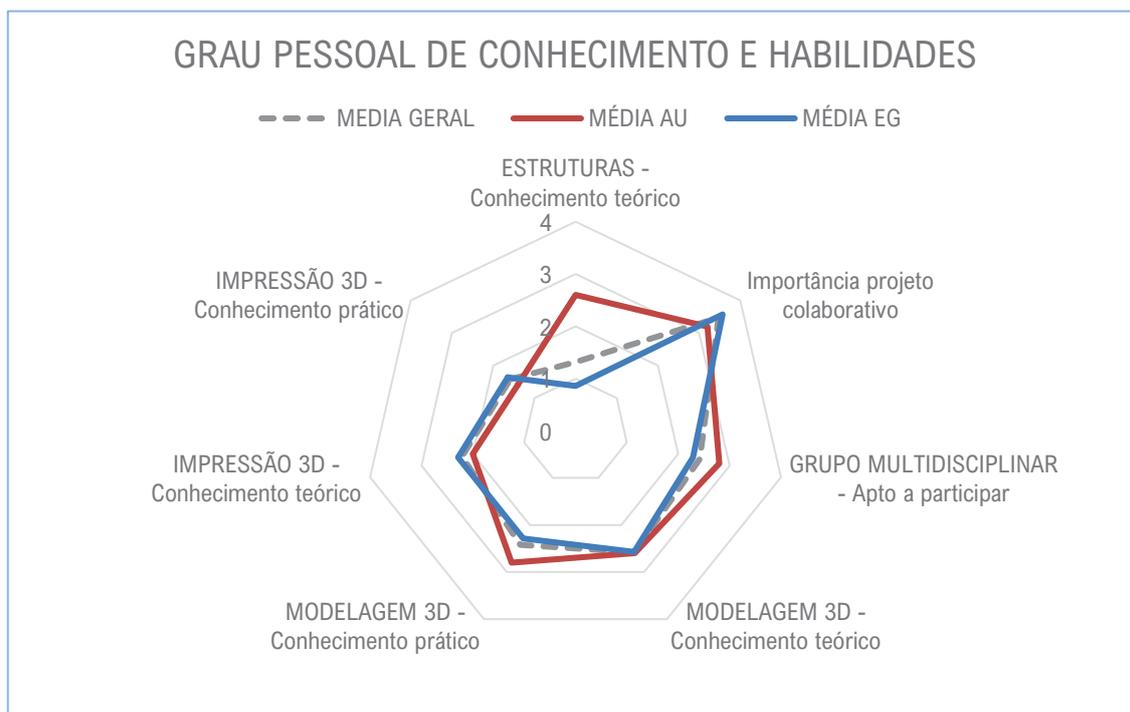
1. Como você julgaria o seu conhecimento sobre estruturas?
2. Quão preparado você julga estar para participar de um grupo multidisciplinar de projeto?
3. Como você julgaria o seu conhecimento acadêmico sobre o conceito de “modelagem 3D”?
4. Como você julgaria a sua familiaridade com a prática de “modelagem 3D”?
5. O quão familiarizado você está com o conceito de “impressão 3D”?
6. O quão familiarizado você está com a prática de “impressão 3D”?

FONTE: O autor

Das respostas obtidas (Figura 30), observa-se que os discentes de EG reconheceram seu baixo conhecimento sobre conceitos estruturais, o que já era esperado, ainda que os alunos de AU julgaram seu conhecimento pouco acima

do meio termo, com resposta média de valor 2,6. Também, nota-se que em ambos os cursos, os alunos possuem mais experiência prática do que teórica em modelagem 3D, e o inverso ocorre quando analisa-se a respeito de impressão 3D.

Figura 30 – Grau pessoal de conhecimento, habilidades ou importância de conceitos para a disciplina



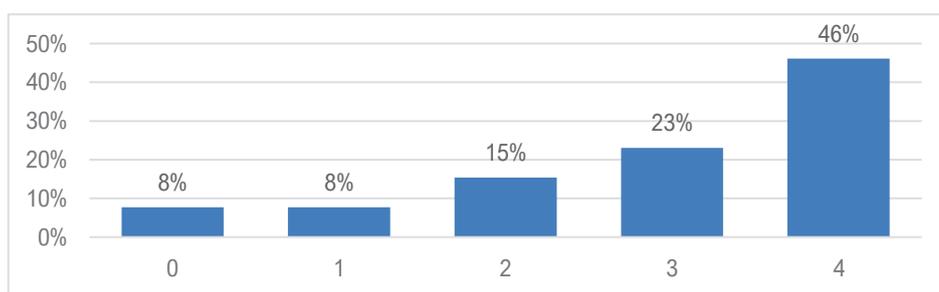
	ESTRUTURAS Conhecimento teórico	Importância projeto colaborativo	GRUPO MULTIDISCIPLINAR Apto a participar	MODELAGEM 3D Conhecimento teórico	MODELAGEM 3D Conhecimento prático	IMPRESSÃO 3D Conhecimento teórico	IMPRESSÃO 3D Conhecimento prático
MÉDIA GERAL	1,32	3,47	2,42	2,58	2,42	2,21	1,58
MÉDIA AU	2,60	3,20	2,80	2,60	2,80	2,00	1,40
MÉDIA EG	0,86	3,57	2,29	2,57	2,29	2,29	1,64

FONTE: O autor.

Como os trabalhos propostos envolviam temas mais próximos aos alunos de AU, era esperado que o trabalho em grupos multidisciplinares fosse entendido pelos discentes como de fundamental importância. O questionário apontou que eles se julgaram aptos a trabalhar em grupos multidisciplinares com uma média de 2,42 e que eles acreditam que projetos colaborativos entre os cursos são importantes para o êxito da disciplina, tendo em vista os objetivos esperados, uma vez que se obteve média de 3,47 para esse item (Figura 30).

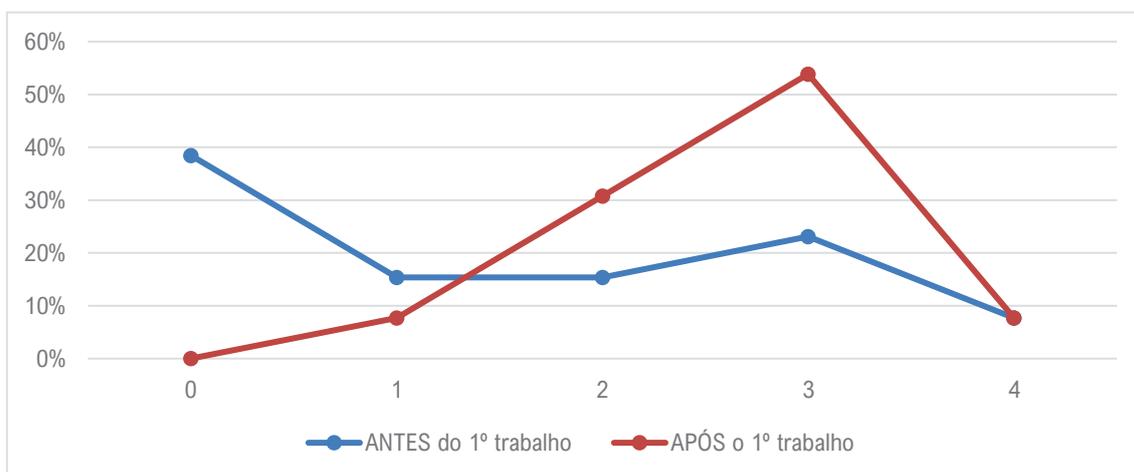
Ao longo do desenvolvimento da disciplina, percebeu-se um comportamento favorável dos discentes dos dois cursos envolvidos à integração de saberes, assim como notou-se que estudantes podem ensinar conceitos entre si de forma eficiente. Um segundo questionário aplicado após o 1º trabalho, fez a seguinte pergunta: Para o sucesso do trabalho em equipe, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura? Treze alunos responderam essa questão e 69% deles considerou-o importante ou muito importante (Figura 31).

Figura 31 – Para o sucesso do trabalho 1, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura?



FONTE: O autor.

Figura 32 - Qual seu nível de conhecimento sobre estruturas ANTES e APÓS o primeiro trabalho da disciplina?



FONTE: O autor.

Outro dado interessante foi obtido ao analisar as respostas da seguinte pergunta: “Como você julgaria seu conhecimento sobre estruturas antes e após a realização do 1º trabalho da disciplina?”. Para as respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero seria relacionado a nenhum conhecimento e 4 a muito conhecimento. Percebe-se pela Figura 32 que os

modelos auxiliaram na visualização e entendimento dos conceitos – houve uma diminuição na resposta de graus mais baixos (0 e 1) e aumento dos graus 2 e 3.

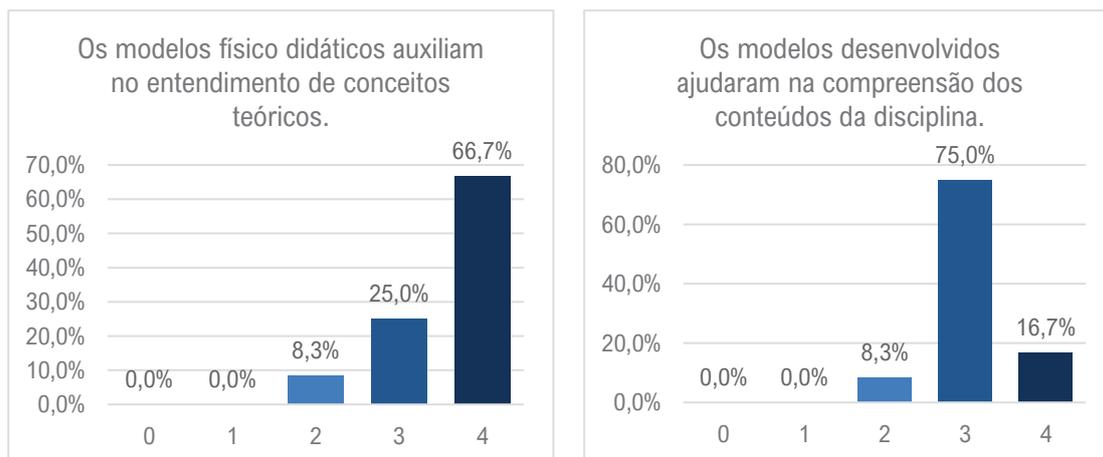
Entretanto, é curioso observar que essa movimentação se deu apenas para os alunos de EG que não tinham conhecimento prévio sobre o assunto. Analisando individualmente as respostas, nota-se que todos os alunos de EG indicaram um acréscimo de ao menos 1 ponto no grau de conhecimento sobre estruturas, enquanto todos os alunos de AU mantiveram suas respostas para antes e após. Não se pode tirar conclusões estatísticas devido à baixa quantidade de alunos respondentes, uma vez que do total de 13 alunos participantes desse questionário, apenas 4 eram de Arquitetura. Cabe, porém, uma reflexão para se avaliar futuramente se os modelos seriam mais úteis para iniciantes no curso, uma vez que os alunos de AU já estavam próximos do final do curso e talvez já tivessem uma boa compreensão do comportamento das estruturas com relação ao momento de inércia. Ainda assim, alguns comentários obtidos (Quadro 9) dos alunos de AU e de EG, sobre como o modelo físico os ajudou a entender melhor o conceito de momento de inércia, foram:

Quadro 9 – Comentários de alunos da disciplina sobre como os modelos físicos auxiliaram na disciplina.

ALUNO	COMENTÁRIO
AU1	O modelo ajudou a visualizar espacialmente a deformação de flexão dos elementos estruturais, bem como possibilitou diferenciar a variação do momento de inércia quanto ao sentido de aplicação da força perpendicular à peça.
AU6	Os modelos desenvolvidos, tanto por nós quanto pelos outros grupos, ajudaram na visualização desse conceito e a perceber como uma peça, mesmo com material muito flexível, garante estabilidade quando composta por perfis, por causa do conceito do momento de inércia.
EG13	O modelo torna mais visível a teoria, possibilitando maior assimilação. Com fórmulas e esquemas no quadro, o conceito teórico é mais difícil de entender, porque não vemos como acontece fisicamente, por isso o modelo auxilia.

FONTE: O autor.

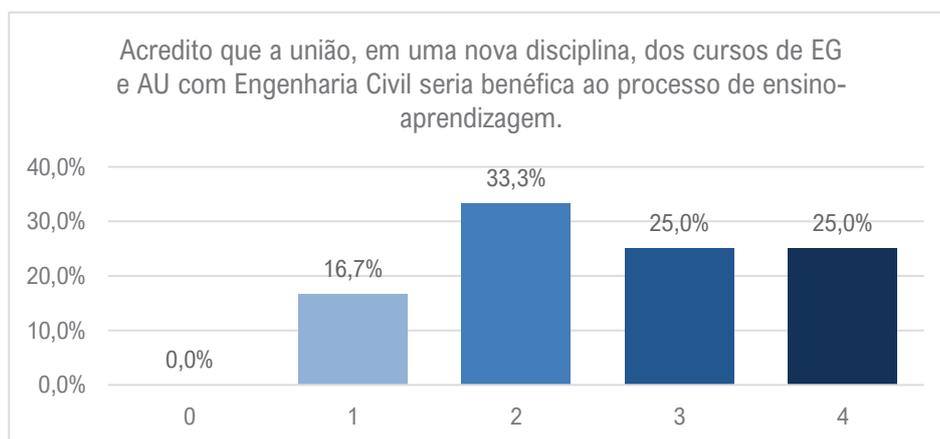
Ao final da disciplina, um último questionário (Apêndice 6) perguntou aos discentes o seu grau de concordância com algumas afirmações a respeito dos modelos desenvolvidos. Através de respostas variando de 0 a 4 (com zero sendo “não concordo muito” e quatro sendo “concordo muito”), os discentes confirmaram que os modelos didáticos auxiliam no entendimento de conceitos teóricos, bem como julgaram que os modelos desenvolvidos durante a disciplina foram úteis e eficazes (Figura 33).

Figura 33 – Respostas do último questionário aplicado sobre modelos físicos.

FONTE: O autor.

4.4.1 Limitações e sugestões futuras

As respostas obtidas nos questionários aplicados durante a disciplina não possuem validade estatística representativa, devido número reduzido de alunos envolvidos. Entretanto, análises qualitativas podem ser inferidas e foram utilizadas para a discussão do tema.

Figura 34 – Grau de concordância dos discentes com a afirmação de que uma nova disciplina envolvendo Engenharia Civil seria benéfica ao processo de ensino-aprendizagem.

FONTE: O autor.

Acredita-se que novas experiências devam ser realizadas, inclusive com a participação de outros cursos, como Engenharia Civil. Ao final da disciplina, no último questionário, metade dos discentes concordou com essa afirmação, enquanto apenas 16% discordaram, sendo o restante indiferente (Figura 34). Entretanto, os docentes avaliam que seja importante a complementaridade de

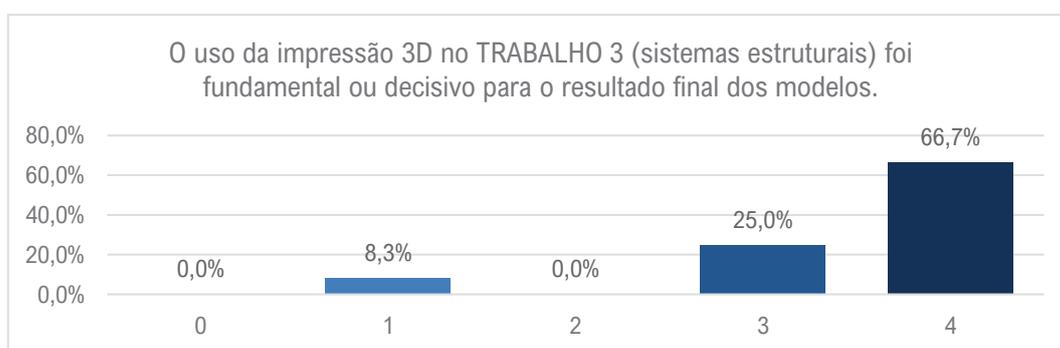
conhecimentos durante atividades acadêmicas, visando a formação de profissionais mais integrados e colaborativos para um novo cenário de concepção e execução de projetos na AEC.

4.5 CONCLUSÕES DA PESQUISA-AÇÃO 2019

Os resultados apresentados pela disciplina desenvolvida mostraram o seu potencial em integrar saberes dos cursos envolvidos e a possibilidade de assim se chegar a produtos com alto nível de eficácia. O processo evolutivo de desenvolvimento de modelos mostrou que os fatos ocorridos ao longo de sua concepção invariavelmente conduziram ou podem conduzir a novas situações, imprevistas pelo planejamento da disciplina. Percebeu-se que os modelos didáticos físicos facilitam a explicação de conceitos teóricos abstratos, mas além disso, a proposta de criação dos mesmos por parte dos discentes exige maior assimilação dos conteúdos e geram inúmeras possibilidades de discussões que reforçam o aprendizado.

O uso da impressão 3D, além de despertar maior interesse nos alunos, como relatado em outros trabalhos (STERN et al., 2019; FAN et al., 2016; HULEIHIL, 2017), permite a produção de modelos com alto grau de precisão e qualidade de acabamento, além de estimular e desafiar a criatividade pois possibilita que se testem rapidamente várias ideias durante a concepção das peças. No último questionário da disciplina, os discentes reconheceram que o uso da impressão 3D foi fundamental para o resultado obtido no terceiro trabalho proposto pela disciplina (sistemas estruturais), conforme a Figura 35.

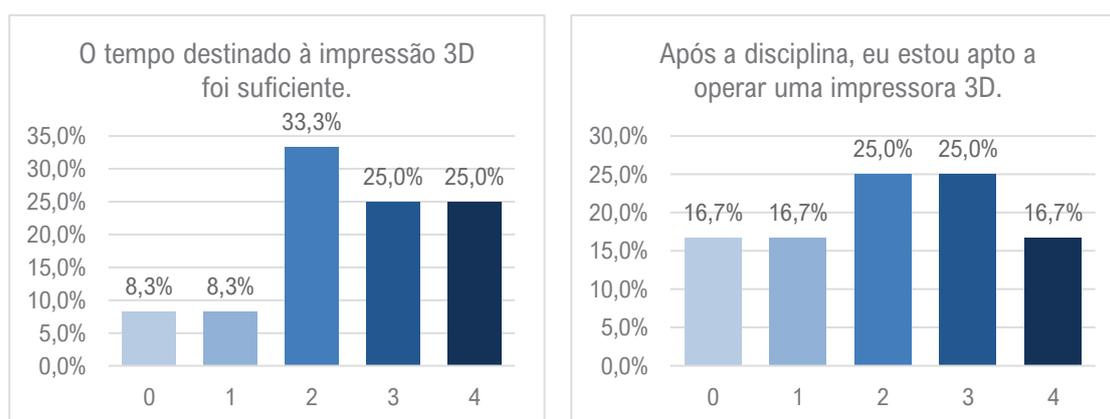
Figura 35 – Grau de concordância sobre a importância da impressão 3D no resultado do trabalho 3 da disciplina.



FONTE: O autor.

Apesar da maioria dos alunos afirmarem que o tempo destinado à impressão 3D na disciplina foi suficiente, não houve uma clara tendência de que eles se sentem aptos a operar uma impressora 3D (Figura 36). Dessa forma, acredita-se que os conceitos básicos sobre Manufatura Aditiva tenham sido suficientes para a execução das tarefas solicitadas, entretanto os discentes precisariam de mais horas práticas de operação de impressoras 3D para uma formação sólida.

Figura 36 – Resultados sobre o tempo destinado à impressão 3D e sobre os alunos estarem aptos a operar uma impressora 3D.



FONTE: O autor.

Dessa forma, fortalece-se mais uma vez a ideia de que as diretrizes de Violante e Vezzetti (2017), já apresentadas, são interessantes quando sugerem abordar esses temas teóricos com atividades extra classe com abordagem EAD. Acredita-se que um método de utilização da Manufatura Aditiva deva utilizar a educação híbrida, mesclando ensino a distância e atividades práticas em laboratório.

Além disso, segundo a observação do autor participante, percebeu-se que os melhores resultados obtidos, principalmente do último trabalho, foram daqueles grupos que conseguiram uma integração harmoniosa e profícua entre os alunos dos dois cursos. E um fator importante para isso, foi a boa capacidade de comunicação. Alunos de Arquitetura, conseguiam explicar satisfatoriamente os conceitos abstratos aos alunos de Expressão Gráfica e estes, por sua vez, conseguiam colaborar nas ideias e proposições, apresentando as facilidades, potencialidades e, principalmente, limitações que encontrariam ao fazer um modelo físico com a impressora 3D disponível.

Todas essas constatações são utilizadas para a elaboração e sistematização do artefato apresentado no capítulo a seguir.

O artigo gerado a partir deste capítulo foi submetido à revista *Gestão & Tecnologia de Projetos* e até o momento da publicação desta tese está em processo de avaliação. Ele pode ser encontrado no Apêndice 2 desta tese.

5 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO DA DSR - Método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva - MECA-AM

Este capítulo apresenta a proposta do Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de AM (MECA-AM), que reúne alunos dos cursos de graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Expressão Gráfica (EG), para o aprendizado e estudos interdisciplinares sobre um tema comum.

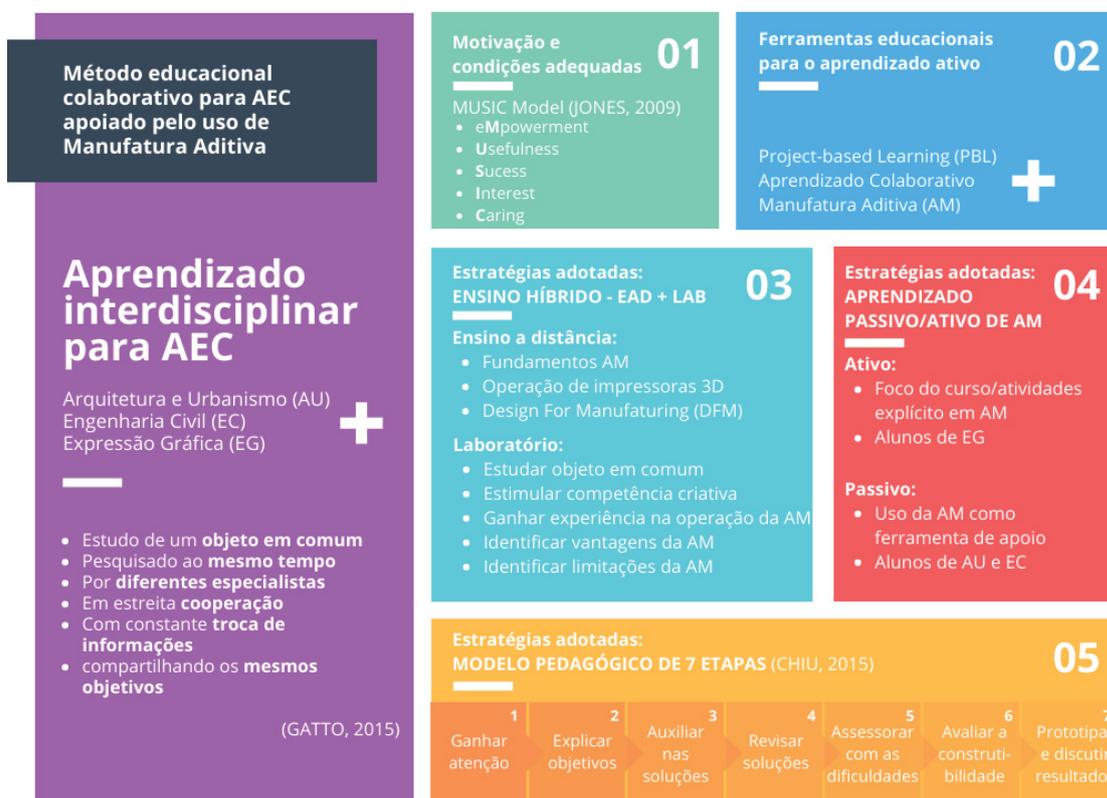
A Manufatura Aditiva, o Ensino Baseado em Projetos (PBL) e o Ensino Colaborativo são usados como ferramentas de ensino. Considerou-se também a motivação e condições adequadas para todos os alunos, tendo como referência o modelo de motivação acadêmica MUSIC (JONES, 2009), que apresenta 5 componentes para a concepção de um curso e que dão sentido ao acrônimo do modelo: autonomia (*eMpowerment*), utilidade (*Usefulness*), sucesso (*Success*), interesse (*Interest*) e cuidado (*Caring*).

Também foram definidos conteúdos importantes para serem inseridos em um modelo de ensino híbrido, com o ensino a distância de conceitos teóricos, aliados à experiência prática em laboratório, para que os alunos aprendam a resolver problemas de forma colaborativa, garantindo o desenvolvimento de novas habilidades e competências.

Todos esses elementos compõem a **estrutura conceitual** do método MECA-AM e pode ser considerado como o primeiro artefato da Design Science Research classificado como **modelo**. Por fim, são indicados **sete passos** a serem seguidos para o desenvolvimento das atividades educacionais propostas. Este passos são efetivamente o segundo artefato classificado como **método**.

A estrutura conceitual do Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de AM (MECA-AM) é sintetizado na Figura 37.

Figura 37 – Estrutura conceitual do Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de Manufatura Aditiva.



FONTE: O autor

5.1 ENSINO INTERDISCIPLINAR PARA AEC

Este método é fundamentado na pedagogia construtivista de ensino e aprendizagem que preconiza que a aprendizagem ocorre em ação. Ou seja, a experiência é um fator fundamental na construção do conhecimento e o sujeito deve ter um posicionamento ativo para seu aprendizado. Entretanto, somente a ação motivada que fará sentido (ELMÔR FILHO et al., 2019).

O MECA-AM visa garantir a aprendizagem interdisciplinar dos alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, à luz do conceito de interdisciplinaridade proposto por Gatto et al. (2015), caracterizado pelos seguintes aspectos: (1) ter um objeto em comum; (2) ser pesquisado ao mesmo tempo (simultaneidade); (3) por especialistas de diferentes disciplinas ou áreas; (4) em estreita cooperação (trabalho colaborativo); (5) com troca constante de

informações; (6) compartilhar os mesmos objetivos para obter uma análise integrada do objeto ou problema comum.

Inicialmente, é necessário definir o tema de estudo, que será abordado por meio das atividades PBL. Tal tema deve ser explorado pelos diferentes cursos de graduação (Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica), utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta de ensino e como fator de integração e estímulo, para que os alunos desenvolvam suas habilidades de comunicação, colaboração, resolução de problemas, alfabetização tecnológica e autonomia, além do conhecimento técnico necessário para suas profissões.

Vários tópicos podem ser abordados, dos quais cita-se alguns.

Uma possibilidade é o *Building Information Modeling* (BIM). O BIM é estratégico para o desenvolvimento da indústria de AEC, considerando os esforços do Governo Federal brasileiro, que lançou em 2019 a Estratégia Nacional para a Disseminação da Modelagem da Informação da Construção no Brasil (BRASIL, 2019c). O programa busca promover um ambiente propício para o investimento em BIM, garantindo sua difusão no país. Além disso, possui grande aderência às tecnologias inovadoras da Indústria 4.0 (como Manufatura Aditiva), em busca de modernizar a indústria da construção civil. No entanto, os currículos de graduação brasileiros ainda carecem de reconstrução para a efetiva implantação do BIM. Na UFPR, por exemplo, o único curso de graduação com uma disciplina obrigatória específica sobre BIM é o de Expressão Gráfica.

Outra possibilidade são os “sistemas estruturais”. Segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), a importância do ensino da teoria do assunto nos cursos de Engenharia Civil é pacífica, mas o foco é bastante tecnicista, baseado em atividades de cálculo e na análise de dimensionamento estrutural. Os alunos de engenharia acabam tendo dificuldades na etapa anterior, que engloba a concepção estrutural e o estabelecimento de arranjos estruturais, atividade que exige habilidades intuitivas e criativas.

Por outro lado, os autores afirmam que “o ensino de estruturas parece continuar deficiente nos cursos de Arquitetura” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020, p. 184), ainda que seja objeto de recorrentes pesquisas, publicações e até

eventos específicos sobre o tema, como o Encontro Nacional de Ensino de Estruturas nas Escolas de Arquitetura (ENEEEA). De qualquer forma, é inegável que o projeto estrutural é uma etapa fundamental para o projeto arquitetônico. Portanto, os estudantes de arquitetura precisam dominar o uso e as funções dos sistemas estruturais. Embora este não seja um tema específico abordado no curso de graduação em Expressão Gráfica, leva a diversas abordagens que envolvem conhecimentos na área, considerando tanto a representação quanto o ponto de vista técnico do cálculo.

O modelo experimental físico é o recurso mais discutido e recomendado em seminários, reuniões, palestras e trabalhos publicados sobre o ensino de disciplinas na área de estruturas (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020). Permite uma visualização real dos fenômenos, demonstrando conceitos de forma intuitiva, confiável e tangível. Esse cenário nos garante que unir tais conceitos com a Manufatura Aditiva é uma estratégia adequada para ampliar a colaboração entre os diferentes cursos já expostos.

Para tangibilizar a aplicação do método proposto, buscou-se um tema que trabalhasse a importância do entendimento dos sistemas construtivos, para que os alunos pudessem explorar o conceito de BIM no futuro. Este autor acredita que é essencial entender como um edifício é construído, para que seja possível trabalhar bem com o BIM.

Portanto, escolheu-se “detalhes arquitetônicos” como o tema central da aprendizagem. É um pequeno pedaço do todo, mas caracteriza e define todo o edifício. “De fato, detalhe é arquitetura em seu menor tamanho” (WEBER, 1991).

A conexão de diferentes materiais leva a vários problemas que devem ser resolvidos pelo projetista. É comum na academia abordar tal tema apenas com desenhos 2D, uma representação abstrata, mas os alunos precisam, primeiro, entender a função dos elementos tridimensionais em seu contexto. Ao trabalhar com modelos impressos em 3D, os alunos podem simular como construir, entender a relação dos elementos e visualizá-los espacialmente.

5.2 CONDIÇÕES E MOTIVAÇÃO ACADÊMICA

Para desenvolver um método educacional de sucesso, primeiro as condições certas são necessárias. É preciso ter um ambiente voltado para o aluno, no qual ele tenha um papel ativo em sua aprendizagem e possa agir, discutir, problematizar e analisar suas ações. Segundo Elmôr Filho et al. (2019), um ambiente ativo de aprendizagem deveria ser um lugar comum onde alunos e professores sejam cognitivamente ativos, de modo a participar ativamente de atividades reflexivas, interativas, colaborativas e cooperativas. Exige o empenho de todos os alunos, mas também dos professores, para conduzir as atividades de forma que todos os alunos se sintam valorizados e acolhidos pelo grupo.

Além disso, é importante considerar que fazer com que alunos de diferentes áreas resolvam um problema dentro de limites de tempo pode ser uma experiência estressante (CORBACHO et al., 2021). Assim, é importante garantir a motivação dos alunos. A motivação acadêmica é um processo que é percebido tanto por ações (por exemplo, atenção, esforço, persistência) quanto por verbalizações (por exemplo, “eu gosto de biologia”), por meio do qual atividades físicas ou mentais direcionadas a objetivos são instigadas e mantidas.

A partir dessas considerações, utilizou-se o modelo de motivação acadêmica intitulado MUSIC, desenvolvido por Jones (2009), para apoiar nosso método. Este modelo está embasado em um referencial teórico sócio-cognitivo e procura aumentar a motivação dos alunos, para permitir uma maior aprendizagem dos alunos. Consiste em cinco componentes fundamentais ao projetar um curso e refletem o acrônimo (em inglês) MUSIC: (1) autonomia (*eMpowerment*), (2) utilidade (*Usefulness*), (3) sucesso (*Success*), (4) interesse (*Interest*) e (5) cuidado (*Caring*).

5.2.1 Autonomia (*eMpowerment*)

Considera-se a quantidade de controle percebido que os alunos têm sobre sua aprendizagem. Relaciona-se com a autonomia dos alunos e a percepção de um alto nível de liberdade e um senso de escolha sobre suas ações durante uma atividade. Varia de aluno para aluno, pois depende de

diversas variáveis, incluindo dificuldade do conteúdo, habilidades do aluno, além de suas experiências anteriores com o conteúdo. Mas o fator essencial é que os estudantes acreditem que têm algum controle sobre algum aspecto de sua aprendizagem (JONES, 2009).

5.2.2 Utilidade (Usefulness)

Os alunos precisam entender por que as atividades são úteis para sua educação e como eles as usarão em suas profissões e vidas. Estudos mostram que os alunos são mais motivados quando têm objetivos de longo prazo em mente, em comparação com alunos que têm apenas objetivos de curto prazo (JONES, 2009).

5.2.3 Sucesso (Success)

Os alunos necessitam crer que seus esforços serão valiosos para o futuro. Esse aspecto está relacionado à sua autopercepção de competência, ou seja, que seus conhecimentos e habilidades são suficientes para realizar determinadas tarefas. Se eles acreditarem que terão sucesso, eles se esforçarão mais e persistirão por mais tempo na atividade. Eles também serão mais resilientes diante das dificuldades. É importante deixar claros todos os objetivos do curso, fornecendo critérios de avaliação claros e compreensíveis, além de feedbacks precisos e honestos (JONES, 2009).

5.2.4 Interesse (Interest)

Os tópicos e atividades devem ser interessantes para os alunos. A ideia de interesse consiste em dois componentes: um componente afetivo de emoção positiva (o gostar) e um componente cognitivo de concentração (o engajamento). Isso está relacionado à atenção, memória, compreensão e envolvimento cognitivo mais profundo. Atividades práticas e conteúdos relacionados ao conhecimento prévio dos alunos são estratégias úteis. Também é importante

incorporar outros componentes do modelo MUSIC, que possam promover o interesse individual (JONES, 2009).

5.2.5 Cuidado (*Caring*)

Esse conceito está relacionado à percepção dos alunos de que os instrutores se preocupam com seu aprendizado e que desejam impactar positivamente suas vidas. Existem vários termos para se referir ao conceito de cuidar, como senso de comunidade, vínculo, apego, envolvimento e compromisso. Nesse contexto, o comportamento do instrutor é determinante. É importante ouvir as opiniões e ideias dos alunos, dedicar tempo para ajudar os alunos e mostrar preocupação e interesse em suas vidas pessoais e profissionais (JONES, 2009).

5.3 FERRAMENTAS EDUCACIONAIS PARA O APRENDIZADO ATIVO

As ferramentas educacionais incluem tudo o que auxilia no processo de ensino-aprendizagem. Especialmente abordagens de aprendizagem ativas exigem uma variedade de ferramentas para garantir o sucesso. É importante avaliar os objetivos de uma determinada atividade de ensino e o tipo de alunos ao escolher a ferramenta mais adequada para atingir objetivos específicos de aprendizagem (WOODS e ROSENBERG, 2016).

O método proposto baseia-se no uso de três ferramentas educacionais: Ensino Baseado em Projetos (*Project-based Learning* - PBL), Ensino Colaborativo e Manufatura Aditiva.

A abordagem PBL é uma pedagogia centrada no aluno que envolve atividades interdisciplinares de ensino-aprendizagem em um ambiente de aprendizagem ativo-colaborativo. Os alunos são orientados por professores qualificados, desenvolvendo um conhecimento aprofundado, respondendo a perguntas, problemas e desafios do mundo real. A sala de aula torna-se um espaço aberto para ideias, conhecimentos, linguagens e realidades, estimulando conversas e gerando vínculos. A abordagem do problema permite que os alunos

cresçam individual e coletivamente em sua experiência de aprendizagem, por meio da construção de significados que geram reflexões, ressignificando suas experiências. Através deste método, os alunos tornam-se gestores do seu processo de aprendizagem (CARBONELL, 2016; STERN et al., 2019).

Ensinar Manufatura Aditiva através da abordagem PBL é uma prática comum. Carboni e Scheer (2021) identificam inúmeros trabalhos que utilizam AM no ensino superior, reunindo alunos de diferentes cursos de graduação com o apoio de uma abordagem PBL, com o objetivo de promover o engajamento dos alunos com sua aprendizagem. Além disso, o método ajuda a aproximar o ensino da realidade dos alunos, culminando em uma aprendizagem mais significativa.

O Ensino Colaborativo refere-se a um método de ensino/aprendizagem em que os alunos trabalham juntos, em pequenos grupos, para um objetivo comum (YOKAICHIYA et al., 2004). Complementa a abordagem PBL, dada a complementaridade de conhecimentos latentes dos alunos dos três diferentes cursos explorados (AU, EC e EG). Os alunos podem ensinar conceitos uns aos outros de forma eficiente, enquanto trabalham juntos para resolver problemas. Nesse contexto, os alunos de Expressão Gráfica em um grupo de AEC são importantes, pois possuem conhecimentos mais aprofundados de tecnologias digitais, como a Manufatura Aditiva.

A AM, como já apontado, tem um uso especial na educação. Oferece ganhos para o processo de ensino-aprendizagem, ao combinar PBL e AM, como maior interesse do aluno, aptidão para compreender conceitos abstratos, estímulo para a construção do conhecimento centrado no aluno e colaborativo, e a possibilidade de integração interdisciplinar (CARBONI e SCHEER, 2021).

Com base em tais fundamentos, o método proposto foi organizado para que os alunos construíssem seu próprio aprendizado. Nesse contexto, a Manufatura Aditiva é uma ferramenta que os mantém motivados para resolver desafios.

5.4 APRENDIZADO PASSIVO/ATIVO DE MANUFATURA ADITIVA

A aprendizagem da AM pode acontecer de forma passiva ou ativa (FORD e MINSHALL, 2019), de acordo com as características e objetivos do curso de graduação.

Incorporar a AM de forma passiva aos cursos significa usar a AM como ferramenta de apoio ao ensino de outros conteúdos. Para os alunos de Arquitetura e Engenharia Civil, o método proposto utilizar esse tipo de abordagem, pois o objetivo principal da formação desses profissionais não é a operação de equipamentos de fabricação digital, mas a formação de profissionais que entendam de tecnologia, que saibam aproveitá-la para resolver problemas e que sejam capazes de trabalhar em equipes multidisciplinares (CARBONI e SCHEER, 2021).

No entanto, uma das barreiras para a adoção da AM no ensino é a falta de familiaridade com a tecnologia (GATTO et al., 2015), tanto por parte dos alunos quanto dos professores. Isso reforça a ideia de incluir um futuro profissional, mais experiente e focado em Manufatura Aditiva, em um grupo interdisciplinar de AEC, como o de Expressão Gráfica. O método proposto fornece uma forma ativa de ensino de AM (principalmente aos alunos de EG), em que as atividades desenvolvidas apresentam um foco explícito em conceitos relacionados à impressão 3D. Alguns objetivos didáticos importantes para AM são:

- Aprender e aplicar princípios de design voltados à Manufatura Aditiva;
- Aprender os fundamentos de AM e princípios operacionais básicos;
- Estimular a competência criativa usando a impressão 3D;
- Ganhar experiência na operação de máquinas AM;
- Identificar vantagens e/ou limitações das tecnologias AM.

5.5 ENSINO HÍBRIDO

Embora o estudo específico da AM seja importante, o principal objetivo do método apresentado é a integração interdisciplinar dos alunos da AEC. Para cumprir esse objetivo, a educação híbrida é explorada. Nesse contexto, conteúdos teóricos e mais introdutórios poderiam ser abordados com atividades extraclasse a distância, por meio de videoaulas, além de materiais de apoio que auxiliariam nas atividades práticas. Isso permite que estudantes de Arquitetura e Engenharia Civil se aprofundem em AM, caso tenham interesse. A maior parte do tempo de aula (ou laboratório) pode ser usado para explorar o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos por meio de experiências práticas em grupos (CARBONI e SCHEER, 2021).

No Quadro 10, são apresentados os conteúdos de AM explorados à distância e em laboratório.

Quadro 10 – Conteúdos sobre AM explorados e abordagem de ensino híbrido.

Abordagem	Conteúdo sobre AM
Ensino à distância (EAD)	Fundamentos sobre AM
	Fundamentos sobre operação de impressoras 3D
	Design voltado à manufatura (DFM)
Laboratório	Estudo de um tema em comum utilizando AM como ferramenta
	Estímulo da competência criativa
	Ganhar experiência na operação de equipamentos de AM
	Identificar vantagens e limitações da AM

FONTE: O autor.

5.6 MODELO PEDAGÓGICO DE SETE PASSOS

Após apresentar a estrutura conceitual do MECA-AM, apresenta-se o artefato classificado como **método** pela DSR, que são as sete etapas a serem seguidas (Figura 38), baseadas no “Modelo Pedagógico para Introdução de Tecnologias de Impressão 3D” (CHIU et al., 2015). Este modelo pedagógico é fundamentado em uma teoria clássica do design instrucional, as “Condições de Aprendizagem” (GAGNE, 1985). De acordo com Gagne, existem nove eventos instrucionais que devem ser seguidos ao projetar um curso. Cada evento instrucional está relacionado a um processo cognitivo específico.

Figura 38 – Os sete passos do modelo pedagógico do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de AM.

Etapa	Modelo Pedagógico para Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de Manufatura Aditiva	Nove 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 mesclar 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 construtivos 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 de 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 sua proposta 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: O autor.

Além disso, esses eventos instrucionais foram relacionados com as categorias de motivação acadêmica de Jones (2009), considerou-se o tipo de

estratégia de educação híbrida que pode ser adotada e indicou-se a equipe envolvida em cada etapa.

Nesse modelo, o tema “detalhes arquitetônicos construtivos” foi considerado um objeto comum de estudo. No entanto, pode ser aplicado a qualquer tema escolhido, conforme mencionado anteriormente (por exemplo, BIM, sistemas estruturais, modelos didáticos). Como exemplo de atividade, os alunos foram convidados à construir modelos físicos impressos em 3D que representem detalhes arquitetônicos construtivos de edifícios icônicos.

Antes de analisar os sete passos, é importante notar que os grupos interdisciplinares precisam ser equilibrados em termos de número de membros e formação técnica. Supõe-se que a maioria dos estudantes de arquitetura e engenharia civil não tem conhecimento em impressão 3D. Assim, os alunos de expressão gráfica precisam ter, no mínimo, conhecimentos dos princípios básicos da Manufatura Aditiva.

Outro fator decisivo é a necessidade de conhecimento em modelagem CAD/BIM 3D para trabalhar com AM. Portanto, recomenda-se que os instrutores realizem um questionário inicial para avaliar as habilidades dos alunos, para que criem grupos em que pelo menos um membro tenha mais experiência ou habilidades mais avançadas. Esses alunos “avançados” poderão compartilhar seus conhecimentos com os grupos (aprendizagem colaborativa).

O primeiro passo é chamar a atenção de todos os participantes. Para cumprir esse objetivo, o instrutor pode apresentar o curso, com amostras do que foi desenvolvido nas edições anteriores. Para apresentar a importância e utilidade do tema, um profissional pode ser convidado para palestrar sobre o objeto comum escolhido para ser estudado.

Em seguida (passo 2), o instrutor define e apresenta os objetivos e expectativas de todas as atividades. Isso é importante para que os alunos percebam que serão capazes de completar tarefas com as habilidades que já possuem e/ou desenvolverão no processo. Para garantir o conhecimento teórico necessário, nesta fase, podem ser produzidas aulas gravadas para que os alunos assistam fora do horário de aula. Os alunos podem absorver o conteúdo

de acordo com sua necessidade e disponibilidade. Ao lidar com AM, sugerimos que pelo menos três temas sejam explorados: fundamentos de AM, configurações básicas para impressão 3D e Design voltado para a manufatura (*Design for Manufacturing* -DFM).

Após concluir essa fase de conceituação teórica, as equipes escolhem o que irão representar. Cada equipe escolhe pelo menos três referências. O instrutor deve orientar quais podem criar mais dificuldade durante o processo e/ou gerar melhores resultados. No entanto, é necessário que os alunos tenham algum controle sobre as decisões, como preconiza o modelo MUSIC de motivação acadêmica.

Na etapa 3, é o momento de uma quantidade considerável de trabalho em equipe. Os alunos desenvolvem modelos 3D que representem seus detalhes arquitetônicos. Eles precisarão: usar seus conhecimentos para entender as funções e relações de cada elemento construtivo; conceber uma visualização tridimensional a partir, geralmente, de desenhos bidimensionais; e planejar seu modelo considerando as regras de DFM, ou seja, observando as necessidades, facilidades e dificuldades da impressão 3D e montagem.

Os instrutores, ou profissionais convidados que podem atuar como tutores das equipes, acompanham o desenvolvimento das soluções, mas nunca informar se algo está certo ou errado. Podem apontar problemas ou dificuldades que os alunos possam enfrentar, incentivando o rápido processo de prototipagem de opções de soluções, explorando os benefícios trazidos pelo uso da impressão 3D.

Na etapa seguinte (etapa 4), os alunos têm um momento para rever suas propostas e exercitar a aprendizagem colaborativa e a autonomia. Eles precisam revisar suas soluções e analisar os modelos 3D com foco nas regras de DFM, recuperando os conceitos apresentados nas aulas teóricas e a distância. Especialmente, priorizando uma base grande para melhor aderência ao leito de impressão e evitando seções transversais finas na parte inferior, pois o movimento rápido da impressora 3D pode gerar vibrações na peça e sua eventual quebra durante o processo. A projeção de elementos que não são

suportados por uma camada anterior deve ser projetada com um ângulo máximo de 45° em relação ao plano vertical (JUNK e MATT, 2015b). Os alunos avançados podem ajudar as equipes com um olhar crítico.

Quando os alunos encontram dificuldades técnicas, eles podem procurar ajuda de instrutores, tutores ou monitores (passo 5). Agora, o instrutor pode orientar os alunos, indicando as melhores práticas para o processo de fabricação, considerando que, nesta fase, a experiência com impressão 3D é muito importante. Deve-se prestar atenção às dificuldades individuais. O instrutor pode dedicar mais tempo aos que apresentam maiores dificuldades. Se os instrutores julgarem necessário, eles podem convidar os alunos a repetir a etapa 4.

Na etapa 6, os alunos apresentam sua proposta de design e seu planejamento de impressão 3D para instrutores ou técnicos e monitores de laboratório, que avaliam seu trabalho em termos de construtibilidade. Lynn et al. (2016) referem-se à “análise de manufaturabilidade” (ou “análise de construtibilidade”) para AM como a necessidade de avaliar fatores específicos, tais como: volume de construção, tamanho mínimo do recurso, quantidade de material de suporte, tempo de impressão, estimativa de rugosidade da superfície e orientação de construção.

Por fim (etapa 7), os responsáveis pelas impressoras 3D (técnicos de laboratório, por exemplo) recebem os modelos e geram o planejamento de impressão para as equipes, com o objetivo de agrupar várias peças em uma única impressão, a fim de reduzir o tempo de impressão. Os alunos seguem o processo de acordo com as instruções dadas pelos monitores ou técnicos de laboratório. Posteriormente, eles terminam a montagem de seus modelos físicos e apresentam à turma.

O instrutor realiza uma avaliação dos resultados, em conjunto com a turma, mediando uma discussão. Essa comunidade de aprendizagem pode compartilhar diferentes formas de resolver o mesmo problema, ouvindo a opinião dos alunos sobre as principais dificuldades enfrentadas ao longo do processo, considerando o que fariam diferente e quais lições foram aprendidas.

5.7 CONCLUSÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Apresentou-se a proposta do Método educacional colaborativo para AEC apoiado no uso da Manufatura Aditiva (MECA-AM), que pode ser utilizado por educadores para integrar alunos de diferentes cursos, a fim de estimular experiências educativas, o mais próximo possível da prática profissional.

A Manufatura Aditiva permite a abordagem de diferentes conteúdos de forma prática e tangível. Além de ser uma importante tecnologia a ser inserida na área da construção civil, com os preceitos da indústria 4.0, a AM possibilita diversos ganhos, permitindo maior engajamento do aluno com sua formação.

Em resumo, o MECA-AM é baseado em três componentes principais: interdisciplinaridade, tecnologia e pessoas. Uma parte importante do sucesso reside no fato de que as pessoas devem ser motivadas a aprender, colaborar e serem atores ativos de sua própria educação. Diante desse contexto, apresentou-se formas de garantir essa possibilidade, trabalhando com os sete passos do método e com o modelo MUSIC de motivação acadêmica.

Este método foi concebido para que outras experiências educacionais colaborativas possam reunir outros profissionais que não estão acostumados a fazer parte da área de AEC, mas que possuem grande potencial para otimizar processos, por meio da inclusão de novas tecnologias, como os profissionais de Expressão Gráfica.

O artigo gerado a partir deste capítulo foi apresentado no 19th International Conference on Computing in Civil & Building Engineering (ICCCBE 2022), na Cidade do Cabo, África do Sul, ocorrido entre 26 a 28 de outubro de 2022. Até o momento, os anais do evento se encontram em fase de produção. O material completo pode ser encontrado no Apêndice 3 desta tese.

Na sequência, apresenta-se a aplicação desse método.

6 APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO - Experiências

interdisciplinares: aplicação do método educacional

colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura

Aditiva

Conforme apresentado no capítulo anterior, desenvolveu-se o “Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva” ou MECA-AM. 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*) que priorizam o aprendizado colaborativo e utilizam a Manufatura Aditiva como uma ferramenta de estímulo a integração.

Neste capítulo, apresenta-se duas experiências de aplicação deste método realizadas no segundo semestre de 2021 e no primeiro semestre de 2022, 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).

É dado destaque às atividades realizadas que seguem os sete passos propostos pelo método (apresentados na seção 5.6) e nos componentes para ativação da motivação acadêmica nos alunos (já apresentados na seção 5.2).

6.1 WORKSHOPS

6.1.1 Organização para viabilização

Inicialmente, pretendia-se integrar alunos dos três cursos (Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica) da Universidade Federal do Paraná. 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, como apresentado no capítulo 4, o autor se deparou 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), a qual o autor possuía 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, no qual 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.

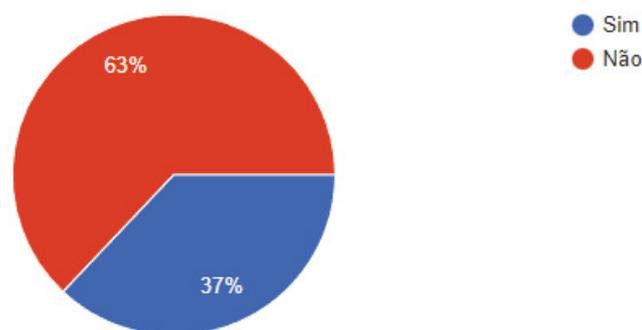
6.1.2 Definição do objeto de estudo

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. Recomenda-se 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.

O BIM já preconiza a colaboração, entretanto, como já mencionado, 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, em um levantamento, realizado por este autor 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 (Figura 39).

Figura 39 – Durante a graduação os alunos do seu curso possuem algum tipo de integração com outros cursos relacionados com Arquitetura, Engenharia e Construção?



FONTE: O autor.

Já o tema “sistemas estruturais” foi utilizado durante a fase de sugestão de soluções para o desenvolvimento do método (como apresentado no Apêndice 2 e no capítulo 4). Segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), é pacífico 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 deficiente, 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, no qual não se pretendia resolver as deficiências do ensino do tema acima exposto, buscou-se um recorte mais adequado. Buscou-se um tema que fosse 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.

6.1.3 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), nas quais os alunos teriam contato com videoaulas gravadas e materiais de apoio disponibilizados na UFPR Virtual (ambiente digital de ensino a distância); e aulas livres (L), nas quais os alunos teriam a 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 11.

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 convidou-se um professor arquiteto e urbanista para realizar uma palestra⁵ sobre detalhes construtivos e sua importância na arquitetura. Além disso, uma outra apresentação⁶ sobre detalhes construtivos e a importância dos modelos 3D para o entendimento da construção foi disponibilizada.

⁵ Disponível em: <https://youtu.be/eGOHnqczVzo?t=1056>

⁶ Disponível em: <https://youtu.be/tBB9Kv0IPtc>

Quadro 11 – 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 selecionam ao menos 3 detalhes construtivos buscando entender os componentes, funções, uniões.	P	Escolha detalhes – Equipes apresentam seus detalhes aos professores e decidem qual detalhe irão realizar.
3	EA	Aulas EAD gravadas - 1) Interoperabilidade entre software de modelagem BIM (REVIT) e exportação de modelos em STL para impressão 3D. 2) Configuração básicas para impressão 3D em software 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: O autor.

Na sequência, como a impressão 3D ainda é pouco familiar aos alunos de AU e EC, realizou-se aula expositiva⁷ 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, selecionaram alguns materiais de detalhamentos construtivos, os quais pudessem ser base para modelagem e prototipagem. Após apresentá-los aos professores, estes deveriam fornecer argumentos para direcionar dúvidas e apresentar onde estariam as maiores dificuldades para cada escolha. Dessa forma, os alunos possuíam 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 3D⁸, além

⁷ Disponível em: <https://youtu.be/sPWBIcMFDCI>

⁸ Disponível em: <https://youtu.be/x1jehungQJA>

de configurações básicas de fatiamento de peças 3D e planejamento de impressão⁹. Também se disponibilizou uma apostila com os 40 principais erros na impressão 3D¹⁰, 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.

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 podem realizar alterações e, na sequência, com auxílio de um técnico responsável pelo laboratório, ou monitores, planejarem e executarem suas impressões 3D. Nesta etapa, o apoio de técnicos ou monitores é de fundamental importância. Primeiro, por terem mais experiência, podem prevenir os alunos de cometerem erros básicos. E, como as impressões demoram inúmeras horas para serem finalizadas, cuidam de todo processo garantindo a otimização de funcionamento dos equipamentos do laboratório. Dessa forma, os alunos participam do planejamento da impressão, seu início, e depois apenas buscam as peças para finalização da montagem.

E por fim, em uma última aula presencial, cada equipe apresenta seus modelos para todos. O professor atua como um mediador das discussões, instigando os alunos a refletirem e comentarem todos os trabalhos. Buscando atenção aos pontos principais e diferentes soluções exploradas por cada equipe e buscando a opinião dos alunos sobre quais foram as maiores dificuldades encontradas e quais foram as lições aprendidas.

⁹ Disponível em: <https://youtu.be/w50l3YzIckY>

¹⁰ Disponível em: <https://1drv.ms/b/s!AgYlXy0Jkl-8goQZkmqoGtyp-KUEDQ?e=rVaprS>

6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

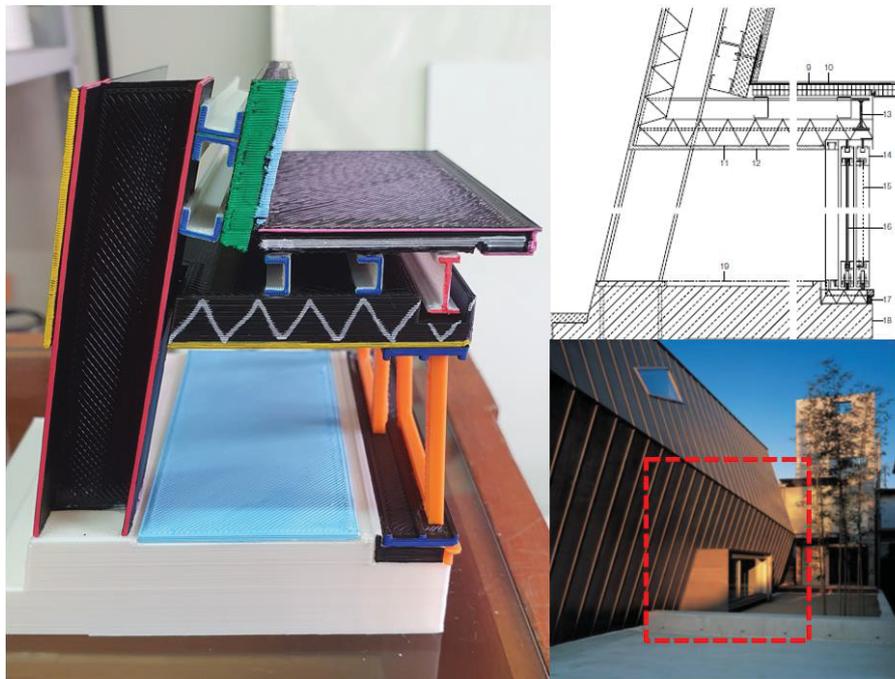
Durante os workshops os alunos se mostraram muito interessados e curiosos a respeito da impressão 3D. A afirmação de Carboni e Scheer (2021) de que a AM desperta maior interesse dos alunos, se mostrou verdadeira. Percebeu-se que o desejo de conhecer mais sobre o tema e de ter a oportunidade de experiência 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 se 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 (como apresentado no Apêndice 2 submetido para publicação). O fundamental é passar segurança de que serão capazes de atingir os objetivos e, ao apresentar referências semelhantes nas quais 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 40 mostra o detalhe escolhido por uma das equipes de 2021 e o resultado alcançado.

Figura 40 – Trabalho de uma das equipes de 2021. A direita as referências selecionadas e a esquerda o modelo produzido pela equipe.



FONTE: O autor.

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.

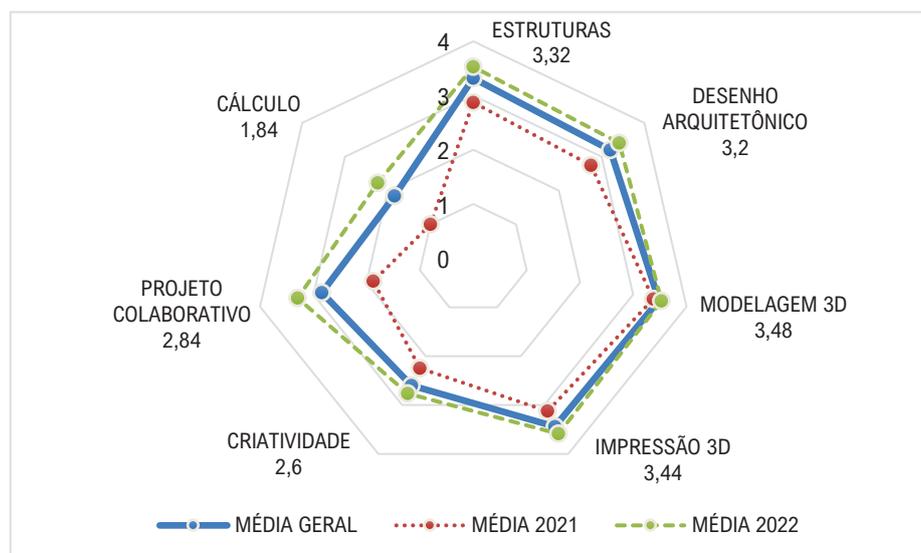
A partir deste momento os alunos começaram a criar a abstração mental espacial de cada elemento. Para a construção virtual, eles necessitavam entender espacialmente a edificação a partir do material que dispunham. Em sua maioria eram apenas cortes bidimensionais. Em alguns casos possuíam fotos e

plantas. Isso se mostrou determinante no segundo momento de atenção: o de modelagem virtual.

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 41). 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.

Figura 41 - 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: O autor.

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 identificar o nível de habilidade de cada participante em modelagem 3D no início 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.

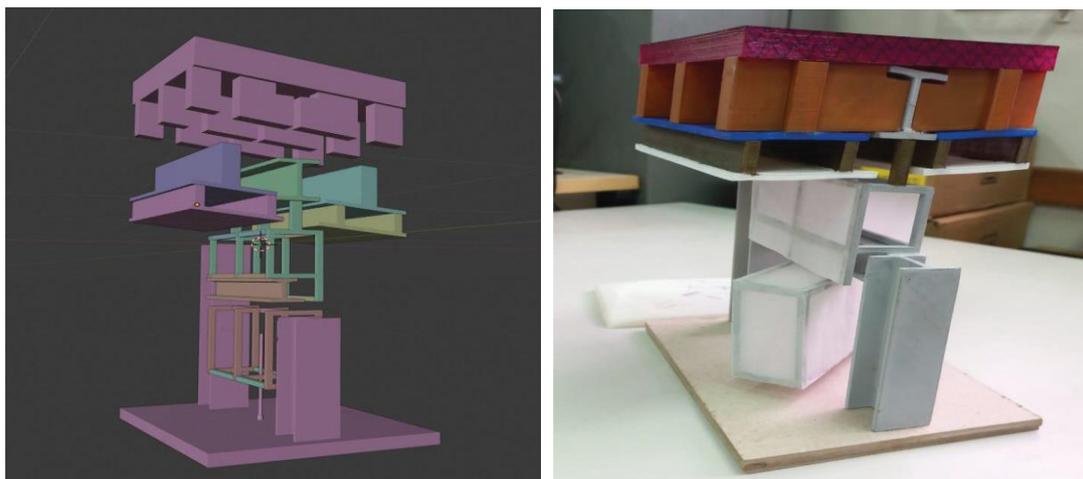
Os alunos se depararam com outros dois desafios. O primeiro foi a definição da escala do modelo. E o segundo, a aplicação do conceito de DFM (*Design for Manufacturing*) na modelagem, ou seja, limitações e regras de design de elementos para cada técnica de AM com o foco na construtibilidades das peças 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 42), 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.

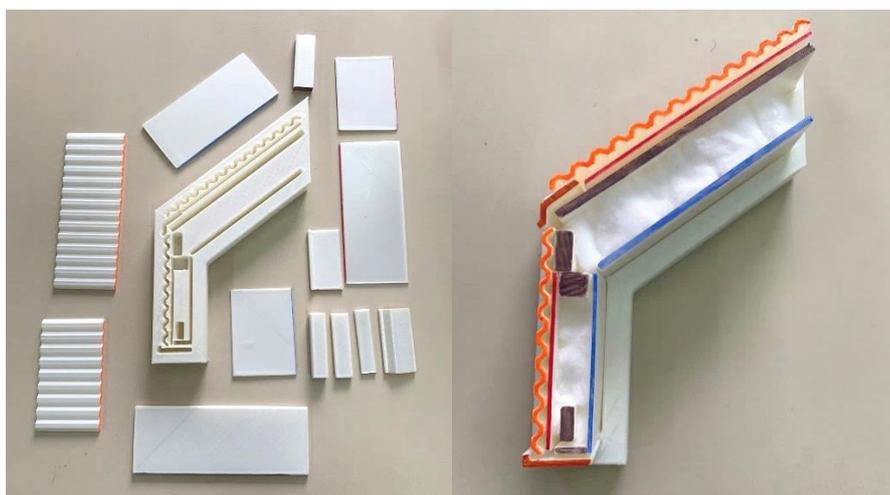
Figura 42 – Modelagem 3D dos elementos (esquerda). Modelo físico final (direita).



FONTE: O autor.

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, no qual 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 43).

Figura 43 – Equipe desenvolveu um modelo no qual cada elemento é encaixado em um molde.



FONTE: O autor.

6.2.1 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. Pode-se verificar o questionário na íntegra no Apêndice 7.

Ele 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.

6.2.1.1 Avaliação objetiva

Para a primeira parte, adaptou-se o questionário utilizado por Corbacho et al. (2021) que utiliza questões originalmente formuladas por Griffin et al. (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 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 12.

Para validar a consistência interna desse questionário, utilizou-se o coeficiente alfa de Cronbach (CRONBACH, 1951). O teste alfa de Cronbach é

utilizado para ver 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 12).

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 e 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 12 – Questionário aplicado sobre a experiência dos alunos

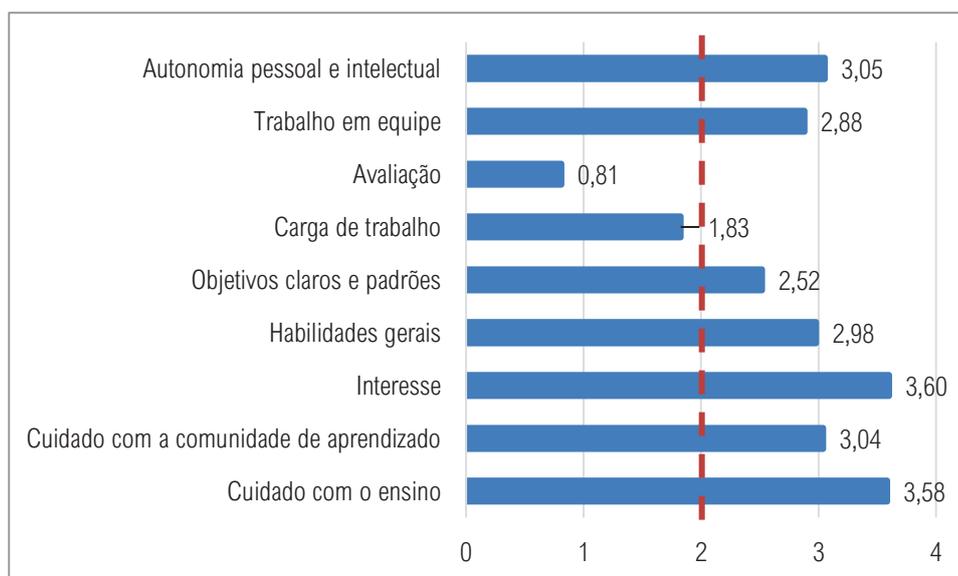
	Afirmações do questionário	Média individual	Categorias Motivação Acadêmica MUSIC	Categorias de avaliação do SCEQ (Média categoria)	Alfa de Cronbach
1.	Como resultado do curso, me sinto confiante em lidar com problemas desconhecidos	2,84	1. Autonomia (eMpowerment)	Autonomia pessoal e intelectual (M=3,05)	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 de 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			
13.	A equipe docente parecia mais interessada em examinar o que eu havia memorizado no lugar do que eu havia aprendido	0,92	3. Sucesso (Success)	Avaliação (M=0,81)	0,8
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			
17.	Houve muita pressão sobre mim como estudante durante este curso	1,76		Carga de trabalho (M=1,83)	0,7
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			
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			
23.	O curso afeiú minhas habilidades analíticas	2,88	4. Interesse (Interest)	Habilidades gerais (M=2,98)	0,7
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			
26.	O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de usar informações de maneira efetiva	3,32		Interesse (M=3,60)	0,9
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			
33.	Aprendi a ter confiança ao expor ideias com outras pessoas*	2,56		Cuidado com o ensino (M=3,58)	0,7
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: O autor.

Observando a média obtida das respostas dos alunos (Figura 44), 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.

Figura 44 – Média das respostas obtidas por categoria do SCEQ.



FONTE: O autor.

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”.

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, é importante investigar a possibilidade de ampliação da duração do curso, porém, ressalva-se que é possível que isso 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 6.2.1.2):

- “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”.

6.2.1.2 Avaliação subjetiva

Na segunda parte do questionário, propôs-se questões abertas (Quadro 13) na busca de se avaliar nuances que talvez não fossem observadas através das respostas objetivas. Todas as respostas destas questões podem ser visualizadas no Apêndice 8.

Quadro 13 – Questões abertas do questionário realizado após os workshops.

Questões abertas	
1.	O workshop 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 on-line, 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: O autor.

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”.

A segunda questão indagou sobre a validade do trabalho interdisciplinar para a formação dos alunos. Novamente, quase a totalidade das respostas foram positivas. 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 AU e EC 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 pra 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 grande 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 se tinha 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 tangibilizar 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, muita 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 ao 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.”

6.3 CONCLUSÕES DA APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

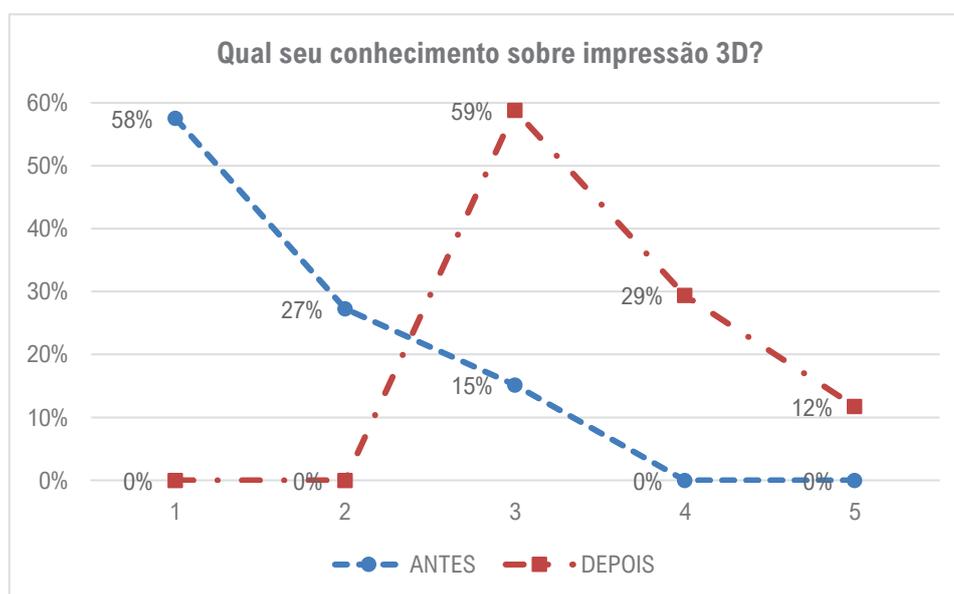
O presente trabalho demonstrou a aplicação do “Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva” ou MECA-AM em duas experiências de workshops realizados com alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica. O objetivo foi mostrar a validade do artefato através da percepção dos próprios alunos sobre a experiência vivenciada.

De maneira geral, com base nos questionários aplicados e na percepção do autor 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 dos 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.

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 45 que houve um nítido incremento, no qual a maioria dos alunos migrou de nenhum conhecimento (escala 1) para um nível intermediário (escala 3).

Figura 45 – Autopercepção dos alunos de seu conhecimento sobre impressão 3D antes e depois do workshop.



FONTE: O autor.

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 tratava-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

muitos 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, no qual 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. Não se pode afirmar que essa falha poderia ser contornada apenas pelas iniciativas dos docentes, uma vez que o período de aplicação dos cursos foi atípico devido a pandemia do COVID-19. Acredita-se que ainda havia certa insegurança dos alunos no retorno de encontros presenciais. E, por mais interessados que se mostraram no início, vários alunos relataram dificuldades de acompanhar o ritmo pois estavam sobrecarregados com o acúmulo de disciplinas cursadas, na busca de regularização do currículo.

Outro ponto identificado como uma falha, foi o fato de não haver pré-requisito para a inscrição dos alunos. Por esse motivo, muitos 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 método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva proposto e as 7 etapas apresentadas. Sugere-se, principalmente, que sejam testados outros “objetos em comum” além do utilizado: detalhes arquitetônicos construtivos.

O artigo gerado a partir deste capítulo até a data de publicação desta tese ainda não foi submetido a nenhum periódico, mas é possível verificá-lo na íntegra no Apêndice 4.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 1 foram apresentadas as motivações, o problema e os objetivos desta pesquisa. No capítulo 2, foi explicada a organização metodológica da tese. No capítulo 3, foi apresentado o embasamento teórico da tese referente a etapa inicial (de conscientização) da abordagem *Design Science Research*, apoiada por uma Revisão Sistemática da Literatura. No capítulo 4, apresentou-se as atividades realizadas para a etapa de sugestão, apoiadas pelos métodos de pesquisa de Pesquisa-ação e Levantamento. No capítulo 5, o artefato gerado pela DSR foi sistematizado. E no capítulo 6, apresentou-se sua aplicação e avaliação.

7.1 CONFIRMAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal desta pesquisa é apresentar um método de integração entre os cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, utilizando a Manufatura Aditiva como instrumento de colaboração entre estudantes e, conseqüentemente, de apoio ao processo de ensino-aprendizagem. Isto foi alcançado ao apresentar o MECA-AM no capítulo 5 e sua aplicação e avaliação no capítulo 6.

Para atingir esse objetivo, perseguiu-se outros objetivos específicos.

A apresentação de experiências de implantação da AM em cursos de graduação, bem como de estratégias de utilização da AM para que fossem traçados paralelos com a área da AEC, foi atingida durante a Revisão Sistemática da Literatura apresentada no capítulo 3.

A sintetização de objetivos didáticos necessários para a formação de profissionais versados em Manufatura Aditiva também foi realizada durante a RSL e esses foram validados durante a experiência preliminar à sistematização do artefato, apresentada no capítulo 4.

Atingir esses objetivos específicos foi de fundamental importância para a formulação do artefato e permitiu construir o embasamento teórico do trabalho.

Durante o desenvolvimento do Método pretendido, formulou-se uma estrutura conceitual que é considerada como um primeiro artefato da DSR criado durante o processo. Esse artefato é classificado como um modelo e apresentado no capítulo 5.

E após a formulação do Método, ele foi aplicado e avaliado segundo a percepção dos alunos que cursaram os workshops. Esse processo gerou o terceiro artefato da DSR classificado como instanciação e foi apresentado no capítulo 6.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos descritos no capítulo 1 foram todos atingidos.

7.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DESTA PESQUISA

Através da RSL (Capítulo 3) buscou-se levantar como a academia vem se utilizando da Manufatura Aditiva como instrumento no ensino. Conforme Ford e Minshall (2019) apontam, a AM é utilizada de 6 maneiras diferentes na educação: (1) para ensinar alunos sobre impressão 3D; (2) para ensinar educadores sobre impressão 3D; (3) como apoio tecnológico durante o ensino; (4) para produzir artefatos que auxiliem o ensino; (5) para criar tecnologias assistivas; e (6) para apoiar atividades de extensão. Dentro dos objetivos desta tese pode-se considerar que as formas 1, 3 e 4 foram relevantes e utilizadas para o desenvolvimento do artefato gerado e aplicado nos cursos de graduação da AEC.

Buscou-se apontar o grande potencial da AM se somado com abordagens centradas na resolução de projetos (PBL), o que gera benefícios tais como: maior interesse dos alunos em aula, facilidade de entendimento de conceitos abstratos, estímulo para a construção do conhecimento centrado no aluno e colaborativo entre seus pares, e a possibilidade da efetiva integração interdisciplinar. Percebeu-se também, que várias áreas estão se valendo dessa tecnologia no ensino. Entretanto, parece haver uma falta de discussão do uso da AM na área da AEC, se comparado com outras áreas como saúde e engenharia mecânica, por exemplo. Isso reforça a importância deste trabalho.

No Capítulo 4 discorreu-se sobre a oferta deste autor de uma disciplina optativa buscando a integração de alunos da AEC com apoio da AM, mais especificamente estudantes que cursam Arquitetura e Urbanismo e Expressão Gráfica na UFPR, em uma disciplina integrada. Avaliou-se na prática o comportamento dos discentes em equipes interdisciplinares e a produção de modelos didáticos para apoiarem o ensino de conceitos mais abstratos ligados à engenharia.

O uso da Manufatura Aditiva de maneira planejada demonstrou-se efetivo, principalmente porque criou interesse e motivação dos estudantes, permitiu obter resultados interessantes quanto ao ensino de conceitos relacionados às estruturas para alunos de Expressão Gráfica, permitiu que indivíduos mais experientes em impressão 3D auxiliassem seus pares com pouca experiência a chegarem a seus resultados pretendidos, bem como os capacitou a considerarem o uso da fabricação digital para área da AEC.

No capítulo 5, utilizou-se as evidências encontradas na RSL e vivenciadas na oferta da disciplina anteriormente citada para sistematizar o MECA-AM. Ele oferece à comunidade acadêmica, em especial da AEC, uma maneira estruturada para integrar alunos, com o foco no trabalho interdisciplinar e colaborativo. Além disso, mostra como a inclusão de um novo profissional com maior capacitação em ferramentas digitais pode potencializar o uso da Manufatura Aditiva no ensino de AEC.

O método apresenta uma proposta de estruturação de atividades interdisciplinares que segue sete passos e vincula a eles os elementos de motivação necessários para cada momento. Além disso, sugere a estrutura necessária e qual abordagem híbrida de ensino a ser utilizada em cada etapa, visando não só a capacitação teórica dos conceitos básicos sobre AM, mas também oportunizar e maximizar o tempo para atividade práticas em laboratório.

No capítulo 6, apresenta-se a aplicação do método e sua validação. Conclui-se através das respostas dos participantes ao SCEQ que a estrutura do método é válida e atinge os objetivos, uma vez que são dadas as motivações acadêmicas adequadas, sempre objetivando um aprendizado significativo. Além

disso, a integração de alunos de diferentes cursos, pouco habituados com trabalho interdisciplinar, se mostrou viável e o ensino por pares benéfico, principalmente pelos estudantes de Expressão Gráfica que puderam transmitir conhecimentos importantes aos alunos de AU e EC sobre modelagem 3D e Manufatura Aditiva.

Em última instância, esta tese quis apresentar o protagonismo que o estudante de Expressão Gráfica pode exercer em uma equipe multidisciplinar de AEC. Estes alunos e profissionais ainda carecem de reconhecimento no mercado de trabalho por se tratar de um curso único no Brasil, relativamente recente, e pouco difundido. Desde o início este autor acreditou no potencial latente e complementar aos arquitetos e engenheiros, e acredita que contribuiu para jogar luz a este tema, em prol do desenvolvimento do ecossistema da Construção Civil.

7.3 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES

Com o método MECA-AM apresentado, não se busca o esgotamento da discussão acerca de maneiras de se integrar alunos da AEC durante a graduação. Também não apresenta um único tema de estudo a ser explorado. Este trabalho busca explorar uma das possibilidades que permita unir a essa área o estudante de Bacharelado em Expressão Gráfica, nicho criado recentemente e ainda com campo aberto para seu desenvolvimento. E para isso, utilizou-se a Manufatura Aditiva como uma ferramenta educacional que permite gerar interesse e motivação aos alunos, que é uma ferramenta ainda pouco utilizada na AEC, e permite ao aluno de EG explorar seu potencial em equipes multidisciplinares.

Durante o desenvolvimento do trabalho, o autor se deparou com vários entraves. Especialmente pode-se citar que para a realização de trabalhos ou disciplinas integrando cursos diferentes era necessário acordos com vários agentes e instâncias, como professores de disciplinas e cursos diferentes, suas coordenações e chefias. Também era necessário encontrar brechas para se

inovar em disciplinas com ementas pouco flexíveis, cargas horárias e horários/turnos incompatíveis.

Dentro de uma instituição de ensino pública, percebeu-se que iniciativas como essa não podem partir isoladamente de um professor. É necessária maior integração dos cursos nas instâncias superiores, como coordenação, Núcleo Docente Estruturante, e que haja um grupo de professores com objetivos semelhantes, independente do curso de graduação a que esteja vinculado. Nesse contexto, cabe salientar que a criação da Célula BIM da UFPR foi um evento importante no decorrer desta tese.

A Célula BIM da UFPR surgiu como resultado de diversas ações. O Governo Federal Brasileiro 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 várias metas estabelecidas, tem 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.

Formou-se então um grupo de alunos e professores dos cursos de AU, EC e EG interessados em reformular os currículos de seus cursos. E o autor desta pesquisa, que apesar de não ter foco específico em BIM, encontrou um ambiente muito aberto e propício para discussões a respeito de tecnologias digitais, como a AM, e integração dos cursos.

Infelizmente, não houve tempo hábil para ações mais concretas entre os cursos até o prazo máximo para a realização da tese. Por isso optou-se por aplicar o método em workshops com alunos convidados de diversas instituições. Entretanto, acredita-se que a continuação deste trabalho poderá gerar uma integração maior entre os cursos da UFPR.

Somado a isso, e não menos relevante, durante o período da pesquisa o mundo se deparou com uma pandemia de proporções bastante sérias na educação. Durante a etapa de aplicação do artefato a UFPR ficou fechada, praticamente por um ano, ainda sem saber se a situação se resolveria rapidamente, com tentativas de aulas on-line, e dificuldades na oferta de disciplinas.

A realização dos dois workshops só foram possíveis no final de 2021 e início de 2022. As restrições de aglomeração e acesso ao campus ainda existiam, mas buscou-se contornar a situação e a abordagem híbrida que já estava sendo utilizada, acabou por se tornar indispensável dentro dos novos moldes de ensino vivenciados.

O grande impacto gerado pela pandemia foi a baixa adesão de alunos aos workshops, pois alunos ainda se sentiam receosos ou estavam muito sobrecarregados na busca de regularização das disciplinas cursadas em suas graduações. Dessa forma, este pesquisador está ciente da falta de uma validação estatística deste trabalho. Mas foram apresentadas validações qualitativas e quantitativas dentro do universo dos participantes e sugere-se na seção de sugestão de trabalho futuros a busca pela validação estatística.

7.4 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado na seção anterior, sugere-se que o método seja aplicado e avaliado novamente com um número maior de participantes para que seja possível inferir resultados estatísticos.

Este trabalho apresentou o Método de ensino colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva - MECA-AM. A aplicação instanciada do método se deu com um recorte de um tema de estudo específico: detalhes arquitetônicos construtivos. Sugere-se que o método seja utilizado para o estudo interdisciplinar de outros temas. Algumas sugestões:

- Sistemas estruturais;
- Projetos em BIM;
- Interoperabilidade softwares BIM x Manufatura Aditiva;

- Geometrias complexas na arquitetura;
- Estudo de proteções solares em fachadas.

Outras investigações podem complementar este trabalho. Por exemplo, é possível estudar a integração de alunos de outros cursos que podem se relacionar com a AEC. Como dos cursos de Design de Produto, Design de Interiores, Curso Técnico em Edificações, Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica.

Em linha com o trabalho de Ito (2020), é possível utilizar o MECA-AM para produzir modelos físicos de edifícios de arquitetura precedente e gerar material que possa ser utilizado no método desenvolvido pelo autor citado. Seu método utiliza BIM para o estudo de edifício existentes que auxiliam alunos de projeto arquitetônico nas atividades em atelier. Modelos físicos podem complementar essa abordagem pois permitem a manipulação e visualização mais rápida, maior percepção de dimensões e proporções, o que facilita a compreensão dos elementos de um componente.

Outra pesquisa que se julga como importante seria realizar um estudo das disciplinas obrigatórias dos cursos de graduação da AEC em busca de possibilidades de vínculo entre os cursos, elencando potencialidades de trabalho interdisciplinar onde o MECA-AM poderia ser implantado. Juntamente, sugere-se estudar como a oferta dessas disciplinas poderia ocorrer no mesmo horário, ou em outras maneiras de viabilizar a integração dos alunos. Este é um grande desafio que, na visão do autor, merece receber grande atenção, pois acredita-se que a integração deveria se tornar prática institucionalizada entre os cursos, e não depender de iniciativas de professores de maneira isolada.

Por fim, não pretende-se esgotar a discussão de maneiras de integração de alunos da AEC na graduação. Sugere-se que sejam estudadas derivações do método MECA-AM, utilizando outras tecnologias como ferramentas educacionais em outros temas de estudo. Dessa forma, poderia-se criar experiências que mantenham a motivação acadêmica durante o curso e permitam explorar as potencialidades que o aluno de Expressão Gráfica possui com a utilização de tecnologias digitais de representação. Além da Manufatura

Aditiva, pode-se explorar por exemplo: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Prototipagem Digital e Modelagem e animação.

REFERÊNCIAS

ABEA. Desafios do ensino de arquitetura e urbanismo no século XXI. XXXVII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, XX Congresso da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo. **Anais...** . p.515, 2019. Rio de Janeiro.

ACHER, A.; ARCÀ, M.; SANMARTÍ, N. Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. **Science Education**, v. 91, n. 1, p. 398–418, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/sce.20164>>. Acesso em: 10 maio 2019.

ADAMS BECKER, S.; BROWN, M.; DAHLSTROM, E.; et al. **NMC Horizon Report 2018: Higher Education Edition**. 2018.

BASSANEZI, C. R. **Ensino aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2015.

BAYAR, M. S.; AZIZ, Z. Rapid Prototyping and Its Role in Supporting Architectural Design Process. **Journal of Architectural Engineering**, v. 24, n. 3, 2018.

BECKER, F. O que é o construtivismo. **Idéias**, v. 20, p. 87–93, 1993. São Paulo.

BEKKE, D. A.; MERSHA, A. Y. Practical methodologies for the development of the students' multidisciplinary engineering skills: A win-win cooperation for both universities and companies. Proceedings of the 2018 19th International Conference on Research and Education in Mechatronics, REM 2018. **Anais...** . p.117–120, 2018. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/REM.2018.8421804>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

BERGMANN, L. Sobre O Conceito De Interdisciplinaridade. **Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas**, v. 6, n. 73, p. 2–23, 2005.

BHARDWAJ, A.; JONES, S. Z.; KALANTAR, N.; et al. Additive Manufacturing Processes for Infrastructure Construction: A Review. **Journal of**

Manufacturing Science and Engineering, v. 141, n. 9, p. 1–13, 2019.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1115/1.4044106>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

BONAT, D. **Metodologia da Pesquisa**. 3º ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

BONET, A.; MEIER, C.; SAORÍN, J. L.; DE LA TORRE, J.; CARBONELL, C.

Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. **Arte, Individuo y Sociedad**, v. 29, n. 1, p. 85–100, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5209/ARIS.51886>>. Acesso em: 5 out. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução N° 6, de 2 de fevereiro de 2006. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**, 2006. Brasília, DF.

Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5649-rces06-06&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES n° 2, de 17 de junho de 2010. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**, 2010. Brasília, DF.

Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES n° 2, de 24 de Abril de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, 2019a. Brasília, DF. Disponível em:

<<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resoluçãO-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRASIL. Decreto n° 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. , 2019b. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm>. Acesso em: 19 nov. 2021.

BRASIL. Construa Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/ambiente-de-negocios/competitividade-industrial/construa-brasil>>. Acesso em: 7 maio 2022.

BRINER, R. B.; DENYER, D. Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. **Handbook of Evidence-based Management: Companies, Classrooms and Research**. p.112–129, 2012.

BUCHANAN, C.; GARDNER, L. Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. **Engineering Structures**, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.045>>. Acesso em: 8 nov. 2019.

BULL, G.; HAJ-HARIRI, H.; ATKINS, R.; MORAN, P. An Educational Framework for Digital Manufacturing in Schools. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 2, n. 2, p. 42–49, 2015. Disponível em: <<http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2015.0009>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

CAIRNS, D. R.; CURTIS, R.; SIERRAS, K. A.; BOLYARD, J. J. Taking professional development from 2D to 3D: Design-based learning, 2D modeling, and 3D fabrication for authentic standards-aligned lesson plans. **Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, v. 12, n. 2, p. 9–12, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1759>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

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

CARBONI, M. H. DE S. LAMP - Laboratório de modelagem e prototipagem. **Educação no século XXI: Arte e Design**. 1a ed, v. 12, p.76–84, 2019. Belo Horizonte: Editora Poisson.

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 ago. 2021.

CELANI, G.; FRAJNDLICH, R. U. DE C. From prototypical to prototyping: mass-customization versus 20th century utopias in architecture and urban design. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 3, p. 160–169, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v7i3.8647348>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

CELANI, G.; LENZ, D. Novas tecnologias na construção de edifícios: estabelecendo a ponte entre o processo criativo e a produção por controle numérico. **Cadernos PROARQ 23**, v. 23, p. 138–151, 2014. Disponível em: <<http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/cadernosproarq23.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

ÇELIK, A.; ÖZDEMİR, S. Tinkering learning in classroom: an instructional rubric for evaluating 3D printed prototype performance. **International Journal of Technology and Design Education**, , n. 0123456789, 2019. Springer Netherlands. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-019-09512-w>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

CHIU, P. H. P.; KI, T.; FAN, F.; et al. A project-problem based learning approach for appreciating ancient cultural heritage through technologies: Realizing mystical buildings in Dunhuang Mural. 2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). **Anais...** . p.65–69, 2016. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TALE.2016.7851772>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

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 nov. 2021.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of test.

Psychometrika, v. 16, n. 3, p. 297–334, 1951.

DALLA VECHIA, R. **A modelagem matemática e a realidade do mundo cibernético**, 2012. Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho.

DEGRAF. Graduação em Expressão Gráfica. Disponível em:

<<http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/>>. Acesso em: 7 maio 2017.

DEGRAF. Projeto pedagógico do curso de expressão gráfica. , 2018.

Universidade Federal do Paraná. Disponível em:

<http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/PPC_Projeto_Pedagogico_de_Curso__Expressao_Grafica.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a Systematic Review. **The Sage Handbook of Organizational Research Methods**. p.671–689, 2009.

DOERR, H. M.; ENGLISH, L. D. Middle Grade Teachers' Learning through Students' Engagement with Modeling Tasks. **Journal of Mathematics Teacher Education**, v. 9, n. 1, p. 5–32, 2006. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1007/s10857-006-9004-x>>. Acesso em: 23 dez. 2020.

DOPPELT, Y. Assessing creative thinking in design-based learning.

International Journal of Technology and Design Education, v. 19, n. 1, p. 55–65, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-006-9008-y>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science**

Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUNN, N. **Digital fabrication in architecture**. Laurence King Publishing, 2012.

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.

FERNANDES, S. C. F.; SIMOES, R. Collaborative use of different learning styles through 3D printing. 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE). **Anais...** . v. 63, p.1–8, 2016. IEEE. Disponível em: <<http://doi.org/10.1109/CISPEE.2016.7777742>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

FLORIO, W.; SEGALL, M. L.; ARAÚJO, N. S. DE. A contribuição dos protótipos rápidos no processo de projeto em arquitetura. **Graphica 2007**, p. 10, 2007.

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 mar. 2020.

FREZATTI, F.; MARTINS, D. B. PBL ou PBLs: a Customização do Mecanismo de Aprendizagem Baseada em Problemas na Educação Contábil. **Revista de Graduação USP**, v. 1, n. 1, p. 25, 2016.

FRUCHTER, R.; EMERY, K. Teamwork : Assessing Cross-Disciplinary Learning. Proceedings of the 1999 conference on Computer support for collaborative learning (CSCL '99). **Anais...** . p.166–173, 1999. Stanford: International Society of the Learning Sciences.

FRUCHTER, R.; LEWIS, S. Mentoring and Reverse Mentoring in P5BL. , 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255582752_MENTORING_AND_REVERSE_MENTORING_IN_P5BL>. .

FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 72, p. 9–17, 2016. Elsevier B.V. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>>. Acesso em: 20 set. 2019.

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. **Simpório 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 jul. 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 fev. 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GHAFFAR, S. H.; CORKER, J.; FAN, M. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution.

Automation in Construction, v. 93, n. October 2017, p. 1–11, 2018.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005>>. Acesso em: 3 fev. 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2a Ed. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1989.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. **Additive Manufacturing**, v. 10, p. 76–87, 2016. Elsevier B.V. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

GÓES, H. C. **Expressão gráfica: esboço de conceituação**, 2012.

Universidade Federal do Paraná.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. 8a. Ed. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GREENHALGH, S. The effects of 3D printing in design thinking and design education. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 14, n. 4, p. 752–769, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2014-0005>>. Acesso em: 3 fev. 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.

HAAVI, T.; TVENGE, N.; MARTINSEN, K. CDIO design education collaboration using 3D-desktop printers. **Procedia CIRP**, v. 70, p. 325–330, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J. Design Science in information systems research. **MIS Quaterly**, v. 28, p. 75–105, 2004.

HUANG, T. C.; LIN, C. Y. From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. **Telematics and Informatics**, v. 34, n. 2, p. 604–613, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2016.10.005>>. Acesso em: 9 mar. 2020.

HULEIHIL, M. 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 164, p. 012023, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012023>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

IAOCHITE, R. T.; COSTA FILHO, R. A. DA; MATOS, M. DA M.; SACHIMBOMBO, K. M. C. Autoeficácia no campo educacional: revisão das publicações em periódicos brasileiros. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 20, n. 1, p. 45–54, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175->

353920150201922>. Acesso em: 3 ago. 2019.

ITO, A. L. Y. **Modelo da informação para aquisição de repertório arquitetônico de edifícios da arquitetura precedente**, 2020. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

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 jun. 2021.

JUNK, S.; MATT, R. New Approach to Introduction of 3D Digital Technologies in Design Education. **Procedia CIRP**, v. 36, p. 35–40, 2015a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.045>>. Acesso em: 3 maio 2019.

JUNK, S.; MATT, R. Workshop Rapid Prototyping - A new approach to introduce digital manufacturing in engineering education. 2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET). **Anais...** . p.1–6, 2015b. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7217965/>>. Acesso em: 3 maio 2019.

KADHIM, N. M. S. M. New technologies and their impact on the development of architectural education. 2018 1st International Scientific Conference of Engineering Sciences - 3rd Scientific Conference of Engineering Science (ISCES). **Anais...** . p.231–236, 2018. IEEE. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8340559/>>. Acesso em: 3 maio 2019.

KERN, M.; SAGAZIO, G.; LOURENÇÃO, P.; et al. A mobilização empresarial pela inovação (MEI) e a defesa da modernização do ensino de Engenharia. In: V. F. de Oliveira (Org.); **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1a. ed., p.33–43, 2019. Rio de Janeiro: LTC.

KIANIAN, B.; TAVASSOLI, S.; LARSSON, T. C.; DIEGEL, O. The adoption of additive manufacturing technology in Sweden. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 7–12, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.036>>. Acesso em: 13 set. 2019.

KOLB, D. A. *Experiential Learning: Experience as The Source of Learning and Development*. **Prentice Hall, Inc.**, , n. 1984, p. 20–38, 1984.

KOLITSKY, M. A. Reshaping teaching and learning with 3D printing technologies. **e-mentor**, v. 2014, n. 56 (4), p. 84–94, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.15219/em56.1130>>. Acesso em: 5 set. 2020.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

LEÃO, D. M. M. Paradigmas Contemporâneos de Educação: Escola Tradicional e Escola Construtivista. **Cadernos de Pesquisa**, , n. 107, p. 187–206, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-15741999000200008>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

LUDWIG, P. M.; NAGEL, J. K.; LEWIS, E. J. Student learning outcomes from a pilot medical innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. **International Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, p. 33, 2017. International Journal of STEM Education. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0095-y>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

LUNA, A.; TALAVERA, A.; CHONG, M. How to Motivate the Interest in Physics to Engineering Students Without Dying in the Attempt? 2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE). **Anais...** . p.1–5, 2018. IEEE. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8450949/>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

LYNN, R.; SALDANA, C.; KURFESS, T.; et al. Toward Rapid Manufacturability Analysis Tools for Engineering Design Education. **Procedia Manufacturing**, v. 5, p. 1183–1196, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.093>>. Acesso em: 5 mar. 2019.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251–266, 1995.

MARCZYK, G.; DEMATTEO, D.; FESTINGER, D. **Essentials of Research Design and Methodology**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

MARTIN, B.; HANINGTON, B. **Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions**. Rockport, 2012.

MARTINS, I. L.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019007, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652734>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MAZUR, E. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. Porto Alegre: Penso, 2015.

MENOLD, J.; JABLOKOW, K.; SIMPSON, T. Prototype for X (PFX): A holistic framework for structuring prototyping methods to support engineering design. **Design Studies**, v. 50, p. 70–112, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2017.03.001>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

MINETOLA, P.; IULIANO, L.; BASSOLI, E.; GATTO, A. Impact of additive manufacturing on engineering education - Evidence from Italy. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 535–555, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0123>>. Acesso em: 3 maio 2019.

MONTEIRO, M. T. F. **A impressão 3D no meio produtivo do design: um estudo na fabricação de joias**, 2015. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-Monteiro.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

NEMORIN, S.; SELWYN, N. Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school. **Research Papers in Education**, v. 32, n. 5, p. 578–595, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02671522.2016.1225802>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

NERY, M. DE A. **O uso das tecnologias digitais da internet na Educação**

Superior: representações docentes - entre o formal e o informal, as marcas da presença do possível, 2016. Universidade de São Paulo.

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 abr. 2021.

NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. **Journal of Science Education and Technology**, v. 27, n. 5, p. 412–432, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

OLIVEIRA, M. S. DE. **Modelo Estrutural Qualitativo Para Pré- Avaliação Do Comportamento De Estruturas Metálicas**, 2008. Universidade Federal de Ouro Preto.

OLIVEIRA, V. F. DE. **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PELLEGRINO, J. W.; HILTON, M. L. **Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century**. 2013.

PÉREZ-PÉREZ, M. P.; GÓMEZ, E.; SEBASTIÁN, M. A. Delphi prospection on additive manufacturing in 2030: Implications for education and employment in Spain. **Materials**, v. 11, n. 9, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ma11091500>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PIETERSE, F. F.; NEL, A. L. The advantages of 3D printing in undergraduate mechanical engineering research. IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON. **Anais...** . v. 10-13-April, p.25–31, 2016. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474526>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

PIRES, M. F. DE C. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e

transdisciplinaridade no ensino. **Interface - Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, n. 2, p. 173–182, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1414-32831998000100010>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

POMBO, O. Epistemologia da interdisciplinaridade. **Ideação**, v. 10, n. 1, p. p.9-40, 2010.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5º ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 3, p. 80, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

ROQUETE, F. F.; AMORIM, M. M. A.; BARBOSA, S. DE P.; DE SOUZA, D. C. M.; CARVALHO, D. V. Multidisciplinaridade, Interdisciplinaridade E Transdisciplinaridade: em busca de diálogo entre saberes no campo da saúde coletiva. **Revista de Enfermagem do Centro Oeste Mineiro**, v. 2, n. 3, p. 463–474, 2012. Disponível em: <<http://seer.ufsj.edu.br/index.php/recom/article/view/245/360>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, p. 111–124, 2018. Disponível em: <<https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316/193>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SANTOS, E. T. Novas tecnologias no ensino de desenho e geometria. Anais do I Encontro Regional do Vale do Paraíba de Profissionais do Ensino da Área de Expressão Gráfica. **Anais...** p.71–81, 2000. Lorena, SP. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/237339759_NOVAS_TECNOLOGIAS_NO_ENSINO_DE_DESENHO_E_GEOMETRIA>. Acesso em: 27 jan. 2019.

SAORÍN, J. L.; MELIAN-DÍAZ, D.; BONNET, A.; et al. Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students.

Thinking Skills and Creativity, v. 23, p. 188–198, 2017. Elsevier Ltd.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tsc.2017.01.004>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

SAUNDERS, M.; LEWIS, M. S. P.; THORNHILL, A. **Research methods for business students**. 5a. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2009.

SAVARY, J. R. Overview Of Problem-based Learning : Devinition and Distinction Interdisciplinary. **Journal Problem-based Learning**, v. 1, n. 1, p. 9–20, 2006.

SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J. M. Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. **Journal of Visual Languages and Computing**, v. 28, p. 226–237, 2015. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.004>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

SCHNIEDERJANS, D. G.; YALCIN, M. G. Perception of 3D-printing : analysis of manufacturing use and adoption. **Rapid Prototyping Journal**, v. 3, n. May 2017, p. 510–520, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2017-0056>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

SILVA, F. B.; SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. DE. Project-Based Learning in Civil Engineering Education: an Experience at the University of São Paulo. 4th International symposium on project approaches in engineering education (PAEE'2012). **Anais...** . p.295–300, 2012. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

SILVA, R. C. DA; AMORIM, L. M. DO E. Da arquitetura paramétrica ao urbanismo paramétrico. SIGRADI 2010 / Disrupción, modelación y construcción: Diálogos cambiantes. **Anais...** . p.419–422, 2010. Bogotá.

Disponível em:

<http://cumincaad.scix.net/data/works/att/sigradi2010_419.content.pdf>. .

SMITH, C. J.; MAHONEY, P. S.; TODD, I. 3D printing a jet engine : An

undergraduate project to exploit additive manufacturing now and in the future.

Materials Today Communications, v. 16, n. March, p. 22–25, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.03.006>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

SONG, M. J. Learning to teach 3D printing in schools: how do teachers in Korea prepare to integrate 3D printing technology into classrooms? **Educational Media International**, v. 55, n. 3, p. 183–198, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09523987.2018.1512448>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

SONG, M. J. The application of digital fabrication technologies to the art and design curriculum in a teacher preparation program: a case study. **International Journal of Technology and Design Education**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-019-09524-6>>. Acesso em: 1 fev. 2020.

SOUZA, L. V. DE; COSTA, D. M. B. O curso de bacharelado em expressão gráfica da UFPR. GRAPHICA 13. **Anais...**, 2013. Florianópolis.

STAVRIDIS, S. Reforming abstract geometrical ideas through 3D printing: A proposal for experiential e-Making technology in creative education. ISEC 2017 - Proceedings of the 7th IEEE Integrated STEM Education Conference. **Anais...** . v. 00, p.10–16, 2017. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ISECon.2017.7910218>>. Acesso em: 3 fev. 2019.

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 mar. 2020.

TRUST, T.; MALOY, R. W. Why 3D print? The 21st-century skills students develop while engaging in 3D printing projects. **Computers in the Schools**, v. 34, n. 4, p. 253–266, 2017. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07380569.2017.1384684>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

TSONGAS, K.; TZIMTZIMIS, E.; SYMEONIDOU, I.; et al. Computer aided design and 3D printing for STEAM education: a technical reference guide for teachers. EPIE. **Anais...** . v. 1080854, p.256, 2018. Wilga, Polônia. Disponível

em: <<https://doi.org/10.1117/12.2504296>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

UNESCO. **Educação: um tesouro a descobrir, relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI (destaques)**. 2010.

VACCAREZZA, M.; PAPA, V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. **Anatomical Science International**, v. 90, n. 1, p. 64–65, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s12565-014-0257-7>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

VERNER, I.; MERKSAMER, A. Digital design and 3D printing in technology teacher education. *Procedia CIRP*. **Anais...** . v. 36, p.182–186, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.041>>. .

VIOLANTE, M. G.; VEZZETTI, E. Guidelines to design engineering education in the twenty-first century for supporting innovative product development. **European Journal of Engineering Education**, v. 42, n. 6, p. 1344–1364, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1293616>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

VIRGIN, L. Enhancing the teaching of linear structural analysis using additive manufacturing. **Engineering Structures**, v. 150, p. 135–142, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.054>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

VRANICH, A. Reconstructing ancient architecture at Tiwanaku, Bolivia: the potential and promise of 3D printing. **Heritage Science**, v. 6, n. 1, p. 1–20, 2018. Springer International Publishing. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40494-018-0231-0>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

WANG, C.; YAP, J. B. H.; LI, H.; et al. Topographical survey engineering education retrofitted by computer-aided 3D-printing. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 26, n. 6, p. 2116–2130, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/cae.22004>>. Acesso em: 15 mar. 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 jul. 2022.

WISDOM, J.; CRESWELL, J. W. **Mixed Methods: Integrating Quantitative and Qualitative Data Collection and analysis while studying patient-centered medical home models**. Rockville, 2013.

WONG, A.; PARTRIDGE, H. Making as Learning: Makerspaces in Universities. **Australian Academic and Research Libraries**, v. 47, n. 3, p. 143–159, 2016.

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 jul. 2022.

WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J. H.; WANG, X. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science Review**, v. 61, n. 3, p. 133–142, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1450727>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

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 maio 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Artigo referente ao Capítulo 3 – Revisão Sistemática da Literatura, publicado nos anais do evento SBTIC21.

Referência bibliográfica:

CARBONI, M.H.S.; SCHEER, S. Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-14. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/567>. Acesso em: 3 ago. 2021.

Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC

Additive manufacturing as a didactic tool for professional education in AECO

Márcio Henrique de Sousa Carboni

Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | mhcarboni@ufpr.br

Sérgio Scheer

Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | scheer@ufpr.br

Resumo

O potencial disruptivo da Manufatura Aditiva (AM) somado com as novas necessidades educacionais da sociedade do século XXI demandam programas educacionais inovadores. Esta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) objetivou encontrar abordagens de utilização da AM na educação para se traçar possíveis paralelos com Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), que ainda pouco se beneficia desta tecnologia. Os relatos apontam ganhos no processo de ensino-aprendizagem como: facilidade de entendimento de conceitos abstratos, estímulo para a construção do conhecimento centrado no aluno e a efetiva integração interdisciplinar. E conclui-se com um desenho dos elementos necessários para a proposição de um futuro modelo de colaboração na formação de profissionais da AEC.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Ensino interdisciplinar. Impressão 3D. Aprendizado baseado em problemas. PBL.

Abstract

The disruptive potential of Additive Manufacturing (AM) and the new educational needs of 21st century society calls for innovative educational programs. This Systematic Literature Review seeks to detect approaches to the use of AM in education in order to draw possible parallels with Architecture, Engineering and Construction (AECO), which still benefit little from this technology. The papers point gains in the teaching-learning process such as: ease of understanding abstract concepts, encouragement for construction of student-centered knowledge and effective interdisciplinary integration. We conclude with a design of the necessary elements for a collaboration model in education of AECO professionals.

Keywords: Additive manufacturing. Interdisciplinary education. 3D Printing. Problem-based learning. PBL.

INTRODUÇÃO

Devido aos recentes avanços da Fabricação Digital (FD) e Prototipagem Rápida (PR), novas possibilidades de experiências tridimensionais na arquitetura se tornaram possíveis. Tais tecnologias podem ser inseridas de maneira parcial ou integral no



Como citar:

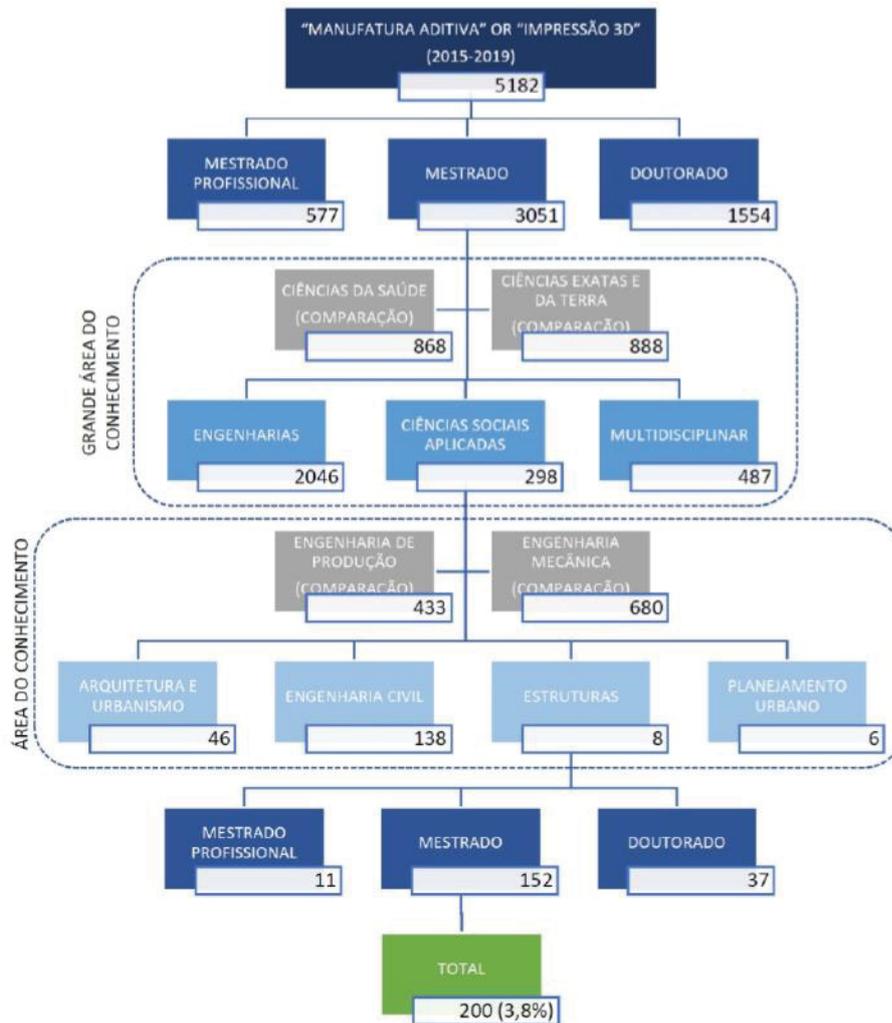
CARBONI, M. H. S.; SCHEER, S. Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-14. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/567>. Acesso em: 3 ago. 2021.

processo de projeto-construção da arquitetura, uma vez que podem atuar nas mais diferentes etapas [1].

Todavia, no Brasil, o uso da FD como técnica construtiva é insipiente pela pequena industrialização da área da AEC. É por isso que tais tecnologias são abordadas nos centros de ensino superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalhar com elas [1]. Mesmo assim, o tema não é consolidado dentro dos cursos de graduação da AEC.

Ao buscar os termos “manufatura aditiva” OR “impressão 3D”, em pesquisa realizada em dezembro de 2019 no portal de catálogo de teses e dissertações da CAPES, notou-se um pequeno número de trabalhos relacionados com AEC, somente 3,8% (Figura 1).

Figura 1: Catálogo de teses e dissertações CAPES por área do conhecimento



Fonte: os autores.

A Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*), ou Impressão 3D é uma das técnicas de PR que vem se destacando na última década. AM consiste no processo de fabricação de peças a partir de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que vão sendo fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça [2][3].

O potencial disruptivo da AM demanda programas educacionais que forneçam seus princípios fundamentais e igualmente permitam aos designers e engenheiros descobrirem suas capacidades [2]. Tais capacidades devem estar alinhadas com as necessidades de uma educação voltada para uma sociedade baseada em informação e tecnologia e estão relacionadas às habilidades cognitivas¹ e não cognitivas² que devem ser estimuladas durante a formação de estudantes para que obtenham sucesso nas diversas áreas da vida [4]. Além disso, considera-se que experiências práticas e baseadas em problemas podem ajudar estudantes no entendimento de conceitos analíticos complexos. Para o sucesso futuro, alunos precisam praticar a resolução de problemas e tomada de decisão com embasamento, ao invés de apenas armazenar uma coleção de fatos e conteúdos [5].

Manufatura Aditiva tem potencial para que escolas explorem essas habilidades e competências, juntamente com estratégias pedagógicas como a abordagem PBL (*problem-based learning*). Permite transformar ideias em modelos tangíveis, ou seja, permite que os estudantes criem e construam o conhecimento conforme vão transformando ideias em modelos físicos que as representem [6]. Somado a isso, as tecnologias de impressão 3D podem servir como uma poderosa ferramenta educacional através da exposição dos alunos a ciclos interativos de design [7] que é central para a prática da engenharia e arquitetura.

Assim, este trabalho indaga: Como a AM pode auxiliar no processo de capacitação dos futuros profissionais da AEC para que atendam as expectativas da sociedade do século XXI? Em busca dessa resposta, realizou-se uma RSL para identificar como a AM está sendo utilizada na educação e abordada em cursos de áreas com as quais seja possível estabelecer um paralelo com a AEC.

Este trabalho faz parte de uma pesquisa de doutorado que tem o objetivo de desenvolver um método com uma estrutura conceitual de implantação da AM na formação de profissionais da AEC.

MÉTODO

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada em agosto de 2019. Inicialmente selecionou-se três plataformas de busca científica e buscou-se os termos “3D printing” OR “Rapid Prototyping” OR “Prototipagem Rápida” OR “Impressão 3D”. Foram realizadas sete etapas de filtragem (Tabela 1) para então obter uma seleção total de 71 artigos. Após a leitura dos resumos eliminou-se outros 22 trabalhos, que não possuíam foco com a área de pesquisa ou com o tema desejado. E então, efetuou-se a

¹ Habilidades cognitivas são aquelas competências mentais que são associadas à capacidade de processar dados e desenvolver estímulos de compreensão, percepção e integração de conceitos. Exemplos: criatividade, memorização, rapidez no processamento de informações, reflexão, interpretação, capacidade de foco e atenção.

² As habilidades não cognitivas são também conhecidas como competências socioemocionais e estão relacionadas com características pessoais do indivíduo. Exemplos: persistência, autocontrole, respeito, calma, otimismo, confiança, entusiasmo.

leitura completa de 49 artigos, que puderam ser classificados em 6 categorias, conforme Quadro 1.

Tabela 1: Filtros realizados e número de trabalhos encontrados

FILTRO	SCOPUS	SCIENCE DIRECT	ENGINEERING VILLAGE
"3D Printing" OR "Rapid prototyping" OR "Prototipagem rápida" OR "Impressão 3D"	53.238	24.488	29.168
Filtro temporal: 2015-2019	33.283	13.111	12.426
"Architecture" OR "Civil Engineering" OR "Design" OR "Arquitetura" OR "Engenharia civil"	24.555	11.336	5.773
"Teaching" OR "Learning" OR "Education" OR "Ensino" OR "Aprendizagem" OR "Educação"	3.949	2.524	743
Artigos em periódicos e eventos revisados por pares	3.468	1.920	743
Exclusão termos e áreas relacionados à Medicina, Matemática, Ciência da computação, Química, Farmácia, Biologia.	1.058	1.465	743
Leitura do Título	118	24	24
Disponibilidade de texto completo	46	24	12
TOTAL SEM DUPLICIDADE		71	
LEITURA COMPLETA APÓS RESUMO		49	

Fonte: os autores.

Quadro 1: Categorias identificadas nos trabalhos da RSL

CATEGORIA	Nº DE ARTIGOS	REFERÊNCIAS
Experiências na graduação/pós-graduação	16	[2], [3], [9], [14], [16], [17], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31].
Experiências no ensino básico	5	[32], [33], [34], [35], [36].
Experiências no ensino de professores	5	[7], [12], [37], [38], [39].
Métodos, modelos, diretrizes de ensino/aprendizado	9	[5], [10], [15], [18], [19], [20], [40], [41], [42].
Uso AM na educação	3	[13], [43], [44].
Uso e adoção da AM no mercado/indústria	11	[45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55].

Fonte: os autores.

RESULTADOS

INTERDISCIPLINARIDADE E ABORDAGEM DE ENSINO BASEADO EM PROBLEMAS

Na indústria da AEC cada vez mais se nota a necessidade da integração de profissionais para atingirem objetivos em comum com êxito e qualidade. Um exemplo claro dessa urgência apresenta-se nas discussões a respeito do BIM (*Building Information Modeling*) e a necessidade da interação, desde as fases iniciais, de todos os profissionais envolvidos no projeto, construção e operação de um edifício. É esperado que tal prática seja explorada e exercitada durante a formação desses profissionais.

Currículos escolares constituídos por compartimentos estanques, fragmentados e incomunicáveis produzem uma formação insuficiente para atender à sociedade que exige que ela seja cada vez mais crítica e competente [8]. E uma abordagem interdisciplinar pode contribuir de maneira mais eficaz para contrabalançar a

especialização, ampliando os horizontes e fornecendo uma consciência mais rica e global dos campos de aplicação dos métodos e técnicas de engenharia [9]. Dessa forma, a AM desperta interesse como ferramenta educacional justamente por admitir o ensino interdisciplinar, sala de aula invertida e abordagens de aprendizado prático [10].

Esta RSL identificou trabalhos que utilizam a AM na educação superior em disciplinas que unem alunos de diferentes cursos para desenvolverem um projeto comum, ou apontam abordagens que envolvem o trabalho em equipes do mesmo curso, e buscam respostas em diversas áreas, para solucionar um determinado problema. Tal abordagem é chamada de *Problem-based learning* (PBL), ou aprendizado baseado em problemas, e busca promover o engajamento do estudante com sua aprendizagem. Para a área da AEC, há outras abordagens mais próximas as práticas profissionais, como a *Project-based learning*, organizada em busca de objetivos compartilhados através de um projeto.

A resolução de problemas é ponto chave dessa estratégia de aprendizado trazendo o ensino mais próximo da realidade do estudante, o que gera um aprendizado mais significativo. “O problema deve estar conectado com a prática profissional, abrangendo conceitos de várias disciplinas, oferecendo um bom modelo para estudo, envolvendo uma grande quantidade de pessoas e contemplando um emaranhado de questões e subquestões” [11].

MANUFATURA ADITIVA NA EDUCAÇÃO

Para a área de AEC, a construção de modelos, é considerada uma parte de um processo maior que permite a designers, arquitetos e engenheiros entender a construtibilidade da criação de um artefato. Também permite aos alunos se comunicarem e demonstrarem ideias através de formas visuais, receber feedback uns dos outros, identificar erros e problemas e revisar o modelo se necessário [12]. Ou seja, prototipar não apenas assiste estudantes em tornar ideias abstratas em concretas, como também permite disseminar seus processos de criação e descobertas aos outros, para que assim todos aprendem a partir das experiências de tentativa e erro de seus pares.

Pode-se afirmar que é possível integrar nos currículos o ensino sobre AM e o desenvolvimento de habilidades em impressão 3D de duas formas [13]: ativa, que envolve a criação de cursos e projetos com foco explícito em AM; e, passiva, que envolve o uso da AM como ferramenta de apoio para o ensino de outros conteúdos.

Nos artigos analisados nesta RSL identificou-se que a forma de integração dessa tecnologia, em sua maioria, é passiva. Buscam integrar a AM em disciplinas como ferramenta para estimular criatividade, interdisciplinaridade, tomada de decisão, e o aprendizado de conteúdos apoiando projetos PBL. Ainda que a maioria das experiências encontradas não estejam focadas exclusivamente no ensino de AM, um resumo dos objetivos didáticos referentes à impressão 3D encontrados nos trabalhos analisados é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Objetivos didáticos para a manufatura aditiva

OBJETIVOS DIDÁTICOS	Nº DE REFERÊNCIAS	REFERÊNCIAS
Aprender e aplicar princípios de design para fabricação aditiva	3	[2], [16], [22].
Aprender e aplicar tecnologias de engenharia reversa ou técnicas de digitalização 3D	2	[9], [23].
Aprender fundamentos da AM e princípios básicos de operação	8	[2], [3], [17], [24], [23], [25], [26], [27].
Comparar técnicas de impressão 3D com prototipagem tradicional	2	[2], [28].
Entender desvios de mensuração entre modelo digital e impresso com tecnologia AM	1	[29].
Entender e aprender a selecionar técnicas de pós-processamento	1	[3].
Entender e reconhecer causas e irregularidade na produção de peças em impressoras 3D	2	[3], [17].
Entender processo completo de desenvolvimento de produto	1	[9].
Estimar propriedades mecânicas de peças impressas	3	[3], [17], [30].
Estimular competência criativa utilizando impressão 3D	1	[14].
Ganhar experiência na operação de máquinas de AM	6	[2], [16], [23], [24], [26], [29].
Identificar vantagens e/ou limitações de tecnologias AM	3	[3], [24], [30].

Fonte: os autores.

Outro ponto importante para a adoção da Manufatura Aditiva na educação é a infraestrutura disponível aos alunos. O ambiente educacional também deve ser considerado em conjunto com abordagens educacionais para propiciar a criatividade. Ainda que tenha várias definições, criatividade está relacionada com a capacidade do pensamento divergente, ou seja, gerar múltiplas soluções a um problema. Metodologias baseadas em trabalho em grupo e o aprendizado baseado em projetos (PBL) somadas com um espaço que disponha de equipamentos e ferramentas (como laboratórios de prototipagem ou *makerspaces*), permitem explorar múltiplas e diferentes soluções a um mesmo problema de maneira rápida e dinâmica. Nos *makerspaces* se potencializa o pensamento reflexivo, analítico e crítico, procurando uma alfabetização tecnológica que converta os alunos em criadores, em lugar de serem usuários passivos e consumidores compulsivos dos distintos avanços tecnológicos [14].

DISCUSSÃO

Existem, majoritariamente, dois tipos de método de ensino [15]. O direto, centrado no professor e baseando-se principalmente na exposição de conteúdo didático, e o indireto, centrado no aluno que adquire habilidades e conhecimento pelo desenvolvimento ativo de competências. Pela pesquisa realizada, pode-se afirmar que a nova geração de profissionais necessita cada vez mais de uma formação indireta, na qual construam seu conhecimento e desenvolvam o pensamento crítico e habilidades como a de resolução de problemas.

Vale enfatizar que a RSL foi importante para afirmar a relevância da discussão a respeito da utilização da AM no ensino superior, ao encontrar inúmeros relatos

apontando ganhos no processo de ensino aprendizagem que mesclam AM e abordagens PBL, como maior interesse dos alunos, facilidade de entendimento de conceitos abstratos, estímulo para construção do conhecimento centrado no aluno e colaborativo entre seus pares, e possibilidade da efetiva integração interdisciplinar.

Os atuais cursos de graduação normalmente possuem exposição limitada quanto à impressão 3D [16]. Tradicionalmente possuem aulas expositivas que podem prover conhecimento teórico, porém, são necessárias experiências mais práticas necessárias para a formação da próxima geração de engenheiros. Todavia, poucos trabalhos apontam o uso da AM na área da construção civil. Cabe identificar paralelos das experiências de outras áreas que possam ser utilizados na AEC.

A maioria dos trabalhos encontrados buscam incorporar a AM em disciplinas de forma passiva, utilizando a AM como ferramenta de apoio para o ensino. Parece fazer sentido utilizar esse tipo de abordagem para a AEC, uma vez que o objetivo principal da capacitação desses profissionais não é a operação de equipamentos de fabricação digital, e sim capacitar profissionais que entendam a tecnologia, saibam como tirar proveito dela para solucionar problemas e estejam aptos a trabalharem em equipes multidisciplinares.

Uma das barreiras para a adoção da AM no ensino é a falta de familiaridade com a tecnologia [9], tanto dos alunos, quanto dos professores. Dessa forma, vários trabalhos apontam conteúdos importantes em disciplinas que visam utilizar impressão 3D, como a apresentação dos fundamentos de AM e as diferenças entre as técnicas, equipamentos e materiais. Entretanto, este conteúdo deve tomar apenas uma pequena parte da carga horária de uma disciplina, pois tão importante quanto o conhecimento teórico é a experiência prática. Para os cursos de graduação brasileiros, ao se pensar em uma disciplina que dispõem de carga horária entre 20 e 40 horas semestrais, as diretrizes de Violante [5] são interessantes quando sugerem abordar esses temas teóricos com atividades extra classe e abordagem EAD (ensino à distância). Enquanto pode-se utilizar a maior parte do tempo explorando o desenvolvimento de habilidades e de conhecimento através de experiências práticas em grupo, como apresentado por [17], [5], [2], e, se possível, com alunos mais experientes no uso da impressão 3D.

Uma das experiências encontradas [17] apresenta uma metodologia de desenvolvimento de habilidades interdisciplinares de engenharia viável de ser adotada como modelo para a capacitação de profissionais da AEC. O objetivo seria aproximar a universidade de empresas do mercado que apresentem demandas e desafios aos alunos, e que esses, em grupos que englobem indivíduos de vários cursos (e expertises complementares), desenvolvam soluções, as prototipem e as apresentem.

Tais constatações permitem uma reflexão a respeito da realidade da maioria dos cursos de arquitetura e engenharia civil brasileiros. Como há a falta de familiaridade com a AM e a limitação de carga horária para explorar exclusivamente conteúdo relacionado a manufatura aditiva, seria benéfica a união desses cursos com outros mais habituados a essa tecnologia, a exemplo do Bacharelado em Expressão Gráfica existente na Universidade Federal do Paraná, ou mesmo cursos de Design, em

disciplinas nas quais os discentes possam compartilhar seus conhecimentos com seus pares e somar suas expertises em projetos colaborativos e interdisciplinares. Tais alunos, já possuem em seu currículo conteúdo e carga horária mais expressiva em manufatura aditiva, e podem colaborar no ambiente da AEC, inclusive ensinando outros alunos, através da chamada aprendizagem por pares (*peer instruction*).

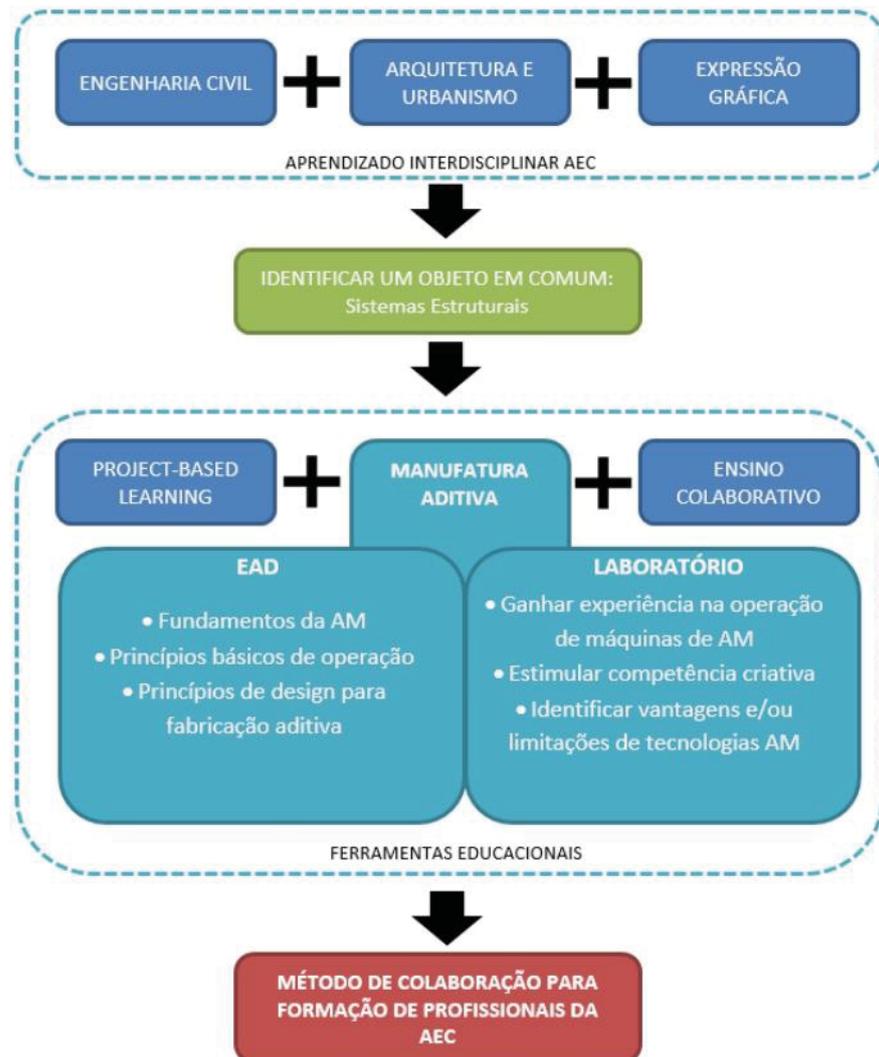
Contudo, imaginando uma disciplina com alunos de vários cursos relacionados com AEC, acredita-se que seja de fundamental importância tratar de alguns assuntos relacionados a AM de forma prática, como exemplo, o conceito de Design para Manufatura abordado por [2], [18], [19] e [20]. Mesmo entendendo os fundamentos básicos de funcionamento dos equipamentos de AM, é importante que os alunos saibam as características desejáveis para a modelagem de um objeto que será prototipado em uma impressora 3D, considerando principalmente o tempo e volume de impressão, quantidade de material utilizado, orientação da peça e necessidade de estruturas de suporte, além da qualidade da superfície da peça e necessidade de pós-processamento.

Na RSL, encontrou-se um modelo pedagógico adequado a essa configuração [18]. Primeiramente, é necessário ganhar a atenção dos alunos e ser claro nos objetivos da disciplina utilizando-se de exemplos e aplicações reais para, então, propor desafios que os capacitem de forma guiada, mas de maneira que eles próprios construam seu conhecimento. Durante esse processo, deve-se estimular o resgate de arcabouço teórico de diferentes naturezas e proporcionar situações em que os estudantes possam testar suas soluções, avaliá-las, reformulá-las, e testarem novamente.

No caso da busca de integração dos cursos da área AEC (Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica), levanta-se uma hipótese sobre um tema que pode ser utilizado como “objeto em comum” e ponto de partida para se ganhar a atenção dos estudantes. Sugere-se o tema “sistemas estruturais”, uma vez que é fundamental para o ensino de arquitetura, tema central para a engenharia civil e permite diversas abordagens que envolvam conhecimentos relativos à expressão gráfica, mesmo que não seja tópico abordado nesse curso de graduação.

Além disso, o modelo físico é o recurso mais debatido e recomendado em trabalhos publicados sobre o ensino de estruturas [21]. Eles permitem a visualização real dos fenômenos, demonstrando conceitos de forma intuitiva, fidedigna e palpável. Isso nos dá mais confiança de que unir tal conceito com manufatura aditiva seja uma estratégia adequada para a colaboração entre os diferentes cursos já expostos.

Figura 2: Elementos do modelo de colaboração na formação de profissionais da AEC



Fonte: os autores.

Realizada a RSL, a Figura 2 sintetiza a organização dos elementos identificados e que se julga necessários para atingir o objetivo maior da tese de doutorado na qual este trabalho está inserido, que é desenvolver um método de colaboração durante a graduação de profissionais da AEC que utilize a manufatura aditiva como uma ferramenta educacional, juntamente com abordagem PBL e ensino colaborativo, para que os alunos tenham experiências interdisciplinares mais próximas da prática profissional, e uma formação mais significativa e alinhada com as expectativas da sociedade do século XXI. Frisa-se a importância de explorar conceitos mais básicos e teóricos sobre manufatura aditiva de maneira EAD, para que haja mais tempo em laboratório para o efetivo manuseio dos equipamentos e desenvolvimento dos projetos colaborativos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho identificou-se benefícios, limitações e exemplos da utilização da AM na graduação de futuros profissionais alinhados com as necessidades da sociedade do século XXI. Essa pesquisa não visa encerrar a discussão de como implantar essa

tecnologia nos cursos de AEC, mas sim buscar pistas de como fazê-lo. Pelas experiências encontradas, sugere-se que a maneira mais direta de se implantar a AM e integrar diferentes cursos de graduação seja criando disciplinas em comum que explorem o aprendizado interdisciplinar, utilizando abordagens pedagógicas como a PBL. Para isso, é necessário inicialmente identificar um objeto em comum que possa ser explorado pelos diferentes cursos, para que, utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta educacional e fator de integração e estímulo, os alunos desenvolvam suas habilidades de comunicação, colaboração, resolução de problemas, alfabetização tecnológica e autonomia, além do conhecimento técnico necessário para suas profissões.

AGRADECIMENTOS

Acesse mais informações dos trabalhos utilizados nesta RSL [AQUI](#).

REFERÊNCIAS

- [1] MARTINS, I. L.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019007, 2019.
- [2] GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. **Additive Manufacturing**, v. 10, p. 76–87, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>.
- [3] STERN, A.; ROSENTHAL, Y.; DRESLER, N.; ASHKENAZI, D. Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. **Additive Manufacturing**, v. 27, p. 503–514, Mai. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>.
- [4] PELLEGRINO, J. W.; HILTON, M. L. **Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century**. 2013.
- [5] VIOLANTE, M. G.; VEZZETTI, E. Guidelines to design engineering education in the twenty-first century for supporting innovative product development. **European Journal of Engineering Education**, v. 42, n. 6, p. 1344–1364, 2017.
- [6] TRUST, T.; MALOY, R. W. Why 3d print? The 21st-century skills students develop while engaging in 3d printing projects. **Computers in the Schools**, v. 34, n. 4, p. 253–266, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/07380569.2017.1384684>.
- [7] NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3d printing project-based learning on preservice elementary teachers' science attitudes, science content knowledge, and anxiety about teaching science. **Journal of Science Education and Technology**, v. 27, n. 5, p. 412–432, 2018.
- [8] PIRES, M. F. DE C. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino. **Interface - Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, n. 2, p. 173–182, 1998.
- [9] GATTO, A.; BASSOLI, E.; DENTI, L.; IULIANO, L.; MINETOLA, P. Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 598–603, Jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0134>
- [10] SONG, M. J. Learning to teach 3D printing in schools: how do teachers in Korea prepare to integrate 3D printing technology into classrooms? **Educational Media International**, v. 55, n. 3, p. 183–198, 2018.

- [11] 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.
- [12] SONG, M. J. The application of digital fabrication technologies to the art and design curriculum in a teacher preparation program: a case study. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 30, n. 4, mai. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09524-6>
- [13] 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, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- [14] BONET, A.; MEIER, C.; SAORÍN, J. L.; DE LA TORRE, J.; CARBONELL, C. Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. **Arte, Individuo y Sociedad**, v. 29, n. 1, p. 85–100, 2017.
- [15] FERNANDES, S. C. F.; SIMOES, R. Collaborative use of different learning styles through 3D printing. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE PORTUGUESE SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION (CISPEE), 2., 2016, Vila Real, Portugal. Proceedings [...].* v. 63, p.1–8, 2016.
- [16] SMITH, C. J.; MAHONEY, P. S.; TODD, I. 3D printing a jet engine: An undergraduate project to exploit additive manufacturing now and in the future. **Materials Today Communications**, v. 16, n. March, p. 22–25, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.03.006>
- [17] BEKKE, D. A.; MERSHA, A. Y. Practical methodologies for the development of the students' multidisciplinary engineering skills: A win-win cooperation for both universities and companies. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH AND EDUCATION IN MECHATRONICS, 19., 2018, Delft. Proceeding[...].* IEEE, 2018. p.117–120. DOI: <https://doi.org/10.1109/REM.2018.8421804>
- [18] 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. *In: FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, 2015, El Paso. Proceedings[...].* IEEE, 2015. p.1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344287>
- [19] LYNN, R.; SALDANA, C.; KURFESS, T.; et al. Toward Rapid Manufacturability Analysis Tools for Engineering Design Education. *In: NORTH AMERICAN MANUFACTURING RESEARCH CONFERENCE (NAMRC 44), 44., 2016, Blacksburg. Proceedings[...].* Elsevier Procedia Manufacturing, v. 5, 2016. p. 1183–1196. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.093>
- [20] JUNK, S.; MATT, R. New approach to introduction of 3D digital technologies in design education. *In: DESIGN CONFERENCE INNOVATIVE PRODUCT CREATION, 25., 2015, Haifa, Israel. Proceedings [...].* Elsevier Procedia, v. 36, 2015. p.35–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.045>
- [21] 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.
- [22] MINETOLA, P.; IULIANO, L.; BASSOLI, E.; GATTO, A. Impact of additive manufacturing on engineering education - Evidence from Italy. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 535–555, 2015.
- [23] SAORÍN, J. L.; MELIAN-DÍAZ, D.; BONNET, A.; et al. Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. **Thinking Skills and Creativity**, v. 23, p. 188–198, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsc.2017.01.004>
- [24] JUNK, S.; MATT, R. Workshop Rapid Prototyping - A new approach to introduce digital manufacturing in engineering education. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON*

INFORMATION TECHNOLOGY BASED HIGHER EDUCATION AND TRAINING, 2015, Lisboa. **Proceedings [...]**. IEEE, 2015. p.1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITHET.2015.7217965>

- [25] LUNA, A.; CHONG, M. How to motivate the interest in Physics to Engineering students without dying in the attempt? *In: IEEE WORLD ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUNINE)*, 2018, Buenos Aires. **Proceedings [...]**. IEEE, 2018. p. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUNINE.2018.8450949>
- [26] FAN, F.; WO, S.; IM, T.; et al. A project-problem based learning approach for appreciating ancient cultural heritage through technologies. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING, ASSESSMENT, AND LEARNING FOR ENGINEERING (TALE)*, 2016, Bangkok. **Proceedings [...]**. IEEE, 2016. p. 65–69. DOI: <https://doi.org/10.1109/TALE.2016.7851772>
- [27] WANG, C.; YAP, J. B. H.; LI, H.; et al. Topographical survey engineering education retrofitted by computer-aided 3D-printing. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 26, n. 6, p. 2116–2130, 2018.
- [28] GREENHALGH, S. The effects of 3D printing in design thinking and design education. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 14, n. 4, p. 752–769, 2016.
- [29] HAAVI, T.; TVENGE, N.; MARTINSEN, K. CDIO design education collaboration using 3D-desktop printers. *In: CIRP DESIGN CONFERENCE*, 28., 2018, Nantes. **Proceedings [...]**. Elsevier Procedia CIRP, v. 70, 2018. p. 325–330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>.
- [30] VIRGIN, L. Enhancing the teaching of linear structural analysis using additive manufacturing. **Engineering Structures**, v. 150, p. 135–142, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.054>
- [31] LUDWIG, P. M.; NAGEL, J. K.; LEWIS, E. J. Student learning outcomes from a pilot medical innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. **International Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, 2017.
- [32] BULL, G.; HAJ-HARIRI, H.; ATKINS, R.; MORAN, P. An educational framework for digital manufacturing in schools. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 2, n. 2, p. 42–49, 2015. DOI: <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2015.0009>
- [33] HULEIHIL, M. 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 164, 2017.
- [34] NEMORIN, S.; SELWYN, N. Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school. **Research Papers in Education**, v. 32, n. 5, p. 578–595, 2017.
- [35] STAVRIDIS, S. Reforming abstract geometrical ideas through 3D printing: A proposal for experiential e-Making technology in creative education. *In: IEEE INTEGRATED STEM EDUCATION CONFERENCE (ISEC)*, 7., 2017, Princeton. **Proceedings [...]**. IEEE, 2017. p.10–16. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISECon.2017.7910218>
- [36] ÇELİK, A.; ÖZDEMİR, S. Tinkering learning in classroom: an instructional rubric for evaluating 3D printed prototype performance. **International Journal of Technology and Design Education**. v. 30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09512-w>
- [37] CAIRNS, D. R.; CURTIS, R.; SIERROS, K. A.; BOLYARD, J. J. Taking professional development from 2D to 3D: Design-based learning, 2D modeling, and 3D fabrication for authentic standards-aligned lesson plans. **Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, v. 12, n. 2, p. 9–12, 2018.
- [38] SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J. M. Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. **Journal of Visual Languages and Computing**, v. 28, p. 226–237, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.004>
- [39] VERNER, I.; MERKSAMER, A. Digital design and 3D printing in technology teacher education. *In: DESIGN CONFERENCE INNOVATIVE PRODUCT CREATION*, 25., 2015, Haifa,

- Israel. **Proceedings [...]**. Elsevier Procedia, v. 36, 2015. p.182–186. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.041>
- [40] TSONGAS, K.; TZIMTZIMIS, E.; SYMEONIDOU, I.; et al. Computer aided design and 3D printing for STEAM education: a technical reference guide for teachers. *In: PHOTONICS APPLICATIONS IN ASTRONOMY, COMMUNICATIONS, INDUSTRY, AND HIGH-ENERGY PHYSICS EXPERIMENTS*, 2018, Wilga. **Proceedings [...]**. SPIE, v. 1080854, 2018. p.1-9. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2504296>
- [41] KADHIM, N. M. S. M. New Technologies and Their Impact on the Development of Architectural Education. *In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF ENGINEERING SCIENCES*, 1.; *SCIENTIFIC CONFERENCE OF ENGINEERING SCIENCE (ISCES)*, 3., 2018, Diyala. **Proceedings[...]**. IEEE, 2018. p. 231–236. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCES.2018.8340559>
- [42] HUANG, T. C.; LIN, C. Y. From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. **Telematics and Informatics**, v. 34, n. 2, p. 604–613, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2016.10.005>
- [43] WONG, A.; PARTRIDGE, H. Making as Learning: Makerspaces in Universities. **Australian Academic and Research Libraries**, v. 47, n. 3, p. 143–159, 2016.
- [44] PIETERSE, F. F.; NEL, A. L. The advantages of 3D printing in undergraduate mechanical engineering research. *In: IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON)*, 2016, Abu Dhabi. **Proceedings[...]**. IEEE, 2016. p.25–31. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474526>
- [45] KIANIAN, B.; TAVASSOLI, S.; LARSSON, T. C.; DIEGEL, O. The adoption of additive manufacturing technology in Sweden. *In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING – DECOUPLING GROWTH FROM RESOURCE USE*, 13., 2015, Binh Duong New City – Vietnam. **Proceedings[...]**. Elsevier Procedia CIRP, v. 40, 2016. p. 7–12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.036>
- [46] SCHNIEDERJANS, D. G.; YALCIN, M. G. Perception of 3D-printing: analysis of manufacturing use and adoption. **Rapid Prototyping Journal**, v. 24, n. 3, p. 510–520, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2017-0056>
- [47] WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J. H.; WANG, X. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science Review**, v. 61, n. 3, p. 133–142, 2018.
- [48] BUCHANAN, C.; GARDNER, L. Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. **Engineering Structures**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.045>
- [49] MENOLD, J.; JABLOKOW, K.; SIMPSON, T. Prototype for X (PFX): A holistic framework for structuring prototyping methods to support engineering design. **Design Studies**, v. 50, p. 70–112, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2017.03.001>
- [50] BHARDWAJ, A.; JONES, S. Z.; KALANTAR, N.; et al. Additive manufacturing processes for infrastructure construction: A review. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 141, n. 9, p. 1-13, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4044106>
- [51] GHAFAR, S. H.; CORKER, J.; FAN, M. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. **Automation in Construction**, v. 93, p. 1-11, out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005>
- [52] FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 72, p. 9–17, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>

- [53] VRANICH, A. Reconstructing ancient architecture at Tiwanaku, Bolivia: the potential and promise of 3D printing. **Heritage Science**, v. 6, n. 1, p. 1–20, 2018. Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0231-0>
- [54] BAYAR, M. S.; AZIZ, Z. Rapid prototyping and its role in supporting architectural design process. **Journal of Architectural Engineering**, v. 24, n. 3, 2018.
- [55] PÉREZ-PÉREZ, M. P.; GÓMEZ, E.; SEBASTIÁN, M. A. Delphi prospection on additive manufacturing in 2030: Implications for education and employment in Spain. **Materials**, v. 11, n. 9, 2018.

APÊNDICE 2

Artigo, referente ao Capítulo 4 – Pesquisa-ação e levantamento 2019, submetido a revista Gestão & Tecnologia de Projetos e até o momento da publicação desta tese está em processo de avaliação pelos pareceristas.

1 A MANUFATURA ADITIVA COMO SUPORTE À APRENDIZAGEM 2 COLABORATIVA E INTERDISCIPLINAR EM AEC: UMA EXPERIÊNCIA 3 INTEGRADORA COM O FUTURO PROFISSIONAL DE EXPRESSÃO GRÁFICA

4 *ADDITIVE MANUFACTURING AS A SUPPORT OF COLLABORATIVE AND*
5 *INTERDISCIPLINARY LEARNING IN AEC: AN INTEGRATIVE EXPERIENCE WITH THE*
6 *FUTURE GRAPHIC EXPRESSION PROFESSIONAL*

7 Márcio Henrique de Sousa Carboni¹, Sérgio Scheer²

8 RESUMO:

9 O tema inovação tecnológica está presente em todos os campos da indústria e não é diferente na área da
10 construção civil. Para que ocorra a efetiva adoção de novas tecnologias, necessita-se a reformulação dos
11 currículos de graduação de Arquitetura e Engenharia Civil e a aproximação da formação com o mercado. A
12 colaboração com outros profissionais capazes de se inserir nesse ecossistema pode auxiliar na adoção dessas
13 tecnologias, como é o caso do profissional de Expressão Gráfica, formado pela UFPR. Este trabalho 1) pontua
14 as últimas modificações das DCNs de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil com foco nas tecnologias
15 digitais; 2) apresenta o recente curso de graduação em Expressão Gráfica, que possui latente
16 complementariedade a AEC; e 3) apresenta uma iniciativa de integração desses cursos com a utilização da
17 Manufatura Aditiva como ferramenta de estímulo à aprendizagem, colaboração entre alunos e facilitação do
18 processo de ensino-aprendizagem. Através de uma pesquisa-ação e com abordagem de aprendizado baseado
19 em projetos (PBL – *Project-based learning*), nessa experiência propôs-se o desenvolvimento, em equipes
20 multidisciplinares, de modelos físicos didáticos para o ensino de Sistemas Estruturais. Percebeu-se a eficácia
21 dos modelos para explicação de conceitos teóricos abstratos e que sua criação gera possibilidades de
22 discussões que reforçam o aprendizado significativo. O aluno de Expressão Gráfica se mostrou apto a colaborar
23 no ambiente de AEC, auxiliando durante o processo criativo com a expertise sobre a manufatura aditiva, que
24 se apresentou como uma ferramenta importante que permite otimizar tanto o processo de projeto, quanto o
25 de ensino.

26 **PALAVRAS-CHAVE:** Impressão 3D; Ensino interdisciplinar; Aprendizagem significativa; Tecnologias digitais.

27 ABSTRACT:

28 The theme technological innovation is present in all fields of industry, and it is no different in civil construction.
29 For the effective adoption of new technologies, it is necessary to reformulate the undergraduate curricula of
30 Architecture and Civil Engineering and bring their training closer to the market. The collaboration with other
31 professionals capable of inserting themselves in this ecosystem can help in the adoption of these technologies,
32 as is the case of the professional of Graphic Expression, graduated by UFPR. This paper 1) points out the latest
33 modifications of the Brazilian National Curricular Guidelines of Architecture and Urbanism and Civil
34 Engineering with a focus on digital technologies; 2) presents the recent undergraduate course in Graphic
35 Expression, which has a latent complementarity to AEC; and 3) presents an initiative to integrate these courses
36 with the use of Additive Manufacturing as a tool to stimulate learning, collaboration among students and to
37 facilitate the teaching-learning process. Through an action-research and project-based learning approach, this
38 experience proposed the development, in multidisciplinary teams, of didactic physical models for the teaching
39 of Structural Systems. It was noticed the effectiveness of the models for explaining abstract theoretical
40 concepts, and that their creation generates possibilities of discussions that reinforce significant learning. The
41 student of Graphic Expression showed himself able to collaborate in the AEC environment, helping during the
42 creative process with the expertise on additive manufacturing, which presented itself as an important tool
43 that allows the optimization of both the design process and the teaching process.

44 **KEYWORDS:** 3D printing; Interdisciplinary education; Significant learning; Digital technologies.

How to cite this article:

NOME OMITIDO, Para Revisão. 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.** São Carlos, vXX, nY, Ano.
https://doi.org/10.11606/gtp.vXiY.código_de_submissão_do_artigo

¹Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

²Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

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

Conflito de Interesse:
Não há.

Submetido em: data de
submissão: 05/09/2022
Aceito em: será preenchido
posteriormente dd/mm/aaaa



45 INTRODUÇÃO

46 O tema inovação tecnológica está presente em todos os campos da indústria. Ainda que na
47 construção civil, especialmente brasileira, se note atrasos na adoção de tecnologias e baixo
48 nível de competitividade frente ao mercado internacional (OLIVEIRA e FABRICIO, 2011; WU et
49 al., 2018; OLIVEIRA, 2019; KERN et al., 2019), é inegável as tentativas de evolução na indústria
50 da AEC (arquitetura, engenharia e construção), como exemplo de temas recorrentes: o BIM,
51 *Lean Construction*, construção modular e fabricação digital.

52 Dentre as novas tecnologias que se apresentam para a Indústria 4.0, destaca-se a Manufatura
53 Aditiva (*AM - Additive Manufacturing*), que consiste no processo de fabricação de modelos, a
54 partir de dados de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que vão sendo
55 fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (MONTEIRO,
56 2015; GO e HART, 2016; HAAVI et al., 2018; STERN et al., 2019). Tal tecnologia pode ser
57 inserida de maneira parcial ou integral no processo de projeto-construção da arquitetura, uma
58 vez que pode atuar nas mais diferentes etapas, desde a concepção formal arquitetônica, até na
59 construção de moldes para elementos construtivos, ou até mesmo na confecção de elementos
60 prontos para serem inseridos na obra. Porém, no Brasil, o uso da AM como técnica construtiva
61 é insipiente, dada a pequena industrialização do país na área da Arquitetura, Engenharia e
62 Construção (AEC). É por isso que tais tecnologias são abordadas nos centros de ensino
63 superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalharem com
64 elas (MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019).

65 No processo ensino-aprendizagem, já se percebeu o suporte e os benefícios que a utilização da
66 impressão 3D podem proporcionar às mais diferentes áreas, como artes, matemática,
67 engenharia, design, arqueologia e patrimônio histórico, astronomia, arquitetura e urbanismo,
68 medicina e anatomia, entre outros (KOLITSKY, 2014; VACCAREZZA e PAPA, 2015; FUKUDA et
69 al., 2016; CHIU et al., 2016; HULEIHIL, 2017; LUDWIG et al., 2017).

70 Modelos físicos podem auxiliar discentes na compreensão espacial de fenômenos variados e,
71 conseqüentemente, aumentar o seu envolvimento em aulas. Eles permitem uma linguagem
72 adequada ao aprendizado, capaz de facilitar e racionalizar o pensamento do aprendiz, de forma
73 a substituir uma visão ingênua da realidade por uma postura mais crítica e abrangente
74 (BASSANEZI, 2015). No caso de áreas que envolvem projeto e criação, eles facilitam o
75 entendimento do processo de concepção, permitem que o discente transfira suas ideias para a
76 realidade e que aprenda sobre as fraquezas e virtudes de seus projetos, vivenciando o ciclo
77 interativo do processo de design (HULEIHIL, 2017; NOVAK e WISDOM, 2018).

78 No atual contexto de rápidas mudanças e evoluções tecnológicas, o papel dos diferentes
79 profissionais envolvidos na indústria da construção civil está sendo modificado. Novos nichos
80 de atuação vêm surgindo especificamente para emprego das novas tecnologias, uma vez que a
81 maneira de se projetar e chegar ao produto final é alterada (PUPO, 2008; MARTINS e PEREIRA
82 FILHO, 2019). E ao mesmo tempo que as tecnologias AM se apresentam com rápido
83 crescimento e potencial disruptivo, elas exigem programas educacionais que forneçam os seus
84 princípios fundamentais e igualmente permitam aos designers, arquitetos e engenheiros
85 descobrir suas capacidades (GO e HART, 2016).

86 Dentro deste contexto, destacam-se dois movimentos ocorridos. O primeiro, foi o de discussões
87 a respeito dos currículos de Engenharia Civil (EC) e Arquitetura e Urbanismo (AU) das
88 universidades brasileiras, que culminou na reformulação das Diretrizes Curriculares Nacionais
89 (DCNs) de Engenharia em 2019 e na elaboração da proposta de alteração das de Arquitetura e
90 Urbanismo (ainda não aprovadas pelo Ministério da Educação). Em ambas propostas, há
91 destaque sobre a inclusão das tecnologias digitais na formação desses profissionais, além de
92 programas curriculares mais próximos do mercado e centrados nos alunos, entretanto, não é

93 apresentado um claro direcionamento de como se inserir tais questões nos currículos
94 acadêmicos.

95 O segundo, foi a criação em 2012 do Curso Bacharelado em Expressão Gráfica (CEGRAF), na
96 Universidade Federal do Paraná (UFPR), justamente a partir da percepção da necessidade de
97 profissionais generalistas aprofundados nas novas tecnologias digitais e com potencial de
98 inclusão no ecossistema da AEC. Como hipótese, acredita-se que este curso e seus futuros
99 profissionais podem colaborar para que ocorra uma efetiva inclusão das tecnologias digitais
100 nos cursos de AU e EC, através do ensino interdisciplinar, colaborativo e ativo.

101 Pensando em contribuir com novas abordagens de ensino-aprendizagem para cursos da área
102 de AEC este trabalho tem três objetivos: 1) pontuar as recentes alterações das DCNs dos cursos
103 de Arquitetura e Engenharia Civil que possuem foco na implementação das tecnologias digitais
104 e metodologias ativas de ensino; 2) apresentar a complementaridade latente que existe no
105 recente Curso de Expressão Gráfica da UXXX, no que tange a adoção de tecnologias digitais para
106 a AEC; e 3) apresentar uma experiência de integração dos cursos de Arquitetura e Expressão
107 Gráfica durante a graduação com foco no desenvolvimento integrado de projetos utilizando a
108 Fabricação Digital (mais especificamente a Manufatura Aditiva) como ferramenta de estímulo
109 à aprendizagem, colaboração entre alunos, e facilitação do processo de ensino-aprendizagem.

110 DCNS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA E URBANISMO

111 Com as constatações de uma formação de engenheiros pouco focada no ambiente de trabalho
112 e desvinculada com as expectativas de uma indústria posicionada dentro da 4ª Revolução
113 Industrial, a Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), movimento de grandes empresas
114 no Brasil coordenado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) criado em 2008, em
115 sintonia com a agenda de tendências internacionais, adotou a bandeira da luta pela melhoria
116 do ensino de engenharia nas escolas.

117 Segundo Kern et al. (2019), em 2009 é lançado um manifesto intitulado “Inovação: A
118 construção do futuro” que traz os pilares do movimento que apontam a importância da
119 mobilização do sistema empresarial/industrial articulado com o governo. Dentro dos objetivos
120 elencados a educação recebeu atenção especial, e o aprimoramento do modelo educacional,
121 para criar uma cultura inovadora e empreendedora, foi apontado como fundamental, uma vez
122 que é percebida uma baixa qualidade de ensino ofertado e um perfil inadequado dos egressos.

123 Do trabalho da MEI em conjunto com a ABENGE (Associação Brasileira de Educação em
124 Engenharia), em 2019 é aprovada a reformulação das DCNs de Engenharia (BRASIL, 2019b)
125 que haviam entrado em vigor em 2002, após aprovada a Lei de Diretrizes e Bases da Educação
126 Nacional em 1996. As novas DCNs propõem uma nova organização institucional do currículo
127 estimulado a diversidade das formas de aprendizado, extrapolação da sala de aula tradicional,
128 interação do ensino com a pesquisa e a extensão como formas de aprendizado, e a busca por
129 metodologias ativas de ensino (OLIVEIRA, 2019). Além disso, as novas DCNs consideram e
130 priorizam um novo processo de capacitação e qualificação do docente, dando importância a
131 experiência profissional não acadêmica a fim de favorecer a interação com os ambientes
132 profissionais.

133 As diversas flexibilidades propostas reorganizam as atividades acadêmicas
134 e estimulam as instituições a inovarem seus cursos a partir de atividades
135 práticas, da interação entre estudantes, de estímulos de atividades de
136 leitura, pesquisa, extensão e produção intelectual por meio de monografias
137 e artigos, e especialmente por um novo ordenamento do aprendizado na
138 relação discente com os docentes (OLIVEIRA, 2019, p.5).

139 As atuais DCNs para Engenharia buscam criar um ambiente nos cursos de graduação que
140 permita os estudantes saírem mais preparados para empreender dentro ou fora das empresas
141 e com maior potencial de desenvolverem seus talentos, competências e habilidades (KERN et
142 al., 2019). Para isso, algumas estratégias sugeridas são: criar currículos flexíveis e centrados
143 no aluno; dar ênfase no desenvolvimento de competências esperadas dos egressos; incentivar
144 à adoção de metodologias ativas de aprendizagem (conhecimento aplicado); proporcionar a
145 colaboração entre universidade-empresa (aproximação dos cursos com o mercado);
146 desenvolver programas multidisciplinares; e combinar atividades em sala de aula e a distância
147 (BRASIL, 2019b).

148 As novas DCNs podem induzir um movimento de modernização dos
149 currículos de Engenharia, com maior incentivo ao desenvolvimento da
150 cultura *maker* nas universidades, da oferta de cursos mais atrativos aos
151 alunos e alinhados às necessidades da sociedade e do mercado,
152 contribuindo, consequentemente, para a redução das taxas de evasão
153 (KERN et al., 2019, p.41).

154 O caminho trilhado na área de Arquitetura e Urbanismo foi semelhante. A Resolução CNE/CES
155 nº6/2006 (BRASIL, 2006) estabeleceu as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de
156 Arquitetura e Urbanismo e foram alteradas pela Resolução CNE/CES nº2/2010 (BRASIL,
157 2010). Em 2013, novamente iniciaram discussões sobre a reformulação dessas DCNs em
158 reuniões organizadas pela Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (ABEA)
159 e, posteriormente, após 2018, nas Comissões de Ensino e Formação do Conselho de
160 Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR). Em 2019, foi elaborada uma nova proposta de
161 DCNs do curso de graduação em AU, a partir das discussões realizadas em dois eventos
162 científicos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro: XXXVII Encontro Nacional sobre o Ensino de
163 Arquitetura e Urbanismo e o XX Congresso Nacional da Associação Brasileira de Ensino de
164 Arquitetura e Urbanismo (ABEA, 2019). Entretanto, ainda não vigoram no país.

165 Assim como nas novas DCNs dos cursos de Engenharia, algumas das principais alterações
166 propostas no CONABEA para as DCNs de Arquitetura e Urbanismo buscam chamar a atenção
167 para:

- 168 ▪ O uso de metodologias ativas de ensino, com participação ativa do aluno no processo
169 de construção do conhecimento (art. 30º, inciso I);
- 170 ▪ Diversificação dos ambientes de ensino e aprendizagem, para que os alunos tenham a
171 experiência profissional do mercado de trabalho e práticas interprofissionais
172 colaborativas (art. 30º, inciso V);
- 173 ▪ E a possibilidade de flexibilização curricular, que permita explorar a busca por
174 inovação inerente a área da AEC (art. 30º, inciso VI), (ABEA, 2019).

175 Além disso, é citado como importante o incentivo à formação continuada dos alunos e também
176 dos docentes, para que sempre estejam atualizados para atendimento de novas demandas e
177 novas possibilidades do campo profissional da Arquitetura.

178 Cabe salientar que entende-se o conceito de Indústria 4.0 como a atual abordagem de
179 mudanças nos processos de produção e de modelos de negócios que emprega alto grau de
180 tecnologia na cadeia produtiva em busca de aumento de produtividade e competitividade, e
181 gera novos valores e serviços para clientes e organizações (SANTOS et al., 2018). Para tanto
182 tecnologias como internet das coisas (IoT), inteligência artificial, fabricação digital, manufatura
183 aditiva, *big data*, computação em nuvem, entre outras, são fundamentais.

184 Na proposta do CONABEA, pela primeira vez cita-se como conteúdo curricular obrigatório os
185 “Processos e Ferramentas de Modelagem Digital e Física” e a obrigatoriedade de ao menos um

186 laboratório de modelagem e fabricação digital nos cursos de graduação, mostrando a
187 importância percebida das novas tecnologias difundidas como conceitos fundamentais para a
188 Indústria 4.0 e para a atividade de Arquitetura e Urbanismo. Isso se reflete nas competências
189 e habilidades que se pretende desenvolver nos egressos dos Cursos de AU. Pela primeira vez
190 destaca-se a experimentação e fabricação aplicada à arquitetura:

191 Art. 11º. O curso deverá estabelecer ações pedagógicas visando ao
192 desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, competências e atitudes
193 com responsabilidade técnica, artística e social que compreendam, pelo
194 menos:...

195 V. o domínio dos instrumentais de informática para tratamento e
196 modelagem da informação e paramétrica para a concepção, a expressão, a
197 representação, a experimentação e a fabricação aplicadas à arquitetura, ao
198 urbanismo e à arquitetura da paisagem (ABEA, 2019, p. 21).

199 Destaca-se desta forma, que assim como visto para a Engenharia, a formação em Arquitetura e
200 Urbanismo também deve se reformular com foco no ensino mais aproximado da prática
201 profissional, na colaboração, em metodologias ativas de ensino, e na formação tecnológica.

202 Com base nessas informações, destaca-se a necessidade da incorporação das tecnologias
203 digitais na capacitação dos alunos de Arquitetura e Engenharia, para que possam no futuro
204 avançarem na incorporação de tecnologia no setor da AEC. Entretanto, acredita-se que o
205 objetivo para esses profissionais seja o entendimento das potencialidades e princípios dessas
206 tecnologias para tirarem proveito, mas não desviar o foco das atividades e atribuições
207 específicas de suas profissões.

208 Dessa forma, este trabalho busca colaborar com a discussão apresentando o grande potencial
209 de um novo profissional capaz de se inserir em grupos multidisciplinares da AEC e auxiliar,
210 arquitetos e engenheiros, na adoção dessas tecnologias, além de apresentar possibilidades de
211 como compreender essas tecnologias digitais durante o processo de formação acadêmica mais
212 próximo da prática profissional.

213 O PROFISSIONAL DE EXPRESSÃO GRÁFICA

214 Em 2012, foi criado na Universidade Federal do Paraná o Curso de Bacharelado em Expressão
215 Gráfica (CEGRAF). A motivação para sua criação veio por meio da identificação, dentro da
216 indústria de desenvolvimento de projetos, da falta de comunicação e entendimento entre os
217 profissionais envolvidos no processo. A carência de conhecimentos técnicos e de troca de
218 informação entre os diferentes profissionais causava atrasos e conseqüentemente prejuízos
219 financeiros aos projetos (DEGRAF, 2017).

220 Não há DCN específica para a Expressão Gráfica. Ainda que existam outros cursos com o mesmo
221 nome, o CEGRAF atualmente é único no país por se tratar de um bacharelado, enquanto os
222 demais são licenciaturas. Seu objetivo é “formar profissionais que trabalhem no
223 desenvolvimento de projetos gráficos digitais e que atuem no intervalo de funções existentes
224 entre a criação e a produção e participem de equipes multidisciplinares” (SOUZA e COSTA,
225 2013, p.3), nas áreas de arquitetura, engenharia e produtos industriais, baseando-se nos
226 conceitos de projeto digital e na prototipagem. Uma formação abrangente é um requisito para
227 esse profissional, a fim dele poder compreender elementos de várias áreas e poder se
228 comunicar com diferentes profissionais, colaborando em processos de desenvolvimento de
229 projetos.

230 Após a formatura das primeiras turmas do curso, em 2017 iniciou-se um processo de revisão
 231 do currículo ao se detectar a necessidade de mudanças e adaptações do perfil profissional do
 232 egresso. Foi percebido que os alunos foram bem recebidos pelo mercado em estágios na área
 233 de modelagem e maquetes digitais, compatibilização de projetos através de tecnologias digitais
 234 e produção de produtos através de processos de fabricação digital. Adicionalmente, a evolução
 235 das tendências de mercado de trabalho com novas tecnologias reforçaram a necessidade de
 236 inclusão de novos conteúdos na grade curricular alinhados com os princípios de Economia
 237 Criativa e Movimento *Maker* (DEGRAF, 2018).

238 Em 2018, com Classificação Internacional Normalizada da Educação (CINE) realizada pelo
 239 Ministério da Educação (MEC), houve a aproximação do CEGRAF ao rótulo de Design. Nesse
 240 sentido, houve a necessidade de adaptar a proposta curricular às DCNs para Cursos de Design.
 241 Entretanto, para não se perder as características únicas já observadas desde o início do
 242 bacharelado, se estabeleceu o foco da formação do profissional egresso do curso de Expressão
 243 Gráfica nas áreas de: projeto de produto e de mobiliário, modelagem e fabricação digital,
 244 representação digital em interface de projetos nas áreas de Arquitetura e Engenharia.

245 As disciplinas do curso são divididas em cinco áreas (**Figura 1**). A área Básica concentra
 246 disciplinas sobre desenho geométrico, técnico e geometria descritiva. A área de Linguagem
 247 Gráfica abrange conceitos de representação gráfica, composição, e conceitos principais de
 248 modelagem digital e animação. A área de Fundamentos de Projeto introduz conceitos das áreas
 249 de arquitetura, design, história da arte, e processos de fabricação. A área de Arquitetura possui
 250 disciplinas sobre desenho arquitetônico, BIM, prototipagem, ambiente construído e projeto de
 251 mobiliário. E, finalmente, a área de Projeto de Produto exercita o desenvolvimento de produtos
 252 utilizando modelagem mecânica, modelagem 3D para design e fabricação digital.

Figura 1 – Matriz curricular do curso de Expressão Gráfica da UFPR.

Fonte: DEGRAF, 2018

1º PERÍODO CH 300 - CHS 20	2º PERÍODO CH 330 - CHS 22	3º PERÍODO CH 330 - CHS 22	4º PERÍODO CH 330 - CHS 22	5º PERÍODO CH 270 - CHS 18	6º PERÍODO CH 315 - CHS 21	7º PERÍODO CH 150 - CHS 10	8º PERÍODO CH 165 - CHS 11
CEG302 DESENHO GEOMÉTRICO I CH 60 - CHS 4	CEG304 MATEMÁTICA APLICADA A EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG305 FUNDAMENTOS DA PROGRAMAÇÃO APLICADOS A EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG314 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG315 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO III CH 45 - CHS 3	CEG312 TRATAMENTO E EDIÇÃO DE IMAGEM CH 45 - CHS 3	CEG336 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I CH 60 - CHS 4	CEG337 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II CH 120 - CHS 8
CEG303 GEOMETRIA DESCRITIVA I CH 60 - CHS 4	CEG306 DESENHO TÉCNICO E CAD CH 60 - CHS 4	CEG311 FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO VISUAL CH 45 - CHS 3	CEG319 ERGONOMIA CH 60 - CHS 4	CEG324 PROTOTIPAGEM I CH 60 - CHS 4	CEG327 PROJETO DE MOVES II CH 45 - CHS 3	OPTATIVA I	OPTATIVA III
CEG301 INTRODUÇÃO A EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG308 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA II CH 60 - CHS 4	CEG313 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO I CH 45 - CHS 3	CEG321 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG326 PROJETO DE MOVES I CH 45 - CHS 3	CEG323 AMBIENTE CONSTRUÍDO CH 60 - CHS 4	OPTATIVA II	
CEG307 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA I CH 60 - CHS 4	CEG310 COMPOSIÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG320 TECNOLOGIA DOS MATERIAIS CH 60 - CHS 4	CEG325 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO E DA CONSTRUÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG330 PROJETO DE PRODUTO I CH 60 - CHS 4	CEG331 PROJETO DE PRODUTO II CH 60 - CHS 4		
CEG309 COMPOSIÇÃO I CH 60 - CHS 4	CEG316 HISTÓRIA DAS ARTES VISUAIS CH 60 - CHS 4	CEG318 INTRODUÇÃO AO DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG328 MODELAGEM MECÂNICA I CH 45 - CHS 3	CEG333 MODELAGEM 3D EM DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG334 FABRICAÇÃO DIGITAL CH 45 - CHS 3		
	CEG317 INTRODUÇÃO A ARQUITETURA CH 45 - CHS 3	CEG322 DESENHO ARQUITETÔNICO I CH 60 - CHS 4	CEG332 PROTOTIPAGEM I CH 60 - CHS 4		CEG335 SEMINÁRIO DE EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4		
BÁSICA	LINGUAGEM GRÁFICA	FUNDAMENTOS DE PROJETO	ARQUITETURA	PROJETO DE PRODUTO	TCC		

CH DISCIPLINAS OBRIGATORIAS: 2055H
 CH DISCIPLINAS OPTATIVAS: 135H
 ATIVIDADES FORMATIVAS: 240H
 CH TOTAL: 2430H

253

254 Com o conhecimento em tecnologias digitais (como modelagem digital, BIM, captura e
 255 digitalização tridimensional, fabricação e prototipagem digital, realidade virtual e aumentada,
 256 entre outras), e embasamento teórico em conceitos de geometria plana e espacial, arquitetura,
 257 design e engenharia, esse novo profissional se apresenta ao mercado com potencial para se
 258 inserir em projetos colaborativos com outros profissionais das áreas de Arquitetura,
 259 Engenharia, Artes e Design.

260 Com base nessas observações, acredita-se que o curso de Expressão Gráfica exercita
261 satisfatoriamente em seus alunos competências relacionadas as tecnologias de modelagem e
262 prototipagem digital. Incluir esses alunos no ecossistema e no processo de capacitação dos
263 profissionais da AEC pode permitir o ensino colaborativo entre os pares (alunos) e
264 complementar a formação dos alunos de Arquitetura e Engenharia.

265 Isto pois os cursos de AU e EC ainda possuem dificuldades de integrar as tecnologias digitais
266 em seus currículos, carecendo de infraestrutura, capacitação dos docentes, e reformulação de
267 seus currículos, enquanto o curso de EG já se apresenta mais bem preparado para tanto.

268 EXPERIÊNCIA EDUCACIONAL COLABORATIVA

269 MÉTODO DE PESQUISA

270 Este trabalho faz parte da tese de doutorado em desenvolvimento intitulada “MANUFATURA
271 ADITIVA NA INTEGRAÇÃO DE ESTUDANTES DE AEC DURANTE A GRADUAÇÃO” que tem o
272 objetivo de apresentar um método de integração entre os cursos de Arquitetura, Engenharia
273 Civil e Expressão Gráfica, utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta pedagógica para
274 colaboração entre estudantes e, conseqüentemente, de apoio ao processo de ensino-
275 aprendizagem dessa área.

276 Tal pesquisa utiliza uma abordagem de *Design Science Research* (DSR) para a construção deste
277 método (artefato). Seguindo as etapas de desenvolvimento de uma DSR¹ sugeridas por Lacerda
278 et al. (2013), a experiência apresentada neste artigo é resultado da etapa de “sugestão” que
279 precede a elaboração efetiva do artefato, que, por sua vez, foi realizada por meio de outro
280 método de pesquisa que apoia a abordagem principal DSR: a Pesquisa-ação.

281 A Pesquisa-ação possui base empírica, na qual pressupõem uma associação com uma ação para
282 resolução ou explicação de um problema, em um determinado contexto, em que participantes
283 e pesquisadores estão envolvidos (THIOLLENT, 1985 *apud* GIL, 2002; DRESCH *et al.*, 2015).
284 Assim como o estudo de caso, esse tipo de pesquisa tem um cunho exploratório, descritivo e
285 explicativo, porém, na pesquisa-ação o pesquisador deixa de ser apenas um observador para
286 ter uma participação ativa na investigação (DRESCH *et al.*, 2015). Como um dos autores deste
287 trabalho foi um dos professores ministrantes, atuou-se como agente participativo nas
288 observações e análise do processo.

289 Além disso, o projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa XXX em 30 de
290 junho de 2021 e recebeu o CAAE número XXXX.

291 PLANEJAMENTO DA DISCIPLINA

292 Fernandes e Simoes (2016) afirmam haver, majoritariamente, dois tipos de método de ensino.
293 O direto, centrado no professor e baseando-se principalmente na exposição de conteúdo
294 didático, e o indireto, que é centrado no aluno, no qual ele adquire habilidades e conhecimento
295 construindo seu próprio aprendizado pelo desenvolvimento ativo de competências. Pelas
296 observações realizadas das novas DCNs de AU e EC, pode-se afirmar que a nova geração de
297 profissionais necessita cada vez mais de uma formação indireta, na qual construam seu
298 conhecimento e desenvolvam o pensamento crítico e habilidades como a de resolução de
299 problemas.

¹ Cinco etapas principais de uma DSR: Conscientização, sugestão, desenvolvimento do artefato, avaliação e conclusão.

300 As bases metodológicas desta experiência educacional se assentam no “Construtivismo” que
301 preconiza que o conhecimento se constrói pela interação do indivíduo com o meio físico e
302 social, e que considera o aprendizado como um processo ativo no qual os alunos aprendem
303 fazendo (*learning by doing*), constroem novas ideias baseadas em seus conhecimentos prévios,
304 criam hipóteses e tomam decisões (BECKER, 1993; CORBACHO et al., 2021).

305 Metodologias de ensino ativas são adequadas para esse tipo de formação. A abordagem PBL
306 (*project-based learning*), também conhecida em português como “aprendizagem centrada em
307 projetos”, é uma estratégia educacional focada no aluno que envolve atividades de ensino-
308 aprendizagem interdisciplinares, a partir de um ambiente de aprendizado ativo e colaborativo,
309 no qual estudantes são tutorados por professores qualificados e ganham conhecimento
310 profundo através de respostas a questões do mundo real, problemas e desafios. Dessa maneira
311 os discentes se tornam gerentes do seu processo de aprendizagem. A PBL encoraja o
312 desenvolvimento da habilidade de comunicação, coleta de dados, sintetização de informação e
313 gerenciamento de tempo, preparando os discentes para suas futuras carreiras (STERN et al.,
314 2019). Através de sua prática, a sala de aula torna-se um espaço aberto para receber ideias,
315 saberes, linguagens e realidades, estimulando conversações e gerando vínculos. A abordagem
316 de problemas permite aos alunos um crescimento individual e coletivo em sua experiência de
317 aprendizagem, através da construção de significados que geram reflexões e dão sentido às suas
318 experiências (CARBONELL, 2016).

319 Isto somado a busca de aproximação da formação em AEC com a prática profissional e
320 colaboração entre alunos com expertises complementares, resultou em uma experiência
321 educacional realizada com alunos dos cursos de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo (AU)
322 e Bacharelado em Expressão Gráfica (EG), ambos da Universidade Federal do Paraná. Ainda
323 que nessa oportunidade não se teve a possibilidade de incluir alunos de Engenharia Civil, cabe
324 salientar que o método utilizado foi concebido de forma que também pudessem participar em
325 novas rodadas que serão realizadas.

326 Através de uma abordagem PBL, realizou-se uma disciplina optativa semestral de 15 semanas,
327 na qual abordou-se conteúdos de estruturas arquitetônicas e manufatura aditiva, com o intuito
328 de desenvolvimento de modelos didáticos estruturais. Além da integração de alunos não
329 acostumados a trabalharem juntos, tal experiência trata-se de uma possibilidade de como
330 incorporar os conceitos de AM no currículo dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e
331 Engenharia Civil, e de como integrar alunos de outros cursos, como de Expressão Gráfica e
332 possivelmente de Design, no ensino de AEC.

333 O Curso de Arquitetura e Urbanismo (CAU) da UFPR pode ser considerado como tradicional e
334 consolidado, tendo passado quase 60 anos de sua criação. Os discentes são acostumados a
335 trabalhar em disciplinas práticas e de atelier, explorando conceitos da arquitetura, design e
336 engenharia. Entretanto, tratando-se de tecnologias de fabricação digital o curso carece de
337 infraestrutura. Possui apenas uma máquina de corte a laser e recentemente foi adquirida uma
338 impressora 3D ainda pouco utilizada. Já o Curso de Expressão Gráfica, apesar de recente, possui
339 boa infraestrutura tecnológica e disponibiliza em seu laboratório de modelagem e
340 prototipagem mais de dez impressoras 3D que são altamente requisitadas.

341 Pode-se afirmar que é possível integrar nos currículos o ensino sobre manufatura aditiva e o
342 desenvolvimento de habilidades em impressão 3D de duas formas: ativa e passiva (FORD e
343 MINSHALL, 2019). A integração ativa envolve a criação de cursos e projetos que tem o foco
344 explícito em ensinar manufatura aditiva. Já a integração passiva envolve o uso da AM como
345 ferramenta de apoio para o ensino de outros conteúdos. Nesta abordagem utilizou-se o ensino
346 de AM de forma passiva para os alunos de AU, enquanto para os alunos de EG, a maneira
347 abordada foi a ativa. Acredita-se fazer sentido utilizar esse tipo de abordagem para a
348 Arquitetura e Engenharia Civil, uma vez que o objetivo principal da capacitação desses

349 profissionais não é a operação de equipamentos de fabricação digital, e sim capacitar
350 profissionais que entendam a tecnologia, saibam como tirar proveito dela para solucionar
351 problemas e estejam aptos a trabalharem em equipes multidisciplinares. A formação sobre este
352 assunto é mais aprofundada para o segundo grupo (EG), uma vez que eles devem estar aptos a
353 colaborar em grupos multidisciplinares justamente dando suporte na utilização de tais
354 tecnologias.

355 Essa pesquisa não visa encerrar a discussão de como implantar essa tecnologia nos cursos de
356 AEC, mas sim, busca apresentar possibilidades de como fazê-lo. Nesta experiência criou-se uma
357 disciplina em comum que explorou o aprendizado interdisciplinar utilizando a abordagem
358 pedagógica PBL. Para isso, fez-se necessário, inicialmente, identificar um “objeto em comum”
359 que pudesse ser explorado pelos diferentes cursos, como Arquitetura e Urbanismo, Engenharia
360 Civil e Expressão Gráfica, para que utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta
361 educacional e fator de integração e estímulo, os alunos desenvolvam suas habilidades de
362 comunicação, colaboração, resolução de problemas, alfabetização tecnológica e autonomia,
363 além do conhecimento técnico necessário para suas profissões.

364 Dentre os vários temas possíveis de se utilizar (a citar entre um vasto universo: BIM, geometria
365 e construção modular), conclui-se que “Sistemas Estruturais” seria um tema mais comum aos
366 cursos e viável, principalmente pelo fato de não haver pré-requisitos para a participação dos
367 alunos.

368 Segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), a importância e necessidade do ensino da teoria do tema
369 nos cursos de Engenharia Civil é pacífico, porém o foco é bastante tecnicista fixando-se em
370 atividades de cálculo e análise de dimensionamento estrutural. Os alunos de engenharia
371 acabam tendo dificuldades na etapa anterior, que seria de concepção estrutural e
372 estabelecimento do arranjo estrutural e que requer habilidades intuitivas e criativas.

373 Por outro lado, os autores afirmam que “o ensino de estruturas parece continuar deficiente nos
374 cursos de Arquitetura” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184), ainda que seja tema de
375 recorrentes pesquisas, publicações, e inclusive eventos específicos para tal, como é o caso do
376 ENEEEA – Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura.

377 De toda forma, é inegável que a concepção estrutural é etapa fundamental da concepção
378 arquitetônica. Sem a estrutura “a forma não pode ser preservada e assim o organismo funcional
379 arquitetural ficará comprometido, ou sequer existirá” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184).
380 Por isso, o aluno de Arquitetura necessita de domínio sobre o uso e funcionamento dos
381 sistemas estruturais.

382 Ainda que tal tema não seja tópico específico abordado no Curso de Expressão Gráfica, ele
383 permite diversas abordagens que envolvam conhecimentos relativos à essa área do
384 conhecimento, tanto do ponto de vista de representação, como do ponto de vista técnico
385 respectivo à cálculo.

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

392 OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISCIPLINA

393 Para a realização dessa experiência, foram unidas duas disciplinas optativas específicas de cada
394 curso em uma disciplina em comum na prática. Aos alunos de Expressão Gráfica, foi oferecida

395 a CEG247 – Tópicos Especiais em Prototipagem I, uma disciplina de 60 horas semestrais com
396 objetivo de desenvolver a capacidade de planejamento de projeto do profissional e sua
397 habilidade em trabalhar de maneira colaborativa, além de focar em noções básicas de
398 utilização dos equipamentos de prototipagem rápida. Aos de Arquitetura e Urbanismo, foi
399 oferecida a chamada TA159 - Tópicos Especiais em Tecnologia I: Modelos Estruturais, uma
400 disciplina de 30 horas semestrais com o objetivo geral de possibilitar ao discente o estudo de
401 diferentes tipologias de estruturas através do desenvolvimento de modelos estruturais físicos,
402 visando a compreensão do seu comportamento estrutural e da relação entre a concepção
403 estrutural, a concepção arquitetônica e a dimensão construtiva propriamente dita.

404 Para a disciplina CEG247, não era exigido pré-requisito aos alunos de EG. Ao total, 11 alunos
405 cursaram-na integralmente, sendo que 10 eram alunos do último ano do curso. Dessa forma,
406 pressupôs-se que a maioria já tinha conhecimentos sobre modelagem 3D virtual, base para
407 qualquer desenvolvimento com impressão 3D. Para a disciplina TA159, também não foi exigido
408 pré-requisito aos alunos de Arquitetura e Urbanismo, mas coincidentemente todos os inscritos
409 já haviam cursado as disciplinas básicas de Sistemas Estruturais. Ao total, 6 alunos cursaram
410 integralmente a disciplina.

411 A disciplina prática em comum entre os dois cursos foi proposta com seguintes objetivos
412 gerais:

- 413 ▪ Apresentar aos discentes fundamentos, potencialidades e limitações de técnicas da
414 AM.
- 415 ▪ Capacitar os discentes a utilizar impressoras 3D como ferramentas para validação de
416 propostas de projetos.
- 417 ▪ Promover trabalho colaborativo e interdisciplinar entre discentes dos dois cursos,
418 visando o uso complementar de seus conhecimentos, para o desenvolvimento de
419 modelos didáticos úteis para a área de estruturas arquitetônicas. Os alunos de
420 Arquitetura e Urbanismo, supostamente seriam conhecedores de princípios de
421 funcionamento dos elementos estruturais quando sujeitos a carregamentos e
422 poderiam explicar aos alunos de Expressão Gráfica as necessidades de elementos,
423 articulações, movimentos e deformabilidade dos seus modelos. Por outro lado, os
424 alunos de EG supostamente seriam conhecedores de possibilidades e limitações dos
425 equipamentos de prototipagem rápida e poderiam, assim, materializar os fenômenos
426 estruturais em modelos duradouros e didáticos.
- 427 ▪ Difundir o uso da AM como técnica de prototipagem útil para o processo de concepção
428 de estruturas arquitetônicas.
- 429 ▪ Criar modelos didáticos e duradouros para o curso de Arquitetura e Urbanismo,
430 visando o seu uso posterior em aulas sobre sistemas estruturais.

431 Os objetivos específicos da disciplina visaram oferecer aos discentes:

- 432 ▪ Capacitação para identificar materiais e escalas apropriados para a construção de
433 modelos estruturais didáticos;
- 434 ▪ Experimentação sensorial de fenômenos estruturais;
- 435 ▪ Identificação de relações entre a concepção arquitetônica e o comportamento de
436 sistemas estruturais.

437 Para atingir os objetivos propostos, a disciplina mesclou aulas teóricas com aulas de
438 laboratório onde os discentes desenvolveram trabalhos práticos, nos quais eram incentivados
439 a unir o arcabouço teórico com a utilização prática de equipamentos, softwares e criatividade
440 para desenvolver modelos físicos tridimensionais.

441 Como as disciplinas possuíam cargas horárias diferentes entre os cursos envolvidos, o
442 cronograma semestral foi diferente para cada turma (**Quadro 1**). Para os alunos de EG, as aulas

443 foram organizadas em quatro horas semanais, com duas horas iniciais destinadas ao estudo de
444 conteúdo específico sobre Manufatura Aditiva (princípios básicos de Prototipagem Rápida,
445 noções básicas de modelagem voltada para impressão 3D e processos de impressão 3D). Nas
446 duas horas finais, os alunos de AU se uniam aos demais para a troca de informações sobre
447 noções básicas de elementos e sistemas estruturais arquitetônicos e para o desenvolvimento
448 de trabalhos em equipes constituídas por discentes de ambos os cursos.

Semana	AULA 1 e 2 - 13:30h - 15:10h ALUNOS EG	AULA 3 e 4 - 15:30h – 17:10h ALUNOS EG + AU
1	Introdução: Prototipagem e Fabricação Digital	Introdução aos modelos estruturais na Arquitetura
2	Métodos de fabricação digital: Subtração	Apresentação do Kit Mola como referência de modelos estruturais
3	Métodos de fabricação digital: Adição	Proposição Trabalho 1 em grupo: modelo didático sobre momento de inércia
4	Seminário Manufatura Aditiva	Desenvolvimento dos trabalhos sobre momento de inércia
5	APRESENTAÇÃO TRABALHO 1	
6	Impressão 3D: Uso e dicas	Proposição Trabalho 2 em grupos: modelo didático sobre círculo trigonométrico.
7	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico (SEM AULA)	
8	Impressão 3D: Softwares para impressão	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
9	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
10	APRESENTAÇÃO TRABALHO 2	
11	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Proposição Trabalho 3 em grupos: Modelo didático sistemas estruturais
12	Estudos dos Anais do III ENEEEA	
13	Entrega Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais
14	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
15	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
16	APRESENTAÇÃO TRABALHO 3	

449 MANUFATURA ADITIVA

450 Como a disciplina optativa do curso de Expressão Gráfica possuía o dobro da carga-horária da
451 optativa do curso de Arquitetura, planejou-se conteúdo e atividades específicas ao aprendizado
452 e prática de Manufatura Aditiva para os alunos de EG. Entretanto, os alunos de AU foram
453 convidados a participar caso houvesse interesse e disponibilidade de horário.

454 Inicialmente, aulas expositivas abordaram conceitos principais sobre Prototipagem e
455 Fabricação Digital, a importância dos modelos físicos como ferramentas para dar tangibilidade
456 às ideias e a importância do desenvolvimento dos sistemas CAD e CAM para a concepção e
457 construção da arquitetura. Nesta etapa, a sensibilização principal pretendida era a de que, no
458 contexto atual da busca pela industrialização da construção civil, a concepção do projeto de
459 arquitetura deveria estar vinculada aos processos de fabricação digital, o que ainda é raro e há
460 um mercado a ser explorado. Sendo assim, o profissional de expressão gráfica poderia ter mais
461 oportunidades de inserção no mercado de trabalho.

462 Explanou-se sobre a categorização das técnicas de fabricação digital: adição, subtração e
463 conformação. Mais especificamente com relação aos processos de manufatura aditiva,
464 abordou-se através de seminários preparados pelos discentes as principais classificações de
465 impressão 3D: estereolitografia (SLA), modelagem por fusão e deposição (FDM), jateamento
466 de material (IJP), sinterização seletiva a laser (SLS) e *3 dimensional printing* (3DP). Para cada

467 processo discutiu-se conceitos, maquinário utilizado, mecanismo de operação do sistema,
468 materiais, processo de trabalho, vantagens e limitações dos métodos ou equipamentos e
469 exemplos de aplicação.

470 Na sequência, foram expostos conceitos importantes sobre impressão 3D, a serem observados
471 pelos discentes posteriormente durante o uso das impressoras disponíveis no laboratório,
472 destacando-se:

- 473 ▪ processo de fatiamento da geometria CAD e geração do código de comunicação com a
474 impressora (*Gcode*²);
- 475 ▪ espessura da camada de impressão que resulta nos chamados “degraus” (ou “*steps*”)
476 na superfície do objeto impresso e conseqüentemente maior ou menor resolução da
477 peça final;
- 478 ▪ preenchimento interno (“*infill*”) das peças a ser configurado no software de
479 fatiamento, considerando resistência da peça versus economia de material;
- 480 ▪ necessidade de suportes para regiões do modelo que não estão conectadas ao próprio
481 objeto ou à mesa de impressão, incluindo a análise da combinação entre geometria da
482 peça, orientação de sua impressão e modelagem voltada à impressão;
- 483 ▪ subdivisão do objeto em várias partes e estudo de tolerâncias na modelagem, visando
484 sua união para a constituição do objeto final através de encaixes ou colagens.

485 Os conceitos foram apresentados de forma a enfatizar a importância da avaliação da melhor
486 maneira de imprimir uma geometria, analisando-se qualidade de impressão, tempo e consumo
487 de material. Este conteúdo foi também disponibilizado *on-line* e pode ser acessado através do
488 link: <https://youtu.be/sPWBlcMFDCI>.

489 Os discentes também receberam orientação de como operar o software e a máquina de
490 impressão 3D. Para um aprendizado aplicado, propôs-se a eles o “desafio da engrenagem”, com
491 o intuito de se conceber a modelagem de ao menos duas peças que se encaixassem e que uma
492 movimentasse a outra. Apesar do objeto proposto ser aparentemente simples, o maior desafio
493 de projeto era que a sua impressão fosse única, ou seja, que as peças não necessitassem
494 nenhum encaixe ao final da impressão. Para essa atividade, os alunos foram organizados em
495 duplas ou trios, tiveram que conceber digitalmente suas ideias já pensando nas limitações dos
496 equipamentos disponíveis. Dessa forma, perceberam a importância da modelagem digital
497 focada à manufatura aditiva e puderam refletir sobre alguns aspectos de projeto, como: (1)
498 descobrir a tolerância entre as dimensões da modelagem e da peça prototipada para que seus
499 elementos não ficassem nem muito justos, nem muito soltos entre si, garantindo o
500 funcionamento pretendido; (2) planejar a geometria das peças com foco na orientação de
501 impressão para que não houvesse necessidade de suportes durante a impressão, o que poderia
502 inviabilizar a geração de um protótipo funcional, sem pós processamento ou montagem; (3)
503 planejar a geometria para que o conjunto não se desmontasse ao ser manuseado.

504 As soluções propostas foram bastante diferentes entre si e permitiram a absorção de conceitos
505 importantes pelos discentes. A equipe “A”, por exemplo, concebeu duas engrenagens envoltas
506 por uma peça que deveria manter o conjunto unido. Na sua primeira versão, o afastamento
507 entre as peças na modelagem virtual não foi suficiente para que as peças impressas se
508 movimentassem com facilidade e o pino que serviria para girar uma das peças ficou com
509 diâmetro muito reduzido, o que dificultava o manuseio. A segunda versão conseguiu corrigir
510 esses problemas e atendeu os objetivos da atividade (**Figura 2**).

² Linguagem de programação padronizada para ordenar máquinas do tipo CNC (Comando Numérico Computadorizado) executarem algo.

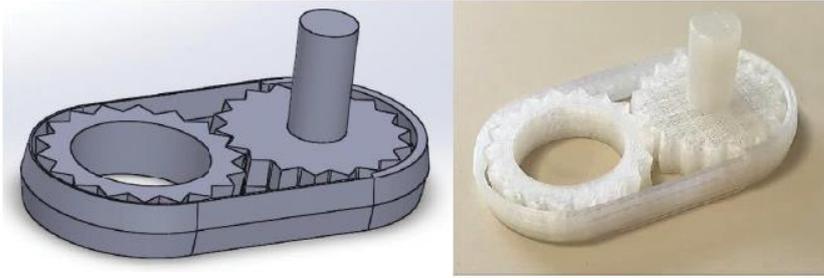


Figura 2. Proposta da equipe A para o “desafio da engrenagem”. À esquerda, a modelagem virtual; à direita, o protótipo realizado em impressora 3D FDM.

Fonte: Autores

511

512 A equipe “B” desenvolveu duas engrenagens redondas envoltas por um suporte externo, com
513 o design inspirado no formato de um coração. O prato superior da engrenagem foi modelado
514 de forma cônica, ou seja, com uma inclinação de 45° para que as peças não se desmontassem,
515 mas ao mesmo tempo não fosse necessária impressão de estruturas de suporte. O primeiro
516 protótipo impresso (**Figura 3**) foi modelado com medidas em centímetros e permitiu a
517 constatação de uma falha de unidades, uma vez que o software da impressora trabalha em
518 milímetros. Como resultado, o objeto ficou fora de escala, muito pequeno e com os
519 componentes grudados entre si. Correções no modelo virtual e redução de sua altura, visando
520 economia de material, resultaram em um segundo protótipo (**Figura 4**) que atingiu os
521 objetivos do desafio proposto.

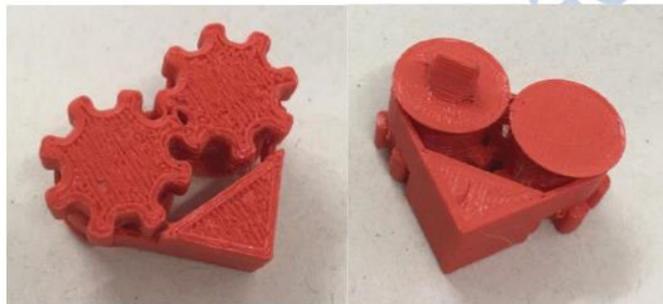


Figura 3. Primeiro protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.

Fonte: Autores

522

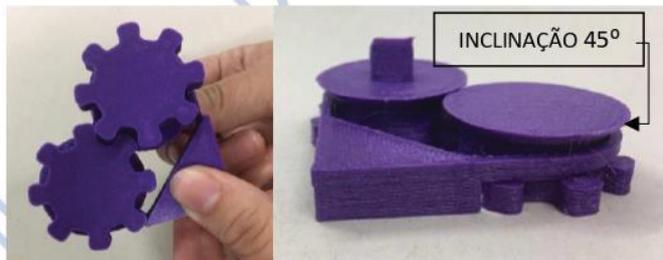


Figura 4. Segundo protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.

Fonte: Autores

523

524 ATIVIDADES COLABORATIVAS PROPOSTAS

525 Ao longo da disciplina, foram propostos três trabalhos práticos em conjunto entre os discentes
526 dos dois cursos, visando a experimentação aplicada dos conceitos de manufatura aditiva e
527 sistemas estruturais.

528 Modelo didático 1 – Momento de inércia

529 Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar a
530 conceituação de “momento de inércia”. A eficácia de elementos estruturais está diretamente
531 relacionada com a sua rigidez, a qual, por sua vez, depende diretamente da forma da sua seção
532 transversal. A rigidez é uma propriedade da peça, definida como a relação entre a tensão
533 aplicada e a sua deformação elástica. Ela pode ser avaliada a partir de uma característica
534 geométrica da seção transversal denominada de momento de inércia, cujo cálculo é

535 fundamental à análise estrutural. A rigidez está relacionada com a posição da peça em relação
536 à sua seção transversal e explica o fato de uma viga de seção retangular ser mais eficiente
537 quando sua maior dimensão fica na direção vertical.

538 A existência de modelos didáticos para explicar o momento de inércia é interessante porque
539 os alunos têm dificuldade de entender o seu conceito abstrato. Os modelos, sendo flexíveis,
540 permitem a comparação da deformação das peças sob diferentes solicitações e em diferentes
541 posições da sua seção transversal em relação aos seus eixos. Isso pode facilitar a compreensão
542 analítica do conceito.

543 Neste primeiro trabalho proposto o uso da manufatura aditiva ainda não foi um requisito, mas
544 deixou-se em aberto a escolha de técnicas e materiais para o desenvolvimento dos protótipos.
545 O objetivo pretendido era, primeiramente, a integração entre os alunos dos dois cursos e o
546 entendimento da importância dos modelos didáticos para exprimir conceitos por vezes
547 abstratos. O trabalho também visava explorar a capacidade dos discentes de AU em explicar o
548 fenômeno estudado aos alunos de EG, uma vez que estes não têm em seu currículo disciplinas
549 que envolvam conceitos estruturais.

550 As fotografias a seguir mostram alguns modelos didáticos desenvolvidos por alunos para o
551 assunto em questão. A **Figura 5** ilustra o modelo da equipe “A” com a proposta de representar
552 visualmente a deformação de vigas simplesmente apoiadas variadas em um gráfico, conforme
553 a sua posição e o carregamento a elas imposto.

Figura 5. Modelo didático desenvolvido por alunos que apresenta momento de inércia em vigas através da visualização gráfica da sua deformação.

Fonte: Autores



554

555 A **Figura 6** ilustra o modelo da equipe “B”, que permite fixar peças com diferentes seções
556 transversais por uma das suas extremidades, simulando o comportamento de vigas em
557 balanço, em um apoio capaz de aplicar um giro de 360 graus à peça. O modelo permite que a
558 peça fique fixada (engastada) em uma extremidade e livre na outra e possa ser rotacionada em
559 torno do seu eixo longitudinal central. À medida em que a seção transversal gira, sua
560 deformação aumenta ou diminui. Quando aumenta, significa que o momento de inércia
561 diminuiu, e vice-versa. A variação de deformação da peça permite que o aluno identifique as
562 posições dos eixos da seção transversal que apresentam maior resistência e assim, identificar
563 a posição mais apropriada para aplicação das peças em projetos arquitetônicos.

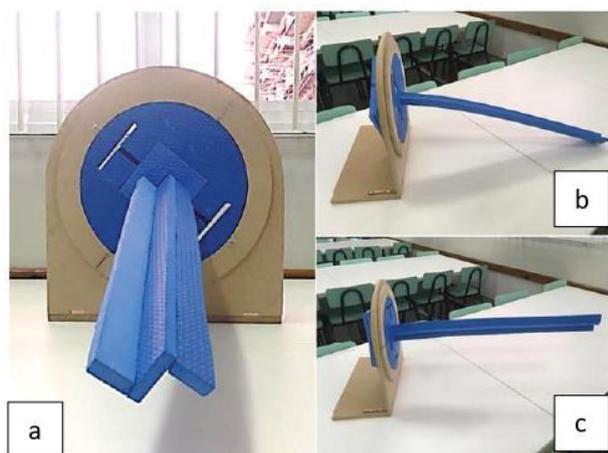


Figura 6. Modelo didático para o ensino de momento de inércia através da rotação da peça (a), mostrando respectivamente a peça em posição favorável à deformação (b) e em posição resistente à deformação (c).

Fonte: Autores

564

565 A **Figura 7** ilustra o modelo da equipe “C”, que buscou reproduzir o comportamento de pilares
566 perante a aplicação de esforços de compressão. Foram desenvolvidos diferentes tipos de peças,
567 mostrando seções transversais mais ou menos resistentes e provando que pilares com
568 momento de inércia mais baixo se deformam mais do que aqueles com momento de inércia
569 mais elevado. A equipe se preocupou em desenvolver todas as peças com a mesma área de
570 seção transversal, de forma a obter uma comparação real entre a efetividade das seções. Como
571 em situações reais de projeto de estruturas procura-se conceber peças o mais rígidas possível,
572 por questões de segurança e economia, o modelo permite uma conclusão bastante objetiva
573 sobre seções mais coerentes para a aplicação em pilares.



Figura 7. Modelo didático para o estudo de momento de inércia em pilares sujeitos ao esforço de compressão simples, o qual é aplicado no centro geométrico da seção do pilar para visualização da direção de menor resistência da peça.

Fonte: Autores

574

575 Modelo didático 2 – Círculo trigonométrico

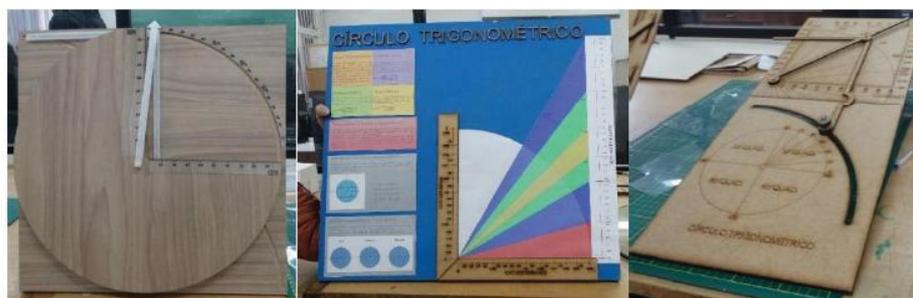
576 Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar e se
577 ensinar o comportamento do círculo trigonométrico. A análise gráfica do círculo
578 trigonométrico é bastante representativa no ensino de geometria plana. O gráfico permite,
579 entre outras possibilidades, entender a relação entre seno, cosseno, tangente e cotangente e
580 visualizar diversas relações trigonométricas que são estudadas no ensino da geometria, mas
581 que podem ser totalmente abstratas se ensinadas somente pelo seu aspecto analítico.

582 O trabalho proposto teve como requisitos a criação de um modelo didático que permitisse ao
583 usuário simular diferentes ângulos e verificar o seu comportamento de forma fácil e interativa.
584 Sugeriu-se também que os modelos fossem facilmente transportáveis, visando o seu uso em
585 escolas. Nesse trabalho, a utilização da manufatura aditiva não era obrigatória, porém foi
586 incentivada. Também se incentivou a utilização de outras técnicas de prototipagem rápida
587 como o corte e gravação a laser. De modo contrário ao primeiro trabalho, esperava-se que os

588 alunos de EG tivessem maior conhecimento sobre o tema, uma vez que em sua grade curricular
589 existem disciplinas como desenho geométrico, três disciplinas de cálculo e geometria dinâmica.
590 As equipes foram criativas na construção do mecanismo e na variedade de materiais utilizados,
591 que variaram entre MDF, papelão, acetato, vinil, acrílico e alguns componentes impressos em
592 3D. A **Figura 8** ilustra alguns modelos apresentados nesse trabalho.

Figura 8. Modelos didáticos de círculo trigonométrico confeccionados com diferentes materiais e técnicas de prototipagem.

Fonte: Autores



593

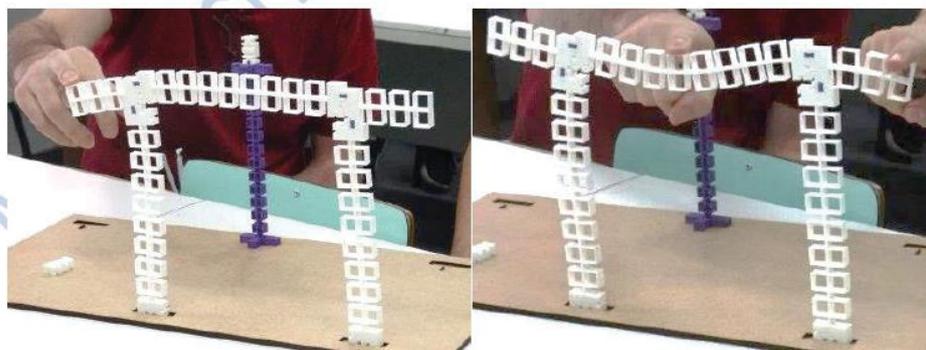
594 Modelo didático 3 – Sistema estrutural

595 O último trabalho proposto para os alunos foi a criação e o desenvolvimento de um modelo
596 reduzido didático com a finalidade de mostrar o mais fielmente possível o comportamento de
597 elementos de um sistema estrutural quando submetido a um determinado carregamento.
598 Neste trabalho específico, a partir do conhecimento dos vários tipos de elementos ou sistemas
599 estruturais, cada equipe foi solicitada a conceber e confeccionar o referido modelo
600 prioritariamente através da impressão 3D, o que permitiu modelos mais duradouros, com
601 melhor acabamento, e notou-se a rápida exploração de soluções diferentes até se chegar na
602 situação desejada.

603 O protótipo representado na **Figura 9**, simbolizando um modelo estrutural com dois pilares
604 sustentando uma viga biapoçada com balanços, apresentou comportamento bem interessante.
605 Formado por um conjunto de elementos retangulares vazados interligados por uma linha
606 central, o modelo idealizado proporcionou de forma bastante clara e didática a visibilidade de
607 deformações de tração e compressão, características da flexão. Pode-se perceber na figura
608 diferentes deformações nas peças estruturais, ocasionadas pela mudança do local de aplicação
609 da carga.

Figura 9. Modelo didático estrutural A: viga biapoçada com balanços.

Fonte: Autores



610

611 Um elemento estrutural muito utilizado na construção civil é a treliça, formada pela associação
612 de barras curtas conectadas entre si de forma a constituir triângulos. Todas as ligações entre
613 as barras de uma treliça são admitidas articuladas, com giro livre de uma barra em relação às
614 outras. Na **Figura 10**, uma das equipes apresentou os módulos básicos conceituais deste
615 modelo. Inicialmente, construíram um módulo formado por quatro barras ligadas entre si por
616 parafusos, que comprovou que o conjunto assim constituído não é estável para uma carga
617 atuando no plano das quatro barras (**Figura 10a**). Para estabilizá-lo, foi constatada a

618 necessidade de se impedir a rotação (giro) relativa entre as barras, tendo sido então propostas
619 as seguintes maneiras de travamento:

- 620 ▪ O uso de dois ou mais parafusos em cada ligação de barras, de forma a constituir um
621 módulo menos flexível que o anterior.
- 622 ▪ A inserção de elementos triangulares nos vértices do quadro, para impedir o giro entre
623 as barras, obtendo assim o módulo básico de uma viga do tipo Vierendeel (**Figura**
624 **10b**).

625 O acréscimo de uma barra diagonal entre as quatro barras, formando o módulo básico dos
626 sistemas estruturais treliçados (**Figura 10c**).

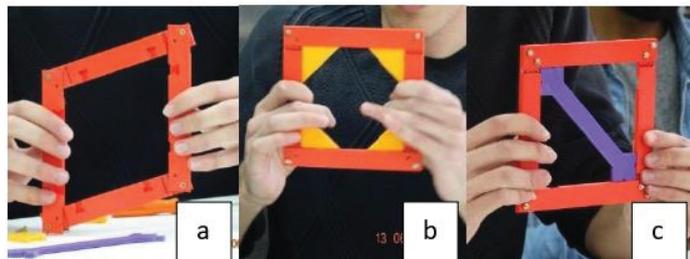


Figura 10. Modelo didático estrutural B: treliça.

Fonte: Autores

627

628 Esses e os demais trabalhos apresentados na disciplina cumpriram com todos os requisitos
629 estabelecidos para a atividade, ilustrando conceitos importantes para o estudo de elementos e
630 sistemas estruturais, como articulações, deformações, vinculações e relações dimensionais
631 entre as peças.

632 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

633 Durante a disciplina, foram aplicados alguns questionários para registrar a percepção dos
634 discentes. No primeiro questionário participaram 14 alunos de EG e 5 de AU, e perguntou-se
635 qual seria a importância de certos conceitos e/ou habilidades para esta disciplina. Para as
636 respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero seria “nenhuma
637 importância” e quatro “muita importância”. Foram listados sete conceitos: estruturas, desenho
638 arquitetônico, modelagem 3D, impressão 3D, criatividade, projeto colaborativo e cálculo. Pelas
639 médias obtidas, os alunos demonstraram que acreditavam que conhecimento de cálculo era o
640 menos relevante para a disciplina. Conhecimento sobre estruturas foi considerado tão
641 importante quanto sobre modelagem 3D e a criatividade foi considerada como o conceito mais
642 importante para a disciplina, seguida pelo projeto colaborativo e pela impressão 3D,
643 respectivamente (**Figura 11**).

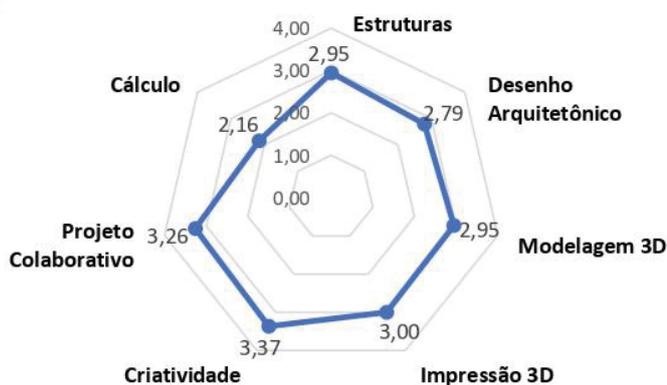


Figura 11. Grau de importância de conceitos para a disciplina, segundo medição feita com alunos no início da disciplina.

Fonte: Autores

644

645 Ao longo do desenvolvimento da disciplina, percebeu-se um comportamento favorável dos
646 discentes dos dois cursos envolvidos à integração de saberes, assim como notou-se que
647 estudantes podem ensinar conceitos entre si (instrução entre pares ou *peer instruction*) de
648 forma eficiente. Um segundo questionário aplicado após o 1º trabalho, fez a seguinte pergunta:
649 Para o sucesso do trabalho em equipe, quão importante foi o trabalho colaborativo entre
650 alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura? Dos treze alunos que responderam essa questão,
651 nove (69%) consideraram importante ou muito importante (graus 3 e 4 na **Figura 12**).

652 Além disso, segundo a observação do autor participante, percebeu-se que os melhores
653 resultados obtidos, principalmente do último trabalho, foram daqueles grupos que
654 conseguiram uma integração harmoniosa e profícua entre os alunos dos dois cursos. E um fator
655 importante para isso, foi a boa capacidade de comunicação. Alunos de Arquitetura, conseguiam
656 explicar satisfatoriamente os conceitos abstratos aos alunos de Expressão Gráfica e estes, por
657 sua vez, conseguiam colaborar nas ideias e proposições, apresentando as facilidades,
potencialidades e, principalmente, limitações que encontrariam ao fazer um modelo físico com
a impressora 3D disponível.

Figura 12. (Esquerda) Para o sucesso do trabalho 1, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura?

Fonte: Autores

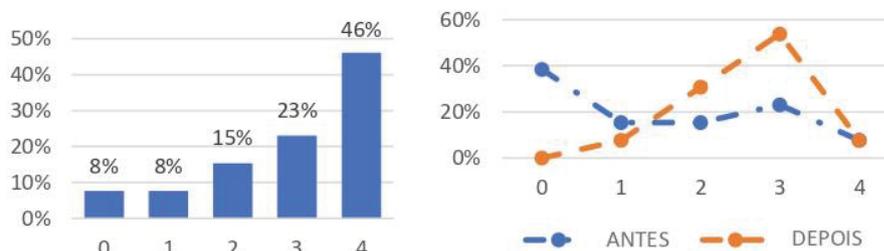


Figura 13. (Direita) Qual seu nível de conhecimento sobre estruturas ANTES e APÓS o primeiro trabalho da disciplina?

Fonte: Autores

665 Outro dado interessante foi obtido ao analisar as respostas da seguinte pergunta: “Como você
666 julgaria seu conhecimento sobre estruturas antes e após a realização do 1º trabalho da
disciplina?”. Para as respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero
seria relacionado a nenhum conhecimento e 4 a muito conhecimento. Percebe-se pela **Figura**
13 que os modelos auxiliaram na visualização e entendimento dos conceitos – houve uma
diminuição na resposta de graus mais baixos (0 e 1) e aumento dos graus 2 e 3.

667 Entretanto, é curioso observar que essa movimentação se deu apenas para os alunos de EG que
668 não tinham conhecimento prévio sobre o assunto. Analisando individualmente as respostas,
669 nota-se que todos os alunos de EG indicaram um acréscimo de ao menos 1 ponto no grau de
670 conhecimento sobre estruturas, enquanto todos os alunos de AU mantiveram suas respostas
671 para antes e após. Não se pode tirar conclusões estatísticas devido à baixa quantidade de
672 alunos respondentes, uma vez que do total de 13 alunos participantes desse questionário,
673 apenas 4 eram de Arquitetura. Cabe, porém, uma reflexão para se avaliar futuramente se os
674 modelos seriam mais úteis para iniciantes no curso, uma vez que os alunos de AU já estavam
675 próximos do final do curso e talvez já tivessem uma boa compreensão do comportamento das
676 estruturas com relação ao momento de inércia. Ainda assim, alguns comentários obtidos dos
677 alunos de AU e de EG sobre como o modelo físico os ajudou a entender melhor o conceito de
678 momento de inércia, foram:

- 679 ▪ O modelo ajudou a visualizar espacialmente a deformação de flexão dos elementos
680 estruturais, bem como possibilitou diferenciar a variação do momento de inércia
681 quanto ao sentido de aplicação da força perpendicular à peça.
- 682 ▪ Os modelos desenvolvidos, tanto por nós quanto pelos outros grupos, ajudaram na
683 visualização desse conceito e a perceber como uma peça, mesmo com material muito
684 flexível, garante estabilidade quando composta por perfis, por causa do conceito do
685 momento de inércia.

686 O modelo torna mais visível a teoria, possibilitando maior assimilação. Com fórmulas e
687 esquemas no quadro, o conceito teórico é mais difícil de entender, porque não vemos como
688 acontece fisicamente, por isso o modelo auxilia.

689 CONCLUSÕES

690 Este trabalho atingiu seus objetivos ao: 1) pontuar as alterações das DCNs dos cursos de
691 Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil focadas nas tecnologias digitais; 2) apresentar o
692 Curso de Graduação em Expressão Gráfica da UFPR e como ele pode contribuir com a efetiva
693 incorporação dos preceitos levantados nas DCNs de AU e EC; e 3) expor uma experiência
694 desenvolvida com a integração de alunos de Arquitetura e Expressão Gráfica com a utilização
695 da Manufatura Aditiva como ferramenta de auxílio educacional.

696 Ainda que novas experiências devam ser realizadas, inclusive com a participação de alunos do
697 curso de Engenharia Civil, e que as respostas obtidas nos levantamentos não possuam validade
698 estatística representativa, os resultados apresentados pela disciplina desenvolvida mostraram
699 que o uso de metodologias como a PBL e a instrução por pares são importantes para integrar
700 saberes dos cursos envolvidos e incrementar o aprendizado significativo e mais próximo da
701 realidade profissional; e que a Manufatura Aditiva se apresenta como uma ferramenta
702 educacional útil para essa integração, principalmente sendo uma tecnologia que destaca a
703 capacidade do alunos de Expressão Gráfica se inserir no ecossistema da AEC como
704 colaboradores no processo de projeto, além de gerar entusiasmo e engajamento dos alunos de
705 Arquitetura.

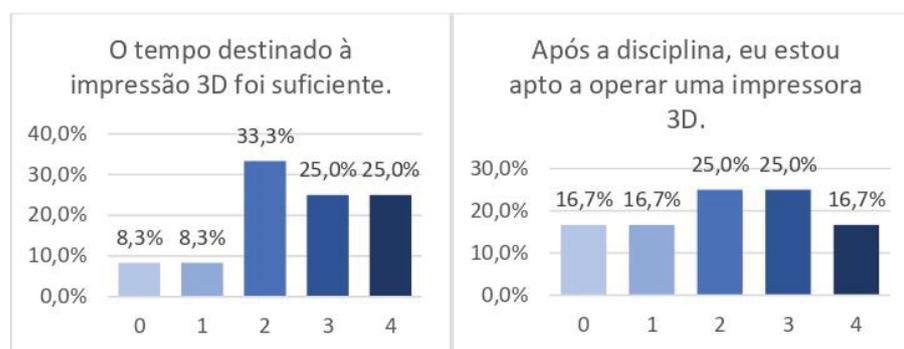
706 O processo evolutivo de desenvolvimento de modelos mostrou que os fatos ocorridos ao longo
707 de sua concepção conduziram a novas situações, imprevistas pelo planejamento da disciplina,
708 mas que geram aprendizado significativo. Percebeu-se que os modelos didáticos físicos
709 facilitam a explicação de conceitos teóricos abstratos, mas além disso, a proposta de criação
710 por parte dos discentes exige maior assimilação dos conteúdos e geram inúmeras
711 possibilidades de discussões que reforçam o aprendizado.

712 Ainda que na disciplina realizada tenham sido usadas várias técnicas de prototipagem
713 (incluindo corte a laser), o foco do estudo se deu no uso da impressão 3D, que além de
714 despertar maior interesse nos alunos, como relatado em outros trabalhos (STERN et al., 2019;
715 CHIU et al., 2016; HULEIHIL, 2017), permite a produção de modelos com alto grau de precisão
716 e qualidade de acabamento, além de estimular e desafiar a criatividade pois possibilita que se
717 testem rapidamente várias ideias durante a concepção das peças. No último questionário da
718 disciplina, 17 dos 19 discentes envolvidos reconheceram que o uso da impressão 3D foi
719 fundamental para o resultado obtido no terceiro trabalho proposto pela disciplina (sistemas
720 estruturais).

721 Apesar da maioria dos alunos afirmarem que o tempo destinado à impressão 3D na disciplina
722 foi suficiente, não houve uma clara tendência de que eles se sentem aptos a operar uma
723 impressora 3D (**Figura 14**). Dessa forma, acredita-se que os conceitos básicos sobre
724 manufatura aditiva tenham sido suficientes para a execução das tarefas solicitadas, entretanto
725 os discentes precisariam de mais horas práticas de operação de impressoras 3D para uma
726 formação sólida.

Figura 14. Concordância dos alunos sobre o tempo destinado à impressão 3D e sobre estarem aptos a operar uma impressora 3D.

Fonte: Autores



727

728 Tais resultados reforçam as diretrizes para o ensino de AM apresentadas por Violante e
729 Vezzetti (2017) que sugerem explorar temas teóricos com abordagem EAD (Ensino a
730 distância), enquanto pode-se utilizar maior parte do tempo em sala de aula (ou laboratório)
731 explorando o desenvolvimento de habilidades e de conhecimento através de experiências
732 práticas em grupo.

733 A importância da aquisição de conhecimento sobre AM através da prática ficou evidente no
734 “desafio da engrenagem” aplicado aos alunos de Expressão Gráfica. No qual eles necessitaram
735 do manuseio dos equipamentos e de várias tentativas para entender suas características e
736 limitações, ainda que isso já tivesse sido abordado nas aulas teóricas.

737 O aluno de Expressão Gráfica já tem em sua grade curricular mais oportunidades de utilização
738 e aprendizado sobre Manufatura Aditiva do que o de Arquitetura e Urbanismo. Existem
739 disciplinas obrigatórias e optativas específicas sobre os processos de fabricação digital e
740 prototipagem rápida que exploram os conceitos tanto de forma teórica quanto prática. Esta
741 experiência demonstrou que o aluno de EG efetivamente foi importante no desenvolvimento
742 das atividades (especialmente o último trabalho) pois colaborou com os alunos de AU desde a
743 definição do design dos produtos até sua confecção, justamente por terem maior conhecimento
744 das características e limitações das impressoras 3D, além de sua operação.

745 Os atuais currículos de Arquitetura e Urbanismo (e também os de Engenharia Civil) já possuem
746 dificuldades de carga horária em abordar todos os temas exigidos aos profissionais dessas
747 áreas, e a criação de disciplinas específicas para o ensino de manufatura aditiva, ou outras
748 técnicas de prototipagem rápida, não parece ser factível. Tendo em vista a atividade
749 profissional, a possibilidade de integração de outros profissionais mais habituados com essas
750 tecnologias já durante a formação, e os resultados desta experiência, conclui-se que é salutar
751 proporcionar experiências interdisciplinares e colaborativas, nas quais os envolvidos possam
752 exercitar competências específicas de cada área, compartilhar conhecimentos, e colaborar em
753 práticas que gerem aprendizado ativo e mais significativo, como preconizam as novas DCNs
754 discutidas neste trabalho.

755 **Agradecimentos**

756 Agradecemos aos discentes que aceitaram participar desta experiência e colaboraram com a
757 pesquisa com suas opiniões, aos Departamentos de Expressão Gráfica e Arquitetura e
758 Urbanismo da UFPR, principalmente nas pessoas de seus coordenadores, que concordaram
759 com a proposta das disciplinas. E aos professores Maria Regina Schmid e Carlos Alberto Adão
760 que colaboraram na experiência aplicada.

761 **Referências Bibliográficas**

762 ABEA. Desafios do ensino de arquitetura e urbanismo no século XXI. XXXVII Encontro Nacional

- 763 sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, XX Congresso da Associação Brasileira de Ensino de
764 Arquitetura e Urbanismo. **Anais...** . p.515, 2019. Rio de Janeiro.
- 765 BASSANEZI, C. R. **Ensino aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São
766 Paulo: Contexto, 2015.
- 767 BECKER, F. O que é o construtivismo. **Idéias**, v. 20, p. 87–93, 1993. São Paulo.
- 768 BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução N° 6, de 2 de fevereiro de 2006. Diretrizes
769 Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**,
770 2006. Brasília, DF. Disponível em:
771 <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5649-rces06-06&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1/7/2020.
772
- 773 BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES n° 2, de 17 de junho de 2010.
774 Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**,
775 2010. Brasília, DF. Disponível em:
776 <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. .
777
- 778 BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Parecer CNE/CES n° 1 de 23 de janeiro de 2019. Diretrizes
779 Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, 2019a.
780 Brasília, DF. Disponível em:
781 <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=109871-pces001-19-1&category_slug=marco-2019-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1/7/2020.
782
- 783 BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES n° 2, de 24 de Abril de 2019.
784 Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**,
785 2019b. Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resoluçãO-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>>. Acesso em: 1/7/2020.
786
- 787 BRASIL. Decreto n° 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de
788 Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do
789 Building Information Modelling. , 2019c. Brasília, DF. Disponível em:
790 <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm>. Acesso em:
791 19/11/2021.
- 792 CARBONELL, J. **Pedagogias do século XXI - bases para a inovação educativa**. 3° ed. Porto Alegre:
793 Penso, 2016.
- 794 CHIU, P. H. P.; KI, T.; FAN, F.; et al. A project-problem based learning approach for appreciating
795 ancient cultural heritage through technologies: Realizing mystical buildings in Dunhuang Mural.
796 2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE).
797 **Anais...** . p.65–69, 2016. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TALE.2016.7851772>>.
798 Acesso em: 23/3/2019.
- 799 CORBACHO, A. M.; MININI, L.; PEREYRA, M.; et al. Interdisciplinary higher education with a focus on
800 academic motivation and teamwork diversity. **International Journal of Educational Research Open**,
801 v. 2–2, n. June, p. 100062, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em:
802 <<https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100062>>. Acesso em: 25/11/2021.
- 803 DEGRAF. Graduação em Expressão Gráfica. Disponível em:
804 <<http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/>>. Acesso em: 7/5/2017.
- 805 DEGRAF. Projeto pedagógico do curso de expressão gráfica. , 2018. Universidade Federal do
806 Paraná. Disponível em: <http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/PPC_Projeto_Pedagogico_de_Curso__Expressao_Grafica.pdf>. .
807

- 808 DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research: Método de pesquisa para**
809 **avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- 810 EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information**
811 **Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2nd ed. ed. New Jersey:
812 Wiley, 2011.
- 813 FERNANDES, S. C. F.; SIMOES, R. Collaborative use of different learning styles through 3D printing.
814 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE).
815 **Anais...** . v. 63, p.1–8, 2016. IEEE. Disponível em: <<http://doi.org/10.1109/CISPEE.2016.7777742>>.
816 Acesso em: 16/4/2019.
- 817 FORD, S.; MINSHALL, T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and
818 education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 131–150, 2019. Elsevier. Disponível em:
819 <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>>. Acesso em: 29/3/2020.
- 820 FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. A dynamic physical model based on a 3D digital model for
821 architectural rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 72, p. 9–17, 2016. Elsevier B.V.
822 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>>. Acesso em: 20/9/2019.
- 823 GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- 824 GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and
825 enabling rapid innovation. **Additive Manufacturing**, v. 10, p. 76–87, 2016. Elsevier B.V. Disponível
826 em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>>. Acesso em: 20/3/2019.
- 827 GODOY, E. V.; ALMEIDA, E. DE. Evasão nos cursos de engenharia: um olhar para os trabalhos do
828 COBENGE de 2000 a 2014. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 50–
829 74, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/8583>>. Acesso em:
830 1/12/2021.
- 831 HAAVI, T.; TVENGE, N.; MARTINSEN, K. CDIO design education collaboration using 3D-desktop
832 printers. **Procedia CIRP**, v. 70, p. 325–330, 2018. Elsevier B.V. Disponível em:
833 <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>>. Acesso em: 7/3/2020.
- 834 HULEIHIL, M. 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching
835 applications. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 164, p. 012023, 2017.
836 Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012023>>. Acesso em: 7/3/2020.
- 837 KERN, M.; SAGAZIO, G.; LOURENÇÃO, P.; et al. A mobilização empresarial pela inovação (MEI) e a
838 defesa da modernização do ensino de Engenharia. In: V. F. de Oliveira (Org.); **A engenharia e as**
839 **novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1a. ed., p.33–43, 2019. Rio
840 de Janeiro: LTC.
- 841 KOLITSKY, M. A. Reshaping teaching and learning with 3D printing technologies. **e-mentor**, v. 2014,
842 n. 56 (4), p. 84–94, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.15219/em56.1130>>. Acesso em:
843 5/9/2020.
- 844 LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research:
845 método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761,
846 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>>. Acesso em:
847 12/7/2018.
- 848 LUDWIG, P. M.; NAGEL, J. K.; LEWIS, E. J. Student learning outcomes from a pilot medical
849 innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. **International**
850 **Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, p. 33, 2017. International Journal of STEM Education.
851 Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0095-y>>. Acesso em: 20/3/2019.

- 852 MARTINS, I. L.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas
853 brasileiras de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p.
854 e019007, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652734>>. Acesso em:
855 15/8/2020.
- 856 MONTEIRO, M. T. F. **A impressão 3D no meio produtivo do design: um estudo na fabricação de**
857 **joias**, 2015. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais. Disponível em:
858 <[http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-](http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-Monteiro.pdf)
859 [Monteiro.pdf](http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-Monteiro.pdf)>. Acesso em: 30/1/2019.
- 860 NIST. Metrics and tools for construction productivity project. Disponível em:
861 <<https://www.nist.gov/programs-projects/metrics-and-tools-construction-productivity-project>>.
862 Acesso em: 19/8/2019.
- 863 NÓBREGA, P. G. B. DA; NÓBREGA, S. H. S. DA. Engenheiro civil X arquiteto: conflito no aprendizado
864 das estruturas. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, n. 1, p. 183–191, 2020. Disponível em:
865 <<http://revista.educacao.ws/REVISTA/INDEX.PHP/ABENGE/ARTICLE/VIEW/1623>>. Acesso em:
866 27/4/2021.
- 867 NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary
868 Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science.
869 **Journal of Science Education and Technology**, v. 27, n. 5, p. 412–432, 2018. Disponível em:
870 <<http://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>>. Acesso em: 23/3/2019.
- 871 OLIVEIRA, M. R. DE; FABRICIO, M. M. Projeto paramétrico e prototipagem rápida: casos em
872 instituições internacionais. In: D. Kowaltowski; D. de C. Moreira; J. R. D. Petreche; M. M. Fabricio
873 (Orgs.); **O processo de projeto em arquitetura**. p.455–469, 2011. São Paulo: Oficina de textos.
- 874 OLIVEIRA, V. F. DE. **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores**
875 **engenheiros**. 1 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- 876 POTTMAN, H.; ASPERL, A.; HOFER, M.; KILLIAN, A. **Architectural Geometry**. 1 ed. ed. Exton,
877 Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2007.
- 878 PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no
879 Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 3, p. 80,
880 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>>. Acesso em: 28/1/2019.
- 881 SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e
882 oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, p. 111–124, 2018. Disponível em:
883 <<https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316/193>>.
884 Acesso em: 15/2/2020.
- 885 SOUZA, L. V. DE; COSTA, D. M. B. O curso de bacharelado em expressão gráfica da UFPR. GRAPHICA
886 13. **Anais...**, 2013. Florianópolis.
- 887 STERN, A.; ROSENTHAL, Y.; DRESLER, N.; ASHKENAZI, D. Additive manufacturing: An education
888 strategy for engineering students. **Additive Manufacturing**, v. 27, n. March, p. 503–514, 2019.
889 Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>>. Acesso em: 16/3/2020.
- 890 VACCAREZZA, M.; PAPA, V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education.
891 **Anatomical Science International**, v. 90, n. 1, p. 64–65, 2015. Disponível em:
892 <<http://doi.org/10.1007/s12565-014-0257-7>>. Acesso em: 18/3/2020.
- 893 VIOLANTE, M. G.; VEZZETTI, E. Guidelines to design engineering education in the twenty-first
894 century for supporting innovative product development. **European Journal of Engineering**
895 **Education**, v. 42, n. 6, p. 1344–1364, 2017. Disponível em:
896 <<https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1293616>>. Acesso em: 18/3/2020.

897 WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J. H.; WANG, X. Developing a conceptual framework to improve the
898 implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science**
899 **Review**, v. 61, n. 3, p. 133–142, 2018. Disponível em:
900 <<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1450727>>. Acesso em: 26/4/2019.
901

Manuscrito para Revisão [GTP]

APÊNDICE 3

Artigo, referente ao Capítulo 5 – Desenvolvimento do artefato da DSR, apresentado no 19th International Conference on Computing in Civil & Building Engineering (ICCCBE 2022), na Cidade do Cabo, África do Sul, ocorrido entre 26 a 28 de outubro de 2022. Os anais da conferência serão publicados em formato eletrônico pela Springer e, até o momento da publicação desta tese, está em fase de revisão por pareceristas.

Proposal of a Collaborative Teaching Method for AEC Supported by Additive Manufacturing Use

Márcio Henrique de Sousa Carboni^[1], Sérgio Scheer^[2] and Armando Luis Yoshio Ito^[3].

¹ Federal University of Paraná, Curitiba PR, Brazil

^[1]mhcarboni@ufpr.br, ^[2]sergioscheer@gmail.com

² Federal University of Technology – Parana, Curitiba PR, Brazil

^[3]ito@utfpr.edu.br

Abstract. The Brazilian construction industry presents low productivity and limited international competitiveness. In this scenario, two relevant aspects are identified: academic education and technology adoption. In view of this context, two movements stand out. The first is the reformulation of the Brazilian National Curriculum Guidelines (DCNs) for Civil Engineering and Architecture undergraduate courses, which seeks to improve professional qualification, with a greater focus on the expectations of the industry of the 4th Industrial Revolution. The second is the emergence of new professionals, capable of engaging in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) ecosystem to assist in the adoption of new technologies, linked to Industry 4.0. Among various innovative technologies, this research focus on Additive Manufacturing (AM), as it presents a great disruptive potential for civil construction industry, especially in education. Among the new workers who are joining the AEC industry, Graphic Expression professionals, graduated from Federal University of Paraná (Brazil), are inducing agents for the adoption of new technologies. For the effective incorporation of these elements in the AEC ecosystem, teaching programs are required to provide the fundamentals of technology, allowing future professionals to discover their capabilities. This paper presents a proposal of a collaborative teaching method for AEC, supported by AM use. This method, grounded on constructivist pedagogy for teaching and learning, is the result of a Design Science Research (DSR) approach. It puts together students from Civil Engineering, Architecture and Graphic Expression undergraduate courses, who then work on an interdisciplinary setting, studying a common theme. Our method uses Additive Manufacturing, Project-based Learning (PBL) and Collaborative Learning as teaching tools, with an emphasis in motivation, always considering the best conditions for students. In this paper, we establish important contents to be worked on in a hybrid teaching model, which uses distance learning to teach theoretical concepts and practical laboratory experience to solve problems collaboratively, ensuring the development of skills and competences. Finally, the present paper indicates seven important steps for the development of the proposed educational activities.

Keywords: Additive Manufacturing, Project-based Learning, Collaborative Learning, Graphic Expression, Teaching Method.

1 Introduction

The Brazilian industry is in a position of low competitiveness and innovation in the international market. According to the Global Innovation Index, Brazil lost 22 positions between 2011 and 2016, ranking 69th out of the 123 countries evaluated. This low performance was mainly due to the score obtained in human resources and research, especially in the area of engineering [1].

Compared to developed countries, Brazil presents a considerably retrograde reality, since a large part of its national industry is not even in the Third Industrial Revolution [2]. Several authors point out that, in the construction industry, this scenario is even worse, since there are delays in the adoption of technologies and a decline in the level of productivity in comparison to other industries [3][4][5][6].

Part of this situation is a result of the precarious training of professionals in the area. According to [1], between 2015 and 2017, Brazil presented an occupancy rate in Engineering undergraduate courses of less than 30%. The author also states that there is evidence of a lack of interest in Engineering courses, beyond high dropout rate among students – more than 50%, according to the National Council of Education study CNE/CES n. 1/2019 [7].

Among other reasons, it stands out the unpreparedness of students, as a result of weak basic education, as well as the unattractive organization of curricula, and other disincentives that keep student away from professional practice [1][8].

However, there are undeniable attempts to evolve, such as the recurring themes of BIM, lean construction, modular construction, and digital manufacturing. In the latter case, we can include Rapid Prototyping (RP) and Digital Fabrication (DF) technologies, which make it possible to build physical elements from 3D models, created with the support of CAD/BIM tools. In this scenario, we emphasize the use of the additive processes known as Additive Manufacturing (AM), or 3D printing. AM is the process of manufacturing physical models, using data from a virtual CAD/BIM model, through the deposition of layers that will be manufactured successively, with the goal of obtaining the complete geometry of the part [9][10][11].

Such technologies can be partly or fully inserted into the design-construction process of architecture, since they can be applied in its different stages, from conceptual architectural design to the molds of construction elements. They are also applicable in the manufacturing of final elements, which will then be ready for installation in the building. However, in Brazil, the use of DF as a constructive technique is insipient, given the country's small industrialization in AEC. For this reason, such technologies are mainly addressed in higher education centers, in order to guarantee the experimentation and training of professionals who are able to work with them [12].

In the teaching-learning process, the support and benefits of 3D printing in the most different areas is already a reality [13][14][15][16][17]. Such areas include arts, mathematics, engineering, design, archeology and historical heritage, astronomy, architecture and urbanism, medicine and anatomy.

Physical models can assist students in the spatial understanding of varied phenomena. Consequently, they increase students' involvement in classes. They allow an appropriate language for learning, which facilitates and rationalizes the process of

learner's thinking, in order to replace a naive view of reality with a more critical and comprehensive posture [18]. In areas that demand creativity and notions of design, they facilitate the understanding of design processes, allowing students to transfer their ideas to reality and to learn about the weaknesses and virtues of their projects. Thus, students are able to experience the interactive cycle of design processes [16][19].

The evolution of digital technologies, especially since the end of the 20th century, has subjected society to profound changes in the processes of conceiving, producing, disseminating, learning and applying knowledge, with social, cultural, technical and educational implications [20]. In this context of rapid changes and technological evolution, the role of the different professionals involved in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry is changing dramatically. New operating niches are emerging specifically for the use of new technologies [21][12].

In this context, two movements stand out. The first involves discussions about the Civil Engineering (CE) and the Architecture and Urbanism (AU) curricula of Brazilian universities, which culminated in the reformulation of the Brazilian National Curriculum Guidelines (DCNs) for Engineering in 2019, and in the elaboration of a proposal to change DCNs for Architecture and Urbanism (not yet approved by the Ministry of Education). The second is related to the creation, in 2012, of the first bachelor's degree in Graphic Expression (CEGRAF), at Federal University of Paraná (UFPR), which stems precisely from the perception of the great demand for generalist professionals with focus on new digital technologies.

For the effective incorporation of such elements in the AEC ecosystem, educational programs are required to provide key technology fundamentals, allowing future professionals to discover their capabilities, which must be aligned with the needs of an education for the 21st century society.

This paper presents a proposal of a collaborative teaching method for AEC supported by AM use, which puts together students from Civil Engineering, Architecture and Graphic Expression (GE) undergraduate courses, to assure interdisciplinary learning and studies on a common theme. Additive Manufacturing, Project-based Learning (PBL) and Collaborative Learning are used as teaching tools. We also consider motivation and appropriate conditions for all students, based on the MUSIC academic motivation model, which presents 5 components for the design of a course: eMpow-erment, Usefulness, Success, Interest and Caring. We also establish important contents to be included in a hybrid teaching model, with the distance learning of theoretical concepts, combined with practical laboratory experience, so that students learn to solve problems collaboratively, ensuring the development of new skills and competences. Finally, we indicate seven important steps for the development of the proposed educational activities.

1.1 Brazilian National Curriculum Guidelines (DCNs) for Civil Engineering and Architecture Undergraduate Courses

In Brazil, the academic education of engineers does not focus enough on the work environment. It is also disconnected from the expectations of the 4th Industrial Revolution industry. Given this scenario, in 2008 a movement of large companies, called

Entrepreneurial Mobilization for Innovation (MEI), coordinated by the Brazilian National Confederation of Industry (CNI), started to work for the improvement of engineering education in Brazil, in line with the agenda of international trends.

In 2019, the work of MEI, together with ABENGE (Brazilian Association of Education in Engineering), culminated in the reformulation of the 2002 Engineering DCNs [22]. The new DCNs propose a new institutional organization for curriculum, stimulating a diversity of learning forms. The idea is to extrapolate the traditional classroom, in order to guarantee the interaction of teaching with research and extension activities, as forms of learning, and to promote active teaching methodologies [1].

These guidelines seek to create an environment, in undergraduate courses, that allows students to exercise entrepreneurship inside or outside companies, with a greater potential to develop their talents, skills and abilities [2]. With this aim, some suggested strategies are: to create flexible and student-centered curricula; to emphasize the development of competences expected from graduates; to encourage the adoption of active learning methodologies (applied knowledge); to ensure collaboration between universities and companies, with the idea of bringing courses closer to the market; to develop multidisciplinary programs; and to combine classroom and distance activities [22].

The path in Architecture and Urbanism was similar. In 2013, meetings organized by the Brazilian Association of Architecture and Urbanism Teaching (ABEA) promotes discussions on the rebuilding of the DCNs created in 2006 [23] and amended in 2010 [24]. Later, after 2018, discussions continued in the Education and Training Committees of the Brazilian Council of Architecture and Urbanism (CAU/BR). In 2019, a new proposal for DCNs of AU undergraduate courses was put forth.

As for Engineering, some of the main changes proposed for Architecture and Urbanism seek to draw attention to the following aspects: the use of active teaching methodologies, ensuring students' active participation in the knowledge construction process; diversification of teaching and learning environments, so that students have professional experience in the labor market and collaborative inter-professional practices; and the possibility of curricular flexibility, which allows the search for innovation inherent in the AEC area [25].

It should be noted that the concept of Industry 4.0 is understood as the current approach to changes in production processes and business models that employ a high degree of technology in the production chain. The goal is to guarantee increased productivity and competitiveness, generating new values and services for both clients and organizations [26]. In this context, technologies such as Internet of Things (IoT), artificial intelligence, digital manufacturing, additive manufacturing, big data and cloud computing are fundamental.

In the proposal of the new DCNs for architecture, for the first time, the "Digital and Physical Modeling Processes and Tools" are mentioned as mandatory curricular content. Therefore, the DCNs introduces the obligation of at least one digital modeling and fabrication laboratory in undergraduate courses, emphasizing the importance of new technologies, disseminated as fundamental concepts for Industry 4.0 and for

all Architecture and Urbanism activity. This is reflected in the skills and abilities that students are supposed to develop in AU undergraduate courses [25].

As for Engineering, training in Architecture and Urbanism should also be reformulated, with a focus on professional practice, collaboration, active teaching methodologies, beyond technological education.

1.2 Graphic Expression Professional

In 2012, a bachelor's degree in Graphic Expression (CEGRAF) was created at Federal University of Paraná (UFPR). Its creation was motivated by the identification, in the industry, of a lack of communication and understanding among professionals involved in the process of design and manufacturing. Lack of technical knowledge, combined with the poor exchange of information between different professionals, caused delays, with consequent financial losses to the business [27].

There are no specific DCNs for Graphic Expression, considering that the course is currently unique in the country, as a bachelor's degree in its specific approach. Its objective is "to train professionals who work in the development of digital graphic projects, in the range of existing functions between creation and production, who participate in multidisciplinary teams" [28], in the areas of architecture, engineering and industrial products, based on the concepts of digital design and prototyping. A broad education is a requirement for such professionals, so that they can understand important elements from several areas, to communicate with different professionals, collaborating in project development processes.

Graphic Expression students were well received by the market, inside internships in modeling and digital models, project compatibility through digital technologies, and product production through digital manufacturing processes. In 2018, the evolution of labor market trends with new technologies reinforced the need to include new content in the curriculum, in line with the principles of Creative Economy and Maker Movement [29].

Therefore, the Graphic Expression undergraduate course was restructured, to ensure a greater focus on knowledge in digital technologies (such as digital modeling, BIM, three-dimensional capture and digitization, digital fabrication and prototyping, and virtual and augmented reality), beyond theoretical grounding in geometry concepts, architecture, design, and engineering. These new professionals present themselves to the market with the potential to be a part of collaborative projects with other professionals, in the fields of architecture, engineering, arts and mathematics. Specifically, considering the focus on the expertise acquired on digital modeling and prototyping technologies, we can conclude that there is great potential for complementarity with Architecture and Engineering courses, which still have difficulties in integrating such topics into their curricula.

2 Method

The proposal for a teaching method presented in this work is the result of a Design Science Research (DSR) approach. The product of a DSR is an “artifact”, which is something artificial, conceived by man, carried out with the aim of fulfilling a purpose in a given environment [30]. According to [31] classification (constructs, models, methods, instantiations), the artifact developed in this work is essentially a method with a conceptual structure for using Additive Manufacturing as an integration tool for students of AEC courses.

Other research methods were used to support problem awareness, data collection, and artifact formulation. Among them, we used systematic literature review [32], action-research, beyond a survey carried out by students in 2019. This artifact is part of a doctoral thesis and will still be tested and evaluated.

3 Results and Discussion

In this section, we present and discuss the collaborative teaching method for AEC, supported by the Additive Manufacturing use, considering its elements.

3.1 Interdisciplinary Learning for AEC

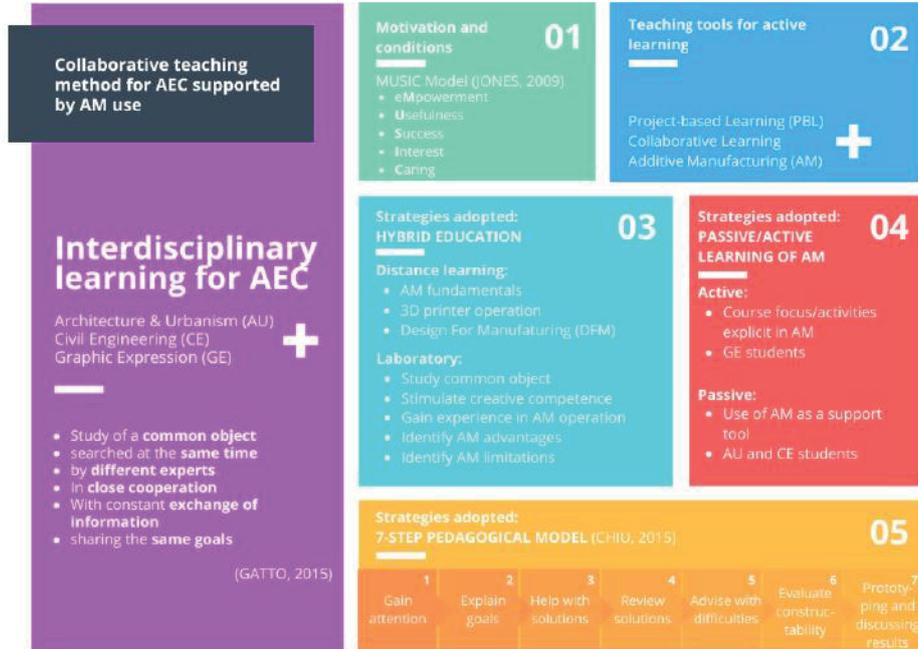


Fig. 1. Collaborative teaching method for AEC supported by AM use

The collaborative teaching method for AEC, supported by AM use (Fig. 1), is grounded on constructivist pedagogy for teaching and learning. It is also aligned with the development of competencies and skills expected of AEC professionals in the 21st century.

This method aims at ensuring the interdisciplinary learning of students of Architecture and Urbanism, Civil Engineering and Graphic Expression, in the light of the interdisciplinarity concept considered by Gatto [33], characterized by the following aspects: (1) to have an object in common; (2) to be searched at the same time (simultaneity); (3) by specialists from different disciplines or areas; (4) in close cooperation (collaborative work); (5) with constant exchange of information; (6) sharing the same goals to achieve an integrated analysis of the common object or problem.

Initially, the topic of study, which will be approached through PBL activities, must be defined. Such topic must be explored by the different undergraduate courses (Architecture and Urbanism, Civil Engineering and Graphic Expression), using Additive Manufacturing as a teaching tool and as an integration and stimulus factor, so that students develop their skills in communication, collaboration, problem solving, technological literacy, and autonomy, in addition to the technical knowledge necessary for their professions.

Several topics can be addressed, from which we cite a few.

One possibility is Building Information Modeling (BIM). BIM is strategic for the development of the AEC industry, considering the efforts of the Brazilian Federal Government, which launched the National Strategy for the Dissemination of Building Information Modeling in Brazil in 2019 [34]. The program seeks to promote a suitable environment for the investment in BIM, ensuring its diffusion in the country. In addition, it has great adherence to the innovative technologies of Industry 4.0 (such as Additive Manufacturing), in search of modernizing the civil construction industry. However, Brazilian undergraduate curricula still require rebuilding for the effective implementation of BIM. At UFPR, for example, the only undergraduate course with a specific mandatory discipline about BIM is Graphic Expression.

Another possibility is “structural systems”. According to [35], the importance of teaching the theory of the subject in Civil Engineering courses is settled, but the focus is quite technicist, based on activities of calculation and on the analysis of structural dimensioning. Engineering students end up having difficulties in the previous stage, which encompass the structural conception and establishment of structural arrangements, an activity that requires intuitive and creative skills.

On the other hand, the authors state that “the teaching of structures seems to remain deficient in Architecture courses” [35] (p. 184), even though it is the subject of recurrent research, publications, and even specific events, such as the National Meeting on Teaching Structures in Architecture Schools (ENEEEA). In any case, it is undeniable that the structural design is a fundamental stage for architectural design. Therefore, architecture students need to master the use and functions of structural systems. Although this is not a specific topic addressed in the Graphic Expression undergraduate course, it leads to several approaches that involve knowledge in the area, considering both the representation and the technical point of view of calculation.

The physical experimental model is the most discussed and recommended resource in seminars, meetings, lectures and published papers on the teaching of disciplines in the area of structures [35]. It allows a real visualization of the phenomena, demonstrating concepts in an intuitive, reliable, and tangible way. This scenario assures us that uniting such concepts with Additive Manufacturing is an appropriate strategy to expand collaboration between the different courses we have exposed.

To make the application of the proposed method tangible, we sought a theme that would work on the importance of understanding “construction systems”, so that students could explore the concept of BIM in the future. We believe that it is essential to understand how a building is built, so that it is possible to work well with BIM.

In conclusion, we chose “architectural details” as the central topic of learning. It is a small piece of the whole, but it characterizes and defines the entire building. “Indeed, detail is architecture at its smallest size” [36].

The connection of different materials leads to several problems that must be solved by the designer. It is common in academia to approach such topic only with 2D drawings, an abstract representation, but students need, first, to understand the function of 3D elements in their context. By working with 3D printed models, students can simulate how to build, understand the relationship of elements, and visualize them spatially.

3.2 Conditions and Academic Motivation

To develop a successful method, firstly we need right conditions. It is necessary to have an environment focused on students, in which they will have an active role in their learning and will be able to act, discuss, problematize, and analyze their actions. According to Elmôr Filho [37], an active learning environment should be a common place where students and teachers are cognitively active, in order to actively participate in reflective, interactive, collaborative and cooperative activities. It requires the commitment of all students, but also of the teachers, to conduct the activities in a way that all students feel valued and welcomed by the group.

Also, it is important to consider that getting students from different areas to solve a problem within time constraints can be a stressful experience [38]. Thus, it is important to ensure students’ motivation. Academic motivation is a process that is perceived both by actions (e.g., attention, effort, persistence) and verbalizations (e.g., “I like biology”), through which goal-directed physical or mental activities are instigated and maintained [39].

All things considered, we used the MUSIC Model of Academic Motivation, developed by Jones [39], to support our method. This model is grounded on a social-cognitive theoretical framework and seeks to increase students’ motivation, to allow greater student learning. It consists of five components that ought to be considered when designing a course: (1) empowerment, (2) usefulness, (3) success, (4) interest, and (5) caring.

eMpowerment. It considers the amount of perceived control that learners have over their learning. It relates to students’ autonomy and the perception of both a high level

of freedom and a sense of choice over their actions during an activity. It varies from student to student, since it depends on several variables, including content difficulty, student's skills, beyond the student's previous experiences with the content. But the essential factor is "that students must believe they have *some* control over *some* aspect of their learning" [39].

Usefulness. Students must understand why the activities are useful for their education and how they will use them in their professions and lives. Studies show that students are more motivated when they have long-term goals in mind, compared to students that have only short-term goals [39].

Success. Students must believe that their efforts will be valuable for their future. This aspect is related to their self-perception of competence, that is, that their knowledge and skills are sufficient to complete given tasks. If they believe they will succeed, they will try harder and persist longer in the activity. They will also be more resilient in the face of difficulties. It is important to make all course objectives clear, providing clear and understandable assessment criteria, beyond accurate and honest feedback [39].

Interest. Topics and activities should be interesting to students. The idea of interest consists of two components: an affective component of positive emotion (the liking) and a cognitive component of concentration (the engagement). This relates to attention, memory, comprehension, and deeper cognitive engagement. Hands-on activities and contents that relate to students' background knowledge are useful strategies. It is also important to incorporate other components of the MUSIC model, which can promote individual interest [39].

Caring. This concept is related to the students' perception that the instructors care about their learning and that they desire to impact their lives positively. There are several terms to refer to the concept of caring, such as sense of community, bonding, attachment, involvement, and commitment. In this context, the instructor behavior is determinant. It is important to listen to students' opinions and ideas, devote time to help students, and show concern and interest in students' personal/professional lives.

3.3 Teaching Tools for Active Learning

Teaching tools include everything that helps in the teaching-learning process. Especially active learning approaches demand a variety of tools in order to ensure success. It is important to evaluate the goals of a given teaching activity and the type of learners when choosing the most appropriate tool to meet specific learning goals [40].

Our method is based on the use of three teaching tools: Project-based Learning (PBL), Collaborative Learning (CL), and Additive Manufacturing.

The PBL (Project-based learning) approach is a student-centered pedagogy that involves interdisciplinary teaching-learning activities in an active-collaborative learning environment. Students are tutored by qualified teachers, developing in-depth

knowledge by answering to real-world questions, problems, and challenges. The classroom becomes an open space for ideas, knowledge, languages, and realities, stimulating conversations and generating bonds. The problem approach allows students to grow individually and collectively in their learning experience, through the construction of meanings that generate reflections, giving new significance to their experiences. Through this method, students become managers of their learning process [41][11].

Teaching AM through the PBL approach is common practice. Authors [32] identify numerous works that use AM in higher education, by putting together students from different undergraduate courses with the support of a PBL approach, with the aim of promoting students' engagement with their learning. In addition, the method helps to bring teaching closer to students' reality, culminating in more meaningful learning.

Collaborative learning refers to an instruction/learning method in which students work together, in small groups, towards a common goal [42]. It complements the PBL approach, given the complementarity of latent knowledge of students from three different courses (AU, CE, and GE). Students can teach concepts to each other efficiently, while they work together to solve problems. In this context, Graphic Expression students in an AEC group are important, because they have more in-depth knowledge of digital technologies, such as Additive Manufacturing.

Additive Manufacturing, as we have already pointed out, has a special use in education. It offers gains for the teaching-learning process, by combining PBL and AM, such as greater student interest, aptitude to understand abstract concepts, stimulus for the construction of student-centered and collaborative knowledge, and the possibility of interdisciplinary integration [32].

Based on such foundations, the proposed method was organized so that students build their own learning. In this context, Additive Manufacturing is a tool that keeps them motivated to solve challenges.

3.4 Passive/Active Learning of AM

AM learning was used in both passive and active ways [43], according to the undergraduate program characteristics and objectives.

Incorporating AM passively into courses means using AM as a support tool for teaching. It makes sense to use this type of approach for AEC, since the main objective of training these professionals is not the operation of digital fabrication equipment, but the training of professionals who understand the technology, who know how to take advantage of it to solve problems, and who are able to work in multidisciplinary teams [32].

However, one of the barriers to AM adoption in teaching is the lack of familiarity with the technology [33], both by students e teachers. This reinforces the idea of including a more experienced and focused AM future professional in an interdisciplinary AEC group, such as the Graphic Expression one. The proposed method provides an active AM teaching way, in which the activities that are developed present an ex-

licit focus on concepts related to 3D printing. Some important didactic objectives for AM are:

- Learning and applying design principles to Additive Manufacturing
- Learning AM fundamentals and basic operating principles
- Stimulating creative competence using 3D printing
- Gaining experience in the operation of AM machines
- Identifying advantages and/or limitations of AM technologies

3.5 Hybrid Education

Although the specific study of AM is important, the main objective of the presented method is the interdisciplinary integration of AEC students. In order to fulfil this goal, hybrid education should be explored. In this context, theoretical and more introductory contents could be addressed with extra-class activities at distance, using video classes, beyond materials that support students in hands-on activities. This allows Architecture and Civil Engineering students to delve deeper into AM, in case they are interested. Most of class (or laboratory) time can be used to explore the development of skills and knowledge through practical experiences in groups [32].

In Table 1, we present AM contents explored at distance and in laboratory.

Table 1. Hybrid education of AM contents

Approach	AM Contents
Distance learning	AM Fundamentals
	Fundamentals in 3D printer operation
	Design for manufacturing (DFM)
Laboratory	Study common objects using AM as a tool
	Stimulate creative competence
	Gain experience in AM operation
	Identify AM advantages/limitations

3.6 7-Step Pedagogical Model

To ensure the best development of the activities proposed in the collaborative teaching method for AEC students, we recommend 7 steps (Fig. 2), based on the “Pedagogical Model for Introducing 3D Printing Technologies” [44]. This pedagogical model is grounded on a classic instructional design theory, the “Conditions of Learning” [45]. According to Gagne, there are nine instructional events that must be followed when designing a course. Each instructional event is related to a specific cognitive process.

Also, we relate to the instructional events in which categories of academic motivation [39] should be explored, considering the kind of hybrid education strategy that can be adopted and the staff that should be involved in each step.

In this model, the subject of “constructive architectural details” was considered a common object of study. However, it can be applied to any chosen topic, as previously mentioned (e.g., BIM, structural systems, didactic models). As an example of an activity, students should build 3D printed physical models that represent constructive architectural details of iconic buildings.

Before analyzing the 7 steps, it is important to note that interdisciplinary groups must be balanced in terms of number of members and technical background. It is assumed that most architecture and civil engineering students have no knowledge in 3D printing. Thus, graphic expression students should at least have knowledge of the basic principles of additive manufacturing.

Another decisive factor is the need for knowledge in 3D CAD/BIM modeling to work with AM. Therefore, it is recommended that instructors carry out an initial questionnaire to assess students' abilities, so that they create groups in which at least one member has more experience or more advanced skills. These “advanced” students will be able to share their knowledge with the groups (collaborative learning).

The first step is to get the attention of all participants. In order to fulfil this objective, the instructor can present the course, with samples of what was developed in previous editions. To present the importance and usefulness of the topic, a professional can be invited to lecture on the common object chosen to be studied.

Next (step 2), the instructor must define the objectives and expectations of all activities. This is important for students to realize they will be able to complete tasks with the skills they already have and/or will develop in the process. To guarantee the necessary theoretical knowledge, at this stage, recorded classes can be produced for students to watch outside class hours. Students can absorb the content according to their need and availability. When dealing with AM, we suggest that at least three themes be explored: AM fundamentals, basic settings for 3D printing, and Design for Manufacturing (DFM).

After completing this theoretical conceptualization phase, teams choose what they will represent. Each team chooses at least three references. The instructor should guide which ones could create more difficulty during the process and/or improve results. Nonetheless, students must have some control over the tasks.

In step 3, it is time for a considerable amount of teamwork. Students must develop 3D models that represent their architectural details. They will need to: use their knowledge to understand the functions and relationships of each constructive element; conceive a three-dimensional visualization from, usually, two-dimensional drawings; and plan their model considering DFM rules – that is, observing the needs, facilities and difficulties of 3D printing and assembly.

Instructors, or guest professionals who can act as tutors for the teams, must accompany the development of solutions, but never state whether something is right or wrong. They should point out problems or difficulties that students may face, encouraging the rapid process of prototyping solutions and exploring the benefits brought by the use of 3D printing.

Step	Pedagogical Model for Collaborative Education Method for AEC Supported by the AM Use	Nine Instructional Events [Cognitive process] (GAGNE, 1985)	Music Model of Academic Motivation (JONES, 2009)	Hybrid Education	Staff Involved	Remark
1 GAIN ATTENTION	Instructor presents the course and exposes similar works already done. Instructor or professional guest lectures on constructive details (object of study). Groups of 3 to 6 students, if possible, at least one from each AEC undergraduate course	1. Gaining attention [reception]	Usefulness, Interest, Caring	In-person classes / Online meetings	Instructor, Invited professionals	Instructor divides groups based on each student's skills and knowledge. Seeking to mix beginners and advanced students. Activate motivation by presenting the importance of activities applied in professional life.
2 EXPLAIN GOALS	Instructor explains goals. Lectures on constructive details (object of study), AM fundamentals, basic settings for 3D printing and Design for Manufacturing (DFM). Students choose constructive details they will represent (object of study).	2. Informing learner of the objective [expectancy]	eMpowerment, Success, Interest	Online meetings, Recorded video classes	Instructor	Activate motivation by making it clear what the expectation of the activity is, the importance of the content for their professional life and giving students autonomy to choose situations they want to deal with or solve.
3 HELP WITH SOLUTIONS	Instructor/tutors assist teams in developing solutions, acting as a consultant, without saying if there is "right" or "wrong".	3. Stimulating recall of prior knowledge [retrieval] 4. Presenting the stimulus material [selective perception] 5. Providing learning guidance [semantic encoding]	eMpowerment, Caring,	Laboratory	Instructor, Tutors	Instructor should encourage the generation of options so the students themselves can assess the best solution to the problem.
4 REVIEW SOLUTIONS	Students create/review the 3D modeling of their solutions with a focus on Design for Manufacturing (DFM). If necessary, with the help of advanced students or course monitors.	[semantic encoding]	eMpowerment, Interest	Laboratory /at home	Monitors, Advanced Students	Self-learning and Collaborative learning approach to provide flexibility to suit individual student's learning style and need. "Advanced" students can assist with orientation.
5 ADVISE WITH DIFFICULTIES	When students encounter technical difficulties, they can seek assistance from the Instructor, tutors or monitors who do a conference on the DFM rules.	5. Providing learning guidance [semantic encoding] 6. Eliciting performance [responding] 7. Providing feedback [reinforcement]	Success, Caring	Laboratory	Instructor, Tutors, Monitors	Students with weak technical skills can receive extra help. Repeat step 4 if need.
6 EVALUATE CONSTRUCTIBILITY	Students present their design proposal and 3D printing planning of the model to instructor or lab manager/monitors who evaluate constructibility and printability.	8. Assessing performance [retrieval]	Success, Caring	Laboratory	Laboratory Manager, Instructor, Monitors	It is very important that the laboratory maintenance is up to date and the support of monitors/lab manager to monitor the prints.
7 PROTOTYPING AND DISCUSSING RESULTS	Responsible for the 3D printers generate the teams' printing planning in order to group several pieces. Students receive their 3D objects and perform the final assembly and present it to everyone. Instructor evaluates the result together with all students, mediating the discussion.	9. Enhancing retention and transfer [generalization]	Success, Interest, Caring	Laboratory	Laboratory Manager, Monitors, Instructor	Batch printing reduces time-consuming printing. Share different experiences to solve the same problem. Hear the students' opinion about what were the biggest difficulties, what they would do differently, what were the lessons learned.

Fig. 2. 7-step pedagogical model for collaborative teaching method for AEC supported by AM use

In the next step (step 4), students are given a moment to review their proposals and exercise collaborative learning and autonomy. They must review their solutions and

analyze the 3D models with a focus on Design for Manufacturing (DFM) rules, retrieving the concepts presented in theoretical and distance classes. Especially, they should prioritize a large base for better adhesion to the printing bed and avoid thin cross-sections in the lower section, as the fast movement of the 3D printer can generate vibrations in the piece and its eventual break during the process. The projecting of elements that are not supported by a previous layer should be designed with a maximum angle of 45° to the vertical plane [46]. Advanced students can help teams with a critical look.

When students encounter technical difficulties, they can seek assistance from instructors, tutors, or monitors (step 5). Now, the instructor can guide the students, indicating the best practices for the process of manufacturing, considering that, in this phase, experience with 3D printing is highly important. Attention should be paid to individual difficulties. The instructor ought to dedicate more time to the ones that present greater difficulties. If instructors deem it necessary, they can invite students to repeat step 4.

In step 6, students present their design proposal and their 3D printing planning to instructors or laboratory manager/monitors, who evaluate their work in terms of constructability and printability. Authors [47] refer to the “manufacturability analysis” (or “constructability analysis”) for AM as the need to evaluate specific factors, such as: build volume, minimum feature size, amount of support material, printing time, estimation of surface roughness, and build orientation.

Finally (step 7), the responsible for the 3D printers in the laboratory receive the models and generate the print planning for the teams, with the aim of grouping several parts in a single print, in order to reduce printing time. Students should follow the process in accordance with instructions given by monitors or lab managers. Later, they must finish the assemblance of their physical models and present them to the class.

The instructor conducts an evaluation of the results, together with the class, mediating a discussion. This learning community should share different ways to solve the same problem, listening to students' opinions on the main difficulties faced throughout the process, considering what they would do differently and what lessons were learned. Also, it is important to share students' feedbacks with everyone, due to the importance of integrating students from different AEC undergraduate courses.

4 Conclusion and Future Work

We presented a proposal of a collaborative teaching method for AEC, supported by Additive Manufacturing, that should be used by educators to integrate different students, in order to stimulate educational experiences, as close as possible to the professional practice.

Additive Manufacturing allows the approach of different contents in a practical and tangible way. In addition to being an important technology to be included in the civil construction area, with the precepts of industry 4.0, AM enables several gains, allowing greater student engagement with their education.

In summary, our method is based on three major components: interdisciplinarity, technology, and people. An important part of success relies on the fact that people must be motivated to learn, to collaborate and to be active actors of their own education. Given this context, we present ways to ensure that possibility, by working with the seven steps of our method, with the MUSIC model of academic motivation.

Furthermore, we expect that collaborative educational experiences bring together other professionals who are not used to being part of the AEC area, but who have great potential to optimize processes, by including new technologies, such as Graphic Expression professionals.

This work is part of a doctoral research. The next steps are the application of the method in interdisciplinary courses, followed by its validation.

References

1. Oliveira, V.F. de: A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros. LTC, Rio de Janeiro (2019)
2. Kem, M., Sagazio, G., Lourenção, P., Pereira, S., Miranda, Z., Lopes, A.: A mobilização empresarial pela inovação (MEI) e a defesa da modernização do ensino de Engenharia. In: Oliveira, V.F. de (ed.) A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros. pp. 33–43. LTC, Rio de Janeiro (2019)
3. Oliveira, M.R. de, Fabricio, M.M.: Projeto paramétrico e prototipagem rápida: casos em instituições internacionais. In: Kowaltowski, D., Moreira, D. de C., Petreche, J.R.D., and Fabricio, M.M. (eds.) O processo de projeto em arquitetura. pp. 455–469. Oficina de textos, São Paulo (2011)
4. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley, New Jersey (2011)
5. NIST: Metrics and tools for construction productivity project, <https://www.nist.gov/programs-projects/metrics-and-tools-construction-productivity-project>
6. Wu, P., Zhao, X., Baller, J.H., Wang, X.: Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. *Archit. Sci. Rev.* 61, 133–142 (2018). <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1450727>
7. BRASIL: Conselho Nacional De Educação. Parecer CNE/CES nº 1 de 23 de janeiro de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=109871-pces001-19-1&category_slug=marco-2019-pdf&Itemid=30192, (2019)
8. Godoy, E.V., Almeida, E. De: Evasão nos cursos de engenharia: um olhar para os trabalhos do COBENGE de 2000 a 2014. *Rev. Bras. Ensino Ciência e Tecnol.* 13, 50–74 (2020). <https://doi.org/10.3895/rbect.v13n3.8583>
9. Go, J., Hart, A.J.: A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. *Addit. Manuf.* 10, 76–87 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>
10. Haavi, T., Tvenge, N., Martinsen, K.: CDIO design education collaboration using 3D-

- desktop printers. *Procedia CIRP*. 70, 325–330 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>
11. Stern, A., Rosenthal, Y., Dresler, N., Ashkenazi, D.: Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. *Addit. Manuf.* 27, 503–514 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>
 12. Martins, I.L., Pereira Filho, Z.R.: A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. *PARC Pesqui. em Arquitetura e Construção*. 10, e019007 (2019). <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652734>
 13. Kolitsky, M.A.: Reshaping teaching and learning with 3D printing technologies. *e-mentor*. 2014, 84–94 (2014). <https://doi.org/10.15219/em56.1130>
 14. Vaccarezza, M., Papa, V.: 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. *Anat. Sci. Int.* 90, 64–65 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12565-014-0257-7>
 15. Fukuda, T., Tokuhara, T., Yabuki, N.: A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping. *Autom. Constr.* 72, 9–17 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>
 16. Huleihil, M.: 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications. *J. Phys. Conf. Ser.* 755, 011001 (2016). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
 17. Ludwig, P.M., Nagel, J.K., Lewis, E.J.: Student learning outcomes from a pilot medical innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. *Int. J. STEM Educ.* 4, 33 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0095-y>
 18. Bassanezi, C.R.: *Ensino aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia*. Contexto, São Paulo (2015)
 19. Novak, E., Wisdom, S.: Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. *J. Sci. Educ. Technol.* 27, 412–432 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>
 20. Nery, M. de A.: O uso das tecnologias digitais da internet na Educação Superior: representações docentes - entre o formal e o informal, as marcas da presença do possível, (2016)
 21. Pupo, R.T.: Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. *PARC Pesqui. em Arquitetura e Construção*. 1, 80 (2008). <https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>
 22. BRASIL: Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de Abril de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resoluçÃo-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>, (2019)
 23. BRASIL: Conselho Nacional De Educação. Resolução Nº 6, de 2 de fevereiro de 2006. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5649-rces06-06&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192, (2006)
 24. BRASIL: Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-

- rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192, (2010)
25. ABEA: Desafios do ensino de arquitetura e urbanismo no século XXI. In: XXXVII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, XX Congresso da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo. p. 515. , Rio de Janeiro (2019)
 26. Santos, B.P., Alberto, A., Lima, T.D.F.M., Charrua-Santos, F.M.B.: Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Rev. Produção e Desenvol.* 4, 111–124 (2018)
 27. DEGRAF: Graduação em Expressão Gráfica homepage. <http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/>, last accessed 2022/04/20.
 28. Souza, L.V. De, Costa, D.M.B.: O curso de bacharelado em expressão gráfica da UFPR. In: GRAPHICA 13. , Florianópolis (2013)
 29. DEGRAF: Projeto pedagógico do curso de expressão gráfica, http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/PPC_Projeto_Pedagogico_de_Curso_Expressao_Grafica.pdf, (2018)
 30. Lacerda, D.P., Dresch, A., Antunes Junior, J.A.V.: DESIGN SCIENCE RESEARCH: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia. *Gestão Produção*. 20, 741–761 (2013). <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>
 31. March, S.T., Smith, G.F.: Design and natural science research on information technology. *Decis. Support Syst.* 15, 251–266 (1995)
 32. Carboni, M.H. de S., Scheer, S.: Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC. In: Simpósio Brasileiro De Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção, 3. pp. 1–14. ANTAC, Uberlândia (2021)
 33. Gatto, A., Bassoli, E., Denti, L., Iuliano, L., Minetola, P.: Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering. *Rapid Prototyp. J.* 598–603 (2015). <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0134>
 34. 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, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm, (2019)
 35. Nóbrega, P.G.B. da, Nóbrega, S.H.S. da: Engenheiro civil x arquiteto: conflito no aprendizado das estruturas. *Rev. Ensino Eng.* 39, 183–191 (2020). <https://doi.org/10.37702/REE2236-0158.v39p183-191.2020>
 36. Weber, P.D.: Beyond Bolts: architectural details, construction, meaning, <http://hdl.handle.net/1721.1/70861>, (1991)
 37. 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. LTC, Rio de Janeiro (2019)
 38. Corbacho, A.M., Minini, L., Pereyra, M., González-Fernández, A.E., Echániz, R., Repetto, L., Cruz, P., Fernández-Damonte, V., Lorieto, A., Basile, M.: Interdisciplinary higher education with a focus on academic motivation and teamwork diversity. *Int. J. Educ. Res. Open.* 2–2, 100062 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100062>
 39. Jones, B.D.: Motivating Students to Engage in Learning: The MUSIC Model of Academic Motivation. *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.* 21, 272–285 (2009)
 40. Woods, M., Rosenberg, M.: Educational Tools: Thinking Outside the Box. *Clin J Am Soc Nephrol.* 11(3), 518–526 (2016). <https://doi.org/10.2215/CJN.02570315>

41. Carbonell, J.: *Pedagogias do século XXI - bases para a inovação educativa*. Penso, Porto Alegre (2016)
42. Yokaichiya, D.K., Galembeck, E., Braga, D.B., Torres, B.B.: *Aprendizagem Colaborativa no Ensino a Distância - Análise da Distância Transacional*. In: *Congresso Internacional de Educação a Distância*, 11. pp. 1–11. ABED, Salvador (2004)
43. Ford, S., Minshall, T.: Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Addit. Manuf.* 25, 131–150 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
44. 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. *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE. 2014*, 1–6 (2015). <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344287>
45. Gagne, R.: *The Conditions of Learning*. Rinehart & Winston, New York (1985)
46. Junk, S., Matt, R.: New approach to introduction of 3D digital technologies in design education. In: *Procedia CIRP*. pp. 35–40 (2015)
47. Lynn, R., Saldana, C., Kurfess, T., Reddy, N., Simpson, T., Jablokow, K., Tucker, T., Tedia, S., Williams, C.: Toward Rapid Manufacturability Analysis Tools for Engineering Design Education. *Procedia Manuf.* 5, 1183–1196 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.093>

APÊNDICE 4

Artigo referente ao Capítulo 6 – Aplicação e avaliação do artefato. Até o momento da publicação desta tese, não foi submetido à nenhum periódico.

Experiências interdisciplinares: aplicação do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva

RESUMO: A indústria da construção civil é um importante setor da economia brasileira, porém apresenta uma realidade bastante atrasada no que se refere a adoção de tecnologias. Na busca de melhorar esta realidade, 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. Ela pode ser inserida em diversas etapas do processo de projeto-construção, e apresenta diversos benefícios ao ser utilizada na educação. 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 o “método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva”, que 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*) que priorizam o aprendizado colaborativo e utilizam a Manufatura Aditiva como uma ferramenta de estímulo a integração. Neste trabalho, apresenta-se duas experiências de aplicação deste método realizadas no segundo semestre de 2021 e no primeiro semestre de 2022, 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).

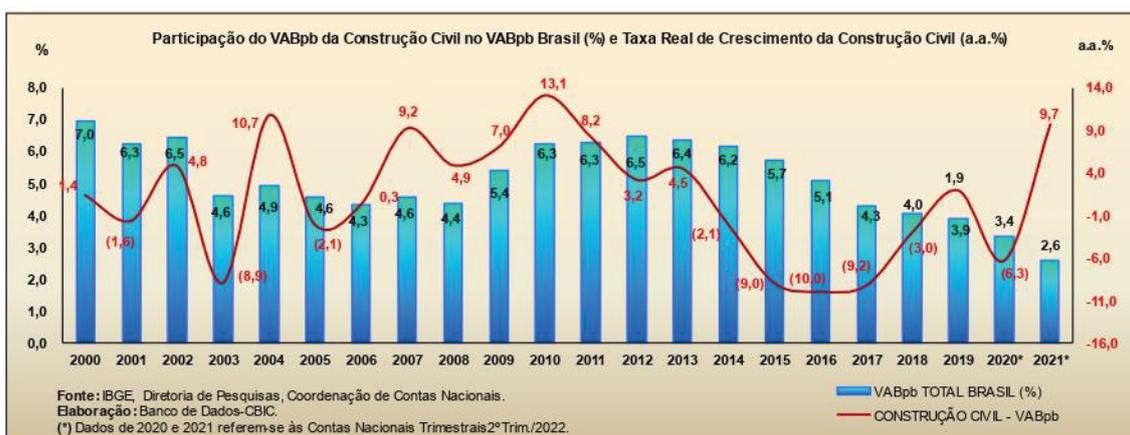
Palavras-chave: Manufatura aditiva, Método educacional interdisciplinar, Impressão 3D, Expressão Gráfica.

1.1. 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 a 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) (Figura 1).

Ainda assim, é necessário o fortalecimento do setor, uma vez que o Brasil possui uma realidade bastante atrasada, quando comparado com países desenvolvidos, uma vez que grande parcela da indústria nacional nem ao menos se encontra na terceira revolução industrial (KERN et al., 2019). Vários autores apontam que se nota atrasos na adoção de tecnologias e queda no nível de produtividade na Construção Civil se comparada com outras indústrias (OLIVEIRA e FABRICIO, 2011; EASTMAN et al., 2011; NIST, 2011; WU et al., 2018).

Figura 1 – Participação do PIB da construção civil no PIB brasileiro e sua taxa de crescimento



FONTE: CBIC (2022)

Ciente dessa perspectiva, o Governo Federal Brasileiro 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 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 das 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 vão sendo fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (MONTEIRO, 2015; GO e HART, 2016; HAAVI et al., 2018; STERN et al., 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 na 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

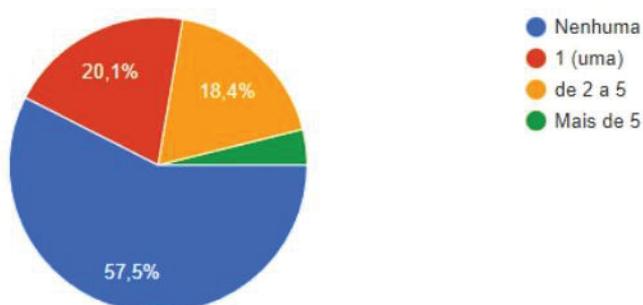
construtiva é insipiente. Por isso, é necessário que seja abordada e inserida nos centros de ensino superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalharem com elas (MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019).

No processo ensino-aprendizagem, já se percebeu o suporte e os benefícios que a utilização da impressão 3D podem 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 e PAPA, 2015; FUKUDA et al., 2016; FAN et al., 2016; HULEIHIL, 2017; LUDWIG et al., 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, se encontra 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 2).

Figura 2 – 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 envolve, 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.

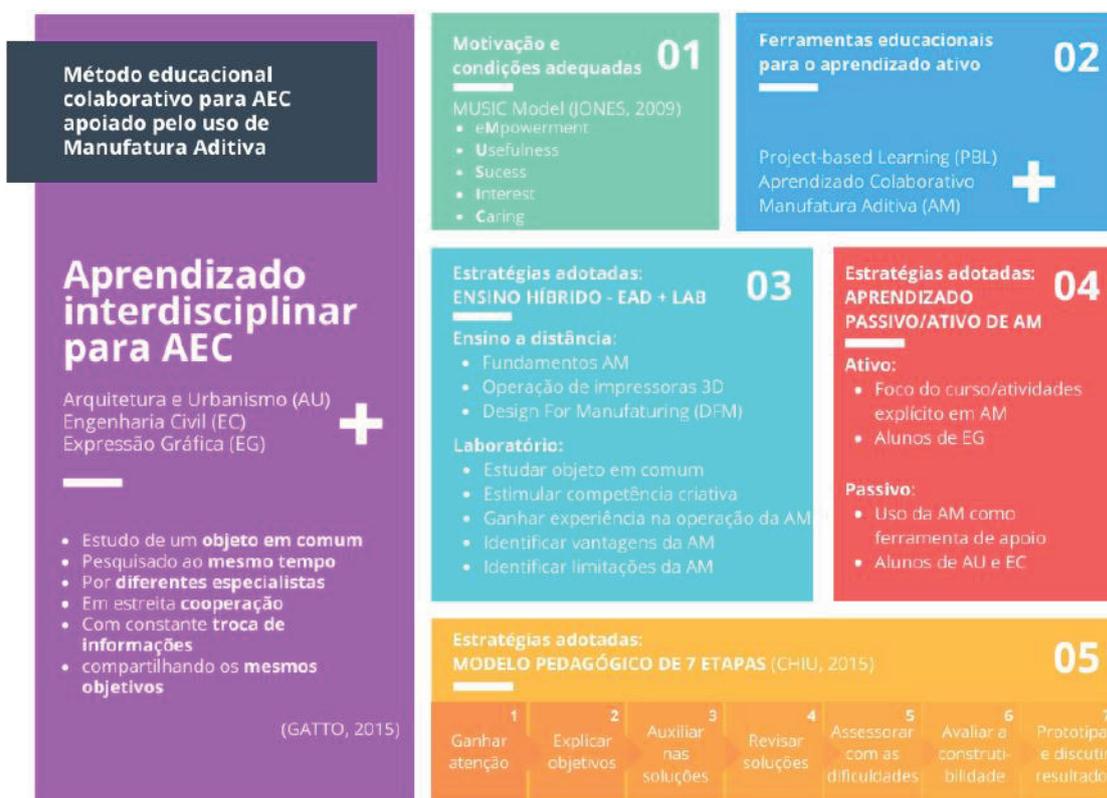
Baseado nesse panorama, desenvolveu-se o “Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva” ou MECA-AM (INSERIR REFERENCIA ICCCBE). O método busca o aprendizado interdisciplinar de alunos de Arquitetura e Urbanismo (AU), Engenharia Civil (EC) e Expressão Gráfica (EG) através de atividades com abordagem PBL (*Project-based Learning*) que priorizam o aprendizado colaborativo e utilizam a Manufatura Aditiva como uma ferramenta de estímulo a integração.

Neste trabalho, apresenta-se duas experiências de aplicação deste método realizadas no segundo semestre de 2021 e no primeiro semestre de 2022, 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).

1.2. O MÉTODO

O método educacional (MECA-AM) utilizado nos workshops (Figura 3) (INSERIR REFERENCIA ICCCBE) 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. 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 se conceber o artefato.

Figura 3 – Estrutura do Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de 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.

1.2.1. 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 et al., 2019). E para tanto, é necessário não só o comprometimento dos alunos, mas também dos professores.

Para a motivação dos alunos, o método utilizada 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. São eles: 1) Autonomia (*eMpowerment*); 2) Utilidade (*Usefulness*); 3) Sucesso (*Success*); 4) Interesse (*Interest*); e 5) Cuidado (*Caring*).

Seguindo cada um desses componentes, de maneira resumida, é importante que os alunos acreditem que possuem algum controle sobre algum aspecto do seu aprendizado (autonomia). Eles precisam entender o porquê 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 utilizar 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 ou atividades 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.

1.2.2. 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 e ROSENBERG, 2016).

O Método aplicado se baseia em três ferramentas educacionais: *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 et al., 2019; CARBONELL, 2016).

De forma complementar à abordagem PBL, o Ensino Colaborativo é um método de ensino no qual alunos trabalham juntos, em pequenos grupos, na busca de objetivos em comum (YOKAICHIYA et al., 2004). Os alunos de diferentes cursos, com visões diferentes sobre um mesmo tema, podem ensinar 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 e SCHEER, 2021).

1.2.3. 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 realizado de duas maneiras distintas: o ensino passivo e o ativo (FORD e 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 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 e 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.

1.2.4. 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) 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.

1.2.5. 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 et al. (2015) que fundamenta-se na clássica teoria de aprendizagem e design instrucional de Robert Gagne: *“The Conditions of Learning”* (GAGNE, 1985). Nela, são elencados nove eventos instrucionais que devem ser seguidos aos 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 relacionados também as categorias de motivação educacional (modelo MUSIC) envolvidas, o tipo de educação híbrida sugerida e o apoio envolvido em cada etapa (Figura 4).

Figura 4 – Os 7 passos do modelo pedagógico do método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de AM.

Etapa	Modelo Pedagógico para Método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso de Manufatura Aditiva	Noves 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 mesclar 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 construtivos 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 gerações 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 sua proposta 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

1.3. WORKSHOPS

1.3.1. Organização para viabilização

Inicialmente, pretendia-se integrar alunos dos três cursos (Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica) da Universidade Federal do Paraná. 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), a qual 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, no qual 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.

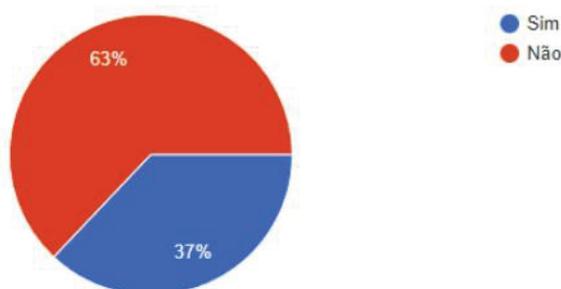
1.3.2. Definição do objeto de estudo

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. Recomenda-se 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 (INCLUIR REFERÊNCIA GTP).

O BIM já preconiza a colaboração, entretanto, como já mencionado, 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 (Figura 5).

Figura 5 – Durante a graduação os alunos do seu curso possuem algum tipo de integração com outros cursos relacionados com Arquitetura, Engenharia e Construção?



FONTE: Os autores

Já o tema “sistemas estruturais” foi utilizado durante a fase de sugestão de soluções para o desenvolvimento do método (VERIFICAR REFERÊNCIA REVISTA GTP). Segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), é pacífico 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 deficiente, 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, no qual 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.

1.3.3. 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), nas quais 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), nas quais os alunos teriam a 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 convidou-se 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 software de modelagem BIM (REVIT) e exportação de modelos em STL para impressão 3D. 2) Configuração básicas para impressão 3D em software 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, os quais pudessem ser base para modelagem e prototipagem. Após apresentá-los aos professores, estes deveriam fornecer argumentos para direcionar dúvidas e apresentar onde estariam as maiores dificuldades para cada escolha. Dessa forma, os alunos

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

² Disponível em: <https://youtu.be/tBB9Kv0IPtc>

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

possuíam 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.

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 podem realizar alterações e, na sequência, com auxílio de um técnico responsável pelo laboratório, ou monitores, planejarem e executarem suas impressões 3D. Nesta etapa, o apoio de técnicos ou monitores é de fundamental importância. Primeiro, por terem mais experiência, podem prevenir os alunos de cometerem erros básicos. E, como as impressões demoram inúmeras horas para serem finalizadas, cuidam de todo processo garantindo a otimização de funcionamento dos equipamentos do laboratório. Dessa forma, os alunos participam do planejamento da impressão, seu início, e depois apenas buscam as peças para finalização da montagem.

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

⁵ Disponível em: <https://youtu.be/w50I3YzlckY>

E por fim, em uma última aula presencial, cada equipe apresenta seus modelos para todos. O professor atua 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.

1.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

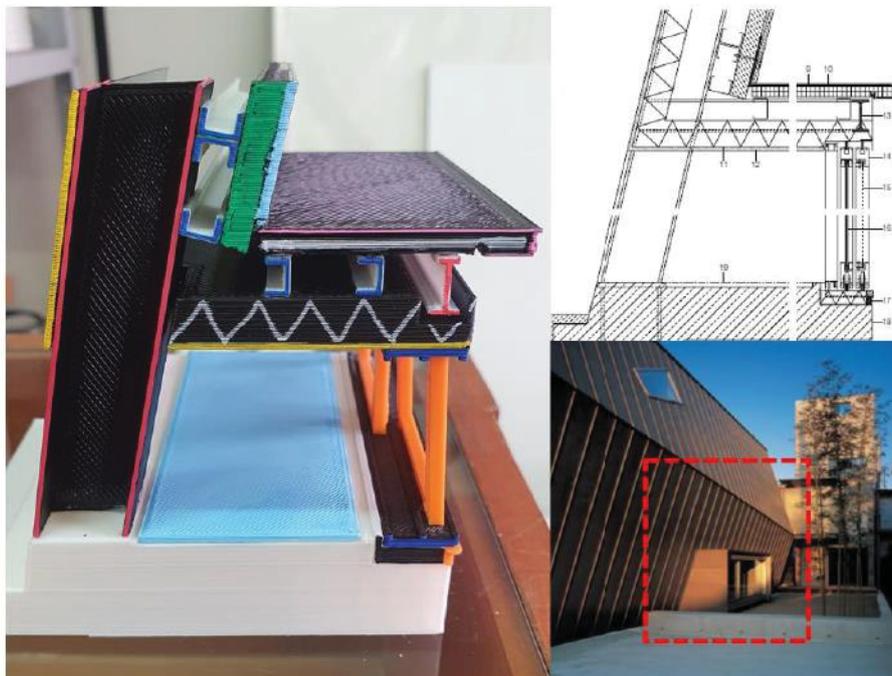
Durante os workshops os alunos se mostraram muito interessados e curiosos a respeito da impressão 3D. A afirmação de Carboni e Scheer (2021) de que a AM desperta maior interesse dos alunos, se mostrou verdadeira. Percebeu-se que o desejo de conhecer mais sobre o tema e de ter a oportunidade de experiência 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 se 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 (REFERENCIA GTP QUANDO FOR PUBLICADA). O fundamental é passar segurança de que serão capazes de atingir os objetivos e, ao apresentar referências semelhantes nas quais 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 6 mostra o detalhe escolhido por uma das equipes de 2021 e o resultado alcançado.

Figura 6 – Trabalho de uma das equipes de 2021. A direita as referências selecionadas e a esquerda o modelo produzido pela equipe.



FONTE: Os autores

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

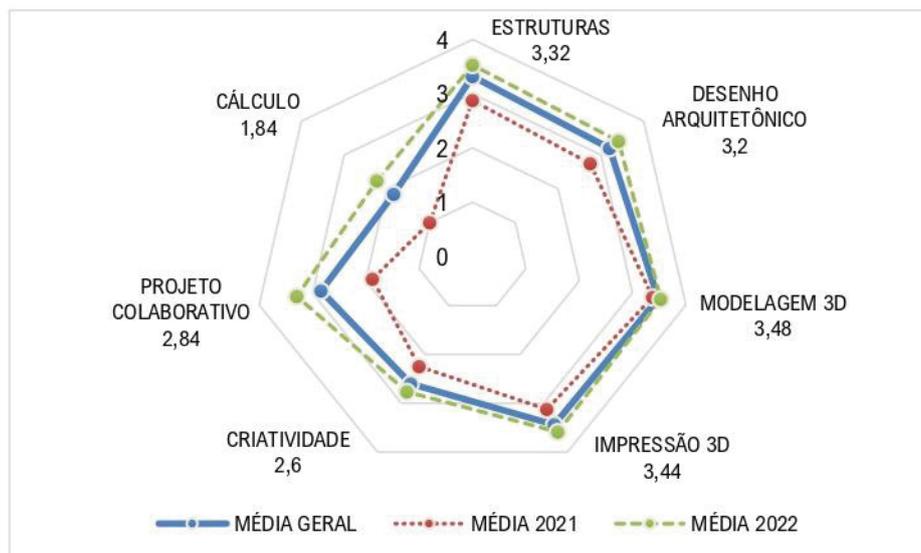
especialmente a edificação a partir do material que dispunham. Em sua maioria eram apenas cortes bidimensionais. Em alguns casos possuíam fotos e plantas. Isso se mostrou determinante no segundo momento de atenção: o de modelagem virtual.

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 7). 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 identificar o nível de habilidade de cada participante em modelagem 3D no início 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 7 - 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

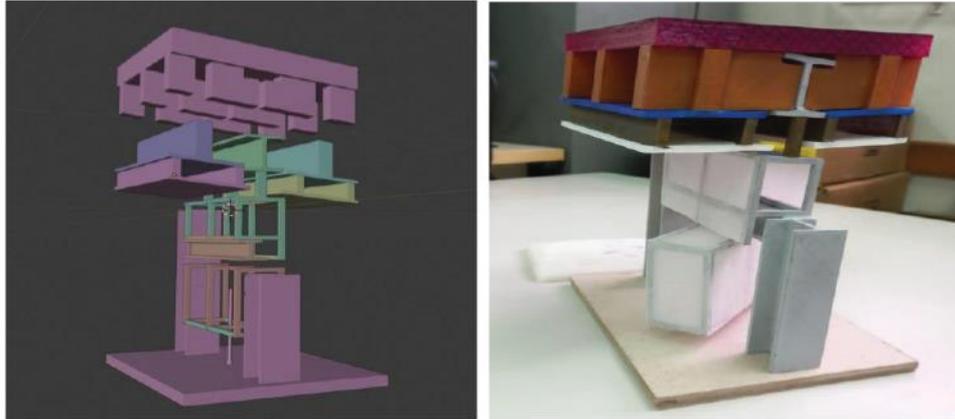
Os alunos se depararam com outros dois desafios. O primeiro foi a definição da escala do modelo. E o segundo, a aplicação do conceito de DFM (*Design for Manufacturing*) na modelagem, ou seja, limitações e regras de design de elementos para cada técnica de AM com o foco na construtibilidades das peças 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 8), 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.

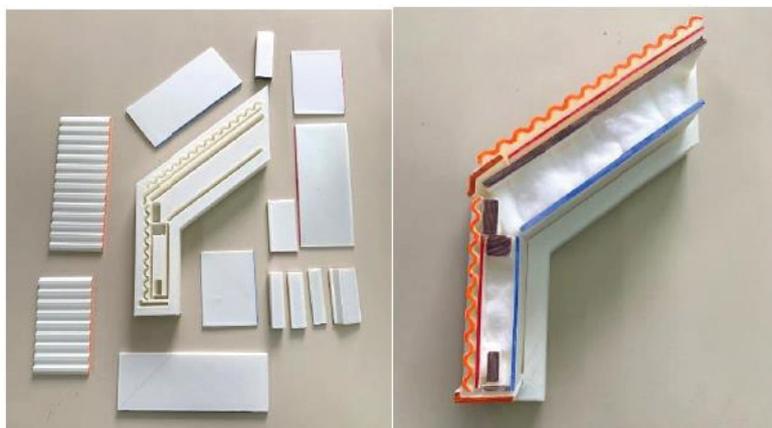
Figura 8 – Modelagem 3D dos elementos (esquerda). Modelo físico final (direita).



FONTE: Os autores

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, no qual 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 9).

Figura 9 – Equipe desenvolveu um modelo no qual cada elemento é encaixado em um molde.



FONTE: Os autores

1.4.1. 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.

1.4.1.1. Avaliação objetiva

Para a primeira parte, adaptou-se o questionário utilizado por Corbacho et al. (2021) que utiliza questões originalmente formuladas por Griffin et al. (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 que cursaram os workshops.

Além das nove dimensões avaliada, 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 ver 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 e 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

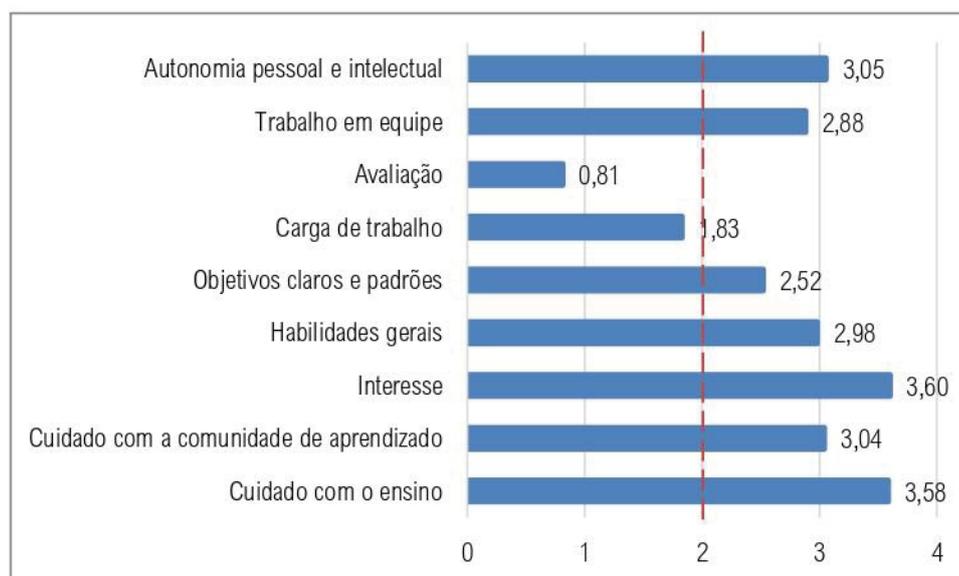
Afirmações do questionário		Média individual	Categorias Motivação Acadêmica MUSIC	Categorias de avaliação do SCEQ (Média categoria)	Alfa de Cronbach
1.	Como resultado do curso, me sinto confiante em lidar com problemas desconhecidos	2,84	1. Autonomia (eMpowerment)	Autonomia pessoal e intelectual (M=3,05)	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 de 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			
13.	A equipe docente parecia mais interessada em examinar o que eu havia memorizado no lugar do que eu havia aprendido	0,92	3. Sucesso (Success)	Avaliação (M=0,81)	0,8
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			
17.	Houve muita pressão sobre mim como estudante durante este curso	1,76		Carga de trabalho (M=1,83)	0,7
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			
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			
23.	O curso afeiú minhas habilidades analíticas	2,88	4. Interesse (Interest)	Habilidades gerais (M=2,98)	0,7
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			
26.	O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de usar informações de maneira efetiva	3,32		Interesse (M=3,60)	0,9
27.	A equipe docente trabalhou duro para fazer o tema interessante***	3,68			
28.	Achei o curso intelectualmente estimulante	3,52			
29.	Me senti parte de um grupo de estudantes e docentes comprometidos a aprender**	3,08	5. Cuidado (Caring)	Cuidado com a comunidade de aprendizado (M=3,04)	0,9
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			
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		Cuidado com o ensino (M=3,58)	0,7
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 10), 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.

Figura 10 – Média das respostas obtidas por categoria do SCEQ.



FONTE: Os autores

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.

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 1.4.1.2):

- “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”.

1.4.1.2. 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 workshop 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 on-line, 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 foram positivas. 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 pra 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 grande 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 se tinha 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 tangibilizar 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, muita 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 ao 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.”

1.5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho demonstrou a aplicação do “método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva” (**INSERIR REFERENCIA ICCCB**) em duas experiências de workshops realizados com alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica. O objetivo foi mostrar a validade do artefato através da percepção dos próprios alunos sobre a experiência vivenciada.

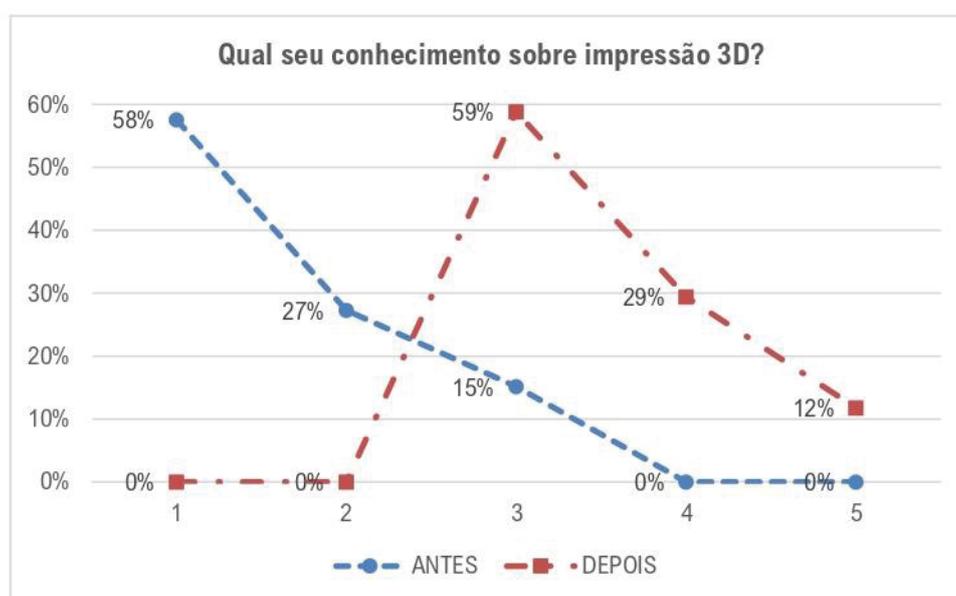
De maneira geral, com base nos questionários aplicados e na percepção do autor obtida pela observação pessoal das experiências, notou-se uma aceitação e avaliação bastante positiva por parte dos alunos. Houve animação dos alunos de AU e EC e valorização dos alunos de EG, que ainda buscam inserção e reconhecimento 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 dos 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.

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 11 que houve um nítido incremento, no qual a maioria dos alunos migrou de nenhum conhecimento (escala 1) para um nível intermediário (escala 3).

Figura 11 – 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 tratava-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, no qual 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 método educacional colaborativo para AEC apoiado pelo uso da Manufatura Aditiva proposto e as sete etapas apresentadas. Sugere-se, principalmente, que sejam testados outros “objetos em comum” além do utilizado: detalhes arquitetônicos construtivos.

REFERÊNCIAS

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. , 2019. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm>. Acesso em: 19/11/2021.

BRASIL. Construa Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/ambiente-de-negocios/competitividade-industrial/construa-brasil>>. Acesso em: 7/5/2022.

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.

CBIC. PIB Brasil e Construção Civil. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. .

CHIU, P. H. P.; KI, T.; FAN, F.; et al. A project-problem based learning approach for appreciating ancient cultural heritage through technologies: Realizing mystical buildings in Dunhuang Mural. 2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). **Anais...** . p.65–69, 2016. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TALE.2016.7851772>>. Acesso em: 23/3/2019.

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.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2nd ed. ed. New Jersey: Wiley, 2011.

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.

FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 72, p. 9–17, 2016. Elsevier B.V. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>>. Acesso em: 20/9/2019.

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. **Simpório 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>. .

GATTO, A.; BASSOLI, E.; DENTI, L.; IULIANO, L.; MINETOLA, P. Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering. **Rapid Prototyping Journal**, , n. June, p. 598–603, 2015.

GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. **Additive Manufacturing**, v. 10, p. 76–87, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>>. Acesso em: 20/3/2019.

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.

HAAVI, T.; TVENGE, N.; MARTINSEN, K. CDIO design education collaboration using 3D-desktop printers. **Procedia CIRP**, v. 70, p. 325–330, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>>. Acesso em: 7/3/2020.

HULEIHIL, M. 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 164, p. 012023, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012023>>. Acesso em: 7/3/2020.

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: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ911601&site=ehost-live%5Cnhttp://www.investigacion-psicopedagogica.org/revista/new/english/ContadorArticulo.php?499>>. .

KERN, M.; SAGAZIO, G.; LOURENÇÃO, P.; et al. A mobilização empresarial pela inovação (MEI) e a defesa da modernização do ensino de Engenharia. In: V. F. de Oliveira (Org.); **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1a. ed., p.33–43, 2019. Rio de Janeiro: LTC.

KOLITSKY, M. A. Reshaping teaching and learning with 3D printing technologies. **e-mentor**, v. 2014, n. 56 (4), p. 84–94, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.15219/em56.1130>>. Acesso em: 5/9/2020.

LUDWIG, P. M.; NAGEL, J. K.; LEWIS, E. J. Student learning outcomes from a pilot medical innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. **International Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, p. 33, 2017. International Journal of STEM Education. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0095-y>>. Acesso em: 20/3/2019.

MARTINS, I. L.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019007, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652734>>. Acesso em: 15/8/2020.

MONTEIRO, M. T. F. **A impressão 3D no meio produtivo do design: um estudo na fabricação de joias**, 2015. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-Monteiro.pdf>>. Acesso em: 30/1/2019.

NIST. Metrics and tools for construction productivity project. Disponível em: <<https://www.nist.gov/programs-projects/metrics-and-tools-construction-productivity-project>>. Acesso em: 19/8/2019.

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.

OLIVEIRA, M. R. DE; FABRICIO, M. M. Projeto paramétrico e prototipagem rápida: casos em instituições internacionais. In: D. Kowaltowski; D. de C. Moreira; J. R. D. Petreche; M. M. Fabricio (Orgs.); **O processo de projeto em arquitetura**. p.455–469, 2011. São Paulo: Oficina de textos.

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.

VACCAREZZA, M.; PAPA, V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. **Anatomical Science International**, v. 90, n. 1, p. 64–65, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s12565-014-0257-7>>. Acesso em: 18/3/2020.

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.

WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J. H.; WANG, X. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science Review**, v. 61, n. 3, p. 133–142, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1450727>>. Acesso em: 26/4/2019.

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 5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE EXPRESSÃO GRÁFICA

QUESTIONÁRIO 1 DISCIPLINA OPTATIVA ARQUITETURA / EXPRESSÃO GRÁFICA

Este questionário faz parte do trabalho de doutorado do Prof. Márcio Carboni. Ao responder este questionário você concorda que suas respostas sejam utilizadas para a pesquisa intitulada “Prototipagem rápida como instrumento no processo de ensino-aprendizagem de projetos de criatividade”.

Sua colaboração é de suma importância e agradecemos desde já sua participação. Sua identidade permanecerá anônima em todo o trabalho, porém o pesquisador pede que se identifique apenas para poder comparar respostas com futuros questionários.

Obrigado!
Prof. Márcio Henrique de Sousa Carboni

PERFIL DO PARTICIPANTE	
A.	Qual seu nome?
B.	Qual seu curso?
C.	Que período está cursando?

PESQUISA DE OPINIÃO 1	
Nas próximas questões você será convidado a responder sobre seu grau de familiaridade, concordância ou importância de determinados temas, onde 0 (zero) é o menor grau e 4 (quatro) o maior.	
1.	Como você julgaria o seu conhecimento sobre estruturas?
2.	Quão importante você julga ser a realização de projetos colaborativos?
3.	Quão preparado você julga estar para participar de um grupo multidisciplinar de projeto?
4.	Como você julgaria o seu conhecimento acadêmico sobre o conceito de modelagem 3D?

5.	Como você julgaria a sua familiaridade com a prática de modelagem 3D?	① ② ③ ④
----	---	---------

PESQUISA DE OPINIÃO 1

Continuação.

6.	O quão familiarizado você está com o conceito de impressão 3D?	① ② ③ ④
7.	O quão familiarizado você está com a prática de impressão 3D?	① ② ③ ④

GRAU DE IMPORTÂNCIA

Entre os conteúdos, conceitos e/ou habilidades descritos abaixo, dê notas de 0 a 4 de acordo com a importância que você julga ter cada um para o desenvolvimento dos projetos propostos para esta disciplina. Sendo que 0 (zero) seria a menor importância e 4 (quatro) a maior importância.

8.	Estruturas	① ② ③ ④
9.	Desenho arquitetônico	① ② ③ ④
10.	Modelagem 3D	① ② ③ ④
11.	Impressão 3D	① ② ③ ④
12.	Criatividade	① ② ③ ④
13.	Projeto Colaborativo	① ② ③ ④
14.	Cálculo	① ② ③ ④

PESQUISA DE PERCEPÇÃO

Responda as questões abaixo de acordo com sua percepção.

15.	O que é Prototipagem Rápida?
-----	------------------------------

PESQUISA DE PERCEPÇÃO

Continuação.

16. Como você acredita que tecnologias de impressão 3D poderiam auxiliar seu curso de graduação (alunos, professores, disciplinas, métodos de ensino-aprendizagem etc.)? Se possível, cite exemplos.

PESQUISA DE OPINIÃO 2

Exponha sua opinião para as 2 próximas questões através de textos. Sua efetiva participação é muito importante.

17. Qual a maior dificuldade que você acredita que encontrará no desenvolvimento dos projetos propostos para a disciplina?

PESQUISA DE OPINIÃO 2

Continuação.

18.

Quais são suas expectativas para este trabalho/disciplina?

19.

Caso queira comentar ou sugerir algo para esta pesquisa ou para a disciplina, este espaço está livre e aberto para fazê-lo. Caso tenha alguma dúvida, também pode fazer uma pergunta e deixar seu e-mail para respondermos. Caso queira receber notícias sobre esta pesquisa de doutorado, deixe também seu e-mail. Mais uma vez muito obrigado pela colaboração.

Curitiba, ___ de _____ de 20__

Assinatura do participante.

APÊNDICE 6



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE EXPRESSÃO GRÁFICA

QUESTIONÁRIO 2 DISCIPLINA OPTATIVA ARQUITETURA / EXPRESSÃO GRÁFICA

Este questionário faz parte do trabalho de doutorado do Prof. Márcio Carboni. Ao responder este questionário você concorda que suas respostas sejam utilizadas para a pesquisa intitulada “Prototipagem rápida como instrumento no processo de ensino-aprendizagem de projetos de criatividade”.

Sua colaboração é de suma importância e agradecemos desde já sua participação. Sua identidade permanecerá anônima em todo o trabalho, porém o pesquisador pede que se identifique apenas para poder comparar respostas com futuros questionários.

Obrigado!

Prof. Márcio Henrique de Sousa Carboni

PERFIL DO PARTICIPANTE

A.	Qual seu nome?	
B.	Qual seu curso?	
C.	Que período está cursando?	

PESQUISA DE OPINIÃO 1

Nas próximas questões você será convidado a responder sobre seu grau de familiaridade, concordância ou importância de determinados temas, onde 0 (zero) é o menor grau e 4 (quatro) o maior.

1.	Como você julgaria o seu conhecimento sobre estruturas <u>antes</u> da realização do 1º trabalho da disciplina?	① ② ③ ④
2.	Como você julgaria o seu conhecimento sobre estruturas <u>após</u> da realização do 1º trabalho da disciplina?	① ② ③ ④
3.	Para o sucesso do trabalho, quão importante foi o trabalho	① ② ③ ④

colaborativo entre alunos de
Expressão Gráfica e Arquitetura?

PESQUISA DE PERCEPÇÃO

Responda as questões abaixo de acordo com sua percepção.

4. Como você explicaria o conceito de Momento de Inércia?

5. Como o modelo lhe ajudou a entender esse conceito?

6. Qual a maior dificuldade enfrentada na execução do 1º trabalho?

PESQUISA DE OPINIÃO

Responda as questões abaixo de acordo com sua opinião.

6.

Qual modelo, na sua opinião, representa melhor o conceito abordado e é o mais apropriado para uso em sala de aula? Por quê?

7.

O que podemos melhorar para a realização dos outros modelos da disciplina?

Curitiba, ___ de _____ de 20__

Assinatura do participante.

APÊNDICE 7

Formulário Integração de alunos da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) no ensino - Avaliação Final do Curso

ESTA PESQUISA LEVA EM MÉDIA 12 MINUTOS PARA RESPONDÊ-LA

Este questionário faz parte da tese de doutorado intitulada "Manufatura Aditiva na integração de estudantes de AEC durante a graduação". Dois dos objetivos desta pesquisa são: identificar possibilidades de integração de estudantes de cursos que são relacionados com a área da Construção Civil (ex.: Engenharia Civil, Arquitetura, Expressão Gráfica), durante a graduação; e identificar as potencialidades da adoção da manufatura aditiva (impressão 3D) nos cursos dessa área.

O (A) Sr. (a) será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar, retirando seu consentimento ou interrompendo sua participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido pelo pesquisador.

Esta pesquisa não acarreta qualquer tipo de riscos aos respondentes e sua identidade será mantida em sigilo, uma vez que o questionário é respondido de maneira anônima. Não solicitaremos dados que possam identificar os indivíduos. Caso tenha alguma dúvida, por favor, entre em contato com o pesquisador através do e-mail indicado abaixo.

Sua colaboração é de fundamental importância. Agradecemos desde já a sua colaboração. E os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada.

Para entrar em contato com o pesquisador, envie um e-mail para mhcarboni@ufpr.br

Pesquisador: Prof. Me. Márcio Henrique de Sousa Carboni
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Scheer.

-
1. Aceita, livremente, participar desta pesquisa de maneira anônima?
 - Sim
 - Não

PERFIL DO PARTICIPANTE

2. Qual seu curso de graduação?

- Arquitetura e Urbanismo
 Engenharia Civil
 Expressão Gráfica
 Outro: _____

3. 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. Sendo 0 nenhuma importância e 4 muita importância.

	0	1	2	3	4
Estruturas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desenho Arquitetônico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modelagem 3D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impressão 3D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Criatividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projeto colaborativa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cálculo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Qual seu conhecimento sobre impressão 3D após o curso?

	0	1	2	3	4
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PESQUISA DE PERCEPÇÃO

Nas próximas questões você será convidado a responder sobre o grau de concordância com algumas afirmações. Onde 0 (zero) é o menor grau (não concordo muito) e 4 (quatro) o maior (concordo muito).

	0	1	2	3	4
5. Achei o curso intelectualmente estimulante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Houve muita pressão sobre mim como estudante durante este curso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. O(s) docente(s) me deram retorno útil como ia meu andamento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. A quantidade de trabalho foi muito pesada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de trabalho em equipe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Em geral tive uma clara ideia de onde eu ia e o que se esperava de mim durante o curso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. O(s) docente(s) do curso me motivaram a dar o melhor de mim no trabalho.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. O curso afiou minhas habilidades analíticas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. Como resultado do curso, me sinto confiante em lidar com problemas desconhecidos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. O curso estimulou meu entusiasmo para seguir aprendendo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Foi fácil saber o nível de trabalho que se esperava.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. A equipe docente parecia interessada em examinar o que eu havia memorizado no lugar do que eu havia aprendido.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Em geral houve tempo suficiente para compreender as coisas que se devia aprender.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. A equipe docente se esforçou para entender as dificuldades que se enfrentavam no trabalho.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Em geral, o retorno sobre meu trabalho foi dado apenas em forma de notas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. O curso me ajudou a desenvolver habilidade em resolução de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. A equipe docente foi extremamente boa em explicar coisas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. A equipe docente apenas me fazia perguntas sobre os resultados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. A equipe docente trabalhou duro para fazer o tema interessante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. O curso melhorou minhas habilidades de comunicação.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. O curso me ajudou a desenvolver a habilidade de planejamento de meu trabalho.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. O volume de trabalho que o curso implicou significou que nem todo conteúdo pudesse ser compreendido.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. A equipe docente deixou claro desde o princípio o que se esperava dos estudantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Para ter êxito neste curso tudo o que se necessitava é uma boa memória.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. A equipe docente depositou muito tempo em comentar meu trabalho.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Me senti parte de um grupo de estudantes e docentes comprometidos a aprender.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Foi difícil descobrir o que se esperava de mim neste curso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Aprendi a ter confiança ao expor ideias com outras pessoas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. As ideias e sugestões dos estudantes foram ouvidas durante o curso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. Senti que pertencia a comunidade de alunos e professores.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35. Fui capaz de explorar meus interesses acadêmicos com os professores e alunos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36. O curso me ajudou a desenvolver minha capacidade de investigação.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

37. O curso estimulou meu desenvolvimento de perspectivas éticas, sociais e profissionais relevantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38. O curso desenvolveu minha habilidade de usar comunicação oral, escrita e/ou visual.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39. O curso me incentivou a ser ativo na busca do aprendizado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40. O curso me ajudou a desenvolver minha habilidade de usar informações de maneira efetiva.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41. As atividades do curso me ajudaram a desenvolver-me como pessoa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42. O curso promoveu minha independência pessoal e intelectual.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PESQUISA QUALITATIVA

Responda brevemente as questões de acordo com a sua experiência com o curso.

43. O workshop atendeu as suas expectativas iniciais? Caso a resposta seja negativa, explique o motivo.

44. Você achou a experiência de trabalho interdisciplinar válida? Quais os benefícios na sua formação isso trouxe?

45. Houve alguma divisão de trabalho ou papéis dentro do grupo? Explique brevemente.

46. Você aprendeu algo com os alunos de outros cursos de graduação que não o seu? Explique.

47. Os conteúdos expostos pelos professores e a forma de apresentação/trabalho (palestras, aulas gravadas, aulas síncronas on-line, encontros no laboratório para desenvolvimento etc.) foram suficientes para o trabalho? Você mudaria algo para um próximo curso?

48. Quais as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho?

49. Qual foi a importância da impressão 3D neste trabalho? Ela foi importante para algo além de gerar modelos físicos com bom acabamento e precisão?

50. Você tem algum comentário ou sugestão a ser feita? Sua colaboração é extremamente importante!

Fim da pesquisa. Obrigado pela sua participação!

APÊNDICE 8

Formulário Integração de alunos da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) no ensino - Avaliação Final do Curso

RESPOSTAS PESQUISA QUALITATIVA

43. O workshop atendeu as suas expectativas iniciais? Caso a resposta seja negativa, explique o motivo.

#	RESPOSTAS
1	Sim.
2	Sim, atendeu.
3	Sim.
4	Atendeu. Desde o início do curso, eu tinha MUITO interesse em participar de projetos de manufatura aditiva, e essa matéria foi perfeita para isso. no início da proposta eu não havia entendi muito bem a ideia, mas com o tempo consegui entender. foi um dos trabalhos mais legais que já fiz durante o curso.
5	A matéria seria muito melhor aproveitada se fosse presencial e tivesse supervisão durante o processo, não só mentorias.
6	Sim
7	Em partes sim, pois as atividades utilizando prototipagem rápida foram muito interessantes, mas não houve no geral, uma boa interação com alunos de outras disciplinas.
8	No começo achei desafiador por terem pessoas de fora com horários diferentes dos nossos, mas com o desenvolver achei bem legal a proposta e jamais imaginei a construção de um modelo feito a partir apenas de um corte para mostrar os detalhes internos.
9	Sim
10	Sim
11	Sim.
12	O workshop foi além das expectativas. Apesar da curta duração, muito conteúdo foi repassado, sinto que aprendi novas habilidades e relembrei diversas coisas que tinha esquecido ao longo do curso de graduação.
13	Sim!
14	Sim
15	A princípio pensei que o foco do workshop seria apenas impressão 3D, aprender o básico, já que não tinha experiência alguma com modelagem, senti dificuldade no desenvolvimento do projeto, acredito que aproveitaria mais se já tivesse um conhecimento maior do assunto.
16	Sim
17	Atendeu minhas expectativas de saber mais sobre impressão 3D, pois o conhecimento que tinha sobre a área não era suficiente para entendimento.
18	Parcialmente, adquiri bastante conhecimento, mas senti que a questão da troca dos mesmos não foi efetiva. Senti que evolui muito em algumas questões que acabam sendo abordadas de maneira rasa ao longo do curso, mas os conhecimentos interdisciplinares senti menos evolução.
19	Sim, pois acreditava que era um workshop focado em impressora 3d, porém, acabou sendo algo além disso.
20	Sim
21	Sim.

22	Sim e não. Eu adorei o workshop, mas achei que se eu já tivesse um conhecimento em modelagem e impressão 3D, com certeza teria um aproveitamento melhor do curso. Como eu não tinha, fiquei um pouco perdida e não pude colaborar como gostaria.
23	O workshop foi ótimo, uma carga de conhecimento para minha formação, contudo, em questão de trabalho em equipe, um membro da minha equipe foi desrespeitoso comigo, o que não foi algo que se deve fazer quando trabalhando em equipe. Eu tentei ao máximo interagir com respeito e compreensão apesar de não possuir os skills necessários em modelagem 3D, a pessoa que ficou encarregada da modelagem se achou no direito de me desrespeitar por estar desenvolvendo essa atividade.
24	Não houve interdisciplinaridade como era a proposta. Participantes iniciantes na graduação. Atividades fora do horário da aula, comprometendo a participação de alguns alunos.
25	Não, pois houve não comunicação com os membros da equipe e todo o fator previsto resumiu-se em um engajamento individual.

44. Você achou a experiência de trabalho interdisciplinar válida? Quais os benefícios na sua formação isso trouxe?

#	RESPOSTAS
1	A ideia sim é válida, mas como os alunos externos não se demonstraram interessados em ajudar, a minha experiência foi ruim, não trouxe nenhum benefício.
2	Achei válida. Apesar da comunicação limitada, e de perder contato com os estudantes externos, ainda foi possível uma troca de ideias no início.
3	Achei um pouco aleatório, para que todos os cursos tivessem participação o trabalho deveria ter sido pensado de forma conjunta.
4	Foi válida, já que os alunos de outros cursos trouxeram informações importantes, e acrescentaram no nosso conhecimento.
5	Da forma que foi realizada não. Não houve interação com participantes externos, foi muito pouco tempo e muita gente posta pouco trabalho.
6	Sim. Conhecer mais sobre as áreas do conhecimento abordadas em diferentes cursos na área de construção civil.
7	Não, a ideia de unir as disciplinas tem muito potencial, porém os alunos das outras disciplinas não demonstraram muito interesse, ou estavam ocupados com as matérias de seus cursos
8	Achei válida, logo de cara na decisão de qual edificação escolhermos, já foram apontados alguns possíveis desafios e opiniões diferentes vinda dos alunos de fora
9	Sim, trouxe pontos aonde meu curso por causa da grade horaria não tem tempo de explicar principalmente a impressão 3d e pude ter mais conhecimentos da parte de modelagem e de detalhes arquitetônicos
10	Com certeza! O trabalho me ajudou a interpretar melhor projetos de estruturas 2D para o 3D. Também ajudou na parte comunicativa, pois trabalhei com pessoas das quais não conhecia.
11	Sim. Entendimento de modelagem e processo de impressão 3D
12	Sim, super válida. Conheci novas pessoas, de diferentes áreas. Sinto que apesar de termos matérias em comuns, cada um tinha um conhecimento a agregar. Dessa forma o trabalho em grupo foi uma experiência enriquecedora para minha formação e, que com certeza, ganhei uma nova rede de contatos.
13	Sim. Além de uma relação melhor com colegas de outros cursos que trazem outras ideias e maneiras de pensar, também pude ter a experiência de modelagem, prototipagem e ver a impressão 3D funcionando na prática.
14	Achei válido, é ótimo trocar conhecimentos já dentro da universidade uma vez que saindo dela terá ainda mais contato com pessoas de todas as áreas.
15	Acredito que sim, ampliou meu conhecimento em relação a assuntos que nunca tinha ouvido falar, como os detalhes arquitetônicos e a forma como modelá-los.

16	Comunicação foi usada em todas as etapas do trabalho, com expressão de novas ideias
17	Sim, pois me deu a oportunidade de conhecer mais sobre outros cursos, abrangendo meu conhecimento em outras áreas.
18	Achei válida, mesmo que não tenha acontecido de forma efetiva. Mas consegui adquirir muitos conhecimentos acerca de conteúdos que foram apresentados de maneira breve ao longo do curso, 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.
19	Achei, pois, apesar de não ter feito as matérias necessárias, acabei aprendendo algo que dá para levar mais para frente e que futuramente não irei ter tanta dificuldade quando cursar essa matéria.
20	Sim. Prática e habilidades interpessoais.
21	Sim. Compreendi detalhes arquitetônicos com mais facilidade.
22	Com certeza! O conhecimento de outras áreas facilita muito o entendimento e faz com o que o aprendizado seja melhor. Cada área colabora um pouco com o que conhece mais.
23	A experiência e o primeiro contato com a impressão 3D foram ótimos, é interessante vir de outra área e conseguir entender quais as demandas pra realização do projeto.
24	Valida no sentido de agregar conhecimento sobre o método utilizado.
25	Sim. Foca na resolução de problemas e criatividade para questões técnicas, algo que geralmente nos momentos iniciais é tido como difícil ou necessita de robustez na linguagem técnica.

45. Houve alguma divisão de trabalho ou papéis dentro do grupo? Explique brevemente.

#	RESPOSTAS
1	Sim, entre planejamento, modelagem e impressão 3D.
2	Não houve uma divisão específica, fomos interagindo o trabalho à medida que íamos descobrindo e interpretando o detalhe arquitetônico.
3	Os alunos de expressão gráfica fizeram maior parte
4	Não houve. como o grupo era composto por 8 pessoas, ficou complicado de dividir as tarefas de modo que todo mundo fizesse alguma coisa. num geral, o trabalho foi feito basicamente por umas 5 pessoas, enquanto as outras mal falavam (mesmo sempre abrindo espaço e reuniões para todos participarem).
5	Não muito, quem sabia da estrutura montou, quem sabia de modelagem finalizou, mas precisou só de 2 pessoas.
6	Sim, nos reunimos algumas vezes para planejar como faríamos o trabalho e os alunos que dominavam certas áreas "tomaram a dianteira" do tema.
7	Não, todos do curso auxiliaram em partes na modelagem ou na impressão, e a maior parte da interação interdisciplinar ocorreu durante a escolha do detalhamento, com a ajuda de somente uma aluna de outra disciplina
8	Nosso grupo estava bem cheio (com 7 pessoas), então essa divisão já foi meio complicada de início, com o passar do trabalho fomos vendo quem realmente estava se dedicando mais e na prática fizemos em trio. Também tiveram duas alunas de fora estavam acompanhando pra entender o que fazíamos, mas não chegaram a ajudar na construção dos modelos 3D
9	Sim, um ficou responsável pela modelagem, outra pelo detalhamento e o último pela explicação do detalhamento e da peça
10	Sim. Cada membro foi designado a estudar e desenvolver uma parte do projeto, como escala, legenda, alterações, modelagem e estruturas
11	Sim, expressão mais com modelagem e engenharia com o entendimento dos detalhes

12	Não de forma explícita. O trabalho foi feito em conjunto, do início ao fim, porém ao longo do percurso um estudante se destacava mais que outro, de certa forma, conduzindo a 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.
13	Sim. Algumas pessoas ficaram mais nos cálculos e medições, outras mais voltadas para a modelagem e detalhamentos e todos no geral se ajudaram, dando suporte em áreas que mesmo não dominando, tentamos auxiliar e aprender juntos como desenvolver o trabalho.
14	Sim, a divisão da modelagem, explicação, formatação do arquivo etc.
15	Nós fizemos o trabalho todos juntos, menos a parte de modelagem que foi apenas um aluno responsável pois os outros não tinham muito conhecimento sobre.
16	No começo houve uma divisão, mas no decorrer do trabalho, todos estavam juntos no decorrer das etapas.
17	Separamos o trabalho entre a modelagem, verificação, montagem e elaboração do arquivo. Cada participante fez um pouco de cada, somando no resultado final.
18	Tive bastante problema de comunicação com o grupo, a comunicação era rasa, demorada e muitas vezes acabei até nem obtendo resposta, tivemos dificuldade em alinhar os horários. Dos outros 3 membros do grupo apenas uma das pessoas conseguiu me ajudar e dar algum feedback. Não teve divisão, mal me explicaram o detalhamento, e ficou a meu cargo realizar a modelagem, adaptar para a impressão, imprimir, montar e dar acabamento enquanto os outros alunos ficaram encarregados de fazer a legenda.
19	Houve, cada um fez o que conseguia e que podia ajudar. Houve divisão mais prática, outra de modelagem e por assim vai.
20	Houve. Mas houve confusão com a função dos demais cursos exceto expressão gráfica que tinha a função de modelar.
21	Houve. Mas também teve confusão qual a função de cada aluno.
22	Não, todos colaboraram com tudo.
23	Houve uma divisão, alguns ficaram com a parte informacional e uma aluna de expressão gráfica ficou com a modelagem.
24	Alguns integrantes participaram, outros não.
25	Não, pois foi praticamente individual

46. Você aprendeu algo com os alunos de outros cursos de graduação que não o seu? Explique.

#	RESPOSTAS
1	Não, não houve contato e/ou troca de informações, os alunos externos não demonstraram interesse em ajudar.
2	Acabamos perdendo contato com os alunos externos, e trocamos poucas ideias, mas conversamos sobre conteúdos específicos.
3	Não teve muita troca...
4	com certeza! os alunos de engenharia deram bons esclarecimentos relacionados a estrutura, que vimos pouco no curso de EG, além de ajudar a relembrar o uso de softwares de modelagem bom.
5	Não.
6	Sim, aprendi mais sobre as diferentes áreas de atuação de cada curso.
7	Não, pois estavam ocupados com as entregas de trabalhos de seus cursos.

8	Não, eles ajudaram a tirar pequenas dúvidas e parte deles estava presente acompanhando o que estávamos fazendo, mas sinto que aconteceu mais deles aprenderem com a gente que o contrário
9	sim aprendi a ter uma visão diferente para a mesma situação
10	Sim! 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
11	Sim. Troca de conhecimentos e de conteúdos estruturais
12	Sim, com certeza. Aprendi quais são os enfoques de cada curso, portanto entendi como nossos cursos se complementam e, para não dizer, se complementam. Portanto, algo que eu sabia superficialmente, outro soube explicar melhor, sanando as minhas dúvidas.
13	Aprendi a importância do detalhamento para desenvolver uma estrutura estável. Alguns pontos específicos de uma construção são essenciais para a elaboração de um cômodo ou ambiente externo. Fica mais claro ainda quando conseguimos representar isto de forma concreta.
14	Não muito, aprendi mais com o professor mesmo
15	Não muito, porque no meu grupo quase todos os alunos eram do mesmo curso que o meu.
16	Novos pontos de vista em uma mesma estrutura que ajudam a criar uma nova perspectiva.
17	O que vimos eu já tinha visto, porém não de forma abrangente. Assim, pude aprender o conteúdo mais aprofundado sobre o tema.
18	Confesso que os alunos que mais me ajudaram foram os monitores do LAMPi, com eles aprendi bastante coisa que foi vista de maneira rasa ao longo do curso (principalmente acerca de impressão 3D e produção de protótipos), fiquei feliz com essa interação com outros alunos que não tinha tanto contato e com o laboratório que eu nunca havia efetivamente utilizado. Com os alunos de outros cursos, uma das alunas de arquitetura me auxiliou explicando e mostrando através de imagens como funcionavam algumas das estruturas que pra mim eram abstratas no detalhamento.
19	Acabei não aprendendo muito porque não houve tanta comunicação para se passar o conhecimento.
20	Termos da engenharia civil.
21	Termos de engenharia civil.
22	Sim, a estudante de engenharia do meu grupo conhecia melhor a parte de detalhamento e leitura do projeto.
23	Aprendi bastante coisa sobre detalhes arquitetônicos.
24	Não houve.
25	Não, devido à falta de contato

47. Os conteúdos expostos pelos professores e a forma de apresentação/trabalho (palestras, aulas gravadas, aulas síncronas on-line, encontros no laboratório para desenvolvimento etc.) foram suficientes para o trabalho? Você mudaria algo para um próximo curso?

#	RESPOSTAS
1	Inicialmente não ficou claro o que se esperava, talvez seja necessário um exemplo físico de um resultado final, facilitaria muito o entendimento imediato.
2	Foram suficientes para entendermos o conteúdo.
3	Sim! O conteúdo foi adequado
4	acredito que foi o suficiente. as aulas gravadas foram bem detalhadas, e suficiente para cumprimos com a ideia. pra mim, um dos pontos altos do curso foi a palestra que tivemos. eu não tenho dúvidas de que essa foi a melhor palestra que eu já vi (fiquei pensando nela por uns dias). e em relação a mudar algo, claro, acredito que mais

	encontros presenciais seriam o ideal, tanto com explicações do professor, quanto aulas práticas. trabalho em grupo a distância é péssimo, porque nem sempre todos estão disponíveis, ainda mais com o pouco tempo que tivemos para desenvolver o trabalho.
5	Acredito que um trabalho feito inteiramente pelo grupo seria mais proveitoso, e com mais tempo de execução.
6	Eu gostei bastante dos conteúdos gravados, achei bem instrutivos e fáceis de entender. Talvez para o próximo ano pudesse ser feito (gravado mesmo) um exemplo de impressão, tipo desde modelagem até a impressão, não precisaria ser algo muito complexo.
7	Foram suficientes
8	Foram suficientes
9	sim foram o suficiente, contudo seria interessante tentar ter mais aula presencial.
10	Sim! Gostei muito do modelo com aulas a distância e presenciais.
11	Sim. Não.
12	Sim, todo conteúdo necessário para a fabricação do modelo 3D estava disponível e a organização da disciplina estava coerente.
13	Acredito que foram suficientes. Acho que poderia ter mais encontros no laboratório explicando na prática muitas coisas que teorizamos.
14	Achei bom, precisava só de um pouco mais de tempo
15	Foram sim, mas acredito que seria mais proveitoso se fosse possível um tempo maior para o curso, o aprendizado seria mais aprofundado.
16	Sim, os professores sempre muito presentes para tirar dúvidas e ajuda a compreender o trabalho.
17	O que poderia mudar eram os requisitos para a participação do workshop, pois alunos que estão iniciando o curso agora, não sabem ainda muito sobre a modelagem, o que dificulta a elaboração do trabalho. Creio que com um pré-requisito facilitaria até mesmo o resultado.
18	Os professores conseguiram expor e auxiliar o projeto de maneira bastante clara. Fiquei bastante grata pela troca que tivemos com os docentes e em toda ajuda que deram e sinto que foi sim suficiente. Não mudaria nada em relação à postura dos docentes, a mudança que sugiro irei incluir na última questão.
19	Não foram para quem nunca havia visto sobre o assunto. Para melhorar isso acredito que colocar um pré-requisito ajudaria muito.
20	Senti falta de um encontro exclusivo em laboratório pra modelar o projeto.
21	Teria um encontro dedicado apenas a modelagem do protótipo.
22	Foram suficientes. Colocaria um pré-requisito de conhecimento em modelagem, principalmente.
23	O workshop em geral foi ótimo, os conteúdos foram essenciais e muito explicativos.
24	As aulas sobre impressão 3D foram boas. Como sugestão ser um projeto fora da disciplina, para que os estudantes que se identificarem e tiverem habilidades suficientes para participar se inscrevam, pois o trabalho é realizado em um curto período. Comunicar materiais que são necessários aos participantes, a utilização de uma cola inadequada pode causar mal-estar e enjoo.
25	Sim, todas as condições básicas para realização da atividade foram bem apresentadas e com oportunidade para seu desenvolvimento.

48. Quais as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho?

#	RESPOSTAS
1	Nenhuma dificuldade fora do normal.
2	Houve dificuldades de comunicação, devido à distância.
3	Apenas entender a proposta de primeira instância

4	Acredito que conciliar o tempo com todos do grupo, e entender 100% a proposta da atividade no início, aonde iríamos chegar, e qual seria o resultado final (mesmo com a explicação do professor). eu não estava entendendo como iríamos imprimir um detalhe, mas com o desenvolvimento do projeto, consegui entender.
5	Tempo.
6	Utilização de softwares que eu nunca usei e lembrar de todo o conteúdo na hora da execução.
7	Escolha e compreensão do detalhamento que seria modelado.
8	Número de pessoas que dificultou para nos reunirmos e também foi difícil criar uma divisão de tarefas
9	Na parte de encontrar um bom detalhe arquitetônico
10	Alterações na escala e peças que tiveram que ser remodeladas devido à limitação da impressora 3D
11	A modelagem.
12	Em pensar numa modelagem que uma impressora 3D pudesse imprimir, levando em consideração, o tamanho da mesa da impressa, qual seria o tamanho do molde, quais detalhes a impressora conseguiria imprimir, como o molde seria impresso, quais peças seriam impressas separadas e em conjunto etc. Portanto, pensar na lógica da impressão 3D e suas limitações.
13	Questão de tempo para realização e também a disponibilidade de cada pessoa para conseguir se reunir. Nem sempre todos conseguem estar numa certa hora marcada.
14	Entender as estruturas, como não é algo focado no nosso curso achei um pouco confuso tudo, e, comunicação, foi difícil.
15	A maioria do meu grupo não tinha muito conhecimento sobre modelagem e detalhes arquitetônicos, então o desenvolvimento do trabalho foi complicado.
16	A modelagem pensando sempre em como imprimir na impressão 3D
17	Principalmente a modelagem, pois no meu grupo não tínhamos muito conhecimento sobre os usos de softwares usados para a impressão.
18	Falta de comunicação com o grupo, dificuldade em me fazer presente nos encontros presenciais e dificuldade em administrar o tempo.
19	A modelagem foi o mais difícil.
20	Tempo pra reunir a equipe fora do horário proposto.
21	Tentar ajudar na modelagem. encontrar tempo pra se reunir com o grupo.
22	A parte de modelagem.
23	Tive dificuldade na parte de modelagem, não consegui auxiliar muito bem a pessoa encarregada dessa atividade e gerou um conflito.
24	Não domínio de ferramenta de modelagem. Não disponibilidade de horário do período da tarde para participar de todos os encontros. Falta de envolvimento de alguns integrantes da equipe.
25	Conciliar alunos de diferentes turmas. Resolver a peça estruturalmente 3D na relação objeto real e impressão.

49. Qual foi a importância da impressão 3D neste trabalho? Ela foi importante para algo além de gerar modelos físicos com bom acabamento e precisão?

#	RESPOSTAS
1	Muito importante, serviu também para mostrar na prática os benefícios da impressão 3D, que até então a maioria só conhecia na teoria.
2	Foi de grande importância. Ajudou também a criar boas referências de como funciona a impressão 3d. Pra quem ainda não possui contato, à primeira vista, parece algo extremamente complexo. Mas entendendo o conteúdo, o formato dos arquivos, o fatiamento e todo processo, ampliou bastante a visão de manufatura aditiva.
3	100% importante. Agilidade

4	foi muito importante, e prático. como já disse, é uma área que eu sempre tive muita curiosidade em aprender, e estava esperando isso o curso inteiro. não me sentia preparado para fazer parte do Lampi justamente por não ter conhecimento nessa área. com um pouco desse conhecimento, tenho ideias de fazer parte nesse próximo ano.
5	O resultado do muito mais palpável
6	No momento não sei responder 😊.
7	Muito importante, além de introduzir os conceitos de prototipagem rápida no curso, ainda pudemos explorar as estruturas através da impressão, por exemplo, a orientação do modelo na mesa para que seja mais resistente em seu resultado final
8	Teve a vantagem da precisão, mas não só isso, também dava a oportunidade de fazer testes rápidos e específicos, além de ajudar a compreender os volumes da peça
9	A importância foi muito grande porque só temos uma noção 2d virtual quando podemos ter em 3d físico nossa percepção melhor do detalhe.
10	Foi importante para melhorar a visualização do material, que no projeto 2D de planta possui uma maior dificuldade de visualização
11	Tornar mais palpável e facilitar a visualização
12	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).
13	De extrema importância. Além do bom acabamento e precisão, desenvolvemos nossa capacidade de criatividade e expandimos nossas ideias ao ponto de querer gerar mais impressões de modelos e formatos diferentes. Tem um potencial muito grande de gerar projetos e inovações determinantes para a sociedade.
14	Não sei
15	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.
16	A impressão 3D apresenta maior realidade do que em comparação as modelagens do computador, na impressão podemos ver os acertos e erros.
17	Principalmente para o detalhamento em 3D de uma construção, pois somente no papel é de difícil entendimento.
18	A impressora 3D foi de suma importância, seu principal papel foi gerar os modelos, mas acredito que foi também meu ponto de contato com o uso de uma tecnologia a qual eu nunca havia utilizado anteriormente (aprendi a usar outros softwares de fatiamento e alguns detalhes dos mesmos mais a fundo).
19	A importância foi a ajuda que deu para enxergar o detalhe arquitetônico e esclarecer o entendimento dele.
20	O modelo 3D traz uma visão diferente trazendo melhor entendimento do detalhe proposto.
21	Total. O entendimento do detalhe, o protótipo 3D traz uma visão de diferentes ângulos.
22	Facilita muito o entendimento do projeto, alguns detalhes só consegui entender mesmo após ver a impressão.
23	A impressão 3D foi de extrema importância, os detalhes arquitetônicos ficam fáceis de serem visualizados a partir do modelo físico 3D.
24	Importante para o entendimento de como modelar elementos para serem impressos e juntados depois. Na verdade, demorei a perceber que o detalhe não seria impresso inteiro e sim em partes.
25	Aprender sobre uma ferramenta que pode ser útil no dia a dia, e não é limitada há uma área específica de atuação.

50. Você tem algum comentário ou sugestão a ser feita? Sua colaboração é extremamente importante!

#	RESPOSTAS
1	Bom, a ideia de trabalhar com diferentes futuros profissionais é bem legal, porém ficou um ambiente bem chato de se trabalhar uma vez que os alunos externos não tiveram interesse em participar da criação do projeto, mas a ideia é sim muito boa, mas não tenho nenhuma sugestão de como isso possa melhorar. E sobre o trabalho de impressão 3D, como foi dito, foi difícil saber no início o que deveria ser apresentado, seria uma boa ideia pegar um detalhamento com a impressão já feita e mostrar o exemplo físico, facilitaria no entendimento do objetivo final.
2	Seria mais interessante propor alguns protótipos menos complexos de impressão 3d antes de modelagens mais complexas, para familiarizar os alunos com os softwares e com o processo.
3	Acredito que essa disciplina será incrível nos próximos anos! Gostaria muito de ter feito presencialmente
4	Eu gostei muito desse curso, e gostaria de ter me aprofundado mais. como tivemos pouco tempo, não foi possível desenvolver o projeto que queríamos (estação comandante Ferraz), mas 37 fico muito agradecido por ter me ajudado a pensar um pouco fora da caixa com a questão de detalhamento. BIM e manufatura aditiva são umas das coisas que mais me chamaram atenção no curso, e são áreas que pretendo investigar mais, e quem sabe seguir profissionalmente.
5	
6	Gostei muito de ter participado, ainda mais como aluno externo. Foi bem enriquecedor e tenho certeza de que vai ajudar muito futuramente.
7	Sim, poderia ser trabalhado um projeto mais complexo ao longo da disciplina junto dos alunos de outra matéria, onde os alunos de engenharia e arquitetura iriam projetar e seriam mais inclusos na hora de irmos para a parte de prototipagem de um detalhamento
8	
9	O curso foi incrível surpreendente me deixou muito animado para aprender mais sobre a impressão 3d gostaria q pudesse ter mais tempo para poder fazer mais projetos e q pudesse ter mais aulas sobre o tema.
10	Adorei o curso! Achei muito legal a ideia de trazer pro mundo real projetos de 2D para o 3D, além de analisar detalhes que não são observados numa construção. Além de ver a perspectiva e pontos de vistas de pessoas graduando em outros cursos, como expressão gráfica
11	Achei muito bom e incrivelmente necessário
12	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.
13	Uma sugestão é de tentar organizar melhor o tempo e a comunicação entre os grupos.
14	
15	Acho que para os próximos cursos seria interessante colocar como pré-requisito já ter conhecimento de modelagem, o desenvolvimento do trabalho seria mais tranquilo e o resultado melhor.
16	Aprendizado imenso em relação a impressão 3D e grupo com os cursos diversos.
17	Só o pré-requisito para iniciar o workshop. Todavia, foi maravilhoso, deu para aprender muito sobre a modelagem 3D em si, já que se não tivesse assistido as aulas jamais saberia sobre os detalhes usados para tal.
18	Sinto que talvez o curso devesse ser limitado a pessoas que estejam em determinado período ou que possuam determinado conhecimento e/ou experiência em alguma das exigências que hão de ser relevantes para o desenvolvimento. Compreendo que a intenção é justamente a troca de conhecimentos, mas sinto que muito da minha

	<p>dificuldade foi pois algumas pessoas do meu grupo simplesmente não conseguiam de nenhuma maneira me ajudar ou então que não possuíam conhecimentos suficientes para me auxiliar. Creio também que se faça necessária uma prospecção melhor de interessados que busquem estar ali além das horas formativas, não sei como aconteceu em outros grupos, mas infelizmente acabei enxergando isso). Finalmente, independente da nota que eu recebi eu fiquei muito feliz com o resultado final, gostei muito da troca que tive com os docentes e com os outros alunos de Expressão Gráfica, o trabalho me ajudou a me enxergar como uma pessoa capaz de ir atrás de todo conhecimento necessário para a realização de algo e que a maior satisfação que eu posso ter é a do conhecimento obtido. Agradeço a oportunidade de realizar o workshop e admiro o trabalho do professor Carboni em procurar incluir mais a interdisciplinaridade dentro da Universidade, temos tanto conhecimento, mas às vezes sentimos dificuldade em enxergar que ele é muito maior quando associado à outras perspectivas.</p>
19	Acredito que ter mais tempo para mexer na impressora e pré-requisito ajudaria a melhorar.
20	Menos encontros opcionais. Estou muito feliz com o resultado, muito satisfatório ter um modelo impresso do seu trabalho em suas mãos. Parabéns professor, um workshop muito bem feito e uma experiência que abriu um mar de possibilidades pra mim em relação a impressão 3D.
21	Um encontro exclusivo dedicado a modelagem do projeto seria interessante. Parabéns professor, um workshop de muita bagagem e experiências que me mostrou um mar de possibilidades em relação a impressão 3D.
22	
23	
24	Além do que já respondido acima nenhuma ideia no momento.
25	Prosseguir com a proposta, pois atividades relacionadas a projeto são mais importantes.

ANEXO 1



UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ -
SCS/UFPR

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MANUFATURA ADITIVA NA INTEGRAÇÃO DE ESTUDANTES DE AEC DURANTE A GRADUAÇÃO

Pesquisador: MARCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 46994121.0.0000.0102

Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.817.488

Apresentação do Projeto:

Trata-se de projeto de doutorado oriundo do PPG Engenharia Civil, tendo como pesquisador Márcio Henrique de Sousa Carboni e como orientador Sérgio Scheer.

É inegável que as evoluções tecnológicas mudaram significativamente a sociedade nos costumes, hábitos, assim como no que se espera de um profissional e de sua formação, dos quais se espera a habilidade e capacidade de solucionar os problemas que encontrarão em um mundo em constante evolução e transformação. Na última década, a Manufatura Aditiva (AM – Additive Manufacturing) vem chamando a atenção da indústria e de pesquisadores por permitir a rápida transformação de ideias em objetos físicos. Entretanto, ainda não se observa uma efetiva adoção desta tecnologia na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), assim como não se identifica uma efetiva integração dos futuros profissionais dessa área durante sua formação, especialmente no contexto brasileiro.

Esta proposta de artefato pretende ser aplicada entre alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica da Universidade Federal do Paraná, a fim de se avaliar sua utilização para que se possa colaborar com a formação desses profissionais para que tenham as competências e habilidades esperadas da sociedade do século XXI.

Esta pesquisa adota, fundamentalmente, uma abordagem conhecida como Design Science

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

UF: PR

Município: CURITIBA

CEP: 80.060-240

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ -
SCS/UFPR



Continuação do Parecer: 4.817.488

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 fase da DSR que foi estruturada em cinco fases distintas, conforme sugerido por Lacerda et al. (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, serão utilizadas duas iniciativas, Pesquisa-ação e Levantamento (Survey), para se iniciar o processo de resolução dos problemas identificados e consolidar a contextualização e o entendimento do problema.
- Na fase 3 (desenvolvimento) se formulará o artefato pretendido e
- Na fase 4, novamente utilizando Pesquisa-ação e Levantamento, ele será testado e avaliado.
- Na última fase (fase 5), apresentar a versão final do artefato, as conclusões da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

A pesquisa se dará de 01/07/2021 até 19/02/2023

Os participantes serão alunos dos cursos mencionados, maiores de idade, devidamente matriculados nas disciplinas utilizadas para o estudo. Estes serão convidados a participarem da pesquisa, explicando o objetivo, riscos e benefícios. Caso não se sintam confortáveis em participar, poderão simplesmente não responder aos questionários, sem qualquer prejuízo. Todos os questionários serão anônimos, não identificáveis.

Não há critério de exclusão.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo principal desta pesquisa é apresentar um método de integração entre os cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, utilizando a Manufatura Aditiva como instrumento de colaboração entre estudantes e, conseqüentemente, de apoio ao processo de ensino-aprendizagem.

Somando-se a isso, alguns objetivos específicos são perseguidos, como:

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

CEP: 80.060-240

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ -
SCS/UFPR



Continuação do Parecer: 4.817.488

- Identificar experiências mundo afora que buscam a implantação da AM em cursos de graduação afim de traçar paralelos com a área da AEC;
- Avaliar estratégias de utilização da AM que possam gerar uma interface de conexão entre os currículos de Expressão Gráfica, Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil;
- Identificar os objetivos didáticos necessários para a formação de profissionais versados em Manufatura Aditiva, bem como modelos pedagógicos voltados ao tema.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os participantes das etapas de Levantamento contribuirão para o entendimento das dificuldades encontradas em trabalhos multidisciplinares integrados com outros cursos e das potencialidades que a utilização da manufatura aditiva pode gerar neste processo. Isso será utilizado o desenvolvimento do método pretendido e conseqüentemente contribuirá para que haja incremento no ensino de Arquitetura, Engenharia e Construção no âmbito da graduação no Brasil.

Quanto aos riscos, foi informado que a pesquisa não causará danos à dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual do ser humano, em qualquer fase de execução ou dela decorrente. O risco possível seria o aborrecimento durante a aplicação do questionário pelo tempo despendido. Entretanto, para isso ser minimizado serão realizados questionários curtos e de rápida aplicação. A identidade do respondente será mantida em sigilo, uma vez que o questionário é respondido de maneira anônima. Não serão solicitados dados que possam identificar os indivíduos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa detalhadamente descrita, inclusive com uso de infográficos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos estão presentes.

Recomendações:

Não há.

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

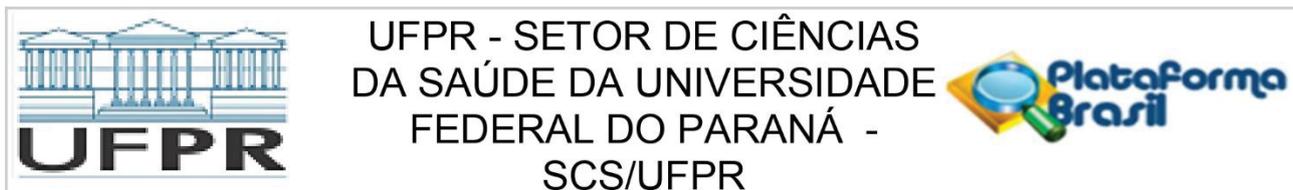
UF: PR

Município: CURITIBA

CEP: 80.060-240

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.817.488

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Este projeto está aprovado.

Favor inserir em seu TCLE e TALE o número do CAAE e o número do Parecer de aprovação, para que possa aplicar aos participantes de sua pesquisa, conforme decisão da Coordenação do CEP/SD de 13 de julho de 2020.

Após o isolamento, retornaremos à obrigatoriedade do carimbo e assinatura nos termos dos novos projetos. Qualquer dúvida, retornar e-mail ou pelo WhatsApp 41-3360-7259.

Considerações Finais a critério do CEP:

Solicitamos que sejam apresentados a este CEP, relatórios semestrais e final, sobre o andamento da pesquisa, bem como informações relativas às modificações do protocolo, cancelamento, encerramento e destino dos conhecimentos obtidos, através da Plataforma Brasil - no modo: NOTIFICAÇÃO. Demais alterações e prorrogação de prazo devem ser enviadas no modo EMENDA. Lembrando que o cronograma de execução da pesquisa deve ser atualizado no sistema Plataforma Brasil antes de enviar solicitação de prorrogação de prazo.

Emenda – ver modelo de carta em nossa página: www.cometica.ufpr.br (obrigatório envio).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1744626.pdf	18/05/2021 15:16:50		Aceito
Folha de Rosto	000_folhaDeRosto_assinado1.pdf	18/05/2021 15:15:58	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Outros	01_Carta_encaminhamento.pdf	18/05/2021 14:05:56	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	17_Projeto_detalhado.docx	18/05/2021 14:05:32	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	12_TCLE.docx	18/05/2021 12:18:57	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA CARBONI	Aceito

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

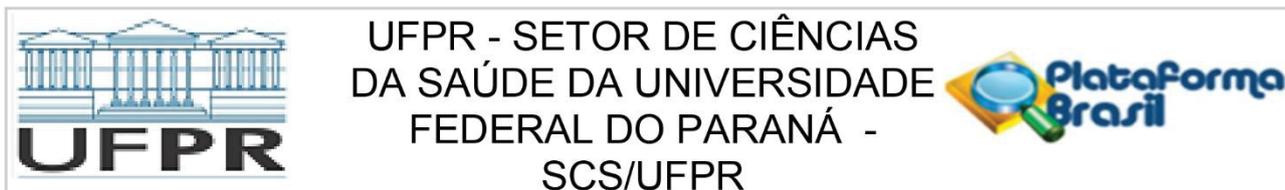
CEP: 80.060-240

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br



Continuação do Parecer: 4.817.488

Declaração de Pesquisadores	08_Declaracao_compromisso_equipe.pdf	18/05/2021 12:18:04	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Outros	04_concordancia_DEGRAF.pdf	18/05/2021 12:15:07	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Outros	03_ANALISE_MERITO.pdf	18/05/2021 12:14:04	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Outros	02_Extrato_ata_162.pdf	18/05/2021 12:13:10	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito
Outros	00_CheckList_assinado.pdf	18/05/2021 12:12:26	MARCIO HENRIQUE DE SOUSA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CURITIBA, 30 de Junho de 2021

Assinado por:
IDA CRISTINA GUBERT
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

Bairro: Alto da Glória

CEP: 80.060-240

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3360-7259

E-mail: cometica.saude@ufpr.br