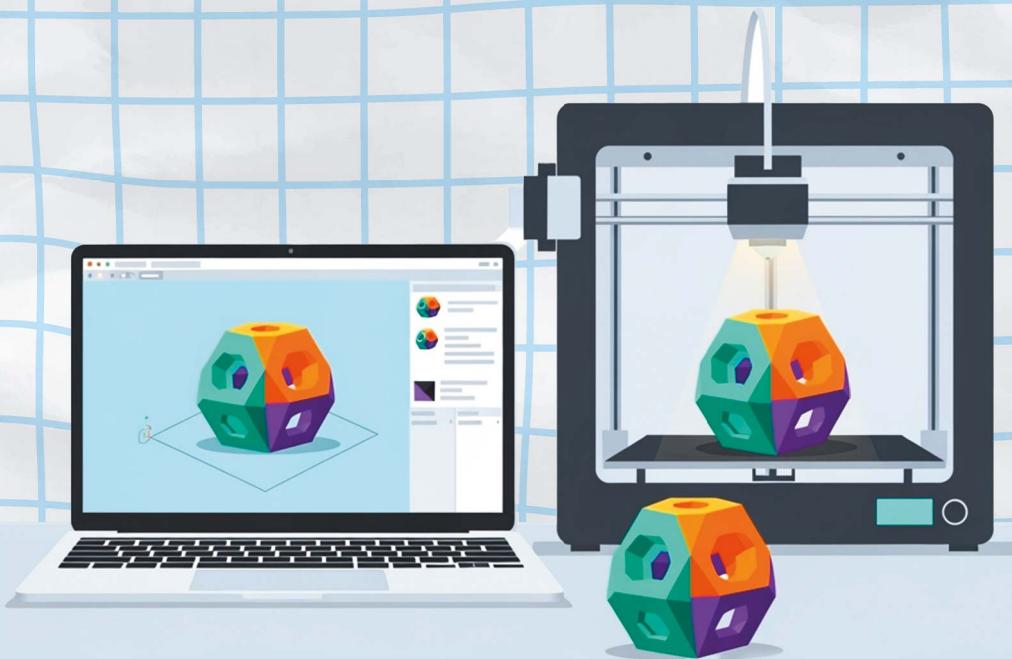


Marcela Madanês Chavier

FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO

ensino de geometria espacial com
Tinkercad e impressão 3D



CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

C512f

Fabricação digital como processo pedagógico: ensino de geometria espacial com Tinkercad e impressão 3D / Marcela Madanês Chavier. – Cáceres: Editora UNEMAT, 2025. 247 p.

ISBN: 978-85-7911-311-6 (Documento digital)
DOI: 10.30681/978-85-7911-311-6

1. Ensino. 2. Fabricação digital. 3. Geometria espacial. 4. Tinkercad. 5. Modelagem. 6. Impressão. 3d. I. Fabricação digital como processo pedagógico. II. Marcela Madanês Chavier.

CDU 004.92

Marcela Madanês Chavier

FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO

ensino de geometria espacial com
Tinkercad e impressão 3D



Cáceres - MT

2025

CONSELHO EDITORIAL

Portaria nº 1629/2023

PRESIDENTE

Maristela Cury Sarian

TITULARES**SUPLENTES**

Josemir Almeida Barros

Universidade Federal de Rondônia - Unir

Laís Braga Caneppele

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Fábricio Schwanz da Silva

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Gustavo Rodrigues Canale

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Greciely Cristina da Costa

Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Edson Pereira Barbosa

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Rodolfo Benedito Zattar da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Cácia Régia de Paula

Universidade Federal de Jataí - UFJ

Nilce Vieira Campos Ferreira

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Marcos Antonio de Menezes

Universidade Federal de Jataí - UFJ

Flávio Bezerra Barros

Universidade Federal do Pará - UFPA

Luanna Tomaz de Souza

Universidade Federal do Pará - UFPA

Judite de Azevedo do Carmo

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Rose Kelly dos Santos Martinez Fernandes

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Maria Aparecida Pereira Pierangeli

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Célia Regina Araújo Soares

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Nilce Maria da Silva

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Rebeca Caitano Moreira

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Jussara de Araújo Gonçalves

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Patrícia Santos de Oliveira

Universidade Federal de Viçosa - UFV

PRODUÇÃO EDITORIAL
EDITORIA UNEMAT 2025

Copyright © Marcela Madanês Chavier, 2025.

A reprodução não autorizada desta publicação,
por qualquer meio, seja total ou parcial,
constitui violação da Lei nº 9.610/98.

Esta obra foi submetida à avaliação
e revisada por pares.

Reitora: Vera Lucia da Rocha Maquêa

Vice-reitor: Alexandre Gonçalves Porto

Assessora de Gestão da Editora e das Bibliotecas: Maristela Cury Sarian

Imagens da capa: Freepik IA

Capa: Potira Manoela de Moraes

Diagramação: Potira Manoela de Moraes

Preparação do original: Mauro Celso Destácio

Revisão: Giovanna Benedetto Flores

Dedico este trabalho aos meus ancestrais,
através dos quais a vida chegou até mim;
ao meu pai, Hermino Chavier da Silva, e à
minha mãe (*in memoriam*), Cleusa Aparecida
Madanês, que me deram o melhor e impagável
presente: a vida. Ao meu esposo, Thiago
Alexandre de Brito, e às minhas mães do
coração Irlei Andrade Oliveira, Iris Helena de
Jesus Cardozo e Izelinda Marques.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por me guiar, proteger e ter concedido sabedoria e a resiliência necessária em todos os momentos difíceis que encontrei na minha trajetória.

Ao meu amado companheiro de vida, Thiago Alexandre de Brito, meu porto seguro e maior incentivador, sempre me fazendo acreditar em meu potencial.

À minha orientadora, professora Dra. Minéia Cappellari Fagundes, que com toda a sabedoria e paciência permitiu autonomia acadêmica na condução da pesquisa e soube entender o tempo de produção individual, conduzindo as demandas com muita leveza. Nunca deixou de me atender, mostrando sua dedicação e empenho para que eu chegasse ao final dessa pesquisa com sucesso. Gratidão também por ir além da academia e ser um ser humano tão acolhedor. Que Deus abençoe você e sua família grandemente.

À professora Dra. Daise Pereira Lago Souto, que nos inspira com sua sabedoria e força, por todo aprendizado na disciplina ministrada e condução como coordenadora do PPGECM, que sempre mostra oportunidades para os bolsistas. Além de toda a contribuição como banca avaliadora dessa pesquisa.

À professora Dra. Aparecida Santana de Souza Chiari, pela dedicação em ler o trabalho criteriosamente e pelas ricas contribuições.

Às minhas famílias (isso mesmo no plural – família biológica, adotiva e a que fui presenteada ao me casar) por todo apoio nessa jornada, em especial a tia Iris Helena que é uma mulher admirável e forte, e ao meu irmão, Marcos Vinicios Madanês Chavier, de quem tenho muito orgulho.

Ao irmão de orientação, Josemar Pereira Hidalgo, que tornou este percurso mais leve ao compartilhar angústias, alegrias e discussões teóricas. E a todos os colegas e amigos do mestrado turma 2022, acredito ser injusto citar apenas alguns, pois cada um foi importante de alguma forma nesse processo, a turma do “sorvete” ficou para a história. Minha gratidão à Daiane Pereira, uma pessoa do coração enorme que pude conhecer nesse percurso e me ajudou na adaptação na cidade.

À minha amiga da graduação para a vida, Bruna Borges, que me ensinou muito sobre pesquisa, e sempre me ouve quando necessário, gratidão pela sua vida. Também a minha amiga da escola para vida, Victória Santi, que sempre me motiva.

A todos os professores do PPGECM de Barra do Bugres pelos ensinamentos, em especial ao professor Dr. Diego Piasson, com quem cursei duas disciplinas e foi avaliador do projeto que deu início a essa pesquisa; ao professor Dr.

João Severino Filho, que também esteve na minha banca de qualificação de projeto e forneceu ricas contribuições e por meio de quem conheci o programa; ao professor Dr. William Vieira Gonçalves, que me forneceu uma chave do software de análise de dados qualitativos, minha gratidão; e ao professor Dr. Márcio Urel Rodrigues, que me permitiu juntar-me ao seu grupo de estudo em uma viagem a um evento científico muito importante. Gratidão também ao secretário Emerson pela disponibilidade em atender e passar informações importantes sobre o programa.

À Unemat – Universidade do Estado de Mato Grosso, pela oportunidade de ser filha desta instituição pela segunda vez, permitindo que meus sonhos profissionais fossem sempre subindo de degraus e concretizando com o passar do tempo.

Sou grata também à CAPES, pois “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

SUMÁRIO

Prefácio	14
Apresentação.....	18
Capítulo 1	
Referencial teórico e conceituação: pilares para a teoria	28
1.1 Tecnologias digitais, geometria e a BNCC	29
1.1.1 Reflexões sobre o ensino de geometria: um olhar para a geometria espacial	32
1.2 O que é essa tal “Fabricação Digital (FD)”?.....	43
1.2.1 Espaços de FD	46
1.2.2 Tecnologia da FD: prototipagem rápida (RP)	54
1.2.3 Abordagens de ensino para promoção da FD e da criatividade	59
1.3 Algumas considerações.....	67

Capítulo 2

<i>Tinkercad, impressão 3d e geometria espacial: uma análise sistemática no contexto da Educação Básica</i>	70
2.1 Planejamento	72
2.2 Condução	74
2.2.1 Identificação de estudos	75
2.2.2 Seleção de estudos.....	77
2.2.3 Extração e sintetização dos dados.....	79
2.3 Resultados e discussões da RSL.....	91
2.3.1 Exploração do <i>software</i> de modelagem 3D <i>Tinkercad</i> e da impressão 3D no ensino de geometria espacial.....	92
2.3.1.1 Abordagens de ensino para integração do <i>Tinkercad</i> e da impressão 3D no processo educacional	94
2.3.1.2 Integração entre o <i>Tinkercad</i> e a impressão 3D no ensino de geometria espacial: algumas possibilidades	99
2.3.2 Vantagens e desafios do uso do <i>Tinkercad</i> no ensino de geometria.....	102
2.3.3 Impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios	109
2.3.4 Associação das tecnologias <i>Tinkercad</i> e impressão 3D à FD.....	113
2.4 Algumas considerações.....	116

Capítulo 3

Caminho metodológico	121
3.1 Abordagem da pesquisa	122
3.2 Cenário da pesquisa: instituição educacional e recursos tecnológicos.....	123
3.2.1 Identificação da unidade escolar e contexto socioeconômico	124
3.2.2 Participantes da pesquisa	125
3.2.3 Software de modelagem 3D <i>Tinkercad</i>	126
3.3 Abordagem de ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)	131
3.4 Curso Geo3DPrint: geometria espacial por meio da Prototipagem Rápida com uso do <i>software</i> <i>Tinkercad</i> e da impressão 3D	137
3.5 O método de análise da TFD na perspectiva construtivista	139

Capítulo 4

Entre práticas e descobertas: o percurso da pesquisa e as vozes que emergem da experiência	147
4.1 Categoria 1 (C1): modelagem no <i>Tinkercad</i> como estratégia de ensino de geometria espacial.....	148
4.1.1 Prática 1: conhecendo o <i>Tinkercad</i>	148
4.1.2 Prática 2: modelando canecas personalizadas	152
4.1.3 Prática 3: modelando poliedros	162
4.1.4 Tensões e compromissos: modelagem no <i>Tinkercad</i>	167

4.2 Categoria 2 (C2): Programação no <i>Tinkercad</i> como estratégia de ensino de geometria espacial.....	170
4.2.1 Grupo 1: GIF poliedro convexo e não convexo.....	172
4.2.2 Grupo 2: GIF dodecaedro.....	174
4.2.3 Grupo 3: GIF prisma	177
4.2.4 Grupo 4: GIF pirâmide	180
4.2.5 Grupo 5: GIFs sólidos de revolução.....	187
4.2.6 Tensões e compromissos: programação no <i>Tinkercad</i>	191
4.3 Categoria 3 (C3): A combinação entre o <i>software</i> de modelagem 3D <i>Tinkercad</i> e a impressão 3D no ensino de geometria espacial	196
4.3.1 Tensões e compromissos: acesso à impressora 3D, <i>softwares slicers</i> , parametrização e tempo de impressão.....	212
4.4 Relações possíveis entre as categorias e a explicitação da Fabricação Digital como processo pedagógico	217
4.5 Manuscrito: a FD como um processo pedagógico para ensino de geometria espacial por meio do <i>Tinkercad</i> e da impressora 3D	219
Considerações finais	228
Referências.....	234
Sobre a autora	247

PREFÁCIO

DOI: 10.30681/978-85-7911-311-6.prefacio

Em um mundo cada vez mais híbrido, a Educação Matemática se vê diante de um vasto oceano de possibilidades a ser navegado com coragem, criatividade e propósito. Este livro emerge como um farol nesse cenário, iluminando os caminhos da Fabricação Digital (FD) como uma bússola para o ensino da geometria espacial. Não se trata apenas de um estudo, mas de uma jornada, uma expedição audaciosa que desvenda como a manipulação de formas no ciberespaço pode moldar a compreensão do mundo tridimensional.

Tradicionalmente, a geometria espacial, com suas pirâmides, prismas e esferas é repleta de conceitos abstratos e desafios de visualização. No entanto, esta obra propõe a construção de pontes entre o abstrato e o concreto, utilizando a Fabricação Digital com o software *Tinkercad* e a impressão 3D como alicerces. Os estudantes puderam não apenas desenhar um cubo, mas experimentar a sensação também de tocá-lo, girá-lo em suas mãos, sentindo a solidez de um conceito que antes flutuava apenas na imaginação.

Esta obra convida o leitor a embarcar em uma aventura intelectual, onde a programação se torna a linguagem da criação e a modelagem 3D como possibilidade para

a construção e representação de saberes no contexto educacional contemporâneo. É um convite para testemunhar a transformação de ideias em objetos, de algoritmos em artefatos e de desafios em descobertas. A autora, com a maestria, guianos por um terreno fértil, onde a experimentação e a colaboração são as sementes em que germinam a aprendizagem.

A Fabricação Digital, neste contexto, não é meramente um conjunto de ferramentas tecnológicas; ela se revela como um processo pedagógico em si, um laboratório “vivo” onde a teoria e a prática se entrelaçam como fios de uma tapeçaria complexa e vibrante. O *Tinkercad*, com sua interface intuitiva, atua como o ateliê digital, permitindo que os estudantes, como jovens escultores, modelem suas ideias em três dimensões. A impressão 3D, por sua vez, é a forja que transforma esses modelos digitais em artefatos, dando corpo e peso aos conceitos abstratos da geometria. É nesse processo de produção (concepção, modelagem e materialização) que a aprendizagem se aprofunda, transcende o plano bidimensional do papel.

A origem desta obra é uma dissertação de mestrado, cujo coração da pesquisa reside na sua metodologia, um farol a guiar a exploração de um território ainda pouco mapeado, conforme apontado pela autora na revisão de literatura. A abordagem qualitativa, como um mergulho profundo nas águas do conhecimento, permitiu à autora capturar as nuances e as complexidades das interações entre os estudantes, o *software* e os objetos impressos. A Teoria Fundamentada

nos Dados (TFD), na perspectiva construtivista, serviu como a bússola, orientando a construção de uma teoria substantiva que emerge da própria experiência, como um cristal que se forma a partir da solução. Não se trata de impor um modelo, mas de desvendar as conexões, sentidos e significados que se revelam na prática pedagógica, tecendo um saber que é ao mesmo tempo rigoroso e orgânico.

As metáforas utilizadas neste prefácio não foram escolhidas ao acaso; elas refletem a própria essência desta obra. A educação, em sua forma mais potente, é uma viagem de descoberta, uma construção contínua, uma arte de tecer conhecimentos. E a Fabricação Digital, como esta obra brilhantemente nos apresenta, é um dos mais promissores veículos para essa jornada, um novo conjunto de possibilidades e um novo fio na tapeçaria da aprendizagem. Esta leitura, sem dúvida, será fonte de inspiração para educadores, pesquisadores e todos aqueles que acreditam no poder transformador da Educação Matemática a explorar esses novos horizontes, a construir suas próprias pontes e a moldar o futuro do ensino.

As páginas que se seguem são mais do que um repositório de informações, são um convite à reflexão, à experimentação e à inovação. A leitura sugere novos caminhos para a superação de desafios e a construção de um futuro em que a geometria, e a matemática como um todo, sejam percebidas não como um obstáculo, mas como uma catalisadora de mudanças para se compreender e transformar o mundo.

Mergulhe neste livro e descubra como a Fabricação Digital pode ser a chave para desvendar os mistérios dos espaços de ensino e aprendizagem, um verdadeiro portal para um universo onde a matemática se torna interativa, a criatividade floresce e a educação se reinventa, pavimentando o caminho para uma nova geração de pensadores que vivem o hibridismo em sua essência.

Barra do Bugres-MT, julho de 2025.

Profa. Dra. Daise Lago Pereira Souto¹

(Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat)

1 Daise Lago Pereira Souto é docente da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), vinculada ao Curso de Matemática e aos Programas de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM/Unemat e REAMEC). Foi coordenadora do GT6 da SBEM (2021–2024) e do PPGECM/Unemat (2022–2024), além de proponente e coordenadora da proposta aprovada pela CAPES para a criação do doutorado no referido programa. É licenciada em Matemática (URI), mestre em Ensino de Ciências com foco em Modelagem Matemática (UNIJUI), doutora e pós-doutora em Educação Matemática (Unesp). Desenvolve pesquisas nas áreas de Tecnologias Digitais, Inteligências Artificiais Generativas, Formação de Professores e Educação a Distância, ancoradas na Teoria da Atividade e no construto Seres-humanos-com-mídias. Coordena o GEPETD/Unemat, integra o GPIMEM/Unesp e atua como parecerista e membro de comitês editoriais de periódicos e eventos científicos.



APRESENTAÇÃO

Este livro apresenta o percurso e as descobertas de uma pesquisa de mestrado defendida em 2024, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), câmpus de Barra do Bugres, área de concentração Ensino de Ciências e Matemática. O estudo foi desenvolvido sob a orientação da Profa. Dra. Minéia Cappellari Fagundes, na linha de pesquisa Tecnologias Digitais no Ensino de Ciências e Matemática.

Neste primeiro capítulo, serão abordadas, de forma geral, as temáticas da pesquisa, bem como o objetivo, a justificativa e a problemática que deram origem a este trabalho. Serão discutidas, também, a relevância da pesquisa para o ensino de geometria espacial, a trajetória da pesquisadora na construção da identidade docente e, por fim, apresentada a estrutura da obra.

Contextualizando:

Pesquisadora: Antes vocês já sabiam que tinham essas três dimensões?

Todos: Não!

*A03: Eu achava que era tudo igual.
Eu achava que o cubo e o quadrado eram a mesma coisa¹.*

Como professora, pesquisava temas de sala de aula havia algum tempo e a geometria sempre chamou atenção, principalmente a geometria espacial, porque o ensino tradicional pautado no livro didático ou na lousa não dá conta de contemplá-la. O excerto acima, retirado da transcrição de uma roda de conversa, retrata um breve relato de uma estudante da 2^a série do ensino médio que participou do curso de extensão que gerou os dados desta pesquisa.

Por esse relato é possível observar que a estudante chegou ao ensino médio sem desenvolver uma habilidade geométrica que aparece na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do ensino fundamental anos iniciais: diferenciar figuras planas e espaciais (Brasil, 2017). Esse é um exemplo sobre as dificuldades relacionadas à geometria, que às vezes é ensinada de forma mecânica, ou às vezes nem é ensinada.

Há mais de duas décadas, autores clássicos como Pavanello (2009) e Lorenzato (1995) discutiam o abandono do ensino de geometria e destacavam que o ensino de geometria

¹ Transcrição da roda de conversa com os alunos da 2^a série do Ensino Médio, em 2023.

na educação básica foi negligenciado por um longo período, sendo elucidações apontadas para este fato: uma deficiência na formação inicial docente, que o leva a ter insegurança por não dominar o tema; uma priorização da álgebra devido à falta de tempo para cumprir toda a ementa planejada; a forma como os objetos de conhecimentos são dispostos no livro didático, em que normalmente são encontrados como tema final; a carência de um método que contemple a álgebra e a geometria de forma conjunta (Lorenzato, 1995), além da ausência do uso de materiais manipuláveis e concretos que valorizem o aspecto dinâmico da geometria e demonstrem que a mesma faz parte do cotidiano.

Apesar da importância de seu ensino e aprendizagem para uma Matemática mais contextualizada e para compreensão da realidade, pesquisadores como Rogenski e Pedroso (2007) evidenciam em seu estudo que geralmente o ensino e a aprendizagem da geometria não possui vínculo com a realidade, pois

nem sempre é apresentada ao aluno inter-relacionada com os demais conteúdos estruturantes, como a álgebra e números, torna-se mera ilustração e exemplificação, sem entendimento de conceitos e propriedades (Rogenski; Pedroso, 2007, p. 2).

Diante dessas problemáticas relacionadas ao ensino de geometria e em concordância com Rogenski e Pedroso (2007), ao exporem que conceitos não são ensinados diretamente, em vez disso, pode-se criar e apresentar situações e experiências

que auxiliarão na sua formação, é primordial permitir que os alunos façam atividades experimentais e, por meio de diferentes situações, formem os conceitos que serão utilizados em outros momentos no decorrer de sua aprendizagem.

Sendo assim, diante do exposto e da experiência em sala de aula da pesquisadora, é evidenciada uma necessidade de buscar abordagens, teorias de ensino e aprendizagem, bem como recursos pedagógicos que trabalhem a geometria de forma mais dinâmica, contextualizada, e proporcionem, além da visualização, níveis mais formais do conhecimento geométrico e espacial.

Dessa forma, voltamos nosso olhar para as tecnologias associadas à Fabricação Digital (FD), especificamente o software de modelagem 3D *Tinkercad* e a impressora 3D. Ao realizarmos a revisão da literatura, foram revelados potencialidades e desafios associados ao ensino de geometria com essas tecnologias, fornecendo *insights* valiosos sobre suas aplicações educacionais.

Apesar de já possuir alguns estudos exploratórios sobre o uso do *Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial, a literatura ainda apresenta lacunas, pois, como afirmam Nolla *et al.* (2021, p. 101),

a introdução da impressão 3D na sala de aula está em fase de experimentação, assim como os tipos de atividades que podem ser trabalhadas com os alunos para obter suporte para a aprendizagem de conceitos matemáticos.

Dessa forma, evidencia-se que há espaço para investigações com o uso dessas tecnologias. Além disso, a variedade de projetos e atividades exploradas até o momento sugere que existem oportunidades para a exploração de diferentes contextos educacionais e tipos de projetos.

Bhaduri *et al.* (2021) chamam atenção para a necessidade de definir práticas e entender melhor como utilizar o *Tinkercad* e a impressão 3D com a finalidade de aprendizado em modelagem 3D, mantendo o envolvimento e o interesse dos alunos por essas tecnologias e apoiando o desenvolvimento do pensamento espacial.

Assim, a integração do *Tinkercad* e da impressão 3D pode oportunizar potencialidades no ensino de geometria espacial, tornando os conceitos mais tangíveis. Contudo, para além das potencialidades, os desafios técnicos e a escassez de pesquisas no contexto nacional apontam para a necessidade de investigações sobre a aplicação desses recursos em sala de aula.

Dessa forma, ao verificar que há uma necessidade de compreender como abordar o ensino de geometria espacial e que há à disposição recursos tecnológicos que podem proporcionar aos estudantes novos desafios, é colocada a seguinte questão de pesquisa: “Como a Fabricação Digital pode contribuir com o ensino de geometria espacial por meio do software *Tinkercad* e da impressora 3D?”.

Em busca de responder à questão de pesquisa, teve-se, como objetivo geral, desenvolver uma teoria substantiva

emergente da interpretação dos dados sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do software *Tinkercad* e da impressora 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do ensino médio.

Gostaria de dizer algumas palavras sobre minha trajetória pessoal, mais especificamente, a minha relação com a docência e as tecnologias. Considerando que aspectos como o contexto local e a trajetória de vida são elementos constituintes do ser professora, este momento de escrita configura-se como um espaço de reflexão e ressignificação dos “saberes docentes e de produção de conhecimentos” (Pimenta; Lima, 2004, p. 129).

Venho de uma família de baixa renda: minha mãe, faxineira, e meu pai, prestador de serviços gerais em uma fazenda. Meus pais tiveram educação formal apenas até a quarta série. No entanto, minha mãe sempre demonstrou paixão pelos estudos e incentivou meu aprendizado, presenteando-me com materiais escolares decorados e coloridos. Esse apoio fez com que eu desenvolvesse desde cedo um grande interesse pela educação e uma forte afinidade com a escola.

Durante o ensino fundamental, destacava-me em disciplinas de exatas. No oitavo ano, meu professor de Matemática percebeu meu talento e me desafiou, convidando-me para ser monitora da turma. Posteriormente, iniciei o ensino médio Integrado à Educação Profissional com curso de Informática, mas precisei abandoná-lo para trabalhar. Retomei

o ensino regular e, no terceiro ano, conquistei uma medalha de bronze na Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas.

Em 2013, ingressei na Licenciatura em Matemática na Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), câmpus Cáceres. A graduação me proporcionou experiências riquíssimas, tanto no âmbito teórico quanto prático. Estudei autores fundamentais para a Educação e Educação Matemática, como Paulo Freire e Ubiratan D'Ambrosio. Participei do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), em que pude investigar a prática escolar e conectar teoria e prática, aprofundando-me em metodologias inovadoras.

Durante minha monografia, investiguei os paradigmas educacionais e percebi a necessidade de mudança no ensino de Matemática. Esse período revelou-me a desconexão entre a formação acadêmica e a prática pedagógica na educação básica, reforçando meu desejo de atuar na construção de pontes entre esses dois mundos.

Antes de concluir a graduação, já atuava como professora em uma escola particular. Em 2018, assinei contrato temporário com a SEDUC/MT. No ano seguinte, voltei à escola em que cursei o ensino médio, a E. E. Dep. Bertoldo Freire. Ali, aprofundei meu entendimento sobre os quatro pilares da educação (aprender a ser, aprender a conviver, aprender a fazer e aprender a conhecer) e sobre a pedagogia da presença.

Além disso, fui orientadora das áreas de Ciências da Natureza e Matemática por dois anos consecutivos, 2020 e 2021.

Minha trajetória também incluiu cursos de letramento digital e pensamento computacional. A elaboração da atividade gamificada “Missão Energia” no *Google Formulário* merece destaque nesse percurso, pois foi realizada durante a pandemia e apresentada em uma live de práticas exitosas do estado de Mato Grosso. Essa experiência reforçou minha convicção sobre o papel transformador das metodologias ativas e da tecnologia na educação.

Durante minhas férias do ano de 2021, participei do II ENOPEM, quando conheci uma professora do PPGECM e as pesquisas sobre pensamento computacional. Essa experiência despertou meu interesse pela linha de pesquisa Tecnologias Digitais no Ensino de Ciências e Matemática, o que me levou a ingressar no mestrado do PPGECM na Unemat de Barra do Bugres e desenvolver a pesquisa que vos apresento. Atualmente, sou professora de Matemática e Robótica em uma escola particular. Também desenvolvo, juntamente com professores da Unemat, cursos de extensão para a comunidade.

Todas essas experiências reforçam meu compromisso com a educação e confirmam que minha trajetória pessoal e profissional reflete minha crença na docência como agente de transformação social. Cada etapa tem contribuído para a construção da minha identidade docente, especialmente

na relação com as tecnologias, e reforçado meu desejo de continuar aprendendo e evoluindo como professora e pesquisadora.

Em relação à organização da obra, o livro está estruturado conforme a Figura 1. Iniciamos com uma introdução em que apresentamos a questão de pesquisa, os objetivos e a relevância da pesquisa para a linha Tecnologias Digitais no ensino de Ciências e Matemática, especificamente no ensino de geometria espacial.

Figura 1 – Estrutura da obra



Fonte: Autoria própria (2023).

O capítulo dois é dedicado ao referencial teórico e conceituação, com uma discussão sobre geometria espacial, tecnologias digitais, fabricação digital e abordagens de ensino, temas que são base para a teoria emergente.

No capítulo três é apresentada, seguindo o protocolo de Felizardo (2017), uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o software de modelagem 3D *Tinkercad* e a impressão 3D no ensino de geometria espacial na Educação Básica,

expondo vantagens e desafios, bem como a associação dessas tecnologias à FD nos estudos que fazem parte do *corpus* de análise.

No capítulo quatro é detalhado o Caminho Metodológico da pesquisa, que teve uma abordagem qualitativa e seguiu as etapas da Teoria Fundamentada nos Dados (TFD) na vertente construtivista de Charmaz (2009).

A coleta de dados foi realizada com uma turma da 2^a série do ensino médio da Escola de Tempo Integral Deputado Bertoldo Freire, em São José dos Quatro Marcos/MT. Ocorreu por meio do curso de extensão intitulado *Geo3Dprint: geometria espacial por meio da Fabricação Digital, com uso do software Tinkercad e da impressora 3D*, em que se utilizaram as notas de campo da pesquisadora e dos estudantes, questionário inicial e final com os estudantes, gravação de uma roda de conversa e os memorandos redigidos pela pesquisadora para a produção dos dados.

No capítulo cinco, Entre práticas e descobertas: o percurso da pesquisa e as vozes que emergem da experiência, são apresentados os memorandos e as categorias que emergiram dos dados, bem como o manuscrito final da teoria substantiva. Posteriormente são descritas as Considerações Finais.

Capítulo 1

REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAÇÃO: PILARES PARA A TEORIA

A democratização das tecnologias digitais (TD) provocou um novo modo de participação na sociedade contemporânea, desencadeando transformações nas esferas política, econômica, social e científico-tecnológica. Ao examinarem os avanços tecnológicos relacionados à indústria sob uma perspectiva histórica, os autores Nikolaus (2014) e Lasi *et al.* (2014) destacam que estamos vivenciando a Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0, caracterizada pelo uso de sistemas ciberfísicos, que envolvem mudanças tecnológicas que integram *hardware* e *software*. Além disso, de acordo com Gershenfeld *et al.* (2017), a Terceira Revolução Digital, que engloba a FD ou a Fabricação Pessoal, está prestes a acontecer.

Essas revoluções demandam uma reorganização da sociedade, uma vez que transformam o mercado de trabalho, levando à extinção de algumas profissões e atividades, enquanto novas oportunidades emergem. Isso também exerce

pressão sobre o sistema educacional, que precisa se adaptar ao novo paradigma. Essa adaptação é justificada pelo fato de que as Tecnologias Digitais introduzem novas formas de criação, leitura e circulação de informações na sociedade, o que por sua vez gera novos métodos de ensino e aprendizagem.

Sendo assim, torna-se fundamental que os professores se apropriem dessas tecnologias e busquem formas alternativas de incorporá-las ao ambiente escolar e às práticas educativas. Nesse contexto, este capítulo visa contribuir para o debate sobre os desafios e as oportunidades do uso das TD, com foco na caracterização da FD como recurso pedagógico no ensino de geometria espacial.

1.1 TECNOLOGIAS DIGITAIS, GEOMETRIA E A BNCC

Com a construção teórica, procura-se refletir sobre a necessidade do uso das TD no ensino, para desenvolver, nos jovens, competências e habilidades necessárias no século XXI, bem como apresentar como são citadas tais tecnologias na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

A BNCC é um documento normativo que define as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver durante as etapas e modalidades da educação básica. O documento é organizado por etapa de educação: educação infantil, ensino fundamental e ensino médio. Além das competências e habilidades específicas de cada área do

conhecimento, o documento define dez Competências Gerais para a educação básica. Dentro dessas competências gerais, o foco desta pesquisa recai na Competência 5, que versa sobre a Cultura Digital:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (Brasil, 2018, p. 11).

Observa-se um avanço no sentido da integração das TD na educação básica, uma vez que está prevista na normativa nacional, e nessa competência geral o estudante deve, além de utilizar TD, compreender e criar, vindo ao encontro da discussão desta pesquisa. No referencial teórico, a BNCC expõe que a escola de ensino médio deve ter compromisso com os **fundamentos científicos tecnológicos** da produção de saberes, e promover, por meio da articulação entre diferentes áreas do conhecimento:

- a compreensão e a utilização dos conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico, e dos procedimentos metodológicos e suas lógicas;
- o reconhecimento da necessidade de continuar aprendendo e aprimorando seus próprios conhecimentos;
- a **apropriação das linguagens das tecnologias digitais e a fluência em sua utilização**; e

- a apropriação das linguagens científicas e sua utilização na comunicação e na disseminação desses conhecimentos (Brasil, 2018, p. 466, grifo nosso).

O que é corroborado quando, na etapa do ensino médio, é apresentado o subtítulo *As finalidades do E.M. na contemporaneidade*, que aborda a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, que prevê: no inciso I, a finalidade de consolidação e aprofundamento das aprendizagens adquiridas no ensino fundamental; no inciso II, a preparação para o trabalho e cidadania; no inciso III, o pensamento crítico; e, no inciso IV, “a compreensão dos fundamentos **científico-tecnológicos** dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” (Brasil, 1996, art. 35). Em outras palavras, no inciso IV fica claro que os fundamentos científico-tecnológicos devem ser abordados como tema transversal em cada disciplina do currículo.

Há também o subtítulo *As tecnologias digitais e a computação*, que caracteriza diferentes dimensões da computação e TD, e no primeiro ponto discorre sobre as capacidades relacionadas ao pensamento computacional: “compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e suas soluções, de forma metódica e sistemática, por meio do desenvolvimento de algoritmos” (Brasil, 2018, p. 476).

Quanto ao componente curricular de Matemática e suas Tecnologias, o documento prevê que, para a continuidade

das aprendizagens das etapas anteriores, o foco deve ser a construção de uma visão integrada da Matemática, aplicada à realidade, em diferentes contextos, e desenvolver habilidades relativas a processos de investigação, de construção de modelos e de resolução de problemas (Brasil, 2018). Nesta pesquisa, o aprofundamento será especificamente na área de Geometria, que também é descrita neste regimento, mas será discutida na próxima subseção.

Considerando as finalidades do ensino médio, que incluem a formação para o trabalho e a cidadania na sociedade contemporânea, é inegável que o uso das TD se tornou essencial, assim como a habilidade de resolver problemas. Nesse contexto, esta pesquisa se propõe a explorar o processo de FD como parte de uma abordagem pedagógica para o ensino de geometria. Acredita-se que a FD não apenas incorpora diversas tecnologias, mas também pode promover autonomia e senso crítico nos estudantes. Na subseção seguinte, são expostas reflexões sobre a importância do ensino de geometria, como é realizado e como é apresentado nos documentos oficiais.

1.1.1 Reflexões sobre o ensino de geometria: um olhar para a geometria espacial

A geometria é presença frequente em nosso cotidiano, por isso é tão importante seu ensino. As crianças, quando iniciam os movimentos, iniciam também o reconhecimento dos

objetos no espaço que as cerca. O posterior desenvolvimento psicomotor permite ampliar competências geométricas como de localização, de reconhecimento de deslocamentos, de representação de objetos do mundo físico, de classificação de figuras geométricas e de sistematização do conhecimento (Lima; Pitombeira, 2010). Segundo Freudenthal (*apud* Fonseca, 2001):

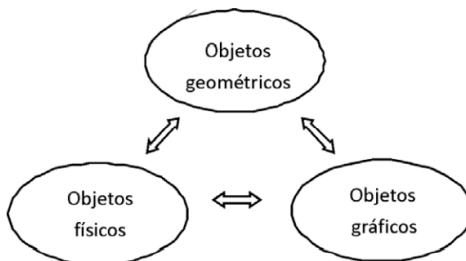
A Geometria é uma das melhores oportunidades que existem para aprender a matematizar a realidade. É uma oportunidade de fazer descobertas [...]. Com certeza, os números são também um domínio aberto às investigações, e pode-se aprender a pensar através da realização de cálculos, mas as descobertas feitas pelos próprios olhos e mãos são mais surpreendentes e convincentes. Até que possam de algum modo ser dispensadas, as formas no espaço são um guia insubstituível para a pesquisa e a descoberta (Freudenthal *apud* Fonseca, 2001, p. 497).

Em outras palavras, a geometria é uma oportunidade única para investigar matematicamente a realidade e fazer descobertas tangíveis. Lima e Pitombeira (2010) refletem sobre a importância de um enfoque que não seja puramente geométrico, mas que seja estudado em conjunto com as grandezas em geral. Um exemplo é definir quadrado como um quadrilátero constituído de quatro ângulos retos e quatro lados de mesmo comprimento – isso é um objeto abstrato, não tem como efetuar medições. Agora, quando há exemplos, que pode ser um desenho, as medições fornecerão sempre valores iguais dos lados e das aberturas dos ângulos. E o

comprimento e a largura do quadrado poderão ser concebidos em centímetros, metros ou outra unidade de comprimento.

Há também a necessidade da interação entre o abstrato e o concreto no estudo da geometria, devendo ser possibilitado o manuseio e a visualização de objetos do mundo físico (abstrações mentais), pois são “importantes as atividades que envolvam as representações gráficas – desenhos e imagens – desses objetos” (Lima; Pitombeira, 2010, p. 138). Após o manuseio e a visualização, inserir progressiva e simultaneamente atividades que permitam também relacionar os conceitos matemáticos aos fenômenos e objetos físicos, e às suas representações. Por meio dessas relações, obtêm-se modelos abstratos de objetos da realidade, ou de representações gráficas de objetos físicos. Dessa forma, têm-se três tipos de objetos, como representado na Figura 2:

Figura 2 – Tipos de objetos matemáticos



Fonte: Lima e Pitombera (2010).

A abordagem das dimensões na geometria é sugerida pelos autores supracitados que seja realizada de forma

integrada, e não como era recomendado há algum tempo: partir das figuras unidimensionais, seguidas das bidimensionais e, depois, das tridimensionais.

Para a constituição do pensamento geométrico, as percepções vindas dos movimentos e dos sentidos do tato e da visão têm função fundamental. A visão na formação do pensamento geométrico está relacionada a duas capacidades que interdependem:

De um lado, captar e interpretar as informações provenientes do mundo que nos cerca e que são mediadas pela visão humana, bem como constituir imagens mentais e ideias baseadas nessas informações. Por outro lado, traduzir as imagens mentais e as ideias em objetos visíveis (Lima; Pitombeira, 2010, p. 144).

Nesta pesquisa, a prática será desenvolvida com foco maior na segunda capacidade, de tornar visíveis as ideias e imagens mentais, por meio de objetos físicos. Essa capacidade recebe a denominação de **visualização**, pelos autores em questão, porém há estudos que podem trazer a primeira capacidade com a mesma denominação – mas o que pode ser dito sem dúvidas é que as duas capacidades são inseparáveis.

E a BNCC, o que diz sobre a geometria espacial? No documento, as habilidades sobre geometria espacial são encontradas desde os anos iniciais do Ensino Fundamental. Optou-se por incluir essas habilidades nesta subseção, pois, apesar de a prática ter sido trabalhada com os estudantes do Ensino Médio, observou-se que habilidades como de diferenciar

formas planas e espaciais ou de associá-las ao mundo real não haviam sido desenvolvidas.

Sendo assim, de acordo com a BNCC (Brasil, 2018), a geometria abrange uma variedade de conceitos e técnicas essenciais para resolver problemas do mundo físico e de diversas áreas do conhecimento. Estudar posição, deslocamento, formas e relações entre elementos das figuras planas e espaciais pode desenvolver o pensamento geométrico dos alunos, capacitando-os a investigar propriedades, formular conjecturas e apresentar argumentos geométricos convincentes. Além disso, é crucial considerar o aspecto funcional da geometria, particularmente as transformações geométricas, como as simetrias.

No Ensino Fundamental Anos Iniciais (EFAI), o que se espera dos alunos sobre geometria? Que possam identificar pontos de referência, construir representações de espaços, estimar distâncias, reconhecer características de formas geométricas, associar figuras espaciais a suas planificações, nomear e comparar polígonos. No Quadro 1 são apresentados os objetos de conhecimento e habilidades relacionadas à geometria espacial no EFAI.

Ainda segundo a BNCC, o estudo das simetrias deve ser introduzido através da manipulação de representações de figuras geométricas planas, utilizando quadriculados ou softwares de geometria dinâmica. Portanto, é fundamental que o ensino de geometria vá além da simples aplicação

de fórmulas matemáticas, permitindo aos alunos explorar conceitos fundamentais e desenvolver habilidades analíticas e de resolução de problemas.

Quadro 1 – Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EFA1

Objetos de conhecimento	Habilidade
1º ano	
Localização de objetos e de pessoas no espaço, utilizando diversos pontos de referência e vocabulário apropriado	<p>(EF01MA11) Descrever a localização de pessoas e de objetos no espaço em relação à sua própria posição, utilizando termos como à direita, à esquerda, em frente, atrás.</p> <p>(EF01MA12) Descrever a localização de pessoas e de objetos no espaço segundo um dado ponto de referência, compreendendo que, para a utilização de termos que se referem à posição, como direita, esquerda, em cima, em baixo, é necessário explicitar-se o referencial.</p>
Figuras geométricas espaciais: reconhecimento e relações com objetos familiares do mundo físico	<p>(EF01MA13) Relacionar figuras geométricas espaciais (cones, cilindros, esferas e blocos retangulares) a objetos familiares do mundo físico.</p>
2º ano	
Localização e movimentação de pessoas e objetos no espaço, segundo pontos de referência, e indicação de mudanças de direção e sentido	<p>(EF02MA12) Identificar e registrar, em linguagem verbal ou não verbal, a localização e os deslocamentos de pessoas e de objetos no espaço, considerando mais de um ponto de referência, e indicar as mudanças de direção e de sentido.</p>
Figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera): reconhecimento e características	<p>(EF02MA14) Reconhecer, nomear e comparar figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera), relacionando-as com objetos do mundo físico.</p>

3º ano	
Localização e movimentação: representação de objetos e pontos de referência	(EF03MA12) Descrever e representar, por meio de esboços de trajetos ou utilizando croquis e maquetes, a movimentação de pessoas ou de objetos no espaço, incluindo mudanças de direção e sentido, com base em diferentes pontos de referência.
Figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera): reconhecimento, análise de características e planificações	(EF03MA13) Associar figuras geométricas espaciais (cubo, bloco retangular, pirâmide, cone, cilindro e esfera) a objetos do mundo físico e nomear essas figuras. (EF03MA14) Descrever características de algumas figuras geométricas espaciais (prismas retos, pirâmides, cilindros, cones), relacionando-as com suas planificações.
4º ano	
Localização e movimentação: pontos de referência, direção e sentido, paralelismo e perpendicularismo	(EF04MA16) Descrever deslocamentos e localização de pessoas e de objetos no espaço, por meio de malhas quadriculadas e representações como desenhos, mapas, planta baixa e croquis, empregando termos como direita e esquerda, mudanças de direção e sentido, intersecção, transversais, paralelas e perpendiculares.
Figuras geométricas espaciais (prismas e pirâmides): reconhecimento, representações, planificações e características	(EF04MA17) Associar prismas e pirâmides a suas planificações e analisar, nomear e comparar seus atributos, estabelecendo relações entre as representações planas e espaciais
5º ano	
Plano cartesiano: coordenadas cartesianas (1º quadrante) e representação de deslocamentos no plano cartesiano	(EF05MA14) Utilizar e compreender diferentes representações para a localização de objetos no plano, como mapas, células em planilhas eletrônicas e coordenadas geográficas, a fim de desenvolver as primeiras noções de coordenadas cartesianas. (EF05MA15) Interpretar, descrever e representar a localização ou movimentação de objetos no plano cartesiano (1º quadrante), utilizando coordenadas cartesianas, indicando mudanças de direção e de sentido e giros.
Figuras geométricas espaciais: reconhecimento, representações, planificações e características	(EF05MA16) Associar figuras espaciais a suas planificações (prismas, pirâmides, cilindros e cones) e analisar, nomear e comparar seus atributos.

Fonte: Adaptado da BNCC (Brasil, 2018).



Da mesma forma que na fase anterior, a aprendizagem em Matemática no Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF) também está intrinsecamente relacionada à apreensão de significados dos objetos matemáticos. Esses significados resultam das conexões que os alunos estabelecem entre os objetos e seu cotidiano, entre eles e os diferentes temas matemáticos e, por fim, entre eles e os demais componentes curriculares. Nessa fase, precisa ser destacada a importância da comunicação em linguagem matemática com o uso da linguagem simbólica, da representação e da argumentação. No Quadro 2 são apresentados os objetos de conhecimento e habilidade de geometria espacial para essa etapa de ensino.

Quadro 2 – Habilidades e objetos de conhecimento de geometria espacial EFAF

Objetos de conhecimento	Habilidade
6º ano	
Plano cartesiano: associação dos vértices de um polígono a pares ordenados	(EF06MA16) Associar pares ordenados de números a pontos do plano cartesiano do 1º quadrante, em situações como a localização dos vértices de um polígono
Prismas e pirâmides: planificações e relações entre seus elementos (vértices, faces e arestas)	(EF06MA17) Quantificar e estabelecer relações entre o número de vértices, faces e arestas de prismas e pirâmides, em função do seu polígono da base, para resolver problemas e desenvolver a percepção espacial.
Polígonos: classificações quanto ao número de vértices, às medidas de lados e ângulos e ao paralelismo e perpendicularismo dos lados	(EF06MA18) Reconhecer, nomear e comparar polígonos, considerando lados, vértices e ângulos, e classificá-los em regulares e não regulares, tanto em suas representações no plano como em faces de poliedros .

7º ano	
Simetrias de translação, rotação e reflexão	(EF07MA21) Reconhecer e construir figuras obtidas por simetrias de translação, rotação e reflexão, usando instrumentos de desenho ou softwares de geometria dinâmica e vincular esse estudo a representações planas de obras de arte, elementos arquitetônicos, entre outros.

Fonte: Adaptado da BNCC (Brasil, 2018).

No Ensino Médio, a BNCC da área de Matemática e suas Tecnologias busca fortalecer e expandir as aprendizagens fundamentais adquiridas no Ensino Fundamental. Em relação à geometria, os alunos desenvolvem competências para interpretar e representar a localização e o movimento de figuras no plano cartesiano, identificam transformações isométricas e realizam ampliações e reduções de figuras. Eles também são desafiados a formular e resolver problemas em diferentes contextos, aplicando conceitos de congruência e semelhança. As habilidades e objetos de conhecimento listados para essa etapa do ensino na BNCC podem ser apreciados no Quadro 3.

Quadro 3 – Habilidades relacionadas aos objetos de conhecimento de geometria espacial EM

Objetos de conhecimento	Habilidade
Ensino Médio	
Geometria das Transformações: isometrias (reflexão, translação e rotação) e homotetias (ampliação e redução). Noções de geometria dos fractais.	(EM13MAT105) Utilizar as noções de transformações isométricas (translação, reflexão, rotação e composições destas) e transformações homotéticas para construir figuras e analisar elementos da natureza e diferentes produções humanas (fractais, construções civis, obras de arte, entre outras).

Conceitos e procedimentos de geometria métrica. Sistema métrico decimal e unidades não convencionais. Funções, fórmulas e expressões algébricas.	(EM13MAT201) Propor ou participar de ações adequadas às demandas da região, preferencialmente para sua comunidade, envolvendo medições e cálculos de perímetro, de área, de volume, de capacidade ou de massa.
Geometria Métrica: poliedros e corpos redondos. Área total e volume de prismas, pirâmides e corpos redondos.	(EM13MAT309) Resolver e elaborar problemas que envolvem o cálculo de áreas totais e de volumes de prismas, pirâmides e corpos redondos em situações reais (como o cálculo do gasto de material para revestimento ou pinturas de objetos cujos formatos sejam composições dos sólidos estudados), com ou sem apoio de tecnologias digitais.
Noções básicas de Matemática Computacional. Algoritmos e sua representação por fluxogramas.	(EM13MAT315) Investigar e registrar, por meio de um fluxograma, quando possível, um algoritmo que resolve um problema.
Noções elementares de matemática computacional: sequências, laços de repetição, variáveis e condicionais. Algoritmos: modelagem de problemas de soluções. Linguagem da programação: fluxogramas.	(EM13MAT405) Utilizar conceitos iniciais de uma linguagem de programação na implementação de algoritmos escritos em linguagem corrente e/ou matemática.
Sólidos geométricos (prismas, pirâmides, cilindros e cones). Cálculo de volume de sólidos geométricos.	(EM13MAT504) Investigar processos de obtenção da medida do volume de prismas, pirâmides, cilindros e cones, incluindo o princípio de Cavalieri, para a obtenção das fórmulas de cálculo da medida do volume dessas figuras.
Polígonos regulares e suas características: ângulos internos, ângulos externos etc. Pavimentações no plano (usando o mesmo tipo de polígono ou não). Linguagem algébrica: fórmulas e habilidade de generalização.	(EM13MAT505) Resolver problemas sobre adrilmamento do plano, com ou sem apoio de aplicativos de geometria dinâmica, para conjecturar a respeito dos tipos ou composição de polígonos que podem ser utilizados em adrilmamento, generalizando padrões observados.
Transformações geométricas (isometrias e homotetias). Posição de figuras geométricas (tangente, secante, externa). Inscrição e circunscrição de sólidos geométricos. Noções básicas de cartografia (projeção cilíndrica e cônicas).	(EM13MAT509) Investigar a deformação de ângulos e áreas provocada pelas diferentes projeções usadas em cartografia (como a cilíndrica e a cônicas), com ou sem suporte de tecnologia digital.

Fonte: Adaptado da BNCC (Brasil, 2018).



Sendo assim, no Ensino Médio, o foco está na construção de uma visão integrada da Matemática, aplicada em diversos contextos da realidade. Considerando as experiências diárias dos estudantes, influenciadas por avanços tecnológicos, demandas do mercado de trabalho e dinâmicas sociais, destaca-se a importância do uso de TD e aplicativos para investigação matemática e continuação do desenvolvimento do pensamento computacional.

É importante ressaltar que, desde os anos iniciais do Ensino Fundamental, a BNCC enfatiza o uso de tecnologias como calculadoras e planilhas eletrônicas, preparando os alunos para, nos anos finais e no Ensino Médio, desenvolverem habilidades de pensamento computacional, interpretando e criando algoritmos, inclusive aqueles representados por fluxogramas.

A área de Matemática e suas Tecnologias “propõe a consolidação, a ampliação e o aprofundamento das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental” (Brasil, 2018, p. 529), bem como promoção do letramento matemático, estimulando a reflexão, abstração e autonomia na resolução de problemas em diversos contextos. Para isso, é essencial desenvolver habilidades de investigação, construção de modelos e resolução de problemas ao longo do processo educacional.

A partir da seleção das habilidades de matemática que abordam especificamente objetos de conhecimento da

geometria espacial, vimos que podem ser desenvolvidas com ou sem o uso de TD e abarcam ações como utilizar, propor, resolver e elaborar problemas, e investigar. Esse subtítulo se faz importante para saber o que se espera do ensino de geometria na Educação Básica. Agora, na próxima subseção, será conceituada a FD.

1.2 O QUE É ESSA TAL “FABRICAÇÃO DIGITAL (FD)”?

Fabricação é um termo derivado da junção das palavras ‘fabricar’ mais ‘ação’ e expressa o ato de fabricar (Fabricar, 2012). O homem, há tempos, produz artefatos *no e para* o mundo por meio de ações sobre a natureza. Assim, fabricar pode ser considerado uma manifestação da ação humana, e implica, de acordo com Rosa (2019), dizer que a fabricação é uma atividade intrínseca ao ser humano.

O ser humano sempre precisou fabricar ferramentas e instrumentos que o auxiliassem na vida cotidiana e no trabalho. Com as inovações advindas da era moderna, essa concepção de fabricação foi modificada (Souza, 2013). Pois, com o surgimento de novas máquinas, surgem também formas novas de fabricar objetos, e nesse processo houve também a “separação entre trabalho intelectual e trabalho manual, entre *homo sapiens* e *homo faber*” (Antunes; Pinto, 2017, p. 107). E a fabricação manual foi substituída progressivamente pela automatização das indústrias.



Todavia, com a popularização do movimento “Faça Você Mesmo” (*Do it yourself* – D.I.Y.) e do Movimento *Maker*, parece que houve uma retomada da valorização do trabalho manual e artesanal, bem como dos processos criativos envolvidos na produção de artefatos, o que Anderson (2012) considera uma manifestação artesanal no mundo digital. Neste contexto, com princípios da Terceira Revolução Digital e da Indústria 4.0 surge o termo Fabricação Digital.

De acordo com Seely (2004), FD são denominados os processos de projeto e produção que usam desenhos assistidos por computador (*Computer Aided Design* – CAD), associados com manufatura auxiliada por computador (*Computer Aided Manufacturing* – CAM). Essa definição é corroborada pelo site *Wishbox* (2015):

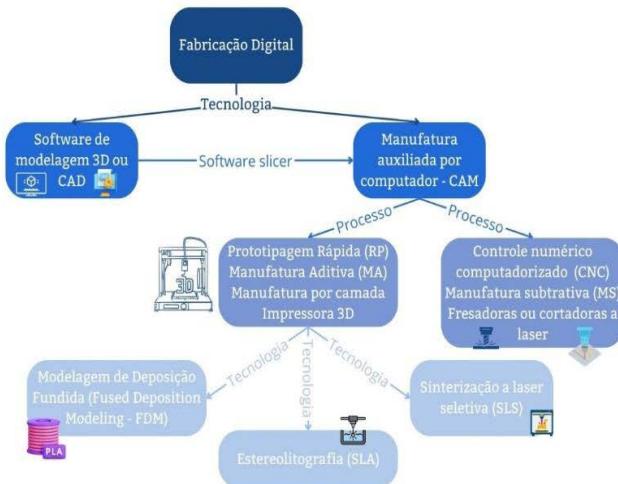
A Fabricação Digital é um processo de manufatura em que os dados digitais acionam o projeto diretamente ao equipamento de fabricação para formar variadas geometrias de peças. Esses dados geralmente vêm do CAD (do inglês *Computer Aided Design*), que é então transferido para o software CAM (do inglês *Computer Aided Manufacturing*). A saída do software CAM é um dado que direciona uma máquina específica, como uma impressora 3D ou uma fresadora CNC (Wishbox, 2015, n.p.).

Em outras palavras, a FD pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador, para transformar projetos digitais em produtos físicos (Igoe; Mota, 2011). No âmbito educacional, ao invés de um software CAD, pode ser utilizado um software de modelagem tridimensional, pois eles são mais acessíveis e



intuitivos. Na Figura 3, fizemos um esquema demonstrando as principais tecnologias e processos de FD.

Figura 3 – FD tecnologias e processos



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 3 demonstra o processo de FD que precisa de um *software* para modelagem do artefato, seja de modelagem 3D ou CAD, de um *software* fatiador e de uma máquina que usará um processo para materializar o artefato. Como o foco da pesquisa é a Manufatura Aditiva (MA), não serão detalhadas as tecnologias da Manufatura Subtrativa (MS).

A FD tem um papel importante na disseminação das tecnologias digitais por meio de laboratórios de fabricação e prototipagem. Esses espaços para FD são laboratórios constituídos por uma plataforma de prototipagem rápida

destinada a empreendedores, *designers*, estudantes e artistas, com o intuito de criar seus próprios objetos, desde o desenvolvimento até a realização física (Eychenne; Neves, 2013). Na próxima seção serão apresentadas as nomenclaturas e características sobre os espaços e laboratórios de criação/ FD “mão na massa” nos ambientes educativos.

1.2.1 Espaços de FD

Segundo Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022), há diversas nomenclaturas para os espaços de criação “mão na massa” ou de FD no ambiente educativo, e para cada uma delas há uma abordagem pedagógica como embasamento. Sendo assim, nesta seção pretende-se elucidar três dessas nomenclaturas, sendo elas: espaços *makers*, *Fab Lab* e *FabLearn Lab*, que serão brevemente descritos a seguir.

Os **espaços *makers***, também conhecidos como laboratórios *makers* ou espaços de criação, recebem diferentes denominações de acordo com a instituição ou organização que os implementa. Esses locais são destinados a realizar atividades criativas com estudantes ou usuários, podendo estar vinculados a instituições de ensino ou a organizações governamentais ou não governamentais, que oferecem o espaço à comunidade de forma gratuita ou paga.

Para Assunção (2019), no início as pessoas utilizavam esses espaços como um *hobby*, para a criação de seus artefatos. Hoje, apesar de serem espaços repletos de



conectividade, impressora 3D e diferentes tecnologias, também podem ser desenvolvidos considerando a baixa tecnologia, com materiais de sucata, fitas, papelão, linha e materiais de costura, pois acabam estimulando a criatividade e a inovação, fato este que tem atraído sua implementação por parte de governos, empresas, organizações e instituições de ensino.

Raabe e Gomes (2018) mencionam que espaços informais de aprendizagem também podem ser chamados de *hackerspaces*, onde entusiastas de tecnologia podem manipular e criar utilizando-se de tecnologias, microcontroladores, ferramentas e maquinários disponíveis. Esses ambientes são flexíveis, e são constituídos por um conjunto variado de tecnologias e conceitos, podendo incluir desde ferramentas simples de marcenaria até impressoras 3D e cortadoras *laser*. No contexto educacional, recomenda-se a adoção desses espaços pela flexibilidade que oferecem, permitindo adaptações conforme a disponibilidade de recursos e o orçamento das instituições.

Assim, de acordo com Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022):

[...] pode-se definir como espaços makers, os locais de criação sem relação com teorias de aprendizagem ou comunidades, mas que servem para promover a criatividade e a inovação a partir da criação de objetos, produtos e protótipos de acordo com o objetivo de cada usuário.

Já os **Laboratórios de Fabricação Digital (Fab Labs)** tiveram sua origem no Instituto de Tecnologia de Massachusetts

(MIT) em 2001, em uma disciplina acadêmica chamada “Como fazer ‘quase’ qualquer coisa”, lecionada pelo professor Neil Gershenfeld, no laboratório interdisciplinar *Center for Bits and Atoms* (CBA).

Devido aos *feedbacks* positivos de seus estudantes, Gershenfeld utilizou a disciplina como modelo para outras unidades, o que proporcionou levar a diferentes locais o conhecimento técnico e os equipamentos para criação e experimentação, deixando disponível, de forma aberta, ao público em geral.

O projeto se tornou uma rede com laboratórios espalhados pelo mundo e tem como missão “fornecer acesso às ferramentas, ao conhecimento e aos meios financeiros para educar, inovar, e inventar usando tecnologia e Fabricação Digital para permitir que qualquer pessoa faça (quase) qualquer coisa” (Fabfoundation, 2022, n.p.).

A fabricação digital e os *Fab Labs* têm sido considerados importantes meios para a educação, por permitirem que as pessoas possam entrar nos laboratórios e utilizar os recursos disponíveis para construir projetos de seu interesse (Gershenfeld, 2012).

No Brasil, o primeiro *Fab Lab* foi criado em 2011 na Universidade de São Paulo (USP), pelo professor Paulo Fonseca de Campos (Silva; Merkle, 2016). Até o mês de setembro de 2023, estavam registrados, no site oficial da rede *Fab Lab*, 154 laboratórios brasileiros (Figura 4).



Figura 4 – Mapa *Fab Labs* brasileiros

Fonte: Site oficial *Fab Lab* (2023) ².

Pelo mapa da Figura 4, pode-se perceber que, no Brasil, a maior concentração de *Fab Labs* é no Sudeste, sendo o SESI-SP a maior rede de *Fab Labs* da América Latina, com 33³ destes laboratórios. Outros exemplos de *Fab Labs* voltados à educação são: *Fab Learn* (SP), Educação *Maker* SESI-SC, *Sagui Lab* (SP), rede de laboratórios *Fab Lab Livre SP*, *Labtec@* (AL), *Garagem Fab Lab* (SP) e *POAlab* (RS).

Todavia, nem todos os *Fab Labs* brasileiros desenvolvem projetos educacionais, ou visam a outros objetivos além da capacitação e do uso das próprias ferramentas dos laboratórios. No estado de Mato Grosso, há apenas um *Fab*

2 Disponível em: <https://www.fablabs.io/labs/map>. Acesso em: 22 jun. 2022.

3 Disponível em: <https://www.sesisp.org.br/educacao/fab-lab-escola>. Acesso em: 22 jun. 2022.

*Lab*⁴, localizado na capital, Cuiabá, em uma sala cedida pela Universidade Federal do Estado de MT (UFMT). Este é um Mini *FabLab*, com uma vertente em marcenaria digital, arquitetura e urbanismo e artes plásticas. Lá se faz prestação de serviços, ministram-se oficinas e treinamentos, orienta-se na elaboração e fabricação de projetos.

Consoante Eychenne e Neves (2013), os *Fab Labs* podem ser classificados em três categorias diferentes:

- a) **FabLabs Acadêmicos** - são mantidos por universidades e escolas, e além dos projetos de seus alunos, podem atender também ao público externo. Possuem como foco o desenvolvimento de projetos mão-na-massa, por parte de seus alunos, possibilitando a aplicação prática da teoria ensinada nas salas de aula de forma interdisciplinar;
- b) **FabLabs Profissionais** - sua utilização é paga pelos seus usuários, mas podem receber investimentos de empresas públicas ou de empresas privadas. São os laboratórios com o foco nas empresas, em profissionais, startups e empreendedores individuais. Porém, para manterem o espírito do *FabLab*, devem dar acesso à comunidade, de forma gratuita, pelo menos uma vez por semana, a comunidade só paga o custo dos materiais que utilizar;

4 Disponível em: <https://www.fablabs.io/labs/fablabcuiaba>. Acesso em: 22 jun. 2022.

c) **FabLabs** Públcos - O propósito dos FabLabs Públcos é o de 'dar acesso às máquinas digitais, às práticas e à cultura do movimento maker e da fabricação digital. Estes lugares são vistos como vetores de emancipação [...]. Esses laboratórios são mantidos por instituições públicas ou por organizações e comunidades locais. Possuem acesso à comunidade em geral sem custo algum, oferecerem oficinas, workshops a fim de abranger o maior público possível (Eychenne; Neves, 2013, p. 23).

Por meio do levantamento dos projetos educacionais de alguns *Fab Labs* voltados à educação, Rosa (2019) diz compreender que a FD pode ter potencial para a aprendizagem. A autora em questão, em sua pesquisa de mestrado, fez uma análise da literatura científica sobre a FD e chegou a quatro finalidades da Fabricação Digital:

- a) Fabricação Digital para disseminação/ democratização das tecnologias e construção da cidadania; b) Fabricação Digital para proporcionar a aprendizagem; c) Fabricação Digital para fomentar a inovação e o empreendedorismo e estimular o pensamento criativo; d) Fabricação Digital para promover a transformação no mundo do trabalho e na indústria (Rosa, 2019, p. 32).

Segundo a autora supracitada, os excertos retirados dos estudos para a análise convergiam em três enfoques principais.

O primeiro enfoque está na busca pela disseminação e pela democratização das TD. O segundo está na importância atribuída à cooperação na FD e ao compartilhamento de arquivos e conhecimentos. E o terceiro e último enfoque está na aprendizagem potencializada pela FD (Rosa, 2019, p. 34).

Por fim, segundo Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022, p. 8), a abordagem pedagógica dos *Fab Labs* utilizada na educação baseia-se na aprendizagem por pares, em trabalho por projetos, *workshops* e cursos livres sobre ferramentas, maquinários e possibilidades de sua utilização em situações da vida cotidiana dos aprendizes.

No tocante à terceira nomenclatura, ***FabLearn Labs***, tem seu surgimento essencialmente relacionado ao professor e pesquisador Paulo Blikstein, em 2008. Os autores Blikstein, Martinez e Pang (2014) destacam a origem do *FabLearn Lab*, quando desenvolveram o primeiro laboratório de FD para uma escola na Universidade de Stanford. Anteriormente, Blikstein já havia iniciado suas pesquisas sobre esses espaços como parte de seu doutorado, a partir de 2004. Hoje, Blikstein é professor associado na Universidade de Columbia e faz parte do *Transformative Learning Technologies Lab* (TLTL).

Os *FabLearn Labs* são baseados no conceito original de *Fab Lab* idealizado por Neil Gershenfeld no Media Lab do MIT, porém com foco educacional direcionado para escolas e suas práticas pedagógicas. Conforme Blikstein, Martinez e Pang (2014), os *FabLearn Labs* são espaços físicos de construção presentes no Ensino Fundamental e Médio, desenvolvidos pelo TLTL e gerenciados em colaboração com parceiros dos EUA e internacionais. Os princípios do *FabLearn* embasam todo o trabalho nesses espaços, priorizando a aprendizagem personalizada, significativa, transdisciplinar e holística, onde os

alunos são incentivados a aprender de forma criativa, relevante e interdisciplinar.

De acordo com Arusievicz, Peres e Bertagnolli (2022):

A ideia é usufruir do *FabLearn Lab* com suas ferramentas e tecnologias disponíveis, utilizando-as como uma forma de resolver problemas explorando a criatividade, os termos científicos, necessários para a compreensão de como as tecnologias funcionam, vinculando teoria e prática na solução de problemas. Logo, para que isso ocorra faz-se necessário que os alunos pratiquem e não apenas copiem o conhecimento científico, promovendo a reflexão pela ação e compreendendo o conteúdo que está inerente àquela construção.

Em resumo, os princípios do *FabLearn Lab* colocam os alunos como protagonistas ativos de sua própria aprendizagem, promovendo um ambiente de aprendizagem desafiador e significativo, com os professores atuando como facilitadores desse processo. A tecnologia é vista como um recurso para ampliar as possibilidades de criação de novos conceitos, artefatos e conhecimentos, promovendo uma abordagem educacional transdisciplinar e holística.

Porém, em locais que não possuem esses espaços montados, isso não impede que sejam desenvolvidas práticas mão na massa e de FD. No caso do curso de extensão que desenvolvemos, utilizamos a impressora 3D e *chromebooks* para o desenvolvimento dos projetos. Descritos os ambientes de fabricação digital, vamos agora elucidar uma tecnologia da FD, que é a prototipagem rápida, que será abordada no

próximo tópico, apresentando os elementos que envolvem esse processo de manufatura.

1.2.2 Tecnologia da FD: prototipagem rápida (RP)

A prototipagem rápida (*Rapid Prototyping – RP*) são processos aditivos de material, os quais fazem uso da Manufatura Aditiva, enquanto os processos subtrativos de material são denominados controle numérico computadorizado (*Computer Numeric Control – CNC*).

Segundo Kostakis (2015), a Manufatura Aditiva (MA) é o termo técnico dado à tecnologia popularmente conhecida como “Impressão 3D”, a qual se encontra inserida em um conjunto de diversas tecnologias de Fabricação Digital.

A manufatura aditiva (MA) refere-se ao conglomerado de processos e tecnologias que produzem peças a partir da adição de material, camada sobre camada. Difere de outros métodos de fabricação, como a usinagem, que compreende a retirada sucessiva de material de um bloco – esses métodos são chamados de processos de Manufatura Subtrativa (MS).

Os processos de MA têm destaque, pois viabilizam a produção de peças com *designs* inovadores, que muitas vezes não são possíveis de serem fabricados por outros processos, além de proporcionarem economia de matéria-prima e a redução de custos de produção, principalmente para pequenos lotes de peças com geometria complexa e customizada.



Na Figura 5, pode-se analisar as características e vantagens de cada forma de manufatura, por exemplo, a manufatura aditiva permite mais liberdade geométrica e tem maior nível de personalização, a resistência das peças é um pouco inferior à do outro método, mas gera menos resíduos, risco menor de operação, ocupa menos espaço e o custo por peça é menor.

Figura 5 – Manufatura Aditiva x Manufatura Subtrativa

	Manufatura Aditiva	Manufatura Subtrativa
Liberdade geométrica	★★★★★	★★
Nível de personalização	★★★★★	★★★
Resistência das peças	★★★	★★★★★
Requer mão de obra qualificada	★★	★★★★★
Resíduos gerados	★	★★★★★
Risco de operação	★	★★★★
Set-up para operação	★	★★★★
Espaço necessário	★	★★★★
Custo por peça	★	★★★★

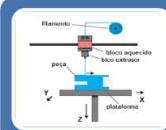
Fonte: *Wishbox Technologies* (2021)⁵.

A manufatura aditiva permite a fabricação de geometrias complexas, peças com estruturas internas ou ocaas, e pode ser uma pequena fábrica, pois sozinha pode produzir peças do início ao fim. Há várias tecnologias utilizadas para a MA, porém, as mais populares são: a Modelagem de Deposição Fundida (*Fused Deposition Modeling* – FDM), a Estereolitografia (SLA) e

5 Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/o-que-e-manufatura-aditiva/>. Acesso em: 1 out. 2022.

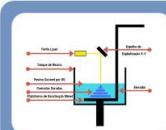
a Sinterização a *laser* seletiva (SLS). A FDM é a mais utilizada, devido a seu custo ser mais acessível. Mas que tecnologias são essas? São a forma de funcionamento e o material utilizado pela impressora 3D (Figura 6).

Figura 6 – Tecnologias de impressão 3D



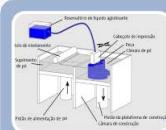
As impressoras 3D FDM / FFF (modelagem por deposição fundida)

- Fundem e expelem o filamento termoplástico, que é depositado camada por camada por um bico de impressão na mesa de impressão. O FDM é a tecnologia de impressão 3D mais acessível.
- As peças impressas em FDM são mais adequadas para modelos de prova de conceito, prototipagem rápida, protótipos de baixo custo e até peças finais.



A estereolitografia ou SLA

- Usa um laser para curar a resina líquida e transformar em um plástico endurecido, em um processo chamado fotopolimerização. As peças SLA possuem detalhes finos, acabamento superficial suave e propriedades de materiais isotrópicos.
- A impressão SLA 3D é ideal para projetos complexos, protótipos funcionais, fabricação de ferramentas e matrizes para fundição.



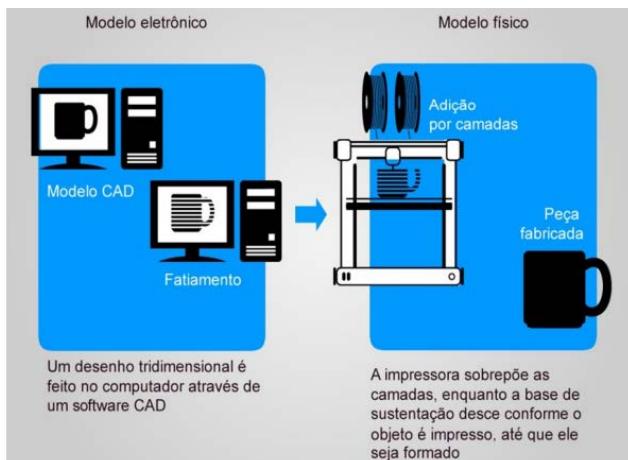
As impressoras 3D SLS ou de Sinterização Seletiva a Laser

- Usam um laser de alta potência para fundir pequenas partículas de pó de polímero. O pó não fundido suporta a peça durante a impressão e elimina a necessidade de estruturas de suporte.
- As peças produzidas com impressão SLS possuem excelentes características mecânicas, com resistência comparável às peças moldadas por injeção.

Fonte: Adaptado de *Wishbox* (2015).

Independentemente da tecnologia utilizada, a impressão tridimensional é um processo que tem três passos principais, conforme a Figura 7:

Figura 7 – Representação das principais etapas da manufatura por camada



Fonte: Jucá (2016).

O primeiro passo é o desenvolvimento do projeto em 3D, para isso deve-se definir o *design* e as medidas, por meio de um software CAD ou de modelagem 3D. O segundo passo consiste em dividir o projeto em camadas/fatias, devendo-se, para isso, exportar o projeto do software CAD para um software denominado *slicer* (fatiador). Depois de parametrizado no *slicer*, será gerado um arquivo em formato G-code. Em seguida, tem-se o terceiro passo, o arquivo G-code é enviado para a impressora 3D, que irá responder às coordenadas pré-configuradas e fará a deposição do material em camadas, até a produção completa do objeto.

Existem softwares CAD, de modelagem 3D e *slicer* gratuitos e *on-line*, que podem ser utilizados na própria web, sem precisar baixar no dispositivo. Dessa forma, boa parte do

processo de manufatura está sendo popularizado, podendo ser acessado com *e-mail*, inclusive por instituições escolares. Exemplos são: o *software* de modelagem 3D *Tinkercad*⁶, o fatiador *Kiri:Moto*⁷ e o fatiador *UltiMaker Cura*⁸.

Disponibilizar *softwares CAD*, de modelagem 3D e *slicers* gratuitos e *on-line* amplia consideravelmente o alcance da prototipagem rápida, tornando-a acessível a uma variedade de usuários, incluindo instituições educacionais. No entanto, apenas o acesso não é suficiente para democratizar completamente a TD.

É necessário também considerar a capacitação dos usuários para aproveitar plenamente esses recursos e compreender seu potencial. Além disso, é crucial problematizar as potencialidades e as limitações da prototipagem rápida como recurso educacional. Isso envolve explorar como a RP pode ser utilizada no processo de ensino e de aprendizagem, bem como identificar desafios e oportunidades associados ao seu uso na educação.

Portanto, a democratização da RP deve ser vista em termos de acesso a recursos adequados, capacitação e uso da prototipagem rápida como um recurso educacional, levando

6 Disponível em: <https://www.Tinkercad.com/>. Acesso em: 7 set. 2022.

7 Fatiador de projetos 3D *on-line* e gratuito. Disponível em: <https://grid.space/kiri/>. Acesso em: 7 set. 2022.

8 Cura é um aplicativo de fatiamento de código aberto para impressoras 3D. Disponível em: <https://web-staging.ultimaker.com/software/ultimaker-cura>. Acesso em: 7 set. 2022.

em consideração suas implicações e potenciais impactos no contexto educacional contemporâneo.

Em suma, a prototipagem rápida é um processo de manufatura acessível e que pode ser utilizado para vários fins, como *design*, fabricação individual, empreendedorismo e inclusive na educação. Para isso, é necessário pensar em abordagens de ensino que implementem o uso dessas tecnologias. No próximo tópico, apresentam-se algumas ponderações para levar em consideração ao se planejarem ações pedagógicas baseadas na FD.

1.2.3 Abordagens de ensino para promoção da FD e da criatividade

O processo é semelhante ao trabalho de um jardineiro que cuida de suas plantas, criando um ambiente no qual elas possam florescer. Da mesma forma, podemos criar um ambiente de aprendizagem onde a criatividade floresça. Portanto, sim, é possível ensinar alguém a ser criativo, contanto que vejamos o ensino como um processo orgânico e interativo.

(Mitchel Resnick, 2020, p. 20)

No Brasil, os índices de aprendizagem de matemática na educação básica são baixos, evidenciando dificuldades nesse processo. Uma das dificuldades é que há uma cultura de que o componente curricular de Matemática é muito difícil, o que faz com que os estudantes tenham uma aversão à disciplina.

Outra dificuldade é a desconexão da matemática escolar com o cotidiano do estudante:

[...] em classes tradicionais de Matemática os estudantes são ensinados pela primeira vez a teoria e, em seguida, eles são convidados a resolver alguns exercícios e problemas que têm mais ou menos soluções algorítmicas usando mais ou menos o mesmo raciocínio e que raramente são conectados com as atividades do mundo real (Stoica, 2015, p. 702).

Sendo assim, como contribuir com um ensino de matemática mais contextualizado? As TD permeiam o cotidiano das pessoas, mas muitas vezes são excluídas do ambiente escolar, sendo um desafio imposto aos professores promover sua integração nas aulas, de forma que os estudantes aprendam *por meio e com* as TD. Entretanto, deve-se ter atenção, pois, de acordo com Resnick (2020, p. 23), “o foco não deve ser quais tecnologias as crianças estão usando, mas o que elas estão fazendo com esses recursos”.

A BNCC aborda a importância do uso das TD de forma crítica e reflexiva no contexto escolar, “nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva” (Brasil, 2017, p. 9). Assim, faz-se necessário substituir os processos de ensino que priorizam a exposição e que levam a uma passividade do educando, que percebe o conteúdo como um conjunto estático de conhecimentos e técnicas (D'Ambrosio, 2012).



A introdução da cultura *maker* no ambiente escolar pode ter um papel importante na mudança de metodologias alicerçadas em modelos tradicionais. Para Gershenfeld, Philibert e Boehm (2005), a Terceira Revolução Digital pauta-se na FD pessoal e na criação de espaços físicos, que proporcionem processos de criação e desenvolvimento, que são ignições para a diferenciação na educação, pois permitem desenvolver projetos inovadores para necessidades concretas, destacando os *Fab Labs* como espaço de enorme potencial nas práticas educacionais. Dessa forma, os princípios *makers* (criatividade, colaboratividade, sustentabilidade e escalabilidade) e a FD aparecem como uma alternativa para o processo de ensino e aprendizagem.

Para Mitchel Resnick (2020), apesar de muitos educadores e pesquisadores defenderem o *aprender fazendo*, arguindo que a melhor forma de aprender é estar ativamente envolvido em *fazer*, por meio de atividades “mão na massa”, essa ação não é suficiente na cultura do movimento *maker*, “pois não é suficiente fazer algo: é preciso criar” (Resnick, 2020, p. 34). Defendendo que as aprendizagens mais valiosas ocorrem quando o estudante está ativamente envolvido no desenvolvimento, na construção ou na criação de algo – quando *aprende criando*.

Resnick (2020) trabalhou com Seymour Papert no MIT, e considera que este deveria ser o santo padroeiro do movimento *maker*, pois ele desenvolveu bases teóricas do aprender criando, além de tecnologias e estratégias de apoio.

Defende que, quando a maioria dos pesquisadores adotou uma abordagem de *ensino assistido por computador*, Papert tinha uma visão diferente do uso do computador, não como substituto de professores, mas como um novo meio de expressão, um novo recurso para criar coisas.

Sendo assim, com base na teoria construtivista de Piaget, Seymour Papert defendeu que as crianças constroem conhecimento quando se envolvem ativamente na construção de coisas no mundo, ou seja, quando estão criando. Essa abordagem foi chamada de Construcionismo.

Seymour Papert criou o Logo, uma linguagem de programação para que crianças aprendessem geometria por meio da programação. Resnick e sua equipe, com base nessas ideias, criaram o Scratch, uma linguagem de programação em blocos que permite a criação de animações, jogos e histórias interativas.

Resnick (2020, p. 44) vê a “programação como uma forma de fluência e expressão, assim como a escrita”, ou seja, considera a programação uma forma de comunicar ideias a outras pessoas. Considera que, quando se expressam e compartilham ideias por meio da programação, as crianças começam a se ver sob novas formas e a enxergar a possibilidade de contribuir ativamente com a sociedade.

Entendendo ser possível aprender *por meio e com* as TD, Resnick (2020, p. 20) faz uma analogia de como nutrir a criatividade das crianças, de modo que diz que “o processo

é semelhante ao trabalho de um jardineiro que cuida de suas plantas, criando um ambiente no qual elas possam florescer”; sendo assim, o papel do professor seria o de criar um ambiente de aprendizagem que oportunize a criatividade, e para isso o ensino deve ser orgânico e interativo.

Resnick (2020) defende ainda que bons professores e mentores, no processo de ensino, se adaptam aos papéis de catalisadores, consultores, conectores e colaboradores. Catalisadores acendem a “faísca” para o processo de aprendizagem. Um exemplo é quando o estudante fica paralisado durante a execução de um projeto, então o professor pode lhe mostrar exemplos de projetos e fazer perguntas como: “Como chegou a essa ideia?”, “Por que acha que isso acontece?”.

Consultores, papel em que os professores oferecem dicas técnicas sobre as tecnologias, ajudam a refinar suas ideias e dão apoio emocional quanto às frustrações do processo, para que não desistam.

Conectores, quando os “professores e os mentores não têm condições de dar aos estudantes todo o suporte necessário. Assim, uma parte importante do seu trabalho é conectá-los a outras pessoas com quem eles possam trabalhar e aprender” (Resnick, 2020, p. 104).

Colaboradores, quando os professores e mentores, além de darem apoio e conselhos nos projetos que os jovens e

crianças desenvolvem, trabalham em seus próprios projetos e os chamam para participarem.

Sendo assim, Resnick (2020) nos dá indícios de como conduzir o ensino para estimular a criatividade e a construção de aprendizagens com o uso das TD, por meio da criação.

De acordo com Blikstein (2013), desde os anos 1970, os pesquisadores têm trabalhado arduamente na criação de recursos para tornar a programação mais fácil de aprender. Recursos de programação como *Scratch* e *NetLogo* alcançaram popularidade sem precedentes e tornaram a codificação acessível a milhões de estudantes e professores. O mundo aderiu à ideia de que não só os meios computacionais poderiam ser um veículo para ideias poderosas em matemática, engenharia e ciências – um novo e importante tipo de alfabetização –, mas também uma atividade acessível nas escolas.

Blikstein (2013, p. 2) faz uma analogia entre o *Logo* e os *Fab Labs*, ao dizer que “o que o Logo fez pela geometria e pela programação – colocando a matemática complexa ao alcance das crianças em idade escolar – os laboratórios de fabricação podem fazer pelo *design* e pela engenharia”. Essa analogia, em nossa visão, sugere que os espaços de fabricação digital têm potencial para democratizar o acesso ao *design* e à engenharia, assim como o Logo o fez para a geometria e a programação, oferecendo novas possibilidades para abordagens de ensino interdisciplinares como a ABP e STEAM.

A fabricação e o “fazer” digital podem ser um capítulo novo e importante neste processo de levar ideias poderosas, literacias e recursos tecnológicos às crianças. Hoje, a gama de conhecimentos disciplinares aceitos expandiu-se para incluir não apenas programação, mas também engenharia e *design*. Além disso, há apelos em todo o lado para abordagens educativas que promovam a criatividade e a inventividade.

Essa visão é corroborada por Paio (2021), ao expor que o século XXI traz novas problemáticas que necessitam de TD e da FD como recursos de resposta ao estabelecimento de metodologias de ensino e aprendizagem. A autora destaca três pilares de suporte vertical de ensino e aprendizagem que devem ser compreendidos e utilizados pelos professores:

(1) o FabLab@ School, que traz para as escolas novas ferramentas e o conceito de aprendizagem profunda (*deep learning*) e aprender fazendo (*hands-on learning*) em que o errar faz parte do processo; (2) a STEAM (acrônimo de *Science, Tecnology, Engineering, Arts and Mathematics*), que promove a importância da criatividade na aprendizagem centrada em projetos (*project-based learning*) e no aluno (*student centered learning*); e, (3) o *Design Thinking* na aprendizagem, para o qual é fundamental a colaboração (*collaborative learning*) e um conhecimento profundo do contexto (*contextual learning*) (Paio, 2021, p. 17, grifo do autor).

É importante frisar que não é somente um recurso tecnológico ou espaço físico que vai fazer com que o estudante aprenda determinados conceitos matemáticos, afinal, a atividade deve ser organizada pelo professor de forma

que permita ao educando investigar, descobrir, conectar, criar e refletir com autonomia e colaboração, na busca por resolver um problema real ou criar um produto. E, assim, desenvolver o pensamento crítico e um raciocínio que lhe possibilite criar conjecturas e abstrair suas ideias, tornando-as conhecimentos formais.

Apesar de esse tipo de laboratório não ser acessível a todos os sistemas escolares, pode-se, a partir da própria FD, usando processos de Manufatura Aditiva (impressoras 3D) e/ou subtrativos, criar um ambiente baseado na cultura *maker*.

A abordagem STEAM é baseada no desenvolvimento de projetos, e pode estar alinhada à Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). Segundo Bacich e Holanda (2020, p. 44), um dos grandes desafios de projetos STEAM moldados na ABP é a garantia de que os estudantes tenham oportunidades originais para o “planejamento e elaboração de artefatos, por meio de etapas que estimulem a criatividade e que estejam conectadas com a investigação de conceitos, alinhados com a proposta de *design*”.

Além da abordagem de *design* de artefatos, outra prática comumente adotada em projetos de STEAM é o *Design Thinking*, que consiste em um conjunto de conceitos empregados por *designers* para conceber e implementar soluções centradas nas necessidades dos usuários. Embora não seja formalmente uma metodologia, mas sim uma mentalidade para solucionar problemas, o *Design Thinking* é um recurso que pode auxiliar

no planejamento de atividades de ensino focadas na criação de artefatos. Esse processo é composto por cinco fases: empatizar, definir, gerar ideias, prototipar e testar.

Assim, o professor é concebido como um *design* de experiências autênticas de aprendizagem, que deve construir um amplo repertório de conhecimentos técnicos e pedagógicos, além da reflexão sobre a prática. É preciso criatividade e persistência para superar os desafios, porque muitas vezes é necessário adaptar recursos, organizar aulas com outros professores e repensar projetos durante a aplicação, com base nas evidências coletadas.

Diante do que foi mencionado, uma possibilidade para promover um ensino contextualizado por meio e com TD da FD é a adoção de abordagens de ensino interativas, nas quais os estudantes desempenham um papel ativo e aprendem por meio da criação, enquanto os professores planejam ambientes propícios para a construção do conhecimento.

1.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A BNCC é um documento normativo que define as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver durante as etapas e modalidades da Educação Básica no Brasil. Neste documento, as TD são importantes recursos. Quanto à geometria espacial, a BNCC traz habilidades a serem desenvolvidas desde o EFAI até o EM.



E, para complementar a discussão sobre a geometria, trouxemos Lima e Pitombeira (2010), que argumentam sobre seu ensino de forma não linear, pois, segundo eles, não é preciso apresentar primeiro formas unidimensionais, depois bidimensionais e somente a seguir as formas tridimensionais – isso pode acontecer de forma integrada.

Ao buscarmos caracterizar a FD, vimos que o ato de fabricar se trata de uma manifestação da ação intrínseca ao ser humano. Com as inovações da Indústria 4.0 e da Terceira Revolução Digital, a fabricação é considerada uma manifestação artesanal no digital, e assim a FD caracteriza-se como uma indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador para transformar projetos digitais em produtos físicos. Ou seja, o ensino por meio da FD utiliza-se de dois tipos primordiais de tecnologias: uma para construção digital do artefato, que pode ser um *software CAD* ou de modelagem 3D, e uma para materializar o artefato, como a impressora 3D ou uma fresadora.

Uma das finalidades da FD apontadas por Rosa (2019) é proporcionar a aprendizagem. E, para que a aprendizagem seja potencializada pela FD, algumas possibilidades são discutidas, como o trabalho pedagógico baseado na cultura *maker*, a implementação de *Fab Labs* educacionais e abordagens de ensino como a STEAM, ABP e o *Design Thinking*. Paio (2021) considera essas possibilidades (*FabLab schools*, STEAM e *Design Thinking*) como pilares de suporte vertical

ao desenvolvimento de metodologias alternativas de ensino e aprendizagem no século XXI.

Também foram apresentados espaços que democratizam as tecnologias associadas à FD, como espaços *makers*, *Fab Labs* e *FabLearn*. E abordagens de ensino baseadas na cultura *maker* do aprender criando, de forma interativa, para a promoção da criatividade, que podem ser associadas ao processo de FD. Bem como foi exposta a importância da programação e da modelagem para o ensino e aprendizagem.

Dessa forma, a discussão do uso da fabricação digital como recurso pedagógico no ensino é apenas introdutória, mas se mostra promissora, uma vez que a prototipagem rápida pode possibilitar a materialização de modelos mentais, a visualização de objetos tridimensionais, a testagem de conjecturas e a abstração.

Portanto, a FD se apresenta como uma possibilidade de inovação no ensino, mas as pesquisas e as tecnologias associadas a essa revolução ainda são recentes, sendo necessária a ampliação de trabalhos científicos que corroborem o desenvolvimento da área. Bem como o repensar dos papéis do professor e dos alunos no processo pedagógico.

TINKERCAD, IMPRESSÃO 3D E GEOMETRIA ESPACIAL: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Com o crescente emprego de TD na educação, torna-se essencial explorar abordagens inovadoras para o ensino de conceitos complexos, como a geometria espacial. Nesse contexto, surge a curiosidade e a adoção do software *Tinkercad* e da impressora 3D como ferramentas educacionais, oferecendo uma oportunidade para tornar o aprendizado da geometria tangível e envolvente.

Dentro dessa perspectiva, a justificativa para a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) se fundamenta na necessidade de analisar como o uso do *Tinkercad* e da impressão 3D tem sido explorado no ensino de geometria espacial na educação básica, por meio dos estudos científicos. Dessa forma, no presente capítulo, é apresentada uma visão abrangente das pesquisas mais recentes e relevantes, realizadas nos últimos cinco anos, que se concentram na temática.

A RSL teve sua origem na medicina, com o propósito de gerar diagnósticos mais confiáveis, uma vez que não se fundamenta exclusivamente na experiência do especialista, mas sim em resultados experimentais, ou seja, em evidências. Ela, segundo Kitchenham *et al.* (2009), é um estudo secundário e um dos principais métodos para sintetizar evidências de pesquisa.

Esse tipo de revisão segue uma sequência de fases bem definidas, sendo considerada rigorosa, confiável e passível de auditorias. Isso resulta na redução de vieses e na identificação de lacunas na literatura sobre um tema específico, além da síntese de evidências para tomada de decisões e inferências (Brereton *et al.*, 2007). Por esses motivos, essa abordagem tem sido implementada em diversas áreas do conhecimento, como Saúde, Computação, Educação, entre outras.

Os autores Felizardo *et al.* (2017) propõem três fases para a execução da RSL: planejamento, condução e publicação dos resultados. Dessa forma, o objetivo da revisão foi compreender como o uso do *Tinkercad* e da impressão 3D tem sido explorado no ensino de geometria espacial na educação básica, por meio dos estudos científicos. Posteriormente, o protocolo de pesquisa foi delineado de acordo com a estrutura proposta por Felizardo *et al.* (2017), conforme será detalhado nos próximos subtítulos.

2.1 PLANEJAMENTO

No protocolo foram definidas às seguintes perguntas: Como tem ocorrido a exploração do uso do *software Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial na Educação Básica, com base nos estudos científicos? Esses estudos associam essas tecnologias à Fabricação Digital? Para responder a essas questões, foram desenvolvidas estratégias de busca de estudos.

A estratégia de busca utilizada foi formulada por meio de testes de aderência, nas bases bibliográficas, das palavras-chave e dos termos principais referentes ao problema de pesquisa.

Optou-se por manter quatro *strings* para aumentar a probabilidade de serem mostrados estudos alinhados ao escopo: *Tinkercad AND* (educação OR ensino OR geometria espacial); *Tinkercad AND* (education OR teaching OR spatial geometry); *Tinkercad AND* “Fabricação Digital” AND geometria espacial; “Impressão 3D” AND “geometria espacial”.

Os critérios de escolha das fontes bibliográficas incluíram disponibilidade *on-line* e acessibilidade aos arquivos sem restrições. Após testes, foram escolhidos – por atenderem aos critérios mencionados e fornecerem estudos alinhados com os objetivos da revisão – um motor de busca e três bases: *Google Acadêmico*, *Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*,



Banco de Teses e Dissertações (BDTD) e *Catálogo de Teses e Dissertações* (CTDC) da CAPES.

Para seleção dos estudos foram definidos também critérios de inclusão e exclusão que são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Critérios de inclusão e exclusão de estudo no *corpus* de análise

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
a) Trabalhos publicados e integralmente acessíveis nas bases de dados utilizadas	1. O estudo foi publicado apenas como resumo
b) Produções científicas, incluindo artigos, dissertações e teses, no período compreendido entre 2018 e 2022	2. Não inclusão de revisões de literatura, focando somente em estudos primários
c) Foi requerido que os estudos contivessem de forma específica os termos: <i>Tinkercad</i> e/ou ao menos um dos termos do grupo 2 (apresentados no Quadro 5) – prototipagem rápida, <i>rapid prototyping</i> , impressão 3D, <i>3D printing</i> , manufatura aditiva, <i>additive manufacturing</i> , Fabricação Digital, <i>digital fabrication</i> – no título, resumo ou palavras-chave	3. Não foi possível ter acesso ao estudo completo
d) Os estudos deviam possuir como escopo o ensino e/ou a aprendizagem de geometria no contexto da Educação Básica	

Fonte: Autoria própria (2023).

Os critérios empregados para avaliar os estudos selecionados em uma RSL geralmente se concentram na qualidade metodológica e na relevância dos estudos em relação aos objetivos da revisão. Esses critérios são formulados como perguntas pelos pesquisadores responsáveis pela condução da pesquisa. Dentro desse contexto, a seguir, são apresentados

os critérios estabelecidos para avaliar os estudos, os quais têm sua fundamentação embasada na relevância e na metodologia de pesquisa e de ensino.

1. Relevância:

- O estudo aborda de forma direta a temática do ensino e/ou aprendizagem de geometria espacial? (Sim/Não)
- Os objetivos da pesquisa estão organizados de forma clara e coerente? (Sim/Não)

2. Metodologia de ensino:

- O estudo explora o uso do *Tinkercad* e/ou da impressão 3D para o ensino de geometria? (Sim/Não)
- O estudo descreve de forma clara a abordagem/estratégia de ensino utilizada? (Sim/Não)

3. Aspecto metodológico:

- O estudo é baseado em uma aplicação/experimento de ensino na Educação Básica? (Sim/Não)

2.2 CONDUÇÃO

A etapa de condução representa o momento de executar o que foi previamente planejado. Nas seções subsequentes, serão descritas a identificação e seleção dos estudos, além da apresentação da extração e síntese dos dados.

2.2.1 Identificação de estudos

Para a identificação dos estudos destinados à análise, as *strings* de busca e as bases bibliográficas foram utilizadas conforme estruturado na etapa de planejamento. Em todas as bases selecionadas, optou-se por estabelecer um intervalo temporal que abrangesse estudos recentes, compreendendo o período de 2018 a 2022. No *Google Acadêmico*, a opção “incluir citação” foi desativada e o idioma de busca foi definido como “qualquer idioma”. Na plataforma *Periódicos CAPES*, a categoria selecionada foi exclusivamente “artigos”. Na BD TD e no CTDC, utilizou-se apenas o filtro de tempo.

Os resultados das buscas, apresentados no Quadro 5, refletem a quantidade de estudos retornados. As buscas foram realizadas nos dias 11 e 12 de agosto de 2023.

Quadro 5 – Identificação dos estudos nas bases bibliográficas

<i>String de busca</i>	<i>Google Acadêmico</i>	<i>Portal Periódico CAPES</i>	BDTD	<i>Catálogo de Teses e Dissertações CAPES</i>
<i>Tinkercad AND</i> (educação OR ensino OR geometria espacial)	303	4	0	0
<i>Tinkercad AND</i> (education OR teaching OR spatial geometry)	694	17	0	0
<i>Tinkercad AND</i> "Fabricação Digital" AND geometria espacial	4	0	0	0
"Impressão 3D" AND "geometria espacial"	65	0	2	1

Fonte: Autoria própria (2023).

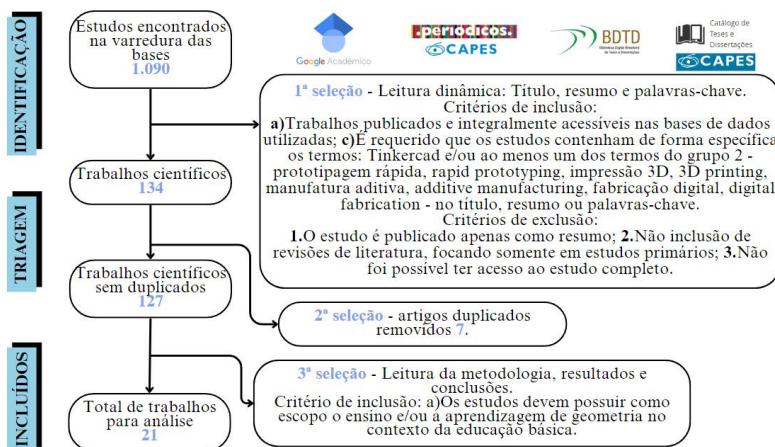
No Quadro 5, pode-se observar que tanto a BDTD quanto o *Catálogo de Teses e Dissertações CAPES* trouxeram um número reduzido de estudos. No entanto, optou-se por mantê-las no conjunto de bases devido à relevância dos estudos apresentados, os quais estão alinhados com o escopo desta revisão. Por sua vez, o *Portal Periódicos CAPES* apresentou um total de 21 estudos, enquanto o *Google Acadêmico* trouxe 1.066 resultados. A decisão de manter o *Google Acadêmico* foi baseada na amplitude de estudos que essa fonte oferece.

Com a conclusão dessa etapa, que englobou a identificação dos estudos, a pesquisa está preparada para avançar para a próxima fase: a seleção dos estudos que serão incorporados à síntese dos dados.

2.2.2 Seleção de estudos

A estratégia empregada para seleção dos estudos foi baseada na *string* de busca, e nos critérios de inclusão e exclusão descritos no protocolo. Os títulos, resumos e palavras-chave devem conter ao menos dois termos sobre o tema de estudo. Segue o detalhamento da seleção dos estudos para análise (Figura 8).

Figura 8 – Seleção dos estudos



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a identificação dos 1.090 trabalhos, não foi realizado o *download* imediatamente. Foi conduzida uma primeira seleção, considerando critérios como a disponibilidade integral dos trabalhos nas bases de dados, a presença dos termos “*Tinkercad*” e/ou do grupo 2 nos títulos, resumos ou palavras-chave, além da exclusão de resumos e revisões de literatura.

No *Google Acadêmico*, a opção “salvar” foi utilizada para inserir os estudos selecionados na “Minha biblioteca” daquela base, enquanto, nas demais bases, os trabalhos selecionados foram baixados diretamente. Como resultado desse processo, obtiveram-se 134 trabalhos.

Na etapa subsequente de seleção, os 134 estudos que atendiam aos critérios foram exportados para o *Mendeley*⁹. Durante essa fase, a funcionalidade “*duplicates*” foi empregada para identificar possíveis duplicatas. Embora apenas um caso tenha sido identificado por essa busca, a leitura dos metadados revelou a existência de mais seis duplicatas.

Na terceira etapa de seleção, com o objetivo de compor o portfólio de análise, foi realizada uma leitura mais detalhada dos estudos. O foco foi compreender o escopo de cada pesquisa. Nesse processo, foram excluídas as pesquisas que não abordavam o ensino e/ou a aprendizagem de geometria espacial na Educação Básica, e que não estavam alinhadas com o objetivo desta revisão.

Dessa forma, foram selecionados 21 estudos para análise, sendo 1 tese, 2 dissertações e 18 artigos.

9 Mendeley é um gerenciador de referências bibliográficas gratuito. Disponível em: <https://www.mendeley.com/download-reference-manager/windows>. Acesso em: 10 ago. 2023.

2.2.3 Extração e sintetização dos dados

A extração é a atividade na qual são obtidos dados a partir da leitura completa dos estudos primários incluídos na atividade de seleção. O objetivo dessa atividade é registrar, de maneira precisa, os dados necessários para responder às questões de pesquisa estabelecidas para a RSL (Kitchenham; Charters, 2007).

Os primeiros dados a serem extraídos são os metadados. Segundo Kitchenham e Charters (2007), esses metadados podem ser: título, autores, veículo de publicação (por exemplo, nome do evento ou periódico), nome do(s) revisor(es) e data da extração. Também pode ser considerado o ano de publicação, a afiliação dos autores, entre outros. A decisão sobre quais metadados considerar depende dos objetivos da RSL. No Quadro 6, apresentamos os metadados extraídos dos estudos selecionados.

Quadro 6 – Metadados dos estudos selecionados

Nº	Autores	Título	Ano de publicação	Tipo de estudo	Objetivo	Instituição - Local / Base bibliográfica
E01	Hedler, L. W. M.	<i>Desenvolvimento do pensamento geométrico espacial: geogebra, impressora 3d e abstração reflexionante</i>	2020	Tese	Analisar como as tecnologias digitais, possibilitando a construção e manipulação de objetos espaciais, com <i>software</i> de geometria dinâmica <i>GeoGebra</i> e com impressão 3D, proporcionam interações e experiências que contribuem com o processo de abstração reflexionante na construção do pensamento geométrico espacial.	UFRGS Porto Alegre –RS/BR / BDTD
E02	Santos, R. S.; Soares, R. A. L.	<i>O processo de impressão 3D como ferramenta mediadora no ensino e aprendizagem de geometria espacial na Educação Básica</i>	2021	Dissertação Mestrado profissional	Analisar quais os efeitos no ensino e aprendizagem de Geometria Espacial em decorrência da utilização do processo de impressão 3D nas práticas educativas na Educação Básica.	IFPI Floriano – PI/BR / CTDC
E03	Dos Santos, J. L.; Sganzerla, M. A. R.	<i>Impressora 3D de baixo custo para auxiliar cegos e/ou baixa visão na construção de sólidos geométricos: Projeto Mark</i>	2018	Artigo	Visando uma alternativa financeiramente viável, foi desenvolvida uma impressora 3D utilizando uma placa Arduino Mega como unidade central de processamento com um custo muito inferior ao verificado em impressoras industriais e, assim, mais financeiramente acessível.	ULBRA Guaíba – RS/BR / Google Acadêmico
E04	Barboza, L. R.; Sabba, C. G.	<i>O estudo da matemática com o uso da impressora 3D na Educação Básica no estado de São Paulo</i>	-	Artigo	Apresentar a aplicabilidade da utilização da impressora 3D no ensino da matemática no Ensino Fundamental, com a finalidade de superação do ensino tradicional, meramente teórico e decorativo, buscando uma aprendizagem significativa da matemática.	Uninove – SP/BR / Google Acadêmico
E05	Bandeira, L. M. S. A. et al.	<i>Instrumento de avaliação do software educacional Tinkercad: uma visão fundamentada na BNCC</i>	2019	Artigo	Este trabalho propõe um instrumento de avaliação de <i>software</i> educativo, priorizando quatro dimensões: as Competências Gerais do documento da Base Nacional Comum Curricular (BNCC); as Competências e Habilidades específicas para a área de matemática (BNCC); pedagógica; e técnica.	UFRN Natal – RN/BR / Google Acadêmico
E06	Cadena-Blanco, F.; Arias-Rueda, M. J.; Arias-Rueda, J.	<i>Geometría y emprendimiento con Tinkercad desde el enfoque de la educación STEAM</i>	2022	Artigo	Promover o desenvolvimento de competências centradas no aprender produzindo, através da abordagem STEAM Education, aplicando estratégias de aprendizagem baseadas na investigação e no <i>Design Thinking</i> .	Universidad Católica Boliviana San Pablo – La Paz / Bolívia / Google Acadêmico
E07	Freitas, R. de et al.	<i>InCircle: uma versão planar do jogo da Torre de Hanoi na aprendizagem de conceitos matemático-computacionais</i>	2019	Artigo	Neste trabalho é apresentado o jogo InCircle, como uma nova versão do jogo clássico da Torre de Hanoi, de lógica matemática e raciocínio lógico, aqui apresentado como uma forma de se trabalharem processos de aprendizagem de conceitos matemáticos e computacionais.	UFAM – AM/BR / Google Acadêmico

E08	González Yanes, B.; Pérez, J. L. S.	<i>Estudio de la geometría tridimensional mediante software de modelado 3D.</i>	2020	Dissertação	O objetivo deste projeto é verificar as possibilidades e benefícios que a utilização de programas de modelagem 3D pode trazer para o desenvolvimento de conteúdos de geometria tridimensional.	Universidade de La Laguna – Espanha / Google Acadêmico
E09	Bhaduri, S. et al.	<i>3DnST: a framework towards understanding children's interaction with Tinkercad and enhancing spatial thinking skills</i>	2021	Artigo	Neste estudo, propôs-se uma estrutura desenvolvida por meio de codificação de vídeo a partir da análise de gravações de tela do uso de uma ferramenta de modelagem 3D - <i>Tinkercad</i> por alunos do ENSINO MÉDIO.	University of Colorado Boulder – Colorado/EUA / Google Acadêmico
E10	Voráyová, Š.	<i>Learning congruence through ornaments and tiling</i>	2021	Artigo	Neste artigo, apresentam-se algumas propostas de metodologias para o ensino de simetria no plano com tecnologias digitais, atividades manipulativas e exploração controlada.	Universidade Técnica Tcheca em Praga - República Checa / Google Acadêmico
E11	Dilling, F.; Vogler, A.	<i>Fostering spatial ability through computer-aided design: a case study</i>	2021	Artigo	Este artigo explora a promoção da capacidade espacial por meio de software de design auxiliado por computador.	University of Siegen – Alemanha / Google Acadêmico
E12	Pielsticker, F.; Witzke, I.; Vogler, A.	<i>Edge models with the CAD software: creating a new context for mathematics in elementary school</i>	2021	Artigo	Este artigo examina um exemplo retirado de um estudo realizado em uma escola primária alemã, mostrando como as crianças desenvolvem um modelo de um sólido geométrico usando objetos digitais específicos e autoprojetados no software <i>Tinkercad</i> , de desenho auxiliado por computador (CAD).	University of Siegen – Alemanha / Google Acadêmico
E13	Lieban, D.; Lavicza, Z.	<i>Dissecting a cube as a teaching strategy for enhancing students' spatial reasoning: combining physical and digital resources</i>	2019	Artigo	Pretendeu-se enfatizar os propósitos educacionais desses exemplos e discutir algumas possibilidades de ensino em que as competências matemáticas e tecnológicas dos alunos são desenvolvidas por meio de manipulativos físicos e digitais, particularmente a concepção de um quebra-cabeça matemático.	IFRS – RS/BR; Johannes Kepler University Linz – Áustria / Google Acadêmico
E14	Budinski, N.; Lavicza, Z.; Houghton, T.	<i>Opportunities for 3D printing in hybrid education</i>	2022	Artigo	Os objetivos específicos, nos quais se baseou estudo, foram comunicar abordagens inovadoras com alunos em salas de aula híbridas; ensinar os alunos a compreender o processo de impressão 3D; conectar o conteúdo geométrico com as configurações do mundo real; e aprender com os erros de design de classe por meio do monitoramento contínuo de ambientes e pedagogias.	Johannes Kepler University Linz – Áustria / Google Acadêmico
E15	Huang, C. Y.; Wang, J. C.	<i>Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: developing and evaluating an elementary school design-oriented model course</i>	2022	Artigo	Neste estudo, foi desenvolvido um curso de modelo orientado para impressão tridimensional para alunos do ensino fundamental, e sua eficácia de aprendizagem foi investigada.	National Kaohsiung Normal University – Taiwan / Google Acadêmico

E16	Kadeeva O. E. et al.	<i>Creation of the simplest 3D models for additional education</i>	2020	Artigo	Apresentar e resumir as possibilidades de uso de modelos 3D no espaço de educação do Ensino Médio.	FEFU – Rússia / Google Acadêmico
E17	Reichenberge, S. et al.	<i>3D printing to address solids of revolution at school</i>	2019	Artigo	Neste artigo pretendeu-se oferecer exemplos em que o uso da impressão 3D pode apoiar a investigação de sólidos de revolução.	Johannes Kepler University Linz – Áustria / Google Acadêmico
E18	Jung, Y. C.; Lee, K. T.	<i>A STEAM experience activity task: making and experiencing goods for the disabled with physical computing tools and 3D printing technology</i>	2022	Artigo	Desenvolver uma tarefa de atividade de experiência STEAM que pode ser aplicada a alunos do Ensino Médio com o tema 'fazer e experimentar colheres com compensação de inclinação para deficientes'.	Universidade Nacional de Educação da Coreia / Google Acadêmico
E19	Mangione, G. R. J.; Garzia, M.; Esposito, A.	<i>Verso un curricolo maker 5-8. K. principi e applicazioni per lo sviluppo della competenza geometrica tramite 3D printing</i>	2019	Artigo	Este artigo considera a pesquisa educacional e as conceituações pedagógicas da educação maker no contexto do currículo atual nas escolas italianas. Em particular, baseia-se na pesquisa que o INDIRE promove sobre o ensino usando impressoras 3D e nos resultados preliminares de um estudo piloto em andamento, que visa aumentar a compreensão das associações potenciais entre a pedagogia maker e as habilidades visuais e geométricas espaciais.	INDIRE, Istituto Nazionale Documentazione Innovazione e Ricerca Educativa – Itália / Google Acadêmico
E20	Nolla, A. et al.	<i>Impresión 3D como un recurso para desarrollar el potencial matemático</i>	2021	Artigo	O primeiro objetivo deste artigo é apresentar a experiência do Clube de Matemática da Scuola Italiana de Madri com a impressão 3D e realizar uma análise e discussão de produções estudantis. Além disso, como segundo objetivo, é realizada uma classificação do tipo de atividades de modelagem e impressão 3D realizadas pelos alunos.	Universidade Autónoma de Madrid – Espanha / Google Acadêmico
E21	Molina, C. D.; González, J. R.	<i>Uso de las impresoras 3D para la enseñanza de la geometría de los sólidos siguiendo el modelo de Van Hiele</i>	2018	Artigo	Esta comunicação detalha uma série de atividades seguindo as fases de aprendizagem do modelo Van Hiele, que permitem uma primeira introdução da tecnologia de impressão 3D na sala de aula.	UDIMA –Espanha / Google Acadêmico

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dessa forma, é possível observar que, no contexto brasileiro, a pesquisa sobre essa temática ainda é limitada, uma vez que, dos 21 estudos selecionados, apenas 6 são brasileiros, isto é, 28,6% da amostra. Além disso, a análise do Quadro 6 indica que o tema tem sido abordado em diversos países, com maior ênfase na literatura de língua inglesa, que representa 47,6% dos trabalhos. Quanto à tipologia dos estudos, 86% correspondem a artigos. No que tange às datas de publicação, o ano de 2021 concentra o maior número de publicações, totalizando 6. Ele é seguido por 2019, com 5 publicações; 2022, com 4; 2020, com 3; e 2018, com 2 – o que indica uma tendência recente na abordagem desse tema.

Como próximo passo antes de avançar para a etapa de síntese dos dados, será realizada uma avaliação da qualidade dos estudos (conforme o Quadro 7), preparando-se para a subsequente análise das evidências. É importante ressaltar que a avaliação da qualidade dos estudos não se refere às características dos estudos em si, mas sim às qualidades ou características que contribuem para responder à pergunta da revisão.

E02	SIM	SIM	SIM (<i>GeoGebra/Tinkercad e Impressão 3D</i>)	SIM	SIM Capítulo 2
E03	NÃO	SIM	SIM (<i>SolidWorks 2017</i> ¹¹ e Impressão 3D)	NÃO	NÃO
E04	SIM	SIM	SIM (<i>3D builder</i> ¹² / <i>GeoGebra</i> e Impressão 3D)	SIM	NÃO
E05	NÃO	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> ¹³)	NÃO	NÃO
E06	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	SIM
E07	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	NÃO
E08	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	SIM
E09	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM
E10	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	SIM

-
- 10 *GeoGebra* é um aplicativo computacional livre de matemática dinâmica, que combina conceitos de geometria e álgebra. Disponível em: <https://www.geogebra.org/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- 11 *SolidWorks* é um software de design 3D pago. Disponível em: https://help.solidworks.com/2017/portuguese-brazilian/SolidWorks/install_guide/hid_state_download_options.htm. Acesso em: 10 ago. 2023.
- 12 *3D Builder* é uma ferramenta de design 3D desenvolvida pela Microsoft. Com ela, pode-se visualizar, criar e personalizar. Disponível em: <https://apps.microsoft.com/store/detail/3d-builder/9WZDNCRFJ3T6?hl=pt-br&gl=br>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- 13 *Tinkercad* é um aplicativo da web gratuito para design 3D, eletrônica e codificação. Disponível em: <https://www.Tinkercad.com/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

E11	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	SIM
E12	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	SIM
E13	SIM	SIM	SIM (<i>Thingiverse</i> ¹⁴ /GeoGebra e impressão 3D)	SIM	NÃO
E14	SIM	SIM	SIM (GeoGebra e Impressão 3D)	SIM	SIM
E15	NÃO	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM
E16	NÃO	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i>)	SIM	NÃO
E17	SIM	SIM	SIM (GeoGebra e Impressão 3D)	SIM	NÃO
E18	NÃO	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM
E19	SIM	SIM	SIM (<i>SugarCAD</i> ¹⁵ /Doodle3D ¹⁶ / <i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM
E20	NÃO	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM
E21	SIM	SIM	SIM (<i>Tinkercad</i> e Impressão 3D)	SIM	SIM

Fonte: Autoria própria (2023).

14 *Thingiverse* é um site dedicado ao compartilhamento de arquivos de *design* digital criados por usuários. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

15 *SugarCAD* é um sistema autônomo para projetar 3D, imprimir 3D e gerenciar o conteúdo da aula. Disponível em: <https://3d.indire.it/sugarcad/index.php?act=login&lang=en>. Acesso em: 10 ago. 2023.

16 *Doodle3D* Transform é um aplicativo da web gratuito e de código aberto que torna o *design* em 3D fácil e divertido! Disponível em: <https://doodle3d.com/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

No que diz respeito ao Quadro 7, seis estudos (E03, E05, E15, E16, E18 e E20), embora mencionem a geometria na descrição de suas práticas, revelaram, após uma análise mais aprofundada, que a geometria se apresenta como um ‘pano de fundo’ ou uma consequência secundária, não constituindo o principal foco dessas pesquisas. Os estudos E03 e E05 não descrevem de forma clara a abordagem/estratégias de ensino e os estudos E03, E04, E05, E07, E13, E16 e E17 não apresentam uma aplicação/experimento de ensino na Educação Básica. Todavia, apesar de não satisfazerem a todos os critérios de qualidade, foram excluídos apenas os trabalhos E03, E05, E15 e E16. A seguir, são feitos uma breve descrição e apontamentos sobre esses estudos que não contemplaram todos os critérios.

O estudo E03, conduzido por um aluno e uma professora do curso de Sistemas de Informação, apresenta um modelo passo a passo para a construção de uma impressora de baixo custo que pode se configurar como uma alternativa viável para a Educação Básica, considerando os custos elevados das impressoras comerciais. Além de enfatizar a economia, a pesquisa também teve como foco a acessibilidade, empregando a impressora como tecnologia assistiva. Para verificar sua aplicabilidade na produção de materiais didáticos, os pesquisadores modelaram formas no software *SolidWorks* 2017 e as imprimiram. Foi selecionado um conjunto de sólidos geométricos frequentemente utilizados no ensino, incluindo pirâmide, cubo, octaedro, esfera, cone e cilindro.

Na sequência, esses sólidos foram submetidos à análise tátil de quatro alunos, com idades entre 7 e 10 anos, com deficiência visual, bem como de três professores. Os resultados demonstraram que os estudantes foram capazes de identificar que as figuras impressas tinham características diferentes. Além disso, os três professores que manipularam os sólidos foram unânimes na aprovação das impressões e sua aplicabilidade pedagógica.

Contudo, é importante destacar que o estudo em questão não aborda diretamente o uso da impressão 3D ou o estudo da geometria pelos estudantes, tampouco apresenta um método de ensino para o uso desta tecnologia em sala de aula. Assim, será excluído da análise, pois não contribui diretamente para responder à pergunta central da revisão. Entretanto merece ser registrado que este trabalho oferece *insights* valiosos para a construção de impressoras 3D acessíveis e ainda contribui para evidenciar um dos potenciais usos da impressão 3D na educação, que é como tecnologia assistiva.

O estudo E05 merece destaque devido ao desenvolvimento de um instrumento avaliativo de softwares educacionais com base em quatro dimensões: Competências Gerais da BNCC; Competências e Habilidades específicas para a área de matemática (BNCC); abordagem pedagógica; e aspectos técnicos. Esse instrumento foi aplicado ao software *Tinkercad*.

Para realizar a avaliação, os participantes do estudo, dois monitores de uma escola de Robótica Educacional e uma pedagoga, seguiram um plano guiado que abordava conhecimentos da interface do *software* e de Matemática. O conhecimento do uso da ferramenta inclui noções como agrupamento, cópia de modelos, distinção entre sólido e orifício, movimentação da câmera e operações de rotação, translação e escala. No âmbito dos conhecimentos matemáticos, foram incorporados temas como geometria espacial (sólidos geométricos, área, volume, aresta, vértice, face, raio, entre outros), operações booleanas, ângulo, medida, plano cartesiano, proporção geométrica, escala, números e conversão de medidas. Contudo, vale mencionar que o detalhamento desse plano não é fornecido no artigo.

Durante a avaliação, foi observado que o *Tinkercad* possui potencial para contribuir efetivamente para o ensino de matemática, incluindo a área de geometria. No entanto, o artigo não apresenta uma estrutura clara do método de ensino ou exploração do *software* para esse contexto. Devido a essa lacuna, o artigo foi excluído do conjunto de análise.

Os estudos E07 e E13 não satisfazem ao critério relativo ao aspecto metodológico de aplicação/experiência de ensino na Educação Básica. No entanto, esses estudos são pertinentes para a presente revisão, pois apresentam uma abordagem potencial para a utilização de um *software* de modelagem 3D associado com a impressão 3D no contexto do ensino de geometria.



O artigo E15 descreve uma experiência educacional que incorpora o uso do *Tinkercad* e da impressora 3D a um curso voltado para o *design* no ensino fundamental, seguindo a abordagem de ensino conhecida como *Design Thinking*. O estudo ressalta a eficácia do desenho assistido por computador como uma ferramenta poderosa para auxiliar os alunos na compreensão de conceitos, estimulando sua criatividade e motivação para aprender. O estudo também destaca que, por meio do treinamento em desenho, os alunos adquirem maior familiaridade com as propriedades das arestas, cantos e áreas de triângulos e quadriláteros (Huang; Wang, 2022, p. 23).

Apesar desses aspectos positivos, o estudo E15 foi excluído da análise devido à falta de foco específico no ensino de geometria. No entanto, é relevante registrar essa experiência devido ao método de ensino empregado, que demonstra a importância de habilidades geométricas e espaciais mesmo em projetos nos quais a geometria não seja o foco central.

Já o trabalho científico E16 aborda a investigação do *Tinkercad* como tecnologia educacional no campo da educação complementar e apresenta uma possibilidade de ementa para a disciplina de “ciências da computação”. Por não discorrer sobre ensino e/ou aprendizagem de geometria, o estudo foi excluído do *corpus* de investigação.

O artigo E18, apesar de não se concentrar especificamente no ensino de geometria espacial, relata uma experiência de ensino por meio da abordagem STEAM (acrônimo, em inglês,

para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), que envolveu a modelagem e impressão de uma colher com compensação de inclinação, direcionada para pessoas com deficiências. No contexto do tópico “Matemática”, o estudo aborda a necessidade de desenvolver conhecimentos relacionados às propriedades de formas tridimensionais. Por essa razão, o artigo foi incluído no conjunto de análise.

O mesmo acontece com a pesquisa E20, que não versa especificamente da geometria, mas relata uma experiência de ensino com STEAM e aprendizagem baseada em projetos com uso do software *Tinkercad* e da impressora 3D em clubes de matemática da Escola Italiana de Madrid.

Portanto, após a avaliação dos critérios de qualidade, foi determinada a exclusão dos estudos E03, E05, E15 e E16 do conjunto de análise da revisão. Dessa forma, permanecem 17 trabalhos científicos que serão analisados no próximo tópico.

Entre os estudos incorporados à análise, onze deles conduziram aplicações ou experimentos de ensino envolvendo estudantes da educação básica. Dentre esses, cinco foram conduzidos no ensino médio, enquanto três se concentraram no ensino fundamental II (8º e 9º anos), e três foram direcionados ao ensino fundamental I (4º e 5º anos).

Dos 17 trabalhos inclusos para a análise (E01, E02, E04, E06, E07, E08, E09, E10, E11, E12, E13, E14, E17, E18, E19, E20 e E21), 5 abordam somente o uso do *Tinkercad*, enquanto 5 discorrem sobre a integração entre um software de modelagem

e a impressora 3D e 7 exploram especificamente a relação entre o *software* de modelagem *Tinkercad* e a impressão 3D, como explicitado na 4^a coluna do Quadro 7. O uso combinado de um *software* de modelagem e da impressora 3D ocorre porque a construção de um objeto impresso requer sua prévia modelagem. No próximo tópico, serão apresentados e discutidos os resultados e a análise desses estudos.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA RSL

Com o objetivo de responder à pergunta que originou a presente Revisão Sistemática da Literatura (RSL), será utilizada a metodologia da metassíntese para analisar os resultados encontrados. A metassíntese é uma abordagem qualitativa na qual se descrevem e explicam eventos ou experiências específicas, e suas integrações interpretativas requerem habilidades por parte dos pesquisadores, para compreender e sintetizar os resultados individuais dos estudos, a fim de alinhá-los e permitir conclusões que possuam validade científica (Lopes; Fracolli, 2008).

Segundo Fiorentini (2013), a metassíntese:

[...] visa produzir interpretações ampliadas de resultados ou achados de estudos qualitativos obtidos por estudos primários (como são as dissertações, teses e pesquisas de professores), os quais são selecionados atendendo a um interesse específico do pesquisador acerca de um fenômeno a ser investigado e/ ou teorizado (Fiorentini, 2013, p. 78).

Em outras palavras, por meio da metassíntese, os resultados individuais são combinados e analisados de forma a ampliar a compreensão sobre o tema em questão, permitindo que sejam identificados padrões, relações e *insights* que podem não ser tão evidentes em cada estudo isoladamente. Assim, após um trabalho de identificação de padrões e temas, com o uso do *software* de análise *MAXQDA*¹⁷ chegou-se a quatro categorias com os aspectos relevantes das perguntas da revisão: exploração do *software* de modelagem 3D *Tinkercad* e impressão 3D no ensino de Geometria Espacial; vantagens e desafios do uso do *Tinkercad* no ensino de geometria; impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios; associação das tecnologias *Tinkercad* e impressão 3D à Fabricação Digital.

2.3.1 Exploração do *software* de modelagem 3D *Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial

Conforme ressaltado por Pielsticker, Witzke e Vogler (2021, p. 20), existe uma distinção clara entre os contextos virtual e físico. Enquanto o *software* de modelagem tridimensional oferece um ambiente com projeções ajustáveis de forma dinâmica, a impressão 3D possibilita a concretização e a manipulação de objetos sólidos.

17 MAXQDA é um *software* para análise de dados qualitativos e métodos mistos em pesquisas acadêmicas, científicas e comerciais. Disponível em: https://www.maxqda.com/pt/software-analise-qualitativa?gclid=Cj0KCQjw3JanBhCPARlsAjpXTx5SGIcMdoHjJhL7eyMnRuUwYR4NyXggceUZgh2Lm8IDwquqMOCoLgcaAqehEALw_wcB. Acesso em: 16 ago. 2023.

Além disso, Lieban e Lavicza (2019) indicam que a capacidade de construir representações de objetos geométricos 2D e 3D pode ser desenvolvida por meio de diversas ferramentas para resolver problemas de projeto e compreender os efeitos das transformações simples e suas composições.

Nesse sentido, Lieban e Lavicza (2019) ressaltam a importância de tarefas que integrem a modelagem e a impressão 3D, ao escrever que:

[...] projetar tarefas para fins educacionais combinando a modelagem e os aspectos exploratórios dos Sistemas Geométricos Dinâmicos (DGS), bem como conectar facilmente esses resultados com a impressão 3D para abrir as mentes de alunos e professores para novas ideias e estratégias em modelagem matemática e resolução de problemas. [...] Esta atividade também aborda as questões de adaptação de ideias matemáticas e de design, e como esse processo se baseia e como ele nutre a criatividade matemática por meio da modelagem geométrica e das múltiplas estratégias dos alunos para resolver as tarefas (Lieban; Lavicza, 2019, p. 1).

Devido a essa diferença nas ações, tomadas de decisões e desenvolvimento de raciocínio proporcionados por cada tecnologia, e considerando que a construção de um objeto impresso requer sua prévia modelagem e que, segundo Voráyová (2021, p. 2), os desafios no desenvolvimento individual ou em grupo para projetar uma estrutura que possa ser impressa em 3D desempenham um papel notável na motivação dos alunos. Torna-se relevante

investigar como explorar essas tecnologias no ensino de geometria na sala de aula da Educação Básica. Além disso, é importante compreender as abordagens de ensino utilizadas por pesquisadores na área. Para isso, essa categoria foi dividida em duas subcategorias.

2.3.1.1 Abordagens de ensino para integração do Tinkercad e da impressão 3D no processo educacional

A convergência entre o *Tinkercad*, software de modelagem 3D, e a tecnologia prototipagem rápida, impressão 3D, oferece possibilidades para explorar abordagens pedagógicas que transcendem as fronteiras das disciplinas tradicionais, promovendo um aprendizado alinhado às competências do século XXI. Assim, neste tópico, serão consideradas diversas estratégias educacionais, que emergiram dos estudos analisados nesse contexto:

Design Thinking (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022 e Freitas et al., 2019): Por meio da abordagem do *Design Thinking*, como ilustrado por Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022), foi possível aplicar conceitos geométricos em contextos reais, gerando empreendimentos como chaveiros, carteiras e miniaturas. Este processo segue um roteiro estruturado de cinco etapas – empatizar, definir, idealizar, prototipar e avaliar. Isso desencadeia a criatividade e a colaboração dos alunos na resolução de problemas práticos, empoderando-os para enfrentar desafios do mundo real.

Essa mesma abordagem também foi explorada por Freitas *et al.* (2019, p. 1), para o planejamento e desenvolvimento da estrutura física de um jogo chamado InCircle. Nesse projeto, as fases de imersão, ideação e prototipação foram fundamentais para a concretização do jogo. Ambos os estudos evidenciam como o *Design Thinking* pode ser uma estratégia valiosa para promover a compreensão da geometria, por meio de aplicações práticas e colaborativas com tecnologias da indústria 4.0.

Educação STEAM (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022; Jung; Lee, 2022): A abordagem STEAM busca integração entre Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática na resolução de problemas. Por meio da integração do *Tinkercad* e da impressão 3D, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar a interdisciplinaridade, aplicando conhecimentos em projetos práticos e desenvolvendo habilidades analíticas e criativas. De acordo com Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022), a STEAM promove o desenvolvimento de competências centradas no aprender produzindo.

Outro exemplo da aplicação dessa abordagem de ensino está presente na pesquisa de Jung e Lee (2022), que envolveu a criação e teste, pelos alunos, de colheres de compensação de inclinação para deficientes. Os estudantes foram desafiados a compreender e aplicar ferramentas de computação física e tecnologia de impressão 3D. Nesse contexto, os estudantes não apenas tiveram que acionar conhecimentos geométricos espaciais, mas também demonstraram como a dimensão

matemática é essencial na resolução de problemas tecnológicos e na promoção da conscientização sobre questões de acessibilidade (Jung; Lee, 2022).

Filosofia Maker (Nolla et al., 2021; Mangione; Garzia; Esposito, 2019): A abordagem *maker*, conforme explorado por Nolla et al. (2021), coloca ênfase na aprendizagem prática e na materialização de ideias. Com o suporte do *Tinkercad* e da impressão 3D, os estudantes se envolvem em projetos concretos, estimulando o pensamento crítico e a resolução tangível de problemas.

Quanto à implementação de um currículo *maker* voltado para o desenvolvimento de competências geométricas por meio da impressão 3D, a Itália tem promovido um estudo piloto. Esse projeto visa ampliar a compreensão das potenciais associações entre a pedagogia *maker* e as habilidades visuais e geométricas espaciais. O piloto, conforme relatado por Mangione, Garzia e Esposito (2019, p. 5), “segue um modelo de *codesign* que envolve os professores da escola, facilitando a adoção de abordagens mais reflexivas para a avaliação da competência dos alunos”.

Aprendizagem Experimental (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022): Budinski, Lavicza e Houghton (2022) investigam um exemplo de como ensinar alunos sobre a impressão 3D, ao combinar métodos ativos multidisciplinares com aprendizagem experimental.

Esses autores fundamentaram seu estudo e projeto de aula na Teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb (1984), enfatizando a importância da experiência e o seu papel no processo de aprendizagem. Essa abordagem teórica propõe que qualquer experiência pode ser transformada em uma fonte confiável de conhecimento, tornando assim a aprendizagem mais significativa. O processo proposto consiste em quatro etapas: vivenciar, refletir, pensar e agir. No caso de sua pesquisa, os objetivos estavam alinhados com essas etapas: pensar (introdução de novas tecnologias), atuar (modelagem de impressão 3D), experimentar (obter o resultado físico final) e refletir (observar os resultados e realizar melhorias) (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022).

Aprendizagem Baseada em Projetos e/ou Resolução de Problemas (Reichenberger *et al.*, 2019; Voráyová, 2021; Nolla *et al.*, 2021): Reichenberger *et al.* (2019), além de discutirem exemplos relacionados ao conceito matemático de volume e sólidos de revolução, evidenciam que a impressão 3D revela potencialidades em abordar outros tópicos, como a resolução de problemas cotidianos.

Voráyová (2021) concentrou-se na resolução de problemas, apresentando à turma sequências potenciais de problemas para orientar a resolução. Um exemplo foi o estudo do ladrilhamento. Este enfoque demonstra como o *Tinkercad* e outros softwares CAD podem ser utilizados para explorar conceitos matemáticos por meio da abordagem de problemas reais.

Nolla *et al.* (2021), ao analisarem projetos desenvolvidos por estudantes de clubes de matemática com o uso do *Tinkercad* e da impressão 3D, identificaram quatro categorias distintas de projetos. Essas categorias surgiram tanto pela aplicação de conteúdos e processos matemáticos quanto pelo notável trabalho colaborativo que se originou:

Objeto comum com vários designs: O objetivo é projetar um objeto de uso diário, próximo dos alunos, que possa ser abordado de diversas formas, como uma bolsa ou um chaveiro.

Objeto projetado para uma situação real específica: Ao enfrentar um problema real, os alunos projetam um objeto que o solucione, como uma peça sobressalente ou um suporte.

Projeto integrado: Cada aluno desenha um elemento que contribui para um projeto em uma escala maior, como o *design* dos edifícios em uma maquete de cidade, ou elementos de uma rua ou cômodo.

Projetos modulares: Essa abordagem busca projetar um objeto complexo, inicialmente uno, que pode ser dividido em partes ou módulos. Os módulos podem ser designados a diferentes alunos e combinados para formar uma estrutura completa, como um robô. Alternativamente, o objeto final pode ser construído a partir de módulos iguais ou similares, como um mosaico ou uma construção no estilo Lego.

Fases de Van Hiele (Molina; González, 2018): A estrutura das fases de aprendizagem proposta por Molina

e González, baseada no modelo de Van Hiele, oferece uma progressão gradual em direção à compreensão geométrica. O uso do *Tinkercad* e da impressão 3D pode ser integrado a estas fases (informação, orientação dirigida, explicação, orientação livre e integração), proporcionando uma abordagem estruturada para o desenvolvimento do conhecimento.

Assim, a combinação do *Tinkercad* e da impressão 3D, alinhada a estratégias de ensino inovadoras, se configuram como oportunidade de enriquecer o processo educacional. Em resumo, a exploração das abordagens de ensino ressaltadas, como *Design Thinking*, Educação STEAM, Filosofia Maker, Aprendizagem Experimental e Aprendizagem Baseada em Projetos e/ou Resolução de Problemas, evidencia um vasto leque de possibilidades proporcionado pela integração dessas ferramentas ao ensino da geometria na Educação Básica. Ao conectar conceitos matemáticos às aplicações práticas e colaborativas, esses métodos ampliam a compreensão, o engajamento e a capacidade dos estudantes de enfrentar desafios do mundo real, preparando-os para um aprendizado prático e dinâmico na contemporaneidade.

2.3.1.2 Integração entre o Tinkercad e a impressão 3D no ensino de geometria espacial: algumas possibilidades

A integração entre o *Tinkercad* e a impressão 3D no ensino de geometria espacial abre diversas possibilidades de exploração de temas relevantes e o aprofundamento de conceitos geométricos. Essa abordagem inovadora

é acompanhada por uma variedade de elementos que demonstram como o *software* de modelagem e a impressora 3D são utilizados no contexto educacional, segundo os estudos analisados.

Um dos principais temas explorados é a visualização de sólidos geométricos. Por meio do *Tinkercad*, os alunos podem criar, modificar e manipular virtualmente diferentes formas, compreendendo melhor suas propriedades e características. A impressão 3D permite que esses sólidos sejam materializados em objetos tangíveis, proporcionando uma experiência prática e concreta. Isso promove a compreensão tridimensional e o desenvolvimento do raciocínio espacial (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021; Santos; Soares, 2021).

Enquanto a impressão 3D permite uma exploração tátil e comparação física com objetos da vida real, o aspecto dinâmico permite observar uma variedade de casos com um simples movimento de arrastar e uma valiosa representação interna, graças à possibilidade de controlar a transparência/opacidade dos modelos (Reichenberger *et al.*, 2019)

Outro aspecto explorado é a explanação de propriedades geométricas. Com o *software*, os alunos podem realizar operações como dimensionamento, corte, duplicação e encaixe de formas, proporcionando uma compreensão mais profunda das relações entre diferentes elementos. A impressão 3D permite que eles vejam essas operações se concretizando

em objetos físicos, tornando os conceitos abstratos mais concretos (Vorájová, 2021; Nolla *et al.*, 2021).

A criação de projetos integrados e práticos também é uma abordagem explorada. Os alunos podem projetar objetos que resolvam problemas reais ou que exemplifiquem conceitos geométricos, utilizando o *Tinkercad* para criar os modelos virtuais e a impressão 3D para produzir as versões físicas. Isso incentiva a aplicação dos conhecimentos em situações do cotidiano e estimula a criatividade e o pensamento crítico (Reichenberger *et al.*, 2019; Mangione; Garzia, Esposito, 2019).

Além disso, a interatividade proporcionada pelo *Tinkercad* e a possibilidade de modelagem dinâmica são elementos importantes. Os alunos podem mover, redimensionar, agrupar e manipular objetos virtualmente, experimentando diferentes cenários e relações. Essa abordagem contribui para a compreensão de transformações geométricas e propriedades dos sólidos, ampliando a visão sobre a geometria espacial (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022; Lieban; Lavicza, 2019).

As atividades também podem ser conduzidas de maneira colaborativa, em que os alunos trabalham em equipe para criar projetos e resolver desafios. O software *Tinkercad* facilita a cocriação de modelos virtuais, e a impressão 3D transforma esses modelos em objetos físicos que podem ser compartilhados e discutidos. Isso promove a aprendizagem colaborativa, a troca de ideias e o desenvolvimento de

habilidades de trabalho em equipe (Nolla *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2019).

Em conclusão, a integração do *Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial envolve uma abordagem diversificada de temas geométricos e proporciona elementos práticos e interativos para o aprendizado. Desde a visualização de sólidos até a modelagem dinâmica, criação de projetos e colaboração, essas tecnologias oferecem uma nova dimensão ao ensino de geometria, preparando os alunos para uma aprendizagem significativa e aplicação dos conceitos no mundo real.

2.3.2 Vantagens e desafios do uso do *Tinkercad* no ensino de geometria

As vantagens e desafios associados ao uso do *Tinkercad* como recurso educacional, conforme evidenciado nos estudos, podem ser classificados em duas subcategorias fundamentais: os aspectos técnicos do *software* e os aspectos pedagógicos. Budinski, Lavicza e Houghton (2022), ao investigarem as dificuldades no uso do *Tinkercad*, encontraram duas categorias abrangentes: 1) habilidades de pensamento espacial e 2) interface do *Tinkercad*.

Sendo assim, serão apresentados no primeiro momento os desafios sobre o uso do *software* *Tinkercad* apontados nos estudos, os quais foram organizados no Quadro 8. Nele, apresentam-se os aspectos técnicos e pedagógicos



do *software* em questão, a partir de excertos dos trabalhos científicos incluídos no *corpus* de análise.

Quadro 8 – Desafios quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do *Tinkercad*

Desafios	
Aspectos técnicos do <i>Tinkercad</i>	Aspectos pedagógicos do <i>Tinkercad</i>
Os alunos geralmente lutam para saber como agrupar formas para criar uma nova forma complexa, não conseguem mover as formas no <i>Tinkercad Workplane</i> , não sabem como aumentar a altura de objetos/formas e têm dificuldade em redimensionar objetos (Bhaduri <i>et al.</i> , 2021, p. 6).	<u>Mudança de perspectiva.</u> Uma das categorias de habilidades de pensamento espacial é a mudança/tomada de perspectiva. A mudança de perspectiva é a capacidade de imaginar como um objeto ou cena parece de diferentes perspectivas para outro observador. Frequentemente, os alunos lutam com diferentes visualizações ou perspectivas ao criar modelos 3D. Eles não giram instintivamente para diferentes perspectivas para criar ou depurar seus modelos. Ao não fazer isso, eles não estão visualizando o modelo de diferentes ângulos e trabalhando em apenas uma visão/perspectiva (Bhaduri <i>et al.</i> , 2021, p. 6).
Possui apenas a versão <i>Online</i> , portanto é necessária uma conexão com a internet (González Yanes; Pérez, 2020, p. 18).	<u>Rotação Mental.</u> Rotação mental, outro desafio com habilidades de pensamento espacial é a capacidade mental de girar objetos 2D ou 3D para um determinado ângulo no sentido horário ou anti-horário (Bhaduri <i>et al.</i> , 2021, p. 6).
	<u>Formação do Modelo Mental.</u> Outra categoria de pensamento espacial, formação de modelo mental, é a capacidade de juntar objetos para criar formas ou visualizações mais complexas e a capacidade de transformar objetos mentalmente, geralmente de um esboço 2D para um <i>design</i> 3D ou vice-versa (Bhaduri <i>et al.</i> , 2021, p. 6).

	<p>[...] os alunos inicialmente julgam seus resultados no programa apenas pela aparência. No nosso caso, não era um desenho e sim uma projeção na interface do programa <i>Tinkercad</i>. De acordo com o Axioma 4, os alunos julgam a precisão do fit no programa se o resultado desejado pode ser entregue (ou seja, se a borda (cilindro) se encaixa ou não no recesso do canto (cubo), que pode ser testado empurrando a borda para o recesso do canto no programa (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 18).</p>
	<p>[...] os alunos não precisam fazer conexões conclusivas (por exemplo, comparação de dimensões ou diâmetros). Assim, podemos descrever o primeiro processo de raciocínio como um procedimento puramente empírico (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 18).</p>
	<p>[...] eles tiveram que gastar mais tempo nas tarefas do que o esperado. Alguns alunos enviaram uma solução incorreta, mas imprimível, para a tarefa que era 3D (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022, p. 1).</p>

Fonte: Excertos retirados dos estudos que constituem o *corpus* de análise da RSL (2023).

De acordo com o Quadro 8, dois aspectos técnicos do *Tinkercad* são percebidos como desafios em sua utilização: a existência apenas da versão *on-line* e a dificuldade de agrupar formas para criar geometrias complexas, bem como ajustar dimensões como altura, largura e comprimento dos objetos.

Em relação aos desafios encontrados sobre os aspectos pedagógicos, Bhaduri *et al.* (2021) enfatizam o desenvolvimento de habilidades de pensamento espacial, incluindo a mudança de perspectiva, a formação de modelos mentais tridimensionais e a rotação mental. Além disso, Budinski, Lavicza e Houghton

(2022) apontam a necessidade de dedicar mais tempo para a realização de atividades com o *software* como uma dificuldade.

Os autores Pielsticker, Witzke e Vogler (2021) identificaram como um desafio pedagógico o fato de alguns estudantes utilizarem uma abordagem de tentativa e erro ao solucionar problemas com o *software*. Por exemplo, ao encaixar um cilindro em uma abertura circular de um cubo, eles tendem a ajustar aleatoriamente as dimensões sem considerar o diâmetro adequado para o encaixe.

Assim, pontuados os desafios enfrentados na utilização do *Tinkercad* segundo os estudos analisados, agora serão discutidas as vantagens identificadas nos estudos. No Quadro 9, serão apresentadas as vantagens destacadas pelos pesquisadores, que contribuem para uma compreensão abrangente dos benefícios proporcionados pelo uso desse *software* no ensino de geometria espacial.

Quadro 9 – Vantagens quanto aos aspectos técnicos e pedagógicos do *Tinkercad*

Vantagens	
Aspectos técnicos do <i>Tinkercad</i>	Aspectos pedagógicos do <i>Tinkercad</i>
[...] o <i>Tinkercad</i> herda uma abordagem particularmente intuitiva de modelar objetos tridimensionais (3D) diretamente, fornecendo acesso fácil a esse <i>software</i> para usuários iniciantes, como alunos do ensino fundamental (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 2).	Permite abranger diferentes níveis de raciocínio dentro do modelo de Van Hiele, pode ser usado por alunos entre o primeiro e o terceiro nível (Molina; González, 2018, p. 3).
[...] o <i>software Tinkercad</i> permitiu que os desenhos de todos os alunos fossem reunidos em uma tela, observando sua criatividade e engenhosidade na construção (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 18).	[...] com a função de régua, é fácil medir objetos construídos com precisão (Pielsticker; Witzke; Vogler, 2021, p. 16).
O <i>software</i> de desenho 3D utilizado foi o <i>Tinkercad</i> , pois além de ser gratuito e ter uma gestão <i>On-line</i> simples e intuitiva, possui uma vasta comunidade educativa (incluso um vasto repositório de modelos e tutoriais) e permite a criação de Salas de Aula onde os modelos podem ser partilhados entre os alunos e o professor. É de realçar a utilidade desta ferramenta uma vez que o professor pode acompanhar continuamente o trabalho que os alunos vão realizando (Nolla <i>et al.</i> , 2021, p. 92).	A unidade didática trabalhada foi a Geometria, os sólidos platônicos, para a qual o <i>software</i> utilizado, o <i>Tinkercad</i> , foi muito útil para demonstrar e exemplificar conceitos. Além disso, os conceitos dos anos anteriores foram reforçados com o uso contínuo de unidades de comprimento e sua conversão entre diferentes sistemas, e o <i>software</i> permitiu que os alunos visualizassem os ângulos nas diferentes faces do corpo geométrico e contextualizassem os conceitos de vértices, arestas, geratriz e apótema (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 10).
[...] interface de usuário ilustrativa com uma caixa de ferramentas limitada torna o <i>Tinkercad</i> mais intuitivo do que o <i>SketchUp</i> e mais fácil de aprender, o que é um recurso excelente em um ambiente educacional (Vorájová, 2021, p. 2).	Como se pode constatar, os conhecimentos adquiridos sobre sólidos geométricos e a utilização de <i>software</i> como ferramenta de apoio, permitiram a criação de diversos objetos de uso diário (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 13).

<p>É uma ferramenta muito intuitiva. É relativamente fácil criar figuras com base na composição de poliedros regulares, seja por adição ou subtração. [...] Para usá-lo, você só precisa de um navegador da web e, portanto, funciona com qualquer tipo de sistema operacional, seja <i>Windows</i>, <i>Linux</i>, <i>Mac</i> ou <i>Chromium</i> (Molina; González, 2018, p. 3).</p>	<p>Ao analisar o trabalho de dois alunos com o <i>Tinkercad</i>, foi possível identificar oito ações básicas com o software CAD. Estes podem ser ligados aos cinco aspectos da habilidade espacial (percepção espacial, visualização, rotação mental, relação espacial, orientação espacial) de acordo com Maier (1994). Os resultados mostram que o software CAD¹⁸ tem potencial para abordar todos os cinco aspectos (Dilling; Vogler, 2021, p. 9).</p>
<p>Compatível com uma ampla gama de sistemas operacionais, pois não requer instalação. Gratuito (González Yaness; Pérez, 2020, p. 18).</p>	<p>[...] em termos de otimização de tempo e material, pois conhecendo a teoria e podendo construir o maciço no software conseguem fazer muito mais rápido, minimizar o percentual de erro nas medidas e não desperdício devido a possíveis erros de corte ou plotagem (Cadena-Blanco; Arias-Rueda; Arias-Rueda, 2022, p. 14).</p>

Fonte: Excertos retirados dos estudos que constituem o *corpus* de análise da RSL (2023).

Conforme o Quadro 9, o software de modelagem 3D *Tinkercad* apresenta diversas vantagens em relação aos seus aspectos técnicos. Entre elas, destacam-se a sua gratuidade, a acessibilidade *on-line/web*, a compatibilidade com uma ampla variedade de sistemas operacionais e a presença de uma interface intuitiva.

Com o *Tinkercad*, é relativamente fácil criar figuras com base na composição de poliedros regulares, seja por adição ou subtração. Ele também oferece a capacidade de combinar vários projetos em uma única tela, além de contar

18 CAD é a abreviatura para o termo em inglês “Computer Aided Design”, ou “projeto e desenho assistidos por computador”. Definição disponível em: <https://3dlab.com.br/cad-o-que-e/>. Acesso em: 9 jun. 2023.

com uma comunidade educacional que disponibiliza um vasto repositório de modelos e tutoriais. Ainda, permite a criação de salas de aula virtuais, o que possibilita aos professores o acompanhamento dos projetos desenvolvidos pelos estudantes e o compartilhamento entre alunos para trabalhar de forma colaborativa.

Quanto às vantagens relacionadas aos aspectos pedagógicos deste *software* para o ensino de geometria, a função régua permite medir os objetos com precisão. Além disso, os alunos podem visualizar os ângulos nas diferentes faces do corpo geométrico e contextualizar os conceitos de vértices, arestas, geratriz e apótema, bem como criar diversos objetos de uso diário.

O *Tinkercad* apresenta potencial para abordar os cinco aspectos da habilidade espacial: percepção espacial, visualização, rotação mental, relação espacial e orientação espacial. Adicionalmente, esse *software* otimiza o tempo e o material na construção de artefatos ao minimizar erros de medidas e plotagens, principalmente em objetos destinados à impressão 3D.

Em suma, a análise das vantagens e desafios apresentados pelos estudos selecionados evidencia a ampla gama de benefícios oferecidos pelo uso do *software Tinkercad* no ensino de geometria espacial. As vantagens reforçam o *software* como um meio promissor no contexto educacional, enquanto os desafios apontam para oportunidades de

aprimoramento contínuo e desenvolvimento de estratégias para maximizar seu impacto positivo no ensino.

2.3.3 Impressão 3D no ensino de geometria: benefícios e desafios

Os estudos selecionados apresentam uma série de benefícios e desafios relacionados à incorporação da impressão 3D no contexto educacional. De acordo com Budinski, Lavicza e Houghton (2022), a impressão 3D oferece oportunidades para o desenvolvimento de uma variedade de conhecimentos e habilidades, desde habilidades matemáticas e tecnológicas até habilidades de comunicação e colaboração.

A inserção da impressão 3D no ensino de geometria não se limita a ser apenas um meio de representação visual, mas também introduz novos raciocínios práticos para solucionar problemas e executar projetos (Hedler, 2020, p. 164).

O que é corroborado pelos autores Reichenberger *et al.* (2019), ao exporem que, além dos exemplos discutidos relacionados ao conceito matemático de volume e sólidos de revolução, a impressão 3D pode também abordar outros tópicos:

destacamos o benefício para a resolução de problemas do dia a dia. Em outro projeto, consertamos itens pessoais usando a tecnologia de impressão 3D. Por exemplo, as rodas de uma mala quebraram e precisavam ser substituídas. Por isso, novas peças foram modeladas e impressas em 3D (Reichenberger *et al.*, 2019, p. 4).

O uso da impressora 3D apresenta uma série de aplicações educativas; segundo Barboza e Sabba ([2023?]), pode-se ilustrar esse benefício por meio do contexto da geometria espacial, considerando a estrutura de uma pirâmide. Tradicionalmente, quando a impressão 3D não é utilizada, o professor começa introduzindo o conceito em um plano bidimensional, realizando a planificação e exibindo na lousa. Nesse método teórico, os conceitos de que uma pirâmide é constituída por uma base e um vértice, de que sua base pode ser triangular, pentagonal, quadrada, retangular, paralelogramo, e de que sua apótema corresponde ao ponto mais distante da base da pirâmide são apresentados de forma abstrata.

Esse desenho bidimensional feito na lousa pode distanciar os alunos da aplicabilidade real desses conceitos. Portanto, é crucial a transição para o plano tridimensional, utilizando os conhecimentos prévios dos alunos como base. Barboza e Sabba ([2023?], p. 7)

destacam, utilizando a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (2000), que essa abordagem pode tornar a aprendizagem mais significativa, pois relaciona as representações de forma não arbitrária com a estrutura cognitiva dos estudantes.

A utilização da tecnologia, como a impressora 3D, potencializa essa aprendizagem representacional, permitindo uma compreensão mais profunda dos elementos de uma pirâmide.

Por meio de sólidos físicos construídos com a impressão 3D, os conceitos se tornam acessíveis de forma tangível e concreta, facilitando a assimilação do conhecimento

geométrico. Os autores ainda ressaltam que, ao se adotar essa abordagem, não se abandona o modelo bidimensional, mas sim se enriquece a compreensão dos alunos, ao possibilitar a migração das representações planificadas para sólidos tridimensionais, promovendo uma aprendizagem mais envolvente e abrangente.

Pielsticker, Witzke e Vogler (2021), nesse sentido, obtêm evidências de que há distinção entre as ações físicas e mentais envolvidas na manipulação de objetos sólidos e imutáveis nos objetos geométricos. Além disso, “a impressão 3D parece diferir daquelas nos objetos virtuais (projeções) em *software CAD*” (Witzke; Vogler, 2021, p. 20). Sendo assim, o uso de um recurso não anula o outro, mas, sim, eles se complementam.

No entanto, o processo não está isento de desafios. Limitações técnicas foram identificadas, incluindo o tempo prolongado de impressão e a necessidade de suportes de impressão para estruturas complexas, o que pode afetar a precisão e a facilidade de remoção desses suportes (Nolla *et al.*, 2021). O tempo de impressão foi apontado como um desafio também por Hedler (2020, p. 165), pois a impressão das peças em seu projeto demandou de vinte a trinta minutos por peça. Além disso, questões técnicas, como a presença de sobras de PLA nas peças devido ao uso de múltiplos objetos em uma única impressão, demandam cuidados adicionais (Santos; Soares, 2021). “A configuração adequada das propriedades, como velocidade de impressão e qualidade, também requer tempo e experimentação” (Barboza; Sabba, [2023?], p. 7).

Outrossim, alguns estudos destacam a necessidade de garantir que os arquivos sejam salvos com as extensões corretas para uma impressão adequada (Budinski; Lavicza; Houghton, 2022). Além disso, problemas de escala e dificuldades na impressão de objetos detalhados foram mencionados, resultando em “necessidade de redesenho e reiteração do processo” (Nolla *et al.*, 2021, p. 100).

Esses desafios evidenciam a necessidade de um planejamento cuidadoso e do desenvolvimento de habilidades tanto dos educadores quanto dos estudantes para uma integração eficaz da impressão 3D no ensino de geometria.

Portanto, a análise das vantagens e desafios da incorporação da impressão 3D no ensino de geometria revela sua capacidade de promover uma compreensão mais profunda e envolvente dos conceitos matemáticos, além de oferecer soluções práticas para problemas do dia a dia. A impressão 3D transcende a representação bidimensional, introduzindo novos processos cognitivos na resolução de problemas e projetos. No entanto, os desafios técnicos, como configurações e tempos de impressão, exigem uma preparação cuidadosa por parte dos docentes e discentes. Essa tecnologia promissora destaca a importância do desenvolvimento de competências para uma integração eficaz no ensino de geometria, potencializando a aprendizagem significativa e tangível dos conceitos geométricos.

2.3.4 Associação das tecnologias *Tinkercad* e impressão 3D à FD

A FD pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador, para transformar projetos digitais em produtos físicos. A prototipagem rápida é uma tecnologia da FD, composta pela MA, popularmente chamada de impressão 3D. A MA consiste na fabricação de produtos por adição de materiais em camadas.

Nos estudos incluídos no *corpus* de análise da RSL, verificou-se, por meio do *MAXQDA*, que se fazem associações do *software* de modelagem e/ou da impressora 3D como tecnologias que viabilizam a FD, bem como o reconhecimento dos termos ‘manufatura aditiva’ e ‘prototipagem’ ao se referir à impressão 3D. No Quadro 10 são apresentados os trabalhos que de alguma forma trazem esses conceitos e o número de ocorrências.

Quadro 10 – Associação do *Tinkercad* e da impressora 3D como tecnologias da FD

Termo	Quantidade de citações	Em quantos e em quais trabalhos aparecem	Apenas nas referências
Fabricação	35	Em oito dos dezessete estudos que fazem parte do <i>corpus</i> de análise da RSL: Santos e Soares (2021), Hedler (2020), Mangione, Garzia e Esposito (2019), Jung e Lee (2022), Budinski, Lavícola e Houghton (2022), Bhaduri <i>et al.</i> (2021), Nolla <i>et al.</i> (2021) e González Yanes e Pérez (2020).	13
Prototipagem	8	Em cinco dos dezessete estudos que fazem parte do <i>corpus</i> de análise da RSL: Hedler (2020), Jung e Lee (2022), Bhaduri <i>et al.</i> (2021), Cadena-Blanco, Arias-Rueda e Arias-Rueda (2022) e Pielsticker, Witzke e Vogler (2021).	1
Manufatura aditiva	8	Em cinco dos dezessete estudos que fazem parte do <i>corpus</i> de análise da RSL: Bhaduri <i>et al.</i> (2021), Pielsticker, Witzke e Vogler (2021), Budinski, Lavícola e Houghton (2022), Nolla <i>et al.</i> (2021) e González Yanes e Pérez (2020).	7

Fonte: Autoria própria (2023).

Como representado no Quadro 10, das 51 ocorrências dos termos, 21 são apenas referências no final dos estudos. Nestas referências, os trabalhos de Paulo Blikstein (2013) e de Gibson, Rosen e Stucker (2014) são recorrentes. A seguir, é realizada a análise interpretativa das associações entre as tecnologias *Tinkercad* e impressão 3D e os conceitos de FD.

Sobre a FD, Santos e Soares (2021) ressaltam que ela desempenha um papel central no movimento *maker*, em que os alunos são incentivados a participar ativamente da construção do conhecimento, promovendo o desenvolvimento

da criatividade, autonomia e habilidades de resolução de problemas. Bley e Carvalho (2018 *apud* Santos; Soares, 2021) enfatizam o uso de TD, incluindo impressoras 3D, como parte desse movimento.

Knill e Slavkovsky (2013 *apud* Hedler, 2020, p. 58) situam a prototipagem rápida, um componente da FD, na “terceira revolução industrial”, caracterizada por uma FD pessoal e acessível. Huleihil (2017 *apud* Hedler, 2020) destaca os benefícios da impressão 3D na sala de aula, enfatizando sua capacidade de motivar os alunos, elevar sua imaginação e promover a compreensão da intuição espacial.

Os estudos também mencionam a relação entre a FD e a educação. Hedler (2020) descreve um cenário em que os alunos são desafiados a otimizar projetos de impressão 3D, incentivando a reflexão sobre custos e eficiência. Jung e Lee (2022) exploram a fabricação de dispositivos para pessoas com deficiência, demonstrando como a tecnologia de impressão 3D pode ser integrada ao ensino.

A evidência fornecida por Jung e Lee (2022) destaca a importância do *Tinkercad*, um software de modelagem 3D, e sua relação com a FD. Os pesquisadores investigaram a criação de modelos de “colher de compensação de inclinação” para deficientes, utilizando ferramentas como o *micro:bit*, o servomotor e o *Tinkercad*. Essa abordagem ilustra como o *Tinkercad* pode ser fundamental na fase de projeto e modelagem dentro do contexto da FD.

Além disso, a impressão 3D, uma parte essencial da MA, é mencionada em diversos estudos. Hedler (2020) destaca a importância da otimização de peças para impressão 3D, ressaltando a redução de custos e a eficiência na fabricação. A integração da impressão 3D com o *Tinkercad* é demonstrada como uma prática que promove a FD.

Essa associação entre *Tinkercad* e impressão 3D contribui para a compreensão de como as tecnologias de modelagem 3D se conectam à FD, permitindo que alunos e profissionais desenvolvam habilidades práticas em um contexto educacional e industrial. Essa combinação de recursos também se alinha com a RP, uma vez que permite a rápida criação e interação de *designs*.

Essas evidências ressaltam a importância de considerar o *Tinkercad* e a impressão 3D como componentes-chave da FD, destacando seu potencial para promover a aprendizagem prática e o desenvolvimento de habilidades relacionadas à MA.

2.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

As integrações do software de modelagem 3D *Tinkercad* e da tecnologia de impressão 3D emergiram como meios promissores para enriquecer o ensino da geometria espacial na educação básica.

Ao buscarmos como essa integração vem sendo explorada, destacaram-se abordagens de ensino como STEAM, cultura *maker*, Aprendizagem Baseada em Projetos, Resolução de Problemas, Experimentação e *Design Thinking*. Além disso, a combinação do *software* de modelagem 3D com a impressão 3D ofereceu oportunidades para o desenvolvimento do pensamento espacial e competência geométrica das crianças desde a idade pré-escolar. Essas abordagens demonstram a versatilidade dos recursos em contextos pedagógicos diversos, desde o estímulo à criatividade até o aprimoramento de habilidades específicas.

A análise da literatura revelou uma série de potencialidades e desafios associados às tecnologias, fornecendo *insights* valiosos sobre suas aplicações educacionais.

As potencialidades dessas tecnologias são evidentes em diversos aspectos. O *Tinkercad*, com sua interface intuitiva e acessibilidade *on-line*, oferece aos alunos um ambiente propício para explorar conceitos tridimensionais e desenvolver habilidades de pensamento espacial. Além disso, a criação colaborativa de projetos virtuais promove a aprendizagem em equipe e a troca de ideias. A impressão 3D, por sua vez, transcende a representação bidimensional, permitindo aos alunos materializar objetos geométricos e visualizar conceitos de forma tangível, o que estimula a criatividade e a resolução de problemas reais.

No entanto, essas abordagens também apresentam desafios que requerem atenção. A curva de aprendizado inicial do *Tinkercad* e as dificuldades técnicas relacionadas à configuração de parâmetros e à qualidade da impressão podem impactar no ensino. Além disso, a integração dessas tecnologias exige um planejamento cuidadoso e a capacitação dos educadores para orientar os alunos.

Apesar das promissoras potencialidades e do crescente interesse pelo uso do *Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial, a literatura ainda apresenta lacunas significativas. Ao buscar responder “Como tem ocorrido a exploração do uso do software *Tinkercad* e da impressão 3D no ensino de geometria espacial na educação básica, com base nos estudos científicos?”, realizou-se uma busca abrangente em que foram identificados 21 estudos – que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão predefinidos –, dentre os quais apenas 7 utilizaram o *Tinkercad* e a impressora 3D de forma integrada, e apenas 2 desses trabalhos são de origem brasileira.

Essa lacuna de pesquisa evidencia a necessidade de mais investigações que explorem essas tecnologias, a fim de compreender melhor seu impacto no ensino no contexto nacional. Isso porque, como afirmam Nolla *et al.* (2021), a introdução da impressão 3D na sala de aula está em fase de experimentação, assim como os tipos de atividades que podem ser trabalhados com os alunos, como suporte para

a aprendizagem de conceitos matemáticos. Dessa forma, evidencia-se que há espaço para investigação com uso dessas tecnologias. Além disso, a variedade de projetos e atividades exploradas até o momento sugere que existe uma oportunidade para a busca de diferentes contextos educacionais e tipos de projetos.

A segunda questão da RSL foi: Esses estudos associam essas tecnologias à Fabricação Digital? De acordo com a categoria de análise que versa sobre a FD, evidenciou-se que 8 dos 17 trabalhos analisados trazem os termos “fabricação”, “Fabricação Digital”, “prototipagem” e/ou “manufatura aditiva”. Isso pode dar indícios de que nem todos os trabalhos que fazem uso das tecnologias de modelagem e impressão 3D as associam à indústria 4.0 ou entendem o processo de construir/modelar no digital e obter a versão física do artefato como sendo FD.

Em síntese, a integração do *Tinkercad* e da impressão 3D oferece potencialidades ao ensino de geometria espacial, tornando os conceitos mais tangíveis. Contudo, para além das potencialidades, os desafios técnicos e a escassez de pesquisas no contexto nacional apontam para a necessidade de investigações sobre a aplicação desses recursos em sala de aula.

Nesse sentido, nesta dissertação propõe-se desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do software *Tinkercad* e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do ensino médio. A investigação foi promovida por meio de um curso de extensão que estabelece uma aproximação entre a universidade e a escola pública. Dessa forma, além dos esclarecimentos obtidos com essa RSL, será possível contrastar com uma experiência real no contexto da educação básica e analisar na prática como a FD pode contribuir com o ensino de geometria espacial.

Capítulo 3

CAMINHO METODOLÓGICO

A presente pesquisa foi conduzida em estrita conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat). O protocolo de pesquisa, incluindo os procedimentos de coleta, análise e proteção dos dados dos participantes, foi submetido e aprovado pelo CEP sob o número 5.823.785. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos envolvidos e deram seu consentimento informado por escrito antes de participar.

Sendo assim, neste capítulo, são apresentados os detalhes da abordagem metodológica adotada para a condução da pesquisa. Discutem-se a abordagem de pesquisa selecionada, o ambiente no qual os dados foram produzidos, os participantes envolvidos, os procedimentos de ensino empregados e os métodos utilizados para a coleta e análise dos dados.

3.1 ABORDAGEM DA PESQUISA

No tocante aos objetivos, esta pesquisa é exploratória, pois busca uma maior familiaridade com o problema e a construção de hipóteses, dada a inovação da temática estudada e a ausência de pesquisas consolidadas sobre o tema (Marconi; Lakatos, 2022). Para a triangulação dos métodos de coleta de dados, foram empregados instrumentos como observação participante, questionários, roda de conversa e caderno de campo.

A pesquisa foi conduzida sob uma abordagem qualitativa, pois, segundo Creswell (2014), é apropriado usar a pesquisa qualitativa em algumas situações, como quando:

[...] um problema ou questão precisa ser explorado. Por sua vez, essa exploração é necessária devido à necessidade de estudar um grupo ou população, identificar variáveis que não podem ser medidas facilmente ou escutar vozes silenciadas. Todas essas são boas razões para explorar um problema em vez de usar informações predeterminadas da literatura ou resultados de outros estudos de pesquisa. Também conduzimos pesquisa qualitativa porque precisamos de uma compreensão complexa e detalhada da questão. Esse detalhe só pode ser estabelecido falando diretamente com as pessoas [...] Usamos, ainda, a pesquisa qualitativa para desenvolver teorias quando existem teorias parciais ou inadequadas para certa população e amostras ou teorias existentes que não captam adequadamente a complexidade do problema que estamos examinando. Também a usamos porque as medidas quantitativas e as análises estatísticas simplesmente não se enquadram no problema (Creswell, 2014, p. 52).



Esse tipo de abordagem de pesquisa, de acordo Marconi e Lakatos (2022, p. 299) “caracteriza-se pela exploração profunda dos fenômenos, sendo conduzido em cenários naturais, visando compreender o significado dos dados coletados, sem recorrer a análises estatísticas”.

Distintamente da abordagem quantitativa, a qualitativa se baseia na indução e não segue uma sequência linear e rígida de fases. Em vez disso, é um processo recorrente, caracterizado por avanços e retrocessos. Sua ênfase recai na análise de múltiplas realidades subjetivas, na contextualização dos fenômenos, na interpretação e na busca pela profundidade de significados.

Assim, busca-se desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do software *Tinkercad* e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do ensino médio.

3.2 CENÁRIO DA PESQUISA: INSTITUIÇÃO EDUCACIONAL E RECURSOS TECNOLÓGICOS

Nesta seção, é descrito o contexto no qual os dados foram produzidos, abordando a instituição educacional em que a pesquisa foi realizada e as tecnologias educacionais utilizadas no procedimento de ensino para construção do conhecimento sobre geometria espacial, bem como os participantes da pesquisa.



3.2.1 Identificação da unidade escolar e contexto socioeconômico

A Escola Estadual Deputado Bertoldo Freire está situada na rua Pernambuco, nº 962, Centro, no município de São José dos Quatro Marcos, estado do Mato Grosso (Figura 9). A localização privilegiada da escola facilita o acesso de estudantes de todos os bairros, até mesmo de estudantes da área rural, que têm acesso por meio do transporte escolar. A escola acolhe uma diversidade de alunos, abrangendo diferentes classes sociais.

Figura 9 – Localização da instituição de ensino em que houve a coleta de dados



Fonte: Adaptado da *Wikipédia* e do *Google Earth* (2023).

É uma Escola de Tempo Integral (EPI) que atende Ensino Fundamental II e Ensino Médio. Em relação a infraestrutura, a escola conta com um poço artesiano e gerador de energia. Tem quatorze salas de aulas distribuídas em três blocos e ao fundo possui uma quadra poliesportiva, uma cozinha e um barracão para merenda e eventos.

Possui uma sala específica para biblioteca, uma sala onde funciona o laboratório de ciências, que possui bêqueres, microscópio, fogareiro, materiais de práticas simples, como álcool, algodão, entre outros. Possui também sala *maker*, com 160 *chromebooks*, cinco placas Arduino Uno, alguns materiais para robótica sustentável, 08 kits robótica da Simlnova e materiais de robótica da Microkids, para todos os estudantes do Ensino Médio e para estudantes do Ensino Fundamental, a partir do 8º ano.

3.2.2 Participantes da pesquisa

Os participantes da pesquisa foram 17 estudantes do 2º ano B do Ensino Médio, matriculados na disciplina eletiva no itinerário de ciências da natureza e matemática. Os estudantes têm idades entre 15 e 18 anos; desses, 65% da turma (11 alunos) têm 16 anos, 23% (4 alunos) possuem 15 anos, 6% (1 aluno) têm 17 anos e 6% (1 aluno), 18 anos.

Dentre os estudantes, apenas 35% (6) se identificam como sendo do sexo feminino. Essa proporção pode indicar uma baixa demanda por parte das meninas nas áreas de exatas,

uma vez que essa turma optou pelo Itinerário Formativo da Trilha Integrada de Aprofundamento em Matemática e Ciências da Natureza.

Para os procedimentos de ensino, os estudantes foram organizados em cinco grupos, sendo três grupos de três integrantes e dois grupos com quatro integrantes cada. No decorrer da pesquisa, dois estudantes foram transferidos de escola, sendo assim, 15 participaram de todo o processo.

Para a proteção dos dados dos participantes, na apresentação e análise dos resultados da experiência de ensino os estudantes serão identificados de forma aleatória, utilizando a nomenclatura Aluno 1 (A1), Aluno 2 (A2), ..., até Aluno 17 (A17). Os grupos serão designados como Grupo 1 (G1), Grupo 2 (G2), Grupo 3 (G3), Grupo 4 (G4) e Grupo 5 (G5).

3.2.3 Software de modelagem 3D *Tinkercad*

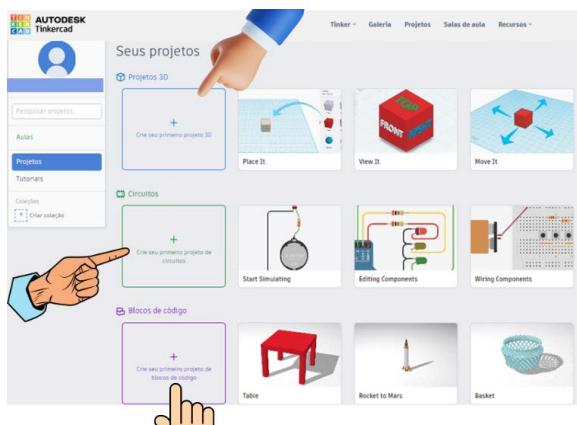
Neste estudo, utilizou-se o *software de design Tinkercad* para a modelagem tridimensional dos objetos digitais de aprendizagem (ODA) e para a criação física do artefato pela manufatura aditiva (impressora 3D).

O *Tinkercad* foi lançado em 2011 pela *Tinkercad Company* e comprado em 2013 pela Autodesk; é um *software de modelagem 3D on-line*, gratuito e intuitivo, que roda direto no navegador – abrange diversos navegadores – de internet, não

precisando de instalações, apenas de um *e-mail* para cadastro na plataforma.

Esse software pode contribuir no ensino e aprendizagem de conceitos de áreas do conhecimento como Ciências da Natureza e Matemática, mas nesta pesquisa o empenho é especificamente na área de Matemática. Em sua interface, o *Tinkercad* tem três opções de formas de desenvolver projetos: “*Projeto 3D*”, “*Blocos de código*” e “*Circuitos*” (veja-se a Figura 10). Atividades que privilegiam os componentes curriculares de Matemática e Física, sendo também utilizado nos cursos superiores de computação e eletrônica, por permitir a prototipagem e simulação digital, para depois colocar o projeto em prática, evitando assim perda de materiais.

Figura 10 – Interface do software de modelagem 3D *Tinkercad*

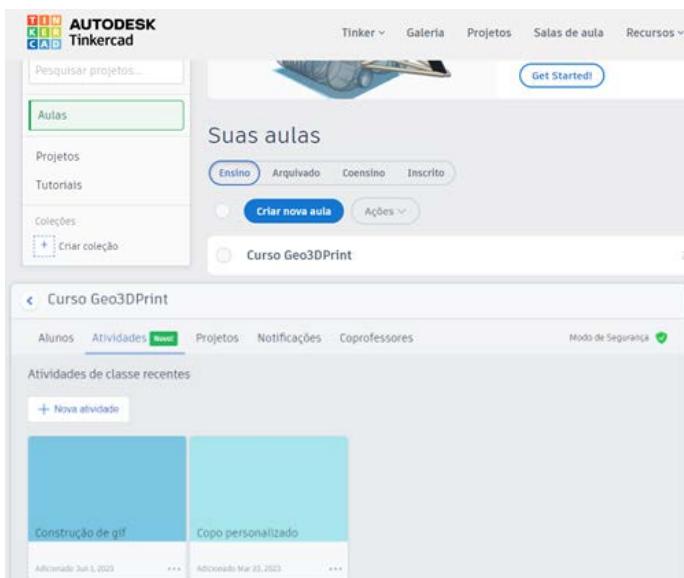


Fonte: *Tinkercad* (2022)¹⁹.

19 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

Ainda é possível, por meio da conta com perfil de professor, criar uma sala de aula virtual, na qual o educador pode acompanhar em tempo real os projetos sendo desenvolvidos pela turma. O processo envolve o professor selecionar a opção “Aulas”, em seguida clicar em “Criar nova aula”, nomeando a aula, e, em então, compartilhar o *link* ou o código para permitir que os estudantes entrem na sala virtual (Figura 11). Dentro desse ambiente, é possível programar atividades, visualizar os alunos pertencentes à turma, analisar os projetos em progresso, além de receber notificações e adicionar “coprofessores”.

Figura 11 – Sala de aula virtual no *Tinkercad*



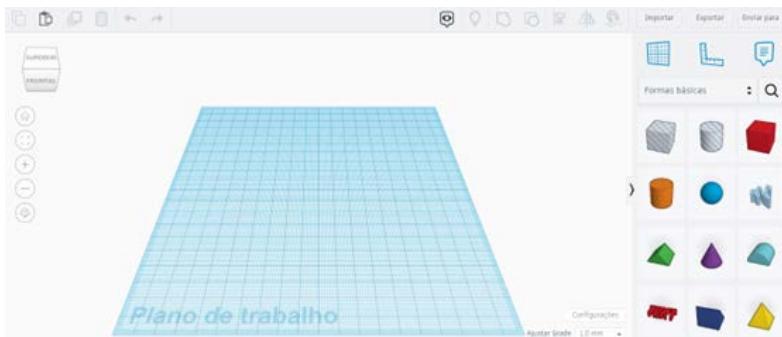
Fonte: *Tinkercad* (2023)²⁰.

20 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

Optou-se por utilizar este *software* como meio de ensino, por oferecer a possibilidade de abordar a geometria espacial de forma ativa, aproveitando especialmente a função de “*Projeto 3D*” e os “*Blocos de código*”.

Na seção intitulada “*Projeto 3D*”, o *software* apresenta um plano de trabalho (Figura 12) milimetrado, que representa o espaço tridimensional. Nesse ambiente, diversos poliedros estão disponíveis, permitindo sua combinação para a construção de geometrias mais complexas, através de operações como interseção, união ou subtração. Além disso, é possível efetuar medições de objetos, ajustar suas dimensões, aplicar rotações, trabalhar com ângulos e explorar múltiplas perspectivas de visualização.

Figura 12 – Plano de trabalho Projeto 3D do *Tinkercad*



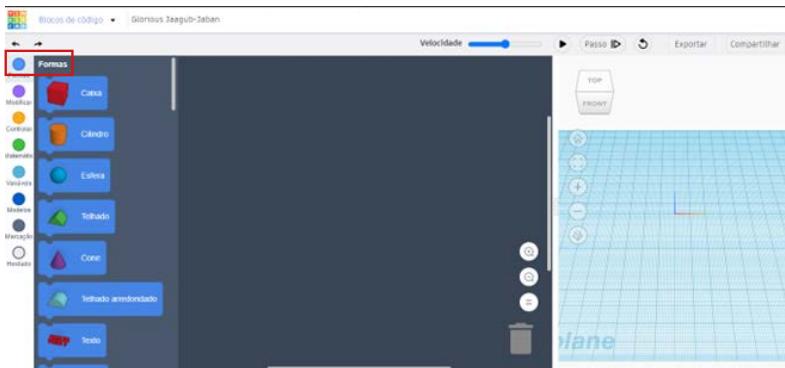
Fonte: *Tinkercad* (2023)²¹.

21 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

Quanto aos “*Blocos de código*” (Figura 13), a seção apresenta o item Formas, que possibilita a visualização das formas no espaço tridimensional. A partir dessas formas, pode-se criar artefatos por meio de programação visual.

Nessa seção, estão disponíveis blocos com ações para modificar as formas, incluindo funcionalidades como seleção de todos os elementos, movimentação, rotação, redimensionamento, cópia, definição de cores e criação de grupos. Além disso, há blocos que permitem o controle, operações matemáticas e o uso de variáveis.

Figura 13 – Bloco de códigos do *Tinkercad*



Fonte: *Tinkercad* (2023)²².

O software oferece a capacidade de exportar os projetos desenvolvidos em diversos formatos, tais com .STL, .OBJ, .SVG, Forma, GLTF(.glb), além da possibilidade de compartilhá-los como imagens ou GIFs. A extensão STL, especificamente,

22 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

permite a realização de impressões tridimensionais. Dessa maneira, o que foi concebido digitalmente ganha forma concreta, proporcionando aos estudantes a oportunidade de manipular fisicamente os artefatos e fazer novas descobertas.

A impressão 3D proporciona a oportunidade de visualizar e manipular objetos matemáticos modelados de maneira tátil. Desse modo, desempenha um papel fundamental na melhoria dos processos mentais, como defendido por Knill e Slavkovsky (2013), que destacam o sucesso de Arquimedes na matemática, graças à sua abordagem de métodos e soluções por meio de construções mecânicas e visualizações.

Portanto, além da tecnologia digital empregada para criar objetos digitais de aprendizagem, também foi utilizada a tecnologia de prototipagem rápida, especificamente a impressora 3D, nessa prática educativa.

3.3 ABORDAGEM DE ENSINO: APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (ABP)

Devido à visão de aprendizagem compartilhada pela pesquisadora, que se baseia no Construtivismo, e à compreensão de que, para que o conhecimento construído seja significativo, é necessário um ensino que não siga o Modelo da Narrativa, conforme descrito por Don Finkel (2008), que é aquele em que o professor ensina predominantemente

falando, transmitindo informações aos estudantes sobre o que se espera que eles saibam, contrapondo-se a isso, optou-se por uma abordagem de intervenção na qual aprender não se limita a obter informações, mas sim a fazer uso ativo dessas informações em projetos, enfrentando desafios por meio de atividades coletivas (Bacich; Holanda, 2020).

A STEAM, acrônimo em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, é frequentemente considerada mais do que apenas um método de ensino; Bacich e Holanda (2020) a concebem como um movimento ou abordagem educacional. Ela utiliza como métodos de ensino o *Design Thinking* e a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

Alguns elementos comuns à ABP e, portanto, presentes em projetos STEAM, incluem a formulação de uma pergunta norteadora, que tem como objetivo direcionar a investigação dos estudantes; a criação de um contexto autêntico capaz de engajar os estudantes, preferencialmente relacionado a um problema real; uma sequência de etapas organizadas para explorar o conhecimento científico e permitir a produção dos estudantes; um produto final, geralmente um artefato que possibilita a aplicação das ideias de engenharia; e, por fim, a comunicação do projeto para compartilhar com a comunidade e consolidar suas aprendizagens (Bacich; Holanda, 2020).

De acordo com Bender (2014), a ABP é altamente recomendável para a sala de aula do século XXI, sendo considerada o caminho para um ensino diferenciado e para

o desenvolvimento das habilidades tecnológicas necessárias. Essa abordagem prepara os alunos para enfrentar desafios, promovendo habilidades de resolução de problemas e o uso das tecnologias emergentes. Bender argumenta que

ajudar os alunos a dar sentido a uma grande quantidade de informações virtuais caóticas é exatamente o tipo de construção do conhecimento que todos os alunos precisam dominar no mundo atual (Bender, 2014, p. 25).

Segundo o levantamento realizado por Bender (2014), as características essenciais da ABP incluem a ancoragem do tema, o trabalho cooperativo, a formulação de uma pergunta motriz, o *feedback*, a investigação e inovação, a reflexão, o processo de investigação, a apresentação pública dos resultados e o estímulo à ação ativa por parte dos estudantes (Figura 14).

Figura 14 – Características essenciais da ABP



Fonte: Adaptado de Bender (2014).

Com base nas características apresentadas na Figura 14, foram desenvolvidos os procedimentos de ensino aplicados na intervenção em sala de aula para coleta de dados desta pesquisa. Esses procedimentos visaram proporcionar situações de aprendizagem que envolveram trabalho cooperativo, processo de investigação e inovação, momentos de reflexão por meio de discussões com *feedback* da pesquisadora/professora, avaliação por meio de rubricas e, por fim, a apresentação para toda a comunidade escolar. Todo esse processo é descrito na próxima seção.

Porém, antes de prosseguir, é essencial realizar uma breve discussão sobre as rubricas, conforme descrito por Bender (2014):

Uma rubrica é um procedimento, ou guia de pontuação, que lista critérios específicos para o desempenho dos alunos e, em muitos casos, descreve diferentes níveis de desempenho para esses critérios. Uma boa rubrica deve abordar todos os componentes relevantes de um artefato ou outro tipo de tarefa dentro de um projeto de ABP, assim como um conjunto de critérios específicos para o trabalho dos alunos. [...] As boas rubricas proporcionam detalhes suficientes para os indivíduos autoavaliarem seu trabalho durante o processo de desenvolvimento ou de conclusão do trabalho (Bender, 2014, p. 133).

O autor destaca que as rubricas são uma das práticas de avaliação mais enfatizadas na literatura sobre ABP, auxiliando na estruturação das tarefas, sendo aplicáveis em quase todas as atividades de uma unidade de ABP. Com esse entendimento, foi elaborada, em conjunto com os estudantes,

uma rubrica para avaliar os artefatos produzidos por eles ao longo do projeto de ABP.

Quanto ao planejamento da ABP, a determinação das tecnologias e do tema a serem explorados na prática *a priori* não compromete o ensino por meio da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), nem a voz e a escolha do aluno. Conforme salientado por Bender (2014), mesmo que os professores estabeleçam diretrizes iniciais sobre o conteúdo do projeto, a questão motriz e os requisitos do projeto, a escolha do aluno ainda pode ser exercida ao determinar os tipos de formatos de projetos a serem realizados ou como atender aos diversos requisitos.

Dessa forma, a ABP continua a promover a participação ativa dos alunos na definição de como abordar o projeto, permitindo que eles tenham influência sobre os formatos e a implementação, preservando, assim, a sua voz e autonomia no processo de aprendizagem.

Outro ponto importante é a cooperação e o trabalho em equipe. Dentro da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), as atividades podem ser realizadas de forma individual ou em grupos. Na segunda opção, existem diversas estratégias de agrupamento de alunos descritas por Bender (2014). Nesta intervenção, o agrupamento foi realizado com base em afinidade e interesse. Para facilitar a atribuição de funções dentro do grupo, a pesquisadora criou denominações de

função (conforme apresentado no Quadro 11) e, juntamente com os alunos, elaborou a descrição de cada função.

Quadro 11 – Funções dentro de cada grupo de trabalho cooperativo

Função	Descrição
 IDEADOR(A)	<p><i>Descobre, pesquisa, debate ideias com o grupo.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Deve pesquisar; • Assistir videoaulas extras na busca de soluções; • Procurar formas de solucionar os problemas de fabricação que o grupo apresentar na construção dos objetos digitais; • Anotar ideias; • Fazer mapas mentais/esquemas que auxiliem na resolução do desafio; • Acompanhar todo o processo de escrita e de construção; • Pode registrar com fotos e vídeos os avanços do grupo.
 CONSTRUTOR(A)	<p><i>Executa o plano de acordo com as ideias debatidas.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Deve acompanhar todo o processo de ideação e escrita; • Executar as ideias do grupo no software Tinkercad para construção do objeto digital; • Expor ao relator e todo o grupo as dificuldades e facilidades de execução; • Conhecer o software por meio do que foi ensinado pela professora e por pesquisas extras.
 RELATOR(A)	<p><i>Escreve/relata o processo de aprendizagem.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Deve acompanhar todo o processo de ideação e construção; • Relatar de forma escrita as aprendizagens e dificuldades encontradas.
 AUXILIAR/ CONSTRUTOR(A) 2	<p><i>Auxilia o grupo, em caso de falta de um colega, substitui na função.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Deve acompanhar todo o processo de ideação, construção e escrita; • Ficar atento e auxiliar em todas as funções do grupo; • Em caso de ficar ocioso, deve atuar como construtor 2, fazendo um objeto enquanto o construtor 1 faz outro.

Fonte: Autoria própria (2023).

Dessa forma, os grupos compostos por três e quatro membros determinaram quem assumiria cada função, permitindo-lhes trabalhar de forma cooperativa e colaborativa. Após esclarecer a abordagem de ensino empregada e seus preceitos teóricos, o próximo subtítulo detalha os procedimentos de ensino para a coleta de dados empregados no curso de extensão realizado em sala de aula.

3.4 CURSO GEO3DPRINT: GEOMETRIA ESPACIAL POR MEIO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA COM USO DO SOFTWARE TINKERCAD E DA IMPRESSÃO 3D

Os dados foram produzidos por meio do curso de extensão intitulado “Geo3DPrint: Geometria espacial por meio da Prototipagem Rápida com uso do software *Tinkercad* e da impressão 3D”, institucionalizado na Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), sob o Parecer 038/2023 - PROEC²³. Este curso foi implementado no contexto da educação básica, com estudantes da 2^a série do ensino médio, visando um contato direto com o fenômeno de estudo, que se concentra no ensino de geometria espacial por meio do processo de Fabricação Digital.

23 Pró-Reitoria de Extensão e Cultura.

Durante a coleta de dados, uma diversidade de instrumentos foi empregada para gerar evidências a serem analisadas em relação ao fenômeno em estudo. Isso incluiu a utilização de um caderno de campo para registros detalhados da pesquisadora, observação participante, aplicação de um questionário inicial e um final para compreensão das percepções dos alunos sobre as estratégias de ensino, um “diário/caderno de campo” por grupo de estudantes, realização de filmagens para capturar interações durante a roda de conversa, além do uso de imagens para enriquecer a documentação visual.

A adoção desses diversos instrumentos, como discutido por Araújo e Borba (2020), permite a triangulação das fontes de dados, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos na pesquisa qualitativa. Nesse contexto, a credibilidade é compreendida como a aceitabilidade dos resultados e interpretações por parte dos envolvidos.

Para um melhor entendimento do processo da coleta de dados, o próximo subtítulo apresenta o método de análise.

3.5 O MÉTODO DE ANÁLISE DA TFD NA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA

O ponto final da sua jornada emergirá de onde você começar, para onde você for e com quem você interagir, do que você vir e ouvir, e do modo como você aprende e pensa. Em resumo, o trabalho final será uma construção – a sua.

(Charmaz, 2009, p. 9)

As autoras Prigol e Behrens (2019) organizaram as etapas da TFD construtivista de Charmaz em três fases: amostragem, coleta de dados e produção de dados. A amostragem pode ser inicial e/ou teórica, a coleta de dados é realizada por meio de entrevistas e/ou análise de documentos, e a produção de dados ocorre em etapas de codificação, que pode ser inicial, focalizada, axial e/ou teórica. Os memorandos, dentro dessa perspectiva, são redigidos ao longo de todo o processo e oferecem suporte à construção da teoria. Neles, podem ser registradas

as percepções, explorações e descobertas de ideias referentes ao que foi visto, ouvido, percebido e codificado; é uma escrita sobre as interpretações dos dados que o pesquisador elabora para si mesmo, sem a finalidade de apresentar ao público (Prigol; Behrens, 2019, p. 9).

No entanto, percebemos que essas três fases não fornecem orientações abrangentes para o processo completo que culmina na teorização. Após a conclusão dessas etapas, surge a questão de qual método ou estratégia adotar para a realização da etapa de interpretação analítica dos dados.

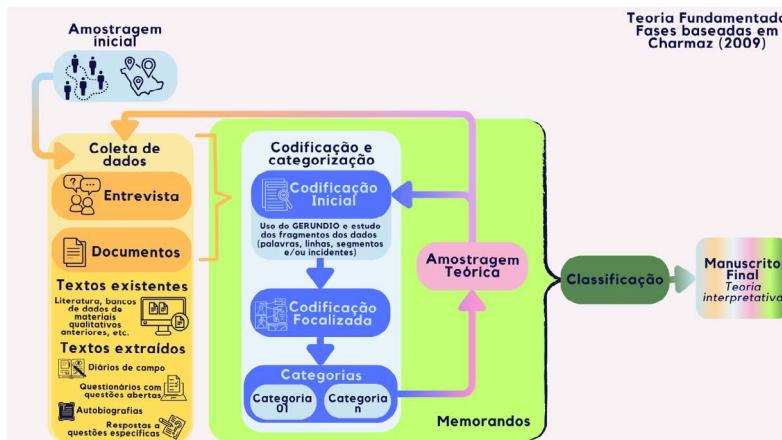


Nesse contexto, além de revisitar a obra de Charmaz (2009), encontramos contribuições na pesquisa de doutorado de Marques (2022), que propõe uma sistematização em cinco fases principais: 1. Codificação e categorização; 2. Redação de memorandos; 3. Amostragem teórica e saturação; 4. Classificação e 5. Manuscrito final (modelo teórico).

Dessa forma, entendemos que as fases de classificação e redação do manuscrito final desempenham um papel crucial, ao auxiliarem diretamente nas conexões entre os memorandos e entre as categorias e os memorandos, bem como na redação da teoria interpretativa.

Com base no exposto, de modo a facilitar a compreensão das fases de análise seguidas nesta pesquisa, apresentamos uma representação esquemática do método na Figura 15.

Figura 15 – Representação das fases do método de análise da TFD



Fonte: Autoria própria (2023).

Assim, constituímos sete fases para análise dos dados: (1) Amostragem inicial; (2) Coleta de dados; (3) Codificação e categorização; (4) Redação de memorandos; (5) Amostragem teórica; (6) Classificação e (7) Redação do manuscrito final.

Segundo Charmaz (2009, p. 140), “a amostragem inicial na teoria fundamentada é onde você começa, ao passo que a amostragem teórica é o que o orienta para onde ir.” Para a fase de amostragem inicial, é necessário definir previamente critérios de seleção para as pessoas, casos, situações e/ou ambientes que serão incluídos no estudo. Nesse estágio, deve-se procurar materiais e recursos relevantes para a pesquisa, seja isso relacionado à escolha de indivíduos e contextos específicos, ou no que se refere a entidades mais abrangentes, como agências governamentais ou organizações. Nessa fase, definiram-se, conforme descrito nos subtítulos anteriores, os participantes da pesquisa, a escola que foi cenário da investigação e a situação, que foi a prática de ensino desenvolvida com os estudantes e acompanhada pelo professor da escola.

A amostragem teórica, segundo Charmaz (2019):

[...] instiga você a repassar os seus passos ou a adotar um novo caminho no momento em que você tem categorias provisórias e ideias emergentes, ainda que incompletas. Ao voltar ao mundo empírico e coletar mais dados sobre as propriedades da sua categoria, você pode saturar essas propriedades com os dados e escrever mais memorandos, tornando-os mais analíticos [...] (Charmaz, 2019, p. 35).

Diferentemente da amostragem da pesquisa quantitativa, essa amostragem não visa à representatividade populacional, mas sim à construção da teoria. E o trabalho não é linear, mas simultâneo, entre coleta e análise dos dados, gerando um encadeamento circular das ações do processo da pesquisa. No caso desta pesquisa, após um mês da intervenção em sala de aula, sentiu-se a necessidade de fazer um novo questionário com os estudantes e uma entrevista com o professor observador, e posteriormente uma revisão sistemática de literatura.

Na fase de coleta de dados, para Charmaz (2009, p. 30), “as teorias fundamentadas podem ser construídas com diversos tipos de dados – notas de campo, entrevistas e informações de gravações e relatórios. O tipo de dado buscado pelo pesquisador depende do assunto e da acessibilidade”. Com esse entendimento, na pesquisa foram utilizadas para coleta as notas de campo das observações da pesquisadora, bem como as dos estudantes que receberam um caderno para relatarem suas percepções do desenvolvimento da intervenção. Também foram utilizados questionários no *Google Forms*, gravação da roda de conversa para socialização da experiência e gravação da entrevista com o professor de Matemática da turma que acompanhou todo o processo.

Dessa forma, a coleta de dados ocorreu por meio de documentos e entrevista. Os documentos incluem textos existentes e textos extraídos. Textos existentes são aqueles produzidos por outros autores, “diferenciam-se dos textos

extraídos pelo fato de o pesquisador não influenciar em sua produção” (Charmaz, 2009, p. 60), podendo ser conseguidos, por exemplo, pela revisão de literatura. E os textos extraídos se configuram como aqueles produzidos pelos participantes por meio de diários de campo, resposta de questões escritas, questionários com questões abertas e até autobiografias. “Em um nível psicossocial, os contrastes entre os documentos escritos extraídos e a observação direta podem revelar histórias pungentes” (Charmaz, 2009, p. 58).

De acordo com Charmaz (2009, p. 69), “codificar significa nomear segmentos de dados com uma classificação que, simultaneamente, categoriza, resume e representa cada parte dos dados” e, destaca o uso dos gerúndios na codificação e na redação dos memorandos. Segundo ela, a adoção dos gerúndios promove a sensibilidade teórica, porque essas palavras nos impulsionam a sair de tópicos estáticos e entrar em processos ordenados, sugerindo ênfase nas ações e nos processos. “Os gerúndios nos convidam a refletir sobre as ações, sejam elas grandes ou pequenas” (Charmaz, 2009, p. 186).

A “codificação é o elo fundamental entre a coleta dos dados e o desenvolvimento de uma teoria emergente para explicar estes dados” (Charmaz, 2009, p. 70, grifo nosso). A codificação na TFD é composta de pelo menos duas etapas: a codificação inicial e a codificação focalizada. Foram estas codificações que se realizaram nesta pesquisa. Segundo Charmaz (2009):

Durante a codificação inicial, estudamos rigorosamente os fragmentos dos dados (palavras, linhas, segmentos e incidentes) devido à sua importância analítica. Às vezes, podemos reconhecer os termos narrativos dos nossos participantes como códigos *in vivo*. Ao empregarmos a codificação focalizada, selecionamos aquele material que pareça representar os códigos iniciais mais vantajosos e os testamos em contraste com os dados mais amplos. Durante todo o processo, comparamos dados com dados e, a seguir, dados com códigos (Charmaz, 2009, p. 67).

Códigos *“in vivo”* são termos ou expressões que são extraídos diretamente dos dados coletados em uma pesquisa qualitativa. Esses termos são frequentemente palavras ou frases usadas pelos participantes da pesquisa para descrever suas próprias experiências, pensamentos, sentimentos ou perspectivas sobre o assunto em estudo. A expressão *“in vivo”* significa *“na vida”* ou *“no próprio contexto”* e indica que esses códigos capturam a linguagem autêntica e genuína dos participantes.

A codificação na TFD não se baseia em códigos predefinidos, mas sim na análise minuciosa dos dados. É um processo ativo no qual o pesquisador interage constantemente com os dados. Isso envolve, a partir da produção dos dados, a seleção, separação e classificação desses dados, resultando na identificação de segmentos que sintetizam e representam diferentes partes dos dados. Esses segmentos são categorizados para permitir a próxima etapa: a interpretação analítica dos dados.

A fase posterior à categorização é fase de classificação. Que é um caminho para a criação e o refinamento das conexões teóricas que incentivam o pesquisador a estabelecer comparações entre as categorias. A classificação, etapa em que é feita a integração teórica das categorias já estabelecidas, incentiva o pesquisador a comparar as categorias em um nível abstrato (Charmaz, 2009). Durante a classificação, o pesquisador retorna aos memorandos que tinham ajudado a construir as conceituações teóricas relacionadas às categorias, reorganiza-os e os analisa novamente de um modo global, procurando integrar as ideias ali colocadas de modo comparativo. A partir da classificação, o pesquisador estabelece as relações entre as categorias.

A fase final, nesta pesquisa, indicamos como sendo o manuscrito final (modelo teórico). Ele se refere à teorização dos significados construídos ao longo de todo o processo de análise de dados. Embora possa ocorrer de diversas formas, são fornecidas algumas sugestões/indicações de como construir esse texto. Charmaz (2009) cita que, ao escrever e reescrever os esboços que constituirão o relatório final, o pesquisador deve apresentar os seus argumentos, que são exibidos dentro de um contexto e podem partir das categorias. Os argumentos, de modo geral, estabelecem conexões com a bibliografia existente. Assim, o texto necessita oferecer uma análise crítica das categorias e fornecer dados que sustentem os argumentos analíticos (Charmaz, 2009).

Como resultado desse caminho metodológico flexível e dinâmico, sistematizou-se a análise de dados desta pesquisa, com vistas à construção de uma teoria interpretativa sobre a FD como um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial, por meio do software *Tinkercad* e da impressora 3D.

ENTRE PRÁTICAS E DESCOBERTAS: O PERCURSO DA PESQUISA E AS VOZES QUE EMERGEM DA EXPERIÊNCIA

Neste capítulo, são apresentados os memorandos e, em seguida, o manuscrito da teoria substantiva, resultante da análise de dados com a TFD, acerca da FD no ensino de geometria espacial na Educação Básica. O manuscrito levou em consideração o resultado das relações estabelecidas entre as categorias teóricas, explicitadas nos memorandos (disponíveis no texto a seguir), e o processo de codificação dos dados extraídos da amostragem teórica.

Em cada categoria são apresentados os memorandos em que explicitamos as ações estratégicas da professora/pesquisadora (ensino e reflexão/aprendizagem sobre sua prática docente) e dos estudantes sobre geometria espacial por meio da FD como um processo pedagógico. Estas ações foram desenvolvidas no curso de extensão Geo3DPrint.

4.1 CATEGORIA 1 (C1): MODELAGEM NO *TINKERCAD* COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL

Durante o curso Geo3DPrint, foram propostas três atividades distintas relacionadas à modelagem utilizando a opção “Projetos 3D” do *Tinkercad*. Estas atividades envolveram, respectivamente, exploração da interface do *Tinkercad*, modelagem e prototipagem de um objeto de interesse da turma, e modelagem e prototipagem de sólidos geométricos. Nesta categoria, focaremos exclusivamente na discussão sobre a modelagem, enquanto os detalhes sobre a prototipagem serão abordados na categoria 3.

4.1.1 Prática 1: conhecendo o *Tinkercad*

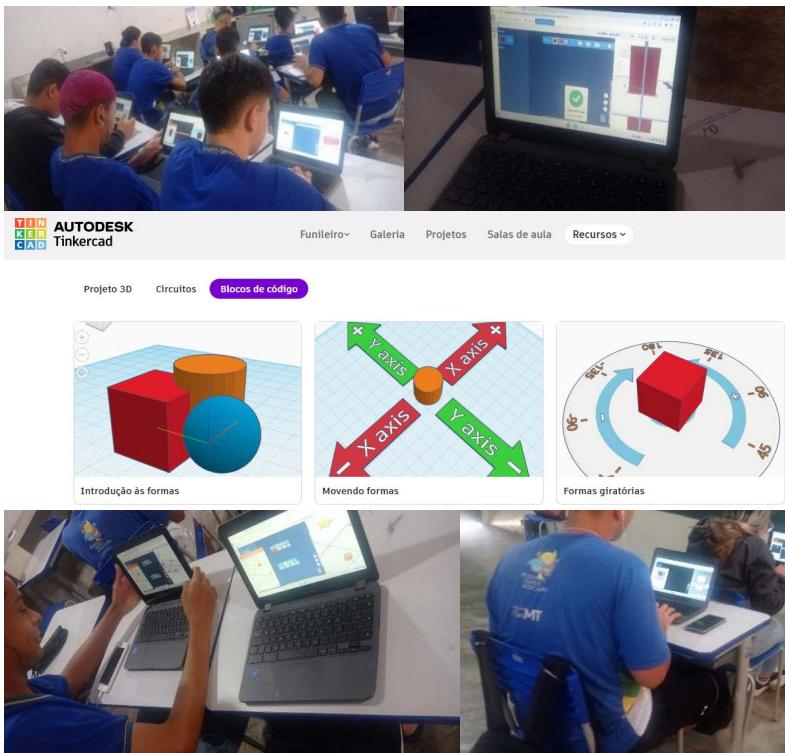
Após instruirmos a turma sobre o registro no *Tinkercad*, sugerimos uma abordagem de exploração livre da interface, pois o software despertou a curiosidade e entusiasmo dos estudantes. Estratégia que mostrou fomentar a autonomia e a colaboração, uma vez que os alunos não apenas interagiam entre si, mas também procuravam ativamente conhecimento, discutindo e questionando a professora sobre diversas funcionalidades.

Em seguida, foram desafiados a concluírem três tutoriais disponíveis no “centro de aprendizagem” do *Tinkercad*: “Introdução às Formas”, “Movendo Formas” e “Formas



Giratórias” (a Figura 16 apresenta registros fotográficos desse momento de exploração dos tutoriais).

Figura 16 – Exploração dos tutoriais do *Tinkercad*

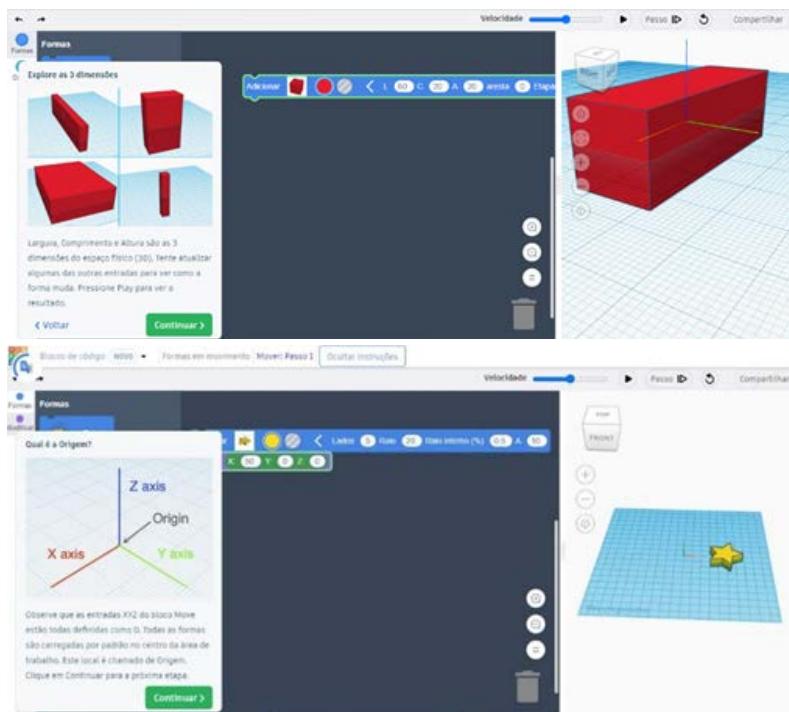


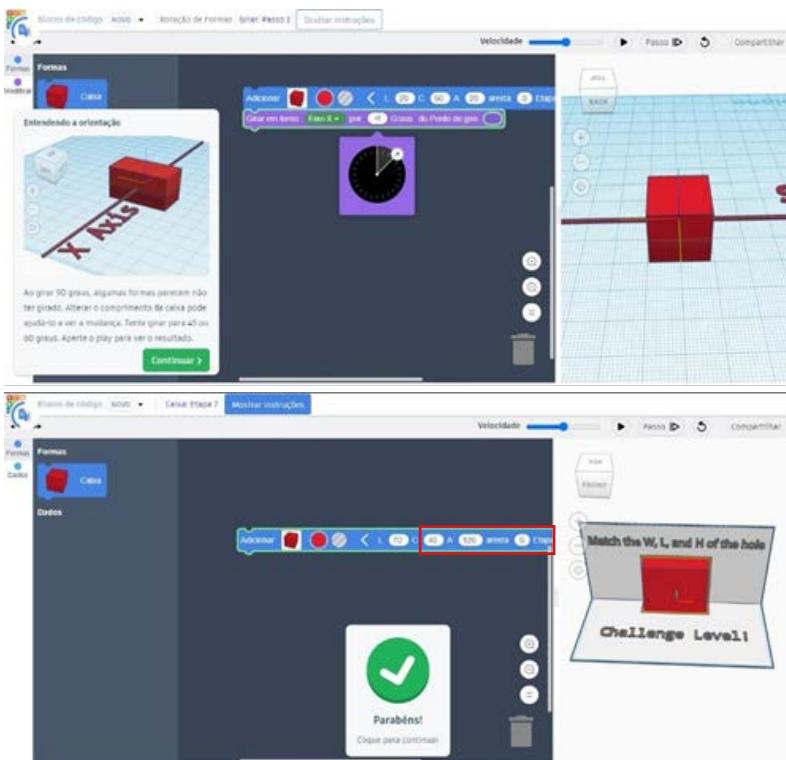
Fonte: Acervo pessoal da pesquisadora (2023).

Os tutoriais são estruturados como uma sequência de problemas com dificuldade ascendente, conforme exemplificado na Figura 17. Após a conclusão de cada desafio do tutorial, um *feedback* é fornecido na tela, para sinalizar que não houve sucesso ou para parabenizar.

Esses três tutoriais foram escolhidos porque cada um aborda aspectos fundamentais para a utilização das formas no software. Incluem instruções sobre a manipulação de blocos de código (ações como mover, redimensionar etc.), apresentação do plano de trabalho, navegação no espaço tridimensional (eixos X, Y, Z), compreensão das dimensões dos sólidos geométricos (altura, comprimento e largura), perspectiva, movimento das formas no plano cartesiano e rotação nos três eixos.

Figura 17 – Exemplos de situações-problema dos tutoriais Tinkercad





Fonte: *Tinkercad* (2023)²⁴.

Nesta atividade do tutorial, a tecnologia foi empregada de maneira instrucional, uma vez que o *software* já apresentava uma sequência predefinida, demandando que os alunos lessem e solucionassem as situações-problema propostas. Para estimular uma reflexão acerca da temática, utilizamos questionamentos que instigavam a discussão e a reflexão por parte dos alunos. Por exemplo, sobre o significado das letras

24 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

L, C e A presentes no bloco, questionou-se os alunos para avaliar se as haviam associado à largura, ao comprimento e à altura, respectivamente.

Sendo assim, a atividade prática, realizada sem uma conceituação prévia, despertou a necessidade de conhecimento nos estudantes. Durante a atividade prática, introduzimos conceitos-chave, utilizamos perguntas direcionadas para estimular a reflexão dos alunos e conduzimos questões que os orientavam a relacionar o significado dessas letras com a representação 3D (tridimensional) e os eixos X, Z e Y. Como resultado, foi possível observar a animação dos estudantes, pois, apesar de a atividade ser individual, eles se envolviam em uma saudável competição, ao mesmo tempo em que colaboravam mutuamente na resolução dos problemas (impressões registradas no diário de campo da pesquisadora).

4.1.2 Prática 2: modelando canecas personalizadas

Na prática 2 a proposta foi utilizar o *Tinkercad* para modelar um artefato destinado à prototipação. Nesse contexto, um dos estudantes sugeriu a criação de um copo, e a turma concordou com a ideia.

Professora: Pessoal, para a próxima prática eu pensei que podemos modelar algo do interesse de vocês. O que acham?

A9: Legal, profel!

A12: Dá para fazer um copo Stanley, profel?

Professora: Bom, dá para fazer um copo e colocar o nome de vocês, o que acham?

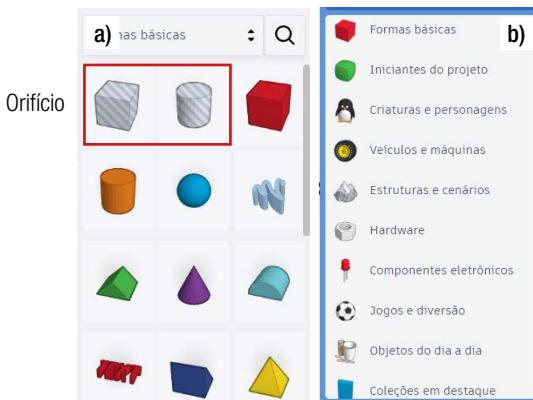
A12: Eu quero.

A03: Ah, eu também!

Segundo Resnick (2020, p. 63), “investir em interesses sempre gera o melhor conhecimento”, então a nossa estratégia foi envolver os estudantes, trazendo à tona o interesse deles para garantir um maior engajamento. Resnick (2020) destaca a paixão como um dos quatro Ps da criatividade, então utilizamos essa abordagem para incentivar a participação ativa dos alunos no projeto de modelagem.

A modelagem no *Tinkercad* ocorre por meio da adição ou subtração de poliedros a partir das “Formas básicas”, o que proporciona formar geometrias complexas, ou por meio do uso de outras formas disponíveis na biblioteca do *software*. No processo de adição, as figuras são combinadas para criar formas novas, enquanto na subtração uma forma atua como um “orifício” (quando a forma geométrica está transparente, serve para “furar” outras formas), para fazer recortes que resultam em novas formas (ver Figura 18).

Figura 18 – Algumas formas disponíveis na biblioteca de formas do *Tinkercad*



Fonte: *Tinkercad* (2023)²⁵.

Com base na instrução anterior, adotamos como estratégia orientar cada estudante a modelar sua própria caneca e, para personalizá-la, utilizar o próprio nome no *design*. Durante o processo, estimulou-se a participação da turma por meio de perguntas orais, como: “Qual das formas básicas se assemelha a um copo? Puxe a forma que você acha que parece com o copo e coloque no plano de trabalho. Quais são as dimensões do copo para uma impressão adequada? E, agora, qual seria o próximo passo? Que forma poderia ser usada para criar a boca do copo? E para adicionar o nome? Qual forma seria apropriada para a alça da caneca?”

Essa abordagem interativa promoveu a criatividade individual dos estudantes e a colaboração e cooperação entre

25 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

pares (veja-se a Figura 19). Também estimulou a reflexão sobre as escolhas de *design* e a aplicação prática dos conceitos estudados durante a exploração no *Tinkercad*.

Figura 19 – Fabricação das canecas personalizadas



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Todos os alunos utilizaram um cilindro para moldar o “corpo” da caneca e um “cilindro orifício” alguns milímetros menores, para criar a abertura. Nessa parte do primeiro recorte, o A11 não se deu conta em relação à altura do “cilindro orifício”, colocou-o com a mesma altura do corpo da caneca, o que resultou na forma sem fundo. Porém, como o objeto que ele estava modelando (o copo) era familiar à sua estrutura

cognitiva, ele identificou o problema rapidamente e conseguiu solucionar.

Para inserir o nome (texto) na caneca, os estudantes tiveram dificuldade, pois, para adequar o texto à curvatura cilíndrica da caneca, eram necessárias operações de união e intersecção com poliedros que não conheciam, então a professora interveio. Resnick (2020) ressalta que as tecnologias não substituem o professor e que, por mais que a criança ou adolescente possa aprender sozinho ou com os pares, sempre será necessário um tutor com mais experiência.

Para realizar o recorte do texto, foram utilizadas as formas “caixa orifício” e “cilindro orifício”. Em seguida, passou-se à etapa de criação da alça da caneca, e identificou-se que a forma que mais se assemelha a essa parte da caneca no software é a “tórulo”, conclusão obtida por meio de diálogo com os alunos. Após a intervenção da professora, por meio do diálogo, buscou-se novamente promover a autonomia dos estudantes. Um exemplo disso é o diálogo a seguir, extraído de uma gravação de aula:

Professora: Já que fizemos juntos o recorte do texto, por meio do agrupamento de sólidos, como podemos fazer agora para que o toro fique no formato do cabo da caneca?

A13: Uai, professora, se a senhora não sabe, como vamos saber?! (risadas)

Professora: Eu sei, mas eu quero que vocês pensem um pouco; como poderíamos fazer isso?

A13: Juntar figuras?



Professora: Ótimo, quais?

A13: Não sei... A caixa?

Professora: Pode ser, tenta no *software*.

No diálogo apresentado, observa-se uma cultura em que se espera que o professor seja o detentor do conhecimento, enquanto os estudantes assumem uma postura passiva na aprendizagem. No entanto, quando são propostas abordagens que desafiam esse padrão, inicialmente eles podem se surpreender, como evidenciado pelas risadas no diálogo. Entretanto, quando o professor explica a importância de desenvolver o pensamento crítico e as habilidades de resolução de problemas, os estudantes começam a compreender que, para alcançar esses objetivos, precisam se tornar protagonistas do próprio processo de aprendizagem.

Assim, prosseguiram com o desafio de modelar a alça da caneca com a utilização da forma conhecida como toro. Realizaram o recorte com uma “caixa orifício”, fizeram rotações e movimentos para alinhar corretamente a altura da alça com o corpo da caneca, antes de agruparem os elementos. Por fim, agruparam as partes da caneca, chegando à conclusão da modelagem da caneca personalizada.

Durante a roda de conversa de finalização do curso Geo3DPrint, os estudantes relataram suas experiências sobre a fabricação das canecas²⁶:

26 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

A02: A experiência foi boa, nós fizemos GIF, as canecas, e os prismas.

A02: Ah, foi bem difícil. **Quando fui fazer a caneca, foi muito difícil.**

Coordenadora: Vocês começaram pela caneca, né?

A02: Isso. Só que aí **depois foi pegando prática, depois da primeira aula foi de boa. A professora ajudando** também.

Pesquisadora: Eu achei que você teve bastante facilidade para fazer a caneca, eu pensei...

A02: É que eu gosto de mexer em computador.

A06: **Na caneca eu já tinha quase desistido, quando foi fazer as formas geométricas então... aí que eu vi que era complicado** (risos).

A03: **É, eu achei as formas geométricas um pouco mais difícil do que a caneca.**

A15: Sendo sincero, eu não tive nenhum um tipo de dificuldade.

Risos da turma

A15: Pergunta para a professora aí.

Pesquisadora: É verdade.

Coordenadora: Por que vocês acharam mais difíceis as figuras?

A03: Eu penso assim, **a caneca tinha que calcular também**, só que aí nas formas geométricas tem que ter os dados, número de X, os eixos. Essas coisas aí, aí tem que virar 360 graus. Na caneca não precisou fazer isso. A caneca não precisa se mexer se for ver... (discussão ao fundo sobre os eixos). Você faz ela, vai colocando as coisas, montando, guardando. Agora as figuras, elas têm que se mexer, para virar um cone.

A15: Já eu achei mais fácil fazer essas figuras aí.

A02: **A caneca pra mim o mais difícil foi só o nome, o nome pra mim foi complicado.**

A03: **Ah, verdade.**

A11: Eu consegui fazer para os geminhos, eles não conseguiram.

Pesquisadora: Você lembra qual você fez?

A11: Foi aquele lá (aponta para o GIF do prisma quadrangular no *slide*).

A06: **Gente, ninguém falou das alças da caneca, né?!** Misericórdia.

A03: Ah, verdade. **A minha ficou fininha.**

A06: **A minha ficou bem grossa, mas ficou até bonita, ficou brilhoso.**

A12: **Tinha que girar 90 graus.**

A06: É, e **recortar.**

A15: **Ah, pra mim a alça foi de boa.** O meu deu certinho, graças a Deus.

Nesse diálogo, os estudantes apresentam as suas individualidades, dificuldades e como o processo foi interativo. O relato dá indícios de que o software exige conhecimentos matemáticos como: ângulos, rotação, espaço tridimensional, recorte e estimativa de diâmetro.

Para os estudantes que apresentaram muita dificuldade na modelagem e estavam desmotivados, elaboramos uma videoaula pelo *YouTube*²⁷.

Ao final do curso, foram analisados os diários de campo dos estudantes e um questionário final *on-line* para avaliação do curso e autoavaliação. Neste questionário, quando perguntados: “Qual a relação da fabricação da caneca com a matemática? Explique da melhor forma que conseguir, expondo os conteúdos que lembrar, por exemplo, o nome das figuras geométricas que utilizou para fazer a caneca.” – as respostas foram²⁸:

A02: **Cilindro**, mas pra mim foi fácil fazer a caneca.

A10: Cubo.

A09: Nós utilizamos a forma **geométrica cilindros** e usamos tbm os **y x z, calculamos a altura e a base**

A03: Por causa do **diâmetro**, e das formas como **cilindro**.

A06: **Bom, aprendemos sobre figuras espaciais, utilizamos o cilindro, por exemplo, para formar a caneca.** Quando fizemos os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo.

A12: Os ângulos de graus diferentes, **cilindro**.

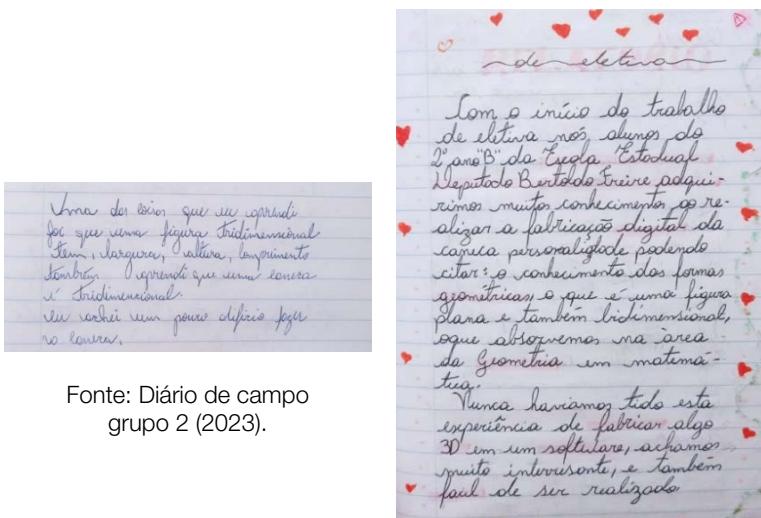
A17: Para fazer a caneca nós utilizamos os **cilindros**.

27 Disponível em: https://youtu.be/a_muRBg-uoQ?si=Y4knNPUqCdzpYohz.

28 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

Infere-se que os estudantes conseguiram associar o sólido a uma forma do cotidiano e o processo de fabricação ajudou a fixar esses conhecimentos. Na Figura 20, podemos ler relatos sobre esse processo.

Figura 20 – Relatos escritos sobre o processo de modelagem da caneca personalizada



No relatório escrito no diário de campo de dois grupos de estudantes, fica evidente que eles associaram a caneca a uma figura tridimensional e compreenderam a distinção entre figuras planas (bidimensionais) e formas espaciais. Além disso, eles entenderam que as dimensões de um objeto tridimensional são largura, altura e comprimento, e reconheceram que toda essa discussão está dentro do campo da matemática conhecido

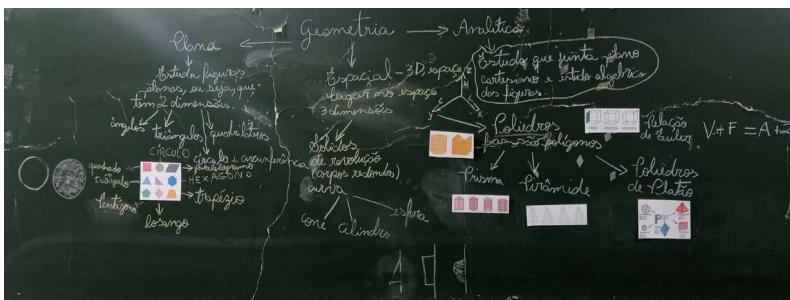
como geometria. É interessante notar que, enquanto o grupo 2 encontrou dificuldades na fabricação, o grupo 5 achou fácil e interessante, mesmo nunca tendo trabalhado com modelagem 3D em um *software* anteriormente.

4.1.3 Prática 3: modelando poliedros

Para a realização da prática 3, os estudantes foram organizados em cinco grupos e cada grupo recebeu um tema ligado à geometria espacial, de modo que tinham de prototipar pelo menos dois sólidos geométricos. A saber, os grupos ficaram definidos: G1 – Poliedros convexos e não convexos; G2 – Poliedros de Platão; G3 – Prismas; G4 – Pirâmides; G5 – Sólidos de revolução ou corpos redondos.

Utilizamos, nessa prática, a abordagem de ABP, em que primeiro eles pesquisaram sobre as temáticas, e depois foi discutido e construído um mapa mental colaborativo (conforme a Figura 21), para que investigassem a geometria como um todo coeso, em que os conceitos mais específicos se inserem em categorias mais amplas. Além disso, os alunos foram encorajados a estabelecer conexões entre os diferentes temas, promovendo uma compreensão integrada e contextualizada da geometria.

Figura 21 – Mapa conceitual colaborativo para integração dos temas dos projetos de ABP



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Esse mapa conceitual visou conectar os temas de maneira que fosse possível obter uma visão integrada dos assuntos abordados por cada grupo. Pois, de acordo com Ausubel (2000), é mais fácil para quem aprende captar partes de um todo, se já tem ideia do todo. Acredita-se que essa atividade fortaleceu a compreensão dos alunos sobre os temas individuais, porque eles puderam vivenciar a aprendizagem subordinada em ação.

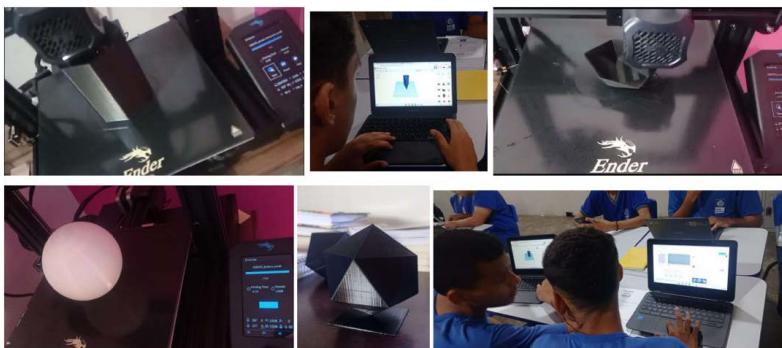
Nesse contexto, uma nova ideia ou conceito se subordina a ideias preexistentes mais gerais e abrangentes. Ao conectar os conceitos específicos da geometria, como prismas, pirâmides e poliedros, aos conceitos mais amplos da geometria plana, os alunos foram capazes de assimilar o novo material como exemplos específicos de conceitos previamente estabelecidos em suas mentes.

Isso permitiu que eles percebessem como os diferentes temas da geometria se relacionam e se encaixam em uma

estrutura conceitual maior, facilitando a compreensão e a aplicação desses conceitos em diversas situações. E puderam também discutir a diferença entre geometria plana e espacial.

Após pesquisarem e conectarem a conhecimentos prévios, foi o momento da terceira prática de modelagem, que foi a modelagem dos sólidos atribuídos a cada grupo. Devido a já terem utilizado o software, tiveram bastante facilidade nesta etapa, até mesmo porque algumas formas já estão prontas no software (desenvolvimento da prática, Figura 22).

Figura 22 – Construção de sólidos geométricos no *Tinkercad*



Fonte: Acervo pessoal (2023).

O G2, que ficou com a temática poliedros de Platão, apresentou dificuldade, pois encontrou apenas o tetraedro regular, o hexaedro regular e icosaedro regular prontos nas “formas básicas” do *Tinkercad*. Dessa forma, o octaedro e o dodecaedro deveriam ser criados pelo grupo. A professora sugeriu que eles fizessem por meio da junção de outros sólidos. Ficaram com dúvidas de como começar, mas decidiram

começar pelo octaedro, que pensaram ser mais fácil, assim a professora interveio, como demonstra o diálogo abaixo:

Professora: Quantas faces, arestas e vértices tem esse sólido?

G2: *Olharam na pesquisa que tinham realizado e responderam: * 8 faces, 6 vértices e 12 arestas.

Professora: Ok, tem essa forma pronta no software?

G2: Não.

Professora: Então, se for agrupar figuras, quais vocês utilizariam para formar este sólido?

G2: Que tal a pirâmide, professora?!

Professora: Ótimo, tentem.

Após colocarem as pirâmides no plano de trabalho, a professora, que está observando, questiona: Então, agora o que precisa ser feito?

G2: Girar para encontrar as duas bases.

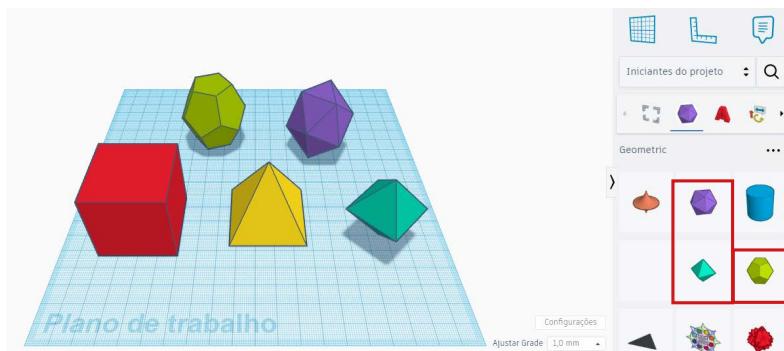
Professora: Isso mesmo, feito isso é só agrupar e está pronto o octaedro!

Assim, com a interação e direcionamento de alguém mais experiente, conseguiram concluir o projeto. O grupo só não modelou o dodecaedro, pois esse sólido eles acharam mais fácil por meio da programação – esse processo de criação será descrito na categoria 2.

A posteriori descobriu-se que os poliedros de Platão não encontrados nas “Formas Básicas” estão disponíveis no item

“Iniciantes do projeto” da biblioteca de formas do *Tinkercad* (Figura 23).

Figura 23 – Sólidos de Platão disponíveis na biblioteca de formas



Fonte: *Tinkercad* (2023)²⁹.

Após finalizada a prática, todos os grupos baixaram os poliedros em formato .STL e os enviaram para a professora. Devido ao tempo, ela executou o fatiamento dos sólidos e enviou para o cartão de memória da impressora 3D, para posterior prototipagem.

Essa prática com aplicação de várias etapas da ABP proporcionou aos estudantes momentos de aprender a aprender e aprender a fazer.

29 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

4.1.4 Tensões e compromissos: modelagem no *Tinkercad*

Os tutoriais “*Introdução às Formas*”, “*Movendo Formas*” e “*Formas Giratórias*” do *Tinkercad*, explorados pelos estudantes, apresentam uma progressão de dificuldade, e oferecem *feedback* quando os usuários atingem os objetivos propostos. Contudo, existe uma ausência de *feedback* quanto aos erros, o que dificulta para um iniciante sem acompanhamento identificar o equívoco, o que pode desmotivá-lo.

Além disso, nesses tutoriais do “*Centro de Aprendizagem*”, a falta de salvamento do progresso percebida pelos estudantes contribui para a desmotivação na conclusão dos tutoriais, o que aconteceu com boa parte dos alunos do curso *Geo3DPrint*, pois na aula sequencial não tinham como começar de onde pararam, mas sim iniciarem os tutoriais novamente.

Outro desafio relacionado aos tutoriais foi a apresentação dos problemas em língua inglesa, sem a opção de tradução nos *chromebooks* disponíveis na escola. Entretanto, essa situação pode ser uma oportunidade para um trabalho interdisciplinar.

Um obstáculo adicional refere-se ao uso do *touch* dos *chromebooks*. Durante as práticas, alguns estudantes apresentaram dificuldade de modelar as formas na opção “*Projetos 3D*”, argumentando não ter costume no uso do *touch*, pois não possuem em casa. O desafio foi observado principalmente nos momentos de rotacionar formas, mudar as dimensões e movê-las no plano sem alterar seu formato.



Em relação aos aspectos técnicos do *software*, um desafio encontrado foi a falta de portabilidade para *smartphone*, ou seja, não tem como construir projetos ou *design* no *Tinkercad* pelo *smartphone*. Isso limitou que os estudantes seguissem seu trabalho em momentos no contraturno ou em casa, pois os *chromebooks* da escola têm horário marcado. Outro fator limitador relacionado ao aspecto técnico do *Tinkercad* é sua disponibilidade somente *on-line*, pois, em caso de queda de sinal de internet ou escola sem acesso à mesma, não há possibilidade de uso do recurso.

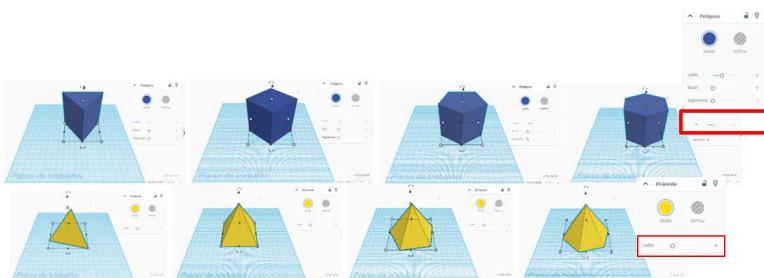
No estado de Mato Grosso, o acesso à internet e recursos tecnológicos como kits de robótica e *chromebooks* na escola já é um compromisso e está sendo implementado pelo Programa EducAção 10 anos, em que um dos pilares é Tecnologia e Educação. Mas, para solução do problema, em escolas que não tenham acesso, talvez fique o compromisso de atualização do *software* com uma versão para *desktop off-line*.

Encaramos como um compromisso nosso deixar direcionamentos e sugestões sobre o uso do *Tinkercad*. O recurso “Projetos 3D” pode ser utilizado com estudantes dos anos iniciais e finais do Fundamental, para reconhecimento das formas, vista em perspectiva e exploração e exemplificação das características dos sólidos geométricos.

Por exemplo, é possível fazer uma atividade em que os estudantes devam alterar o parâmetro “lado” dos prismas e pirâmides (ver Figura 24) e, a partir dessa exploração, discutir

com eles qual polígono constitui as faces laterais dos sólidos, o que são vértices e arestas e a nomenclatura do polígono da base. Bem como a distinção entre prismas e pirâmides, em que os prismas apresentam duas bases paralelas e as pirâmides uma base, e a semelhança que é a relação dos polígonos da base com a nomenclatura dos sólidos.

Figura 24 – Parâmetro “lado” dos prismas e pirâmides na opção Projetos 3D



Fonte: *Tinkercad (2023)*³⁰.

Os estudantes do Ensino Médio têm a oportunidade de ir além, utilizando os sólidos básicos disponíveis no *software* para criar artefatos que abordem problemas reais ou estejam relacionados ao seu cotidiano. Os poliedros pré-configurados oferecem conhecimentos limitados, pois focam apenas nos elementos e características dos sólidos.

Portanto, é interessante propor abordagens mais desafiadoras e contextualizadas, que permitam aos estudantes

30 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

aprofundar seus conhecimentos básicos e aplicá-los em situações do mundo real, proporcionando uma progressão nos níveis de conhecimento espacial e geométrico, como no exemplo da Prática 3, de modelagem da caneca personalizada.

4.2 CATEGORIA 2 (C2): PROGRAMAÇÃO NO *TINKERCAD* COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL

Nessa categoria, serão apresentadas e discutidas ações com o uso de programação no *Tinkercad*. Os estudantes, organizados em cinco grupos, enfrentaram o desafio de criar um GIF (animação) de um sólido geométrico relacionado à temática do grupo, com a utilização do “Bloco de códigos” do *Tinkercad*.

A programação foi utilizada como uma estratégia de ensino porque nos baseamos em Resnick (2020), que entende a programação como uma forma de fluência e expressão. A linguagem de programação presente no software é chamada de programação em blocos ou visual, cuja principal função é arrastar e soltar (em inglês: *drag-and-drop*) os blocos, de forma lógica, para que a máquina execute a ação.

Durante a programação, foi possível observar quais conhecimentos e conceitos tinham sido aprendidos e em quais ainda apresentavam dificuldade sobre os sólidos que iriam

animar. Pois, para fazer o GIF com o uso da programação visual, era necessário ter um bom conhecimento sobre o artefato a ser animado. Ao aprender a programar, desenvolve-se também habilidades que aprimoram a capacidade de resolver problemas complexos de maneira mais eficiente. Alguns registros fotográficos desse momento são representados na Figura 25.

Figura 25 – Criação de GIFs sobre sólidos geométricos



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Nesse momento de construção, os estudantes trabalharam em equipe, sempre colaborando dentro do próprio grupo e com outros grupos, quando faziam descobertas ou apresentavam dúvidas sobre algo que viam que outro grupo havia conseguido executar.

Para realizar a construção, os alunos precisaram ter compreensão dos conceitos dos sólidos que iriam representar, além de habilidades em programação em blocos e uma compreensão do espaço tridimensional. Nos próximos subtítulos é realizado um detalhamento da elaboração da animação de cada um dos cinco grupos.

4.2.1 Grupo 1: GIF poliedro convexo e não convexo

A atividade atribuída ao **Grupo 1** foi criar uma animação que representasse um poliedro não convexo. Para dar um suporte nesse momento, a professora utilizou uma *webquest* personalizada (Apêndice B), por grupo. Na Figura 26 é apresentada a descrição do grupo em relação à criação do GIF sobre poliedro não convexo.

Figura 26 – Sequência de passos para criação de uma animação que representa um poliedro não convexo

Vocês também já construiram um poliedro convexo e um não convexo (cônico) no projetos do Tinkercad. Parabéns, que trajetória em!

Agora antes de iniciar a construção do gif, abra a plataforma Tinkercad, faça o seu login, vá em aulas. Após entrar na sala Geo3DPrint vá na atividade Construção do gif e clique em projetos 3D. Construa a imagem abaixo e escreva aqui o passo-a-passo que seguiu para a construção.

*Peguei o cubo e coloquei a abertura
comando girar em 270 graus da base X que
180 graus da base que, move x = 8 y = 6 z = 0
peguei outra figura e quebrei para o*

GEO PRINT

*seguinte comando, move x = 8 y = 6 z = 0
girar em 270 graus eixos para 180 graus
criar grupo
+ move x = 8 y = 6 z = 10*

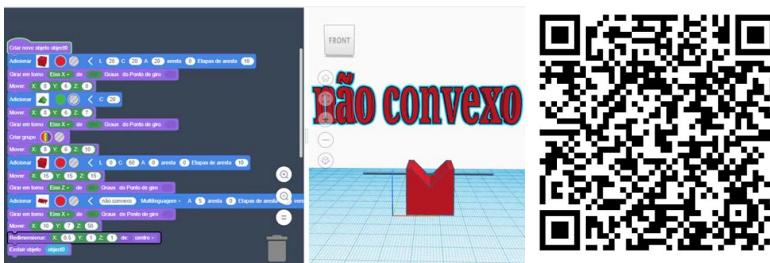
Fonte: Resposta do grupo na atividade personalizada (2023).

O A15, integrante do grupo, utilizou formas como cubo e prisma triangular – intitulado “telhado” no *software* –, além de ações como rotação, movimento no plano tridimensional e agrupamento. Só se esqueceu de descrever no algoritmo que, para fazer a abertura no cubo, teve que colocar a forma telhado

como orifício (transparente), e após fazer o agrupamento. Para tornar a ilustração mais informativa, o estudante adicionou um cubo, zerou a largura e a altura, deixando apenas o comprimento, para representar uma reta. Por fim, adicionou um texto nomeando que esse poliedro era não convexo.

No *print* (Figura 27) tirado da tela, é possível ver, respectivamente, a programação da animação, o artefato animado e o QR Code colocado pela pesquisadora para que os leitores acessem o GIF criado pelo grupo.

Figura 27 – *Print* da programação da animação, poliedro não convexo e QR Code para visualizar a animação



Fonte: Bloco de código *Tinkercad* (2023)³¹.

Nessa programação, os alunos utilizaram noção espacial, rotação, movimento no plano tridimensional e agrupamento. Além de darem indícios de terem entendido o conceito de poliedro não convexo, usaram também a reta, que é um elemento da geometria plana. Apresentaram raciocínio lógico, bem como reconhecimento de padrão, pois, como já tinham

31 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

realizado algumas aulas com programação visual na escola, rapidamente entenderam o que tinha que ser feito. Em apenas duas aulas eles executaram o desafio.

O grupo ainda foi além do desafio e realizou a programação do poliedro convexo, conforme exposto na Figura 28.

Figura 28 – *Print* da programação, poliedro convexo e QR Code para visualização do GIF



Fonte: Bloco de código Tinkercad (2023)³².

Na Figura 28 há um QR Code para visualizar o resultado do GIF criado pelo grupo.

4.2.2 Grupo 2: GIF dodecaedro

Como o **Grupo 2** não havia encontrado nem modelado o dodecaedro, ficou para eles o desafio de criar um GIF desse sólido geométrico regular. Durante a construção do sólido, a pesquisadora observou que os alunos demonstraram compreensão das características dos poliedros, incluindo o fato

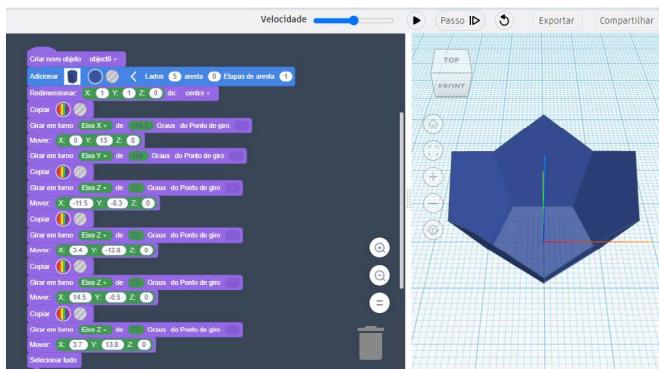
32 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

de que as faces de um poliedro são formadas por polígonos, que são figuras planas.

Os estudantes utilizaram a estratégia de pegar um prisma pentagonal e redimensionar o eixo Z como 0 (zero), para formar a base do dodecaedro. Eles sabiam que todas as faces do sólido eram pentágonos, então copiaram o polígono, mas o próximo passo não era óbvio. Após muita discussão, eles entenderam que deveriam girar o polígono e, por meio de tentativa e erro, testaram em qual eixo girar e quantos graus girar.

Para construir os outros quatro lados, eles copiaram o polígono e giraram 72 graus em torno do eixo Z, movendo-o nos eixos X e Y, de forma a alinhar-se com cada aresta do polígono da base. Essa programação pode ser visualizada na captura de tela apresentada Figura 29.

Figura 29 – *Print* da primeira parte da programação do dodecaedro feito pelo G2



Fonte: Bloco de código *Tinkercad* (2023)³³.

Em seguida, para finalizar a construção do sólido, o grupo decidiu “criar novo objeto”, copiar o objeto que tinha feito e girar 180 graus no eixo X, como apresentado na Figura 30.

Figura 30 – *Print* da segunda parte da programação do dodecaedro feito pelo G2



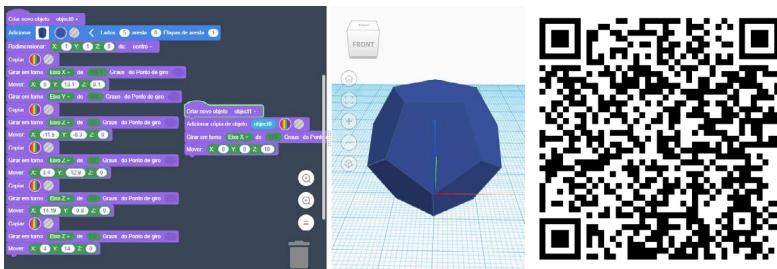
Fonte: Bloco de código *Tinkercad* (2023)³⁴.

33 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

34 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

Na Figura 31 é exposta a captura de tela apresentada da programação completa do sólido, bem como o sólido e um QR Code adicionado pela pesquisadora, para o leitor visualizar o GIF criado pelo Grupo 2.

Figura 31 – *Print* da programação, dodecaedro e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G2



Fonte: Bloco de código *Tinkercad* (2023)³⁵.

Esse sólido é uma construção mais complexa, exigiu muita persistência, trabalho em equipe, e uso de blocos de códigos que ainda não haviam sido utilizados pela turma, como o bloco Redimensionar e Copiar. Além das aprendizagens geométricas, espaciais e de programação, é possível citar a resolução de problemas por meio de projetos.

4.2.3 Grupo 3: GIF prisma

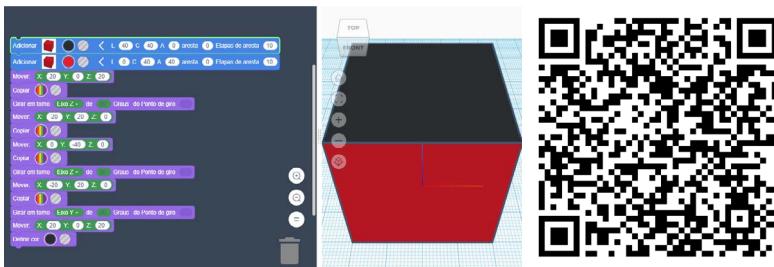
O desafio do **Grupo 3** foi o de programar o GIF de um prisma quadrangular. Apesar de já ter um bloco de programação com o objeto cubo, ele não podia apenas utilizá-lo, pois a animação seria

35 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

o prisma entrando no plano de trabalho, e não a animação do sólido se formando, como os demais grupos fizeram.

Já que as faces de um poliedro são polígonos, os estudantes do grupo tomaram a altura do cubo como 0 (zero), assim, obtiveram um quadrado para a base. Depois, adicionaram outro cubo e zeraram a largura, obtendo uma face lateral. Em seguida, apenas copiaram, giraram e moveram as outras três faces, para se alinharem às arestas da face. Por fim, fizeram a base superior. A programação é exibida na Figura 32, que mostra também o artefato programado e um QR Code adicionado pela pesquisadora, para que o leitor possa visualizar o GIF.

Figura 32 – Print da programação, prisma quadrangular e QR Code para visualizar a animação



Fonte: Bloco de código Tinkercad (2023)³⁶.

A pesquisadora entendeu que os estudantes entenderam o que é prisma com a prática, pois entenderam os elementos, diferenciaram figuras planas e formas espaciais, e ainda identificaram o cubo como um prisma.

36 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

Na roda de conversa, o grupo conta como foi a experiência da programação e da modelagem dos sólidos, que expõem fisicamente³⁷:

A07: **O prisma é um sólido geométrico que possui duas bases congruentes, formadas por polígonos e faces laterais formadas por paralelogramos.**

A08: O prisma é um polígono... poliedro... (Todos riem)

Pesquisadora: Mostra ali quais são (poliedros impressos).

A03: Mostra quais que são.

Coordenadora: Vai passando o que vocês construíram.

A02: **Esse é o pentagonal.**

Pesquisadora: Por que ele é o pentagonal? Explica.

A03: Por quê?

A02: Por causa das faces e das arestas. **Tem que contar aqui para saber. (Mostra as bases do sólido construído, de forma tímida)** (Todos riem)

Coordenadora: Aí é só olhar na base para saber?

A02: **Isso, depende da base.** (Mostra outra forma) Octogonal. (Passa para que todos toquem).

Coordenadora: Esse é octogonal? (Conversas ao fundo e cochicho)

A02: Esse é quadrangular. (Ao fundo, observa as bases).

37 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

Nesse diálogo, infere-se que o grupo, por meio da reflexão e manuseio dos sólidos construídos, entendeu que a nomenclatura dos prismas está associada ao polígono da base, como nos trechos grifados. Nesse momento de reflexão, a professora poderia ainda ter explorado se os estudantes do grupo tinham entendido que o quadrado é um paralelogramo, pois eles iniciam a fala conceituando que as faces laterais do prisma são paralelogramos, porém, como mostrado na Figura 32, eles construíram um cubo, em que as faces laterais são quadradas.

4.2.4 Grupo 4: GIF pirâmide

O **Grupo 4** teve como desafio representar uma pirâmide quadrangular. Ao iniciar a programação, o grupo ficou um pouco confuso, então a professora fez perguntas que os ajudassem no processo³⁸:

G4: Professora, o que temos que fazer?

Professora: Bom, primeiro vocês têm que saber quais são as características de uma pirâmide quadrangular.

G4: Como assim?

Professora: Quantas bases ela possui? Qual o formato dessa base? Quantas faces laterais? Quais polígonos das faces laterais?

Após refletirem sobre, conseguiram responder que a base era um polígono de quatro lados

³⁸ Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

G4: É um quadrado, professora?

Professora: Isso!

G4: **As faces laterais são triângulos.**

Professora: Isso mesmo!!!

G4: Mas agora, para construir, não tem quadrado aqui.

Professora: Mas tem alguma forma similar?

G4: Tem o cubo.

Professora: Ótimo, **o cubo tem 3 dimensões**, quais são mesmo?

G4: **Largura, comprimento e altura.**

Professora: Isso, é uma figura plana, como o **quadrado, tem quantas dimensões?**

G4: Hummm, **largura e comprimento, não tem profundidade.**

Professora: Ótimo, isso mesmo. **Então, o que pode ser feito para o cubo se tornar um quadrado?**

G4: **Não sei... e se zerar uma dimensão?!**

Professora: Tentem.

Após zerarem o eixo Z, foi a vez do triângulo.

G4: Professora, **não tem triângulo aqui.**

Professora: Mas tem alguma figura parecida?

G4: **Sim, a forma “telhado”.**

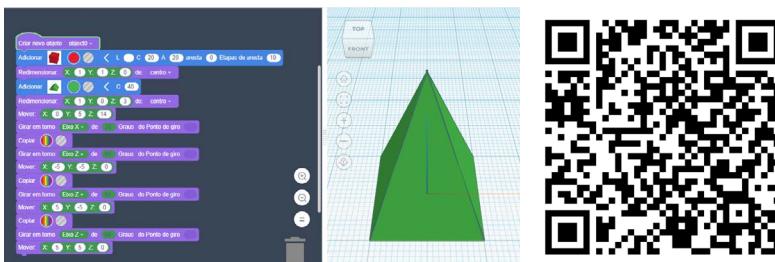
Professora: Ok.

Esse diálogo, registrado no caderno de campo da pesquisadora no final da aula, demonstra a importância da interação aluno-aluno, aluno-professor e entre ambos com o objeto de conhecimento. A dificuldade inicial poderia fazê-los desistir da atividade, então, o papel da professora como facilitadora da aprendizagem foi essencial, pois, com perguntas que os levaram a reflexões, eles ganharam confiança para seguir o processo.

Em seguida eles continuaram os comandos, tiveram que zerar uma das dimensões da forma “telhado” e movimentar os triângulos nos eixos X e Y, para que ficasse cada um alinhado a uma aresta da base. Também fizeram a rotação de 90° no eixo Z.

A etapa mais desafiadora da construção desse GIF foi fazer as faces laterais se encontrarem em um único vértice. Para isso, tiveram que testar a inclinação das faces laterais e aumentar a altura, para que se encontrassem formando um vértice. O resultado da programação pode ser visto na Figura 33, que apresenta também o artefato e um QR Code para visualização do GIF criado pelo G4.

Figura 33 – Print da programação, pirâmide quadrangular e QR Code para visualizar o GIF feito pelo G4



Fonte: Bloco de código Tinkercad (2023)³⁹.

Por meio da programação, os estudantes tiveram a oportunidade de desenvolverem habilidades geométricas e espaciais. Percebemos que, na programação, os estudantes tiveram que entender bem o objeto que iriam animar, pois explicar que figuras planas e espaciais são diferentes, por exemplo, é bem distinto de eles terem que aplicar esse conceito ao pegarem um sólido e zerarem uma de suas dimensões, para torná-lo bidimensional.

Ainda tiveram que movimentar as formas no espaço e girá-las. Na roda de conversa, o G4 expôs um pouco do que foi essa experiência para eles e algumas aprendizagens construídas com essa forma de ensino⁴⁰:

A12: Na prática, aprendemos a montar canecas e pirâmides com sólidos geométricos como cilindro e cubo.

39 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

40 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

Porque, no começo de fazer os blocos lá, de montar, de colocar ela para rodar daquele jeito lá, ó (aponta para o GIF da pirâmide quadrangular que está sendo exposto no *slide*). Ali a gente tentava, colocava, tipo, uns 30 graus mais ou menos, e aí ela dava errado. Aí a gente batalhava, batalhava, eu até queria desistir, né, mas Marcela não deixou.

Risos da turma.

A12: E aí, ahhh, sei lá, **foi uma experiência boa**. No começo eu achei que, tipo assim, quando a gente foi se inscrever lá no negócio para poder fazer o curso, que era só desenhar no *tablet* e ia aparecer lá, né. Aí, quando eu vi lá aquele negócio de códigos de blocos, sei lá mais o quê, falei ‘vixe, Marial’. E aí, **mas depois a gente pegou o jeito da coisa** e aí conseguimos fazer as pirâmides e as canecas. O que deu mais trabalho foi as pirâmides, né.

A16: [...] Nós tivemos muita **dificuldade de fazer**. Tivemos começar fazer de novo do começo. Eu achei **muito difícil** por conta que (inaudível) lá no quadrilátero, eu achei muito difícil. Na hora que teve que começar fazer de novo, ‘Nossa Senhora’, quase desisti na hora. **Mas, enfim, né, foi bom fazer, gostei**.

A12: É, pra gente é uma nova experiência, né, porque eu só via esses negócios de impressão 3D no *YouTube*. Eu nunca tinha visto pessoalmente. **Mas depois que eu vi, achei legal**.

A16: **Bem interessante**.

Coordenadora: Que bom que vocês observaram, vocês estavam construindo e perceberam que, para você construir uma pirâmide, seja triangular, pentagonal... E aí vocês percebiam que cada uma das faces era o quê? Uma figura?

A12: Triangular.

Coordenadora: Plana, né?

A12: É, plana! Uhum.

Coordenadora: E que ao unir forma o sólido (inaudível).

Pesquisadora: É que nem o GIF lá (aponta para o GIF no *slide*), várias figuras planas. E, no *software*, tinham figuras planas?

A12: Tinha.

Pesquisadora: Tinha 3 dimensões, o que vocês fizeram para fazer a base? A base ali, como vocês fizeram?

A12: **A base a gente pegou o cubo e aí tivemos que recortar.** Deixar ele... acho que era no x, né?!...

Pesquisadora: Vocês lembram qual eixo era a altura?

Alguns alunos: É x, né?

Outros: É Y?

E aí se lembram e falam com ênfase: Z!

Pesquisadora: No Z, vocês fizeram o quê? Deixaram...

A12: **Deixamos plano, a base.**

Coordenadora: Aí, quando vocês falaram que tiveram dificuldade, vocês tentaram a primeira vez e o que não deu certo?

A12: **Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente tava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade.**

A16: Aí nós fomos começar fazer tudo de novo, porque tinha feito errado.

Coordenadora: Mas o que vocês perceberam que fizeram errado, que, se eu for querer fazer... Vocês perceberam o que vocês fizeram errado?

A12: A gente teve que ajustar **os ângulos** (rotação).

A16: Foi por conta do tamanho da base (Falam ao mesmo tempo, inaudível).

Coordenadora: Aí vocês tentaram mais uma vez e deu certo?

A12: Deu.

A16: Sim.

A12: É, mas não foi na segunda, não! Foi na décima, décima primeira...

No trecho acima, extraído da roda de conversa, observa-se o que os estudantes pensaram a princípio sobre como seria o curso, demonstraram gostar da experiência de fabricação digital de artefatos, apesar de terem achado difícil, uma vez que saí do habitual. Também desenvolveram habilidades como resiliência e resolução de problemas, pois, como descreveram, tentaram muitas vezes até entenderem no que estavam errando.

Quando A12 diz “Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente estava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade”, demonstra uma das dificuldades do pensamento espacial apresentadas por Bhaduri *et al.* (2021): a rotação mental. Ou seja, a capacidade mental de girar objetos 2D ou 3D para um determinado ângulo no sentido horário ou

anti-horário. E talvez em uma metodologia tradicional essa habilidade não seria estimulada.

Nessa fala supracitada e no trecho: “É, mas não foi na segunda, não! Foi na décima, décima primeira...”, pode-se dizer que, para solucionarem o problema, os estudantes utilizaram uma abordagem de tentativa e erro, o que Pielsticker, Witzke e Vogler (2021) consideram um desafio pedagógico, pois descrevem esse processo de raciocínio como um procedimento puramente empírico.

Consideramos essa uma oportunidade de aprendizagem, pois, segundo Moreira (2017, p. 97), “o ser humano aprende corrigindo seus erros”. Outro ponto é: será que por meio de evidências empíricas verificáveis não é possível aprender? Essa questão suscita reflexões sobre a interação entre a experiência prática e o processo de aprendizagem, e sobre como diferentes abordagens pedagógicas podem aproveitar essa relação.

4.2.5 Grupo 5: GIFs sólidos de revolução

O **Grupo 5** tinha como desafio mostrar que o cilindro é um sólido de revolução criado ao girar um retângulo em torno do eixo. No começo, o construtor do grupo (funções atribuídas na ABP) mostrou não ter entendido esse conceito, apenas colocou o cilindro e o fez girar. Então, questionou os integrantes do grupo sobre como se dava a construção do cilindro; eles pesquisaram novamente, perceberam que era por meio do giro de 360° do retângulo, então o novo problema



era criar um retângulo no plano de trabalho, uma vez que o *software* fornece apenas formas 3D.

Neste momento, no ímpeto de ajudar, demos informações adicionais aos estudantes ao questionarmos: “Qual sólido que, se zerarmos uma das dimensões, pode se tornar um retângulo?” Essa forma de perguntar não é recomendada, pois já dá a resposta, tira do aluno a chance da descoberta. Poderíamos ter feito a pergunta de outra forma, por exemplo: “Qual sólido cuja representação se assemelha de alguma forma ao retângulo?”

Na sequência dos fatos, o construtor respondeu que era o cubo. Percebemos que já havíamos intervindo além do necessário, então, dissemos para ele tentar no *software*. Então, devido à escolha do cubo, que tem faces quadradas e não retangulares, ele zerou uma dimensão e colocou valores diferentes para a largura e o comprimento, obtendo um retângulo.

Outra problemática nessa construção foi a rotação, uma vez que os sólidos de revolução são formados pela rotação de 360° e o *software* só vai até 180° .

Quando a professora questionou: Bom, e agora? 180° , o retângulo faz a volta completa?

Prontamente o A9 respondeu: Não, professora, faz metade.

A professora seguiu com a intervenção: Ah, entendi. Então, nesse caso, como faz para fazer a volta completa, lembrando que temos ângulos que são complementares, suplementares e replementares?

O Construtor respondeu com uma pergunta: Gira mais 180°?

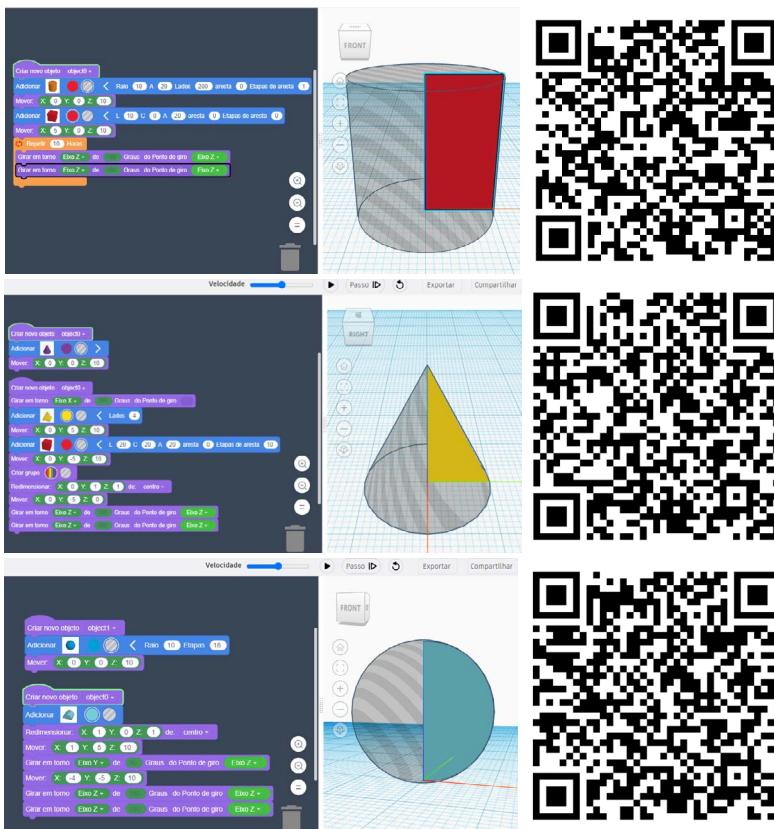
Por fim a professora disse: Tenta aí e veja.

Construtor: Isso mesmo, deu certo!

A partir dessa situação, analisamos que, com a pesquisa e o projeto 3D – em que os sólidos de revolução vêm prontos –, o estudante não havia compreendido como realmente funcionavam esses sólidos, mas o processo de construção por meio da programação exigiu que ele desenvolvesse essa compreensão mais aprofundada. E ainda trabalhou rotação, diferença entre figuras planas e espaciais (estavam com muita dificuldade), e localização no plano tridimensional.

Na Figura 34, pode-se observar a programação e os três sólidos de revolução feitos pelo grupo, bem como o QR Code de cada um, adicionado para que o leitor visualize o GIF.

Figura 34 – Print da programação, dos sólidos cilindro, cone e esfera feitos pelo G5 e QR Code para visualização dos GIFs



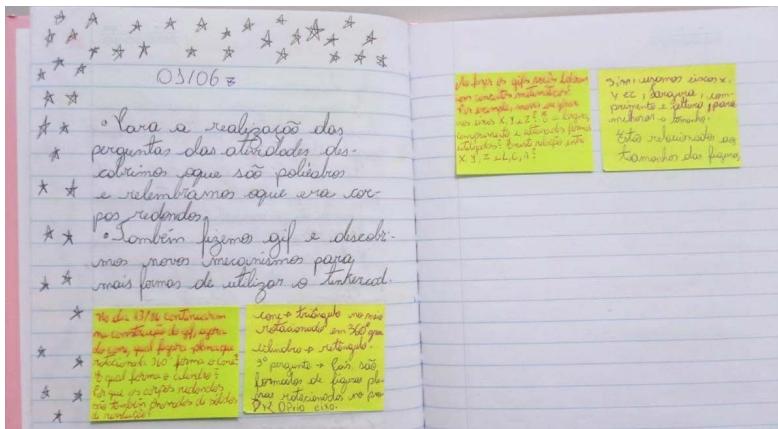
Fonte: Bloco de Código Tinkercad (2023)⁴¹.

Após programarem o cilindro, acharam mais fácil programar o cone e a esfera, pois, além de entenderem o conceito do que era um sólido de revolução, reconheceram padrões dos comandos. No diário de campo do G5 (Figura

41 Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.

35), pode-se analisar um pouco do que foi essa experiência para eles e quais aprendizagens ficam evidentes.

Figura 35 – Relatório da prática de programação dos sólidos de revolução realizado pelo G5



Fonte: Diário de campo G5 (2023).

Então, por meio da programação pode-se identificar dificuldades do pensamento espacial e geométrico dos estudantes, bem como desenvolver habilidades e conhecimentos relacionados à temática e para além dela, com aplicações na vida real.

4.2.6 Tensões e compromissos: programação no *Tinkercad*

O bloco de códigos de programação é um recurso recente, implementado no ano de 2022 no software *Tinkercad*. Entretanto, observa-se, pela prática devolvida no curso de extensão *Geo3DPrint* com os estudantes da 2^a série do

Ensino Médio, que tem potencial para o ensino de conceitos matemáticos, especialmente de geometria espacial, que foi foco desta pesquisa.

Assim, além das evidências expostas e discutidas no decorrer desta seção, após um mês da finalização do curso de extensão foi enviado um questionário *on-line* aos estudantes, para autoavaliação e avaliação do curso. Uma das perguntas era relacionada ao momento de criação do GIF: “Na construção do GIF, quais conceitos matemáticos você visualizou?”. As respostas foram:

A10: Bom, as faces dos poliedros têm a ver com a matemática.

A09: Foi muita coisa, foi as faces das formas geométricas, tinha que ter um número específico para girar em graus.

A03: Calcular a numeração e razão para qual melhor número precisa para girar em graus.

A06: Bom, essa parte fizemos *testando* para ver o ângulo e a posição que daria certo para formar o gif.

A12: Girar em graus diferentes, e montar as faces corretas das figuras.

Sobre as respostas dos estudantes em relação à criação do GIF no *Tinkercad*, é possível destacar alguns pontos importantes:

Reconhecimento da relação entre programação e conceitos matemáticos: Os estudantes demonstraram compreender a conexão entre a programação dos blocos



de código e os conceitos matemáticos, especialmente relacionados à geometria espacial. Eles mencionaram a importância das faces dos poliedros, o cálculo de ângulos para a rotação dos objetos e a necessidade de montar as figuras corretamente.

Aplicação prática dos conceitos: As respostas dos estudantes indicam que eles conseguiram aplicar os conceitos matemáticos aprendidos na construção do GIF no *Tinkercad*. Eles descrevem como utilizaram esses conceitos na prática, para alcançar os resultados desejados, como girar os objetos em diferentes ângulos e posicionar as faces corretamente.

Exploração e experimentação: Alguns estudantes mencionaram que testaram diferentes ângulos e posições para encontrar a solução para o problema em questão, o que demonstra uma abordagem de aprendizagem baseada na exploração e na experimentação. Isso reflete uma compreensão da importância da tentativa e erro no processo de aprendizagem.

Em suma, as respostas dos estudantes sugerem que a utilização dos blocos de código de programação no *Tinkercad* pode ser um recurso para o ensino de conceitos matemáticos, especialmente relacionados à geometria espacial. Elas mostram uma compreensão da aplicação prática desses conceitos e uma disposição para explorar e experimentar.

Ainda durante a construção do GIF, os blocos de código do *Tinkercad* apresentaram limitações, especialmente a

ausência da opção de utilizar ângulos de 360°. Os estudantes perceberam também que as casas decimais na rotação dos ângulos faziam diferença e, assim, ao se reproduzir um mesmo artefato, pode-se obter resultados diferentes, devido à precisão. O compromisso que fica é à empresa Autodesk, de realizar atualizações que melhorem esse aspecto técnico, e aos professores cabe explicar aos estudantes ou levá-los a realizar operações com ângulos menores para se chegar a 360°.

Houve um outro momento de tensão durante o curso que merece ser mencionado. Ao passar pelo G5, a professora percebeu que um estudante estava pesquisando sobre a esfera e estava com a relação de Euler aberta no celular, então ela comentou: “A relação de Euler não vale para a esfera.”; o estudante concordou. Ao final da aula, entre alguns diálogos, esse estudante perguntou aos demais: “A esfera é plana ou espacial?”. Alguns responderam: “É espacial (3D)”; então ele disse: “É plana!” A professora se assustou e questionou: “Como assim?” Ele disse: “Uai, a senhora me disse!” A professora em um primeiro momento achou que ele estava brincando com ela, mas logo percebeu que ele falou sério, então ela se pôs a pensar sobre o acontecido.

Ao chegar em casa e refletir sobre o ocorrido, ela se lembrou de qual foi a fala, e percebeu que o que ela falou foi interpretado de uma forma totalmente diferente. Ele entendeu que, já que a relação de Euler não valia para a esfera, logo ela não era um poliedro, então seria plana.

Essa situação evidencia duas reflexões importantes, na visão da professora:

1. A compreensão dos alunos é influenciada por sua visão de mundo e conhecimento prévio, o que pode levar a interpretações distintas das informações fornecidas pelo professor.
2. O conhecimento é uma construção ativa e individual, não simplesmente transmitido de forma passiva, o que ressalta a importância de abordagens educativas que promovam a construção do conhecimento pelo aluno.

Essa situação remeteu-nos a Moreira (2017), ao descrever o professor narrador, que ensina, fundamentalmente falando, dizendo aos estudantes o que é suposto que devem saber. No modelo clássico de ensino, a informação é transmitida desde a cabeça do professor até o caderno do aluno, para que este transfira a informação para sua cabeça, para passar em exames. Esse modelo é denominado por Paulo Freire (1974) como educação bancária. Todavia, de acordo com a situação descrita pela professora, será que essa forma de ensino é a melhor alternativa? Será que os estudantes aprendem? Ou só memorizam para um teste? O compromisso que fica é o de proporcionar aos estudantes oportunidades para que construam seus conhecimentos de forma interativa e com o uso de recursos e métodos variados.

4.3 CATEGORIA 3 (C3): A COMBINAÇÃO ENTRE O SOFTWARE DE MODELAGEM 3D *TINKERCAD* E A IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL

Na primeira etapa do curso Geo3DPrint, realizou-se um levantamento dos conhecimentos prévios dos discentes, questionando-os sobre vários assuntos relacionados à pesquisa e ao contexto da sala de aula. O intuito era identificar o que eles sabiam sobre os temas da pesquisa, pois, consoante Moreira (2017) baseado em Ausubel (2000), o ensino deve considerar os subsunções dos estudantes. Seguem alguns resultados extraídos do *Google Forms* respondido pela turma:

Já estudou geometria? Se sim, como foi e o que se lembra?

A01: *Sim, com o professor ... fórmulas com divisão e multiplicação.*

A13: Não.

A02: Não.

A03: Não me lembro.

A05: Nunca estudei.

A06: Sim.

A07: Sim, não me lembro muito bem.

A08: Sim, N lembro muita coisa.

A09: Não, ksksksk.

A10: Não lembro.

A11: Foi muito bom.



A13: Não me lembro.

A14: Ss, foi legal lembro de nada.

A15: Lembro não.

A17: Não lembro.

Você já viu o termo “3D” em quais lugares? O que significa?

A01: Na Internet.

A02: Sim, em livro, filmes e anúncios.

A03: Já vi sim, pois não sei o que significa.

A05: Nunca vi.

A06: Cinema.

A07: Sim, vi em filmes.

A08: Impressora 3d, filme 3d.

A09: Não sei, msksksskkssksksk.

A10: Filmes 3d pra mim o que significa é realidade virtual.

A11: Lembro não.

A13: Não.

A15: Sim, em vídeos.

A14: Não sei não.

A17: Desenhos, não sei.

Qual a diferença entre geometria plana e espacial?

A01: .

A02: Não saber.

A03: N sei.

A05: Não sei.

A06: Não sei.

A07: Não sei.

A08: Não sei, kskssks.

A09: Não sei, kkkkk.

A10: Uma a gente pega.

A11: A diferença entre uma geometria plana: é uma figura com duas dimensões como círculo e quadrados e a diferença entre espacial: é uma figura com três dimensões tipo esferas, cubos, paralelepípedo e pirâmides.

A13: Não sei.

A14: Sei não.

A15: Não sei.

A17: Não sei não.

Cite, se souber, um exemplo de geometria no cotidiano.

A01: Não.

A02: Não.

A03: Caderno.

A05: Quadrado.

A06: Triângulo.

A07: Meu celular, retângulo.

A08: Não sei não, esqueci.

A09: Não sei, kskssks.

A10: Não sei.

A11: Cubo, quadrado e retângulos.

A13: Não sei.

A14: N sei.

A15: Não sei.

A17: Não sei, kkkj.

Você acha que a tecnologia pode potencializar o processo de aprendizagem? Como? Quais recursos tecnológicos gostaria de utilizar em aula?

A01: Robótica.

A02: Sim. Tecnologia robótica.

A03: Diários digitais.

A05: Sim, pra fazer *pesquisa* quando o professor mandar.

A06: Sim, calculadora.

A07: Celular e etc...

A08: Ss, celular.

A09: Notebook, celular.

A10: Acho que sim, em *pesquisas*.

A11: Celular e o cromebuk.

A12: Sim, hoje em dia a tecnologia ajuda bastante, computador.

A13: Sim ... tudo.

A14: Celular ou chrome book.

A15: Sim, calculadora.

A17: Sim. *Porque é uma coisa que a gente sempre utiliza, celular e notebook.*

O que você acha sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupos?

A01: Bem legais.

A02: *Eu acho bom porque isso vai ajudar o aluno se desenvolver mais e mais ânimo.*

A03: Gosto, mas prefiro fazer sozinha.

A05: Eu gosto, acho que desenvolve bastante.

A06: Bom.

A07: Acho muito bom.

A08: Eu acho legal.

A09: São muito bom, principalmente *quando estamos com amigos.*

A10: Excelente.

A11: Muito bom.

A12: Acho legal, mas pelo lado ruim é chato que pode causar briga, igual aconteceu comigo.

A13: Legal.

A14: Bom, pois é mais fácil aprender.

A15: Bom.

A17: Bom.

Das respostas ao questionário inicial aplicado à turma, foi possível fazer algumas inferências:

Falta de familiaridade com conceitos de geometria:

61,5% dos estudantes respondentes não se lembravam ou não estudaram geometria anteriormente, 90% não souberam dizer a diferença entre geometria plana e espacial, e 70% não

sabiam um exemplo de geometria no cotidiano, sendo que os outros 30% deram exemplos equivocados, ao dizerem, por exemplo, que o celular é um retângulo. Isso sugere uma lacuna no conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto.

Entretanto, o professor pode aproveitar exemplos como estes, para discutir a diferença entre geometria plana e espacial. Assim, partirá de uma informação presente na estrutura cognitiva do estudante, para trazer um conceito novo. Então, por exemplo, chegar ao entendimento comum de que a superfície da tela de alguns celulares é realmente retangular, mas não o celular todo, porque ele é uma figura tridimensional.

Conhecimento superficial sobre termos relacionados à geometria: Embora 57,14% dos alunos tenham visto o termo “3D” em contextos diversos, como filmes e anúncios, nenhum sabia o significado. Isso indica uma compreensão superficial ou falta de conhecimento sobre conceitos básicos de geometria espacial.

Interesse na utilização da tecnologia para aprendizagem: 100% dos estudantes reconhecem o papel da tecnologia para potencializar o processo de aprendizagem, e mencionaram recursos como calculadoras, dispositivos móveis e robótica. Um deles argumentou que é interessante o uso de tecnologias na escola, “porque é uma coisa que a gente sempre utiliza, celular e *notebook*”, e outro ainda disse que pode ser usado para “fazer pesquisa quando o professor mandar”. Apesar de concordarmos com suas visões, nesta

pesquisa a concepção de tecnologia aplicada na educação vai além de formas instrucionais ou como recurso.

Percepção positiva sobre trabalhos em grupo:

78,6% dos alunos expressam uma opinião positiva sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupo, destacando benefícios como colaboração, aprendizagem cooperativa e motivação.

Durante o curso foram coletadas evidências de aprendizagem e no encerramento foi realizada uma roda de conversa para reflexão sobre o processo. Após a finalização, foi enviado um novo formulário para autoavaliação dos estudantes e avaliação do curso; devido a ter sido enviado posteriormente, apenas oito dos quinze estudantes responderam⁴².

O que você leva de aprendizado do curso?

A02: Conheci muitas figuras geométricas que antes eu via, e eu achava que era uma simples coisa.

A03: O nome das formas geométricas.

A04: Aprender cada etapa.

A06: Conhecer o nome das figuras geométricas e união que tivemos no grupo, ou seja, a forma em que todos os participantes se ajudavam.

A08: Sobre as canecas que nós criamos.

A09: As programações que fizemos no Tinkercad.

A10: Que as coisas podem ser plana ou espacial.

42 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

A12: A *impressão 3D* das canecas e das figuras geométricas.

A17: Que a matemática está até na produção de objetos, como canecas.

Quando perguntados ‘O que você aprendeu no curso tem alguma aplicação no cotidiano?’.

A02: *Qualquer coisa que vejo uma figura, kksks, tipo cilindro, cone, entre outros.*

A03: Sim.

A04: Aprendi bastante coisa, porém se for pra mim fazer dnv eu esqueço.

A06: Eu aprendi muito sobre as figuras geométricas. Sim, *diariamente eu vejo um objeto e percebo por exemplo que é um paralelepípedo.*

A08: A fazer caneca 3D e gif.

A09: *Ainda não mas vai ter, vou fazer faculdade de tecnologias de informação e agora já tenho uma noção inicial de programação.*

A10: Sim.

A12: Às vezes.

A17: SIM.

Qual sólido você/seu grupo construiu? Quais as características desse sólido?

A02: Prisma.

A03: Corpos redondos.

A04: Pirâmide.

A06: Corpos redondos, esferas, cones de cilindros.

Ficamos com os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação

da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo.

A09: Os corpos redondos, são obtidos pela rotação de formas planas.

A10: *Dodecaedro, é constituído por 12 pentágonos, 30 arestas, 20 vértices e 12 faces pentagonal.*

A12: Pirâmide, figura tridimensional.

A17: Eu construí octaedro e o meu grupo construiu o tetraedro, icosaedro e o cubo.

O que você acha do desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupos?

A02: Bom.

A03: Eu gosto bastante, *pois cada integrante do grupo se ajuda.*

A04: Muito bom, *pois vc fazendo com quem gosta aqui tem mais desempenho.*

A06: Bom e ruim.

A08: É até bom.

A09: Excelente.

A10: Não gosto muito pois temos *ideias diferentes.*

A12: Gostei.

A17: Eu acho bom.

Das respostas do questionário final aplicado à turma, podem-se realizar algumas inferências:

Aprendizado sobre figuras geométricas: Muitos alunos destacam ter ampliado seu conhecimento sobre figuras geométricas, reconhecendo a importância e a complexidade

desses conceitos que antes consideravam simples. Quando perguntados: “Qual sólido você/seu grupo construiu? Quais as características desse sólido?”, dois estudantes mostraram conhecimento sobre as características dos sólidos que construíram, como se pode observar nos trechos: A10: “Dodecaedro, é constituído por 12 pentágonos, 30 arestas, 20 vértices e 12 faces pentagonal” e A06: “Corpos redondos, esferas, cones de cilindros. Ficamos com os corpos redondos, utilizamos o triângulo para fazer o cone, para a fabricação da esfera utilizamos círculos, para fazer o cilindro utilizamos o retângulo”.

Aprendizado prático: Alguns alunos mencionaram ter aprendido a criar canecas 3D, fazer programações no *Tinkercad* e imprimir objetos em 3D, indicando uma aprendizagem prática e aplicável.

Consciência da aplicabilidade no cotidiano: Alguns alunos reconhecem a aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos no curso em situações cotidianas, como identificar figuras geométricas em objetos do dia a dia e utilizar noções de programação em futuros estudos ou carreiras.

Percepção positiva sobre projetos em grupo: A visão positiva inicial sobre o desenvolvimento de projetos e trabalhos em grupo manteve-se, e destacaram benefícios como cooperação, apoio mútuo e melhoria do desempenho. No entanto, alguns alunos reconhecem que podem surgir desafios quando as ideias são divergentes.

Iniciou-se esta seção pelas respostas escritas extraídas dos formulários que os estudantes responderam, para demonstrar que a fabricação digital foi relevante no processo de ensino e aprendizagem de geometria, pois se observou que, no começo do curso, tinham pouco conhecimento da área de geometria. Mas por meio das práticas se engajaram, construíram conhecimentos e desenvolveram habilidades que são importantes como conhecimento formal, bem como fizeram sentido em suas estruturas cognitivas e podem ter aplicação em suas vidas.

Isso já traz evidências de que a combinação entre o *Tinkercad* e a impressora 3D pode ser bem-sucedida no ensino, a depender da abordagem de ensino utilizada.

A primeira impressão 3D das canecas personalizadas foi realizada em colaboração com os estudantes, iniciou durante a aula e demandou em torno de 6 horas para finalizar. Cada caneca demandou um período de impressão, variando entre 5 e 7 horas. No entanto, antes de proceder à impressão, os alunos precisaram salvar o arquivo em formato .STL, utilizar o software *slicer Ultimaker Cura*⁴³ para fatiar o objeto 3D e, somente após esse processo, transferir o arquivo para o cartão de memória da impressora, a fim de possibilitar a impressão.

43 *Cura* é um aplicativo de fatiamento de código aberto para impressoras 3D. Foi criado por David Braam, que mais tarde foi contratado pela *Ultimaker*, uma empresa de fabricação de impressoras 3D, para manter o software. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Na Figura 36 é exposto o resultado das impressões 3D; cada caneca teve características diferentes, como espessura das bordas e diâmetro do cabo.

Figura 36 – Canecas personalizadas impressas em 3D



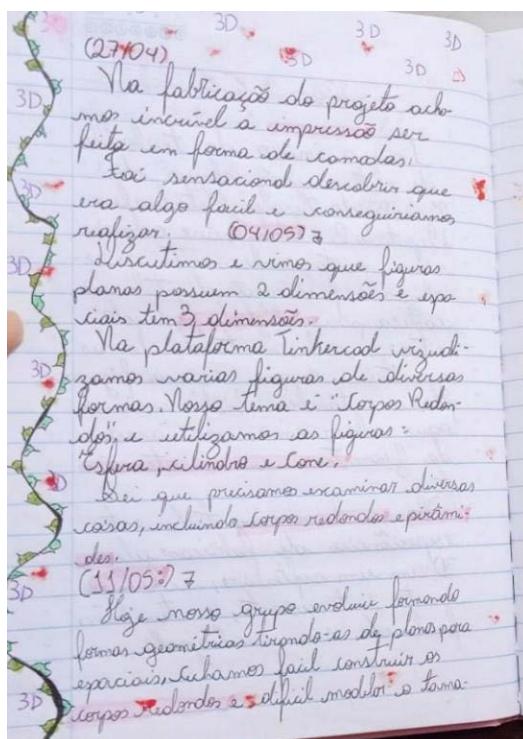
Fonte: Arquivo pessoal (2023).

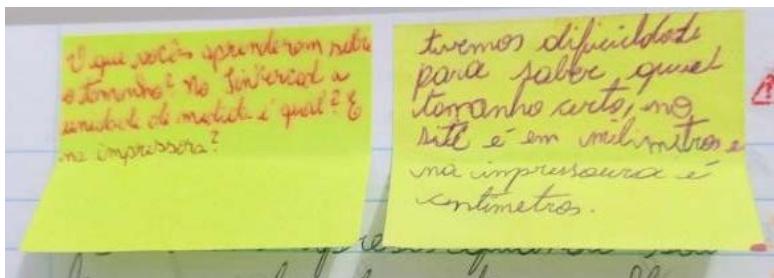
Devido ao longo tempo do processo de impressão, as horas em sala de aula não foram suficientes, tendo que haver um trabalho extraclasse para acompanhamento da impressão.

Além das práticas de modelagem e programação, o processo de impressão 3D também pode desenvolver habilidades, pois, além da importância dos sólidos impressos para que os estudantes discutam suas características, o processo de impressão trabalha com parâmetros que devem ser analisados e calculados.

Outro fator importante de fazer esse processo de fabricação digital é que, ao modelar ou programar um artefato que será impresso em 3D, é necessário, por exemplo, fazer o cálculo do tamanho que terá o objeto no mundo real. Em outras palavras, os estudantes tiveram que fazer a conversão de milímetros (mm) em centímetros (cm), pois o plano de trabalho do *Tinkercad* é em mm e a mesa de impressão e os parâmetros no software fatiador são em cm. No diário de campo do G5, apresentado na Figura 37, é possível ver um relato desse processo:

Figura 37 – Relatório sobre o processo de impressão 3D





Fonte: Diário de campo G5 (2023).

As canecas foram modeladas usando 70 mm no *Tinkercad*, para que, quando impressas, tivessem 7 cm. Para a otimização de materiais, é importante, na modelagem ou na programação, já considerar o tamanho e a espessura dos elementos que compõem o artefato a ser impresso. Outras formas de otimização de materiais podem ser realizadas no software fatiador, utilizando o parâmetro de preenchimento como 20% e ocos. Sendo assim, os poliedros foram impressos ocos e, como os estudantes queriam esses sólidos grandes, foram impressos com 100 mm.

Outro ponto que justifica a importância da integração entre o software de modelagem e a impressora 3D é que, se o artefato for apenas modelado ou programado, dependendo da perspectiva explorada pelo usuário no software, pode parecer que está de uma forma, mas quando é impresso em 3D é possível a visualização física do artefato no mundo real, e assim verificam-se a precisão e a viabilidade do projeto.

Isso permite identificar eventuais erros de concepção ou de modelagem que podem passar despercebidos apenas no

ambiente virtual. Além disso, a integração entre o software de modelagem e a impressora 3D possibilita um ciclo de *feedback* contínuo, em que ajustes e melhorias podem ser feitos com base na análise do protótipo físico.

Dessa forma, a combinação desses dois recursos não apenas facilita o processo de *design* e fabricação, mas também garante a qualidade e a adequação do produto às necessidades e especificações do usuário. Esse processo foi experienciado pelos estudantes, que na roda de conversa relataram que⁴⁴:

A12: A caneca mesmo, principalmente a minha, teve vários erros. Eu tive que vim na hora do recreio para a professora ajudar. Porque, na hora de colocar o nosso nome, o meu nome no caso, ela ficou tipo muito pra cá da caneca. **Tipo, a gente vê assim no site (Tinkercad) e de frente assim que a gente vê, parecia que tava grudado na caneca, né, o nome. Só que aí tava pra fora, aí o nome saiu todo espatifado assim para fora e nem imprimiu direito**. Aí tive que vim na hora do recreio e arrumar, de novo...

A03: Bom, nós falamos da caneca, a minha caneca, eu fiz ela, imprimi, fez a impressão. **Só que aí as letras, eu não colei elas direito, então aí elas caíram**. Estava escrito meu nome... (mostra para todos a caneca com defeito). Aí ela caiu essa letra, essa letra está bem estranha e essa aqui ficou fixada, aquela está meio bamba. Aí eu tive que fazer igual o A12, eu vim no almoço, aí eu fiz ela de novo. Aí agora ela saiu certa, tá ali guardada.

44 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

Além do relato exposto na roda de conversa, no questionário final, quando perguntados: “Teve diferença entre o que fabricou no digital e o que foi impresso 3D? Explique.” – as respostas foram:

A02: **Pra mim foi a mesma coisa, foi uma aprendizagem muito boa.**

A03: Nao.

A04: Acho q nn.

A06: Para mim não.

A08: Sim, no digital nós criamos uma caneca e depois nós imprimimos ela.

A09: **A forma de desenvolvimento foi diferente pq para imprimir tem que programar.**

A10: Acho que não.

A12: Sim, **no digital estava excelente mas quando saiu havia alguns problemas.**

A17: Não.

As respostas dos alunos indicam uma variedade de percepções sobre a diferença entre o artefato digital e o objeto impresso em 3D. Enquanto alguns não perceberam diferenças, outros destacaram a necessidade de ajustes ou encontraram problemas durante o processo de impressão.

Essa análise reforça a importância da integração entre o ambiente virtual de modelagem e a produção física por meio da impressão 3D, evidenciando que ambos os estágios são essenciais para garantir a qualidade e a precisão do produto

final. Bem como cada ambiente oportuniza estratégias de ensino distintas e o desenvolvimento de diferentes habilidades.

Pielsticker, Witzke e Vogler (2021) destacam que diferentes ambientes oferecem oportunidades únicas para o desenvolvimento de habilidades e aprendizados variados. Suas descobertas sugerem que há uma distinção entre as atividades físicas e mentais necessárias para manipular objetos sólidos e imutáveis, em comparação com objetos geométricos virtuais. Além disso, eles observam que a impressão 3D apresenta diferenças em relação às projeções virtuais em *software CAD*. Assim, o uso de um recurso não substitui o outro, mas sim eles se complementam, fornecendo uma abordagem mais abrangente para o ensino de geometria espacial.

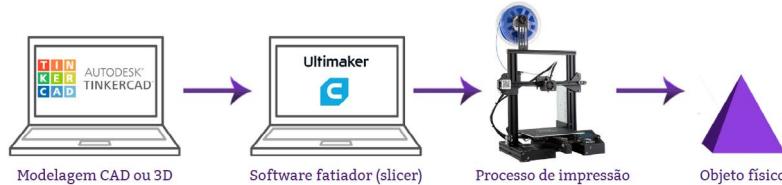
4.3.1 Tensões e compromissos: acesso à impressora 3D, softwares *slicers*, parametrização e tempo de impressão

O acesso à máquina de impressão 3D ainda é um desafio na educação pública. Entretanto, existem órgãos financiadores, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (Fapemat), que abrem editais anuais para financiar projetos na Educação Básica, em que parte da verba é para material de consumo e equipamentos, e outra parte para material permanente, que fica na escola.

Como explicado no capítulo teórico e exposto na Figura 38, para realizar a impressão 3D de um artefato, são necessárias pelo menos três etapas, em que primeiro se modela o artefato

em um *software CAD* ou 3D, depois se envia o arquivo salvo em **.STL**, com artefato para um *software* chamado *slicer* (fatiador) – nesta pesquisa utilizou-se o *software* *slicer Ultimaker Cura*, do qual necessita ser feito *download* –, e somente após fatiado é que o arquivo é salvo novamente **.Gcode** e enviado para o cartão de memória da impressora 3D, para a obtenção do objeto físico. Existem *softwares* *slicers*, como, por exemplo, o *Kiri:moto*⁴⁵, que é totalmente *on-line*, não sendo necessário *download*.

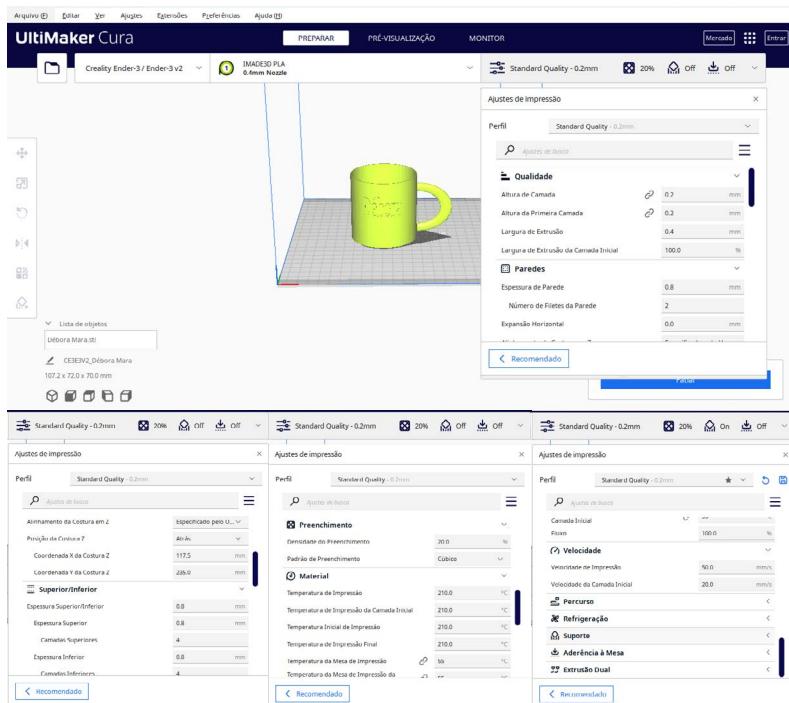
Figura 38 – Etapas da impressão 3D



Fonte: Autoria própria (2023).

No geral, esses *softwares* podem ser utilizados para diferentes tipos de impressoras 3D e têm parâmetros para melhora da impressão do produto, como: qualidade, paredes, superior/inferior, preenchimento, material, velocidade, percurso, refrigeração, suporte, aderência à mesa e extrusão dual. Vejam-se a interface do *Ultimaker Cura* e os parâmetros na Figura 39.

45 Disponível em: <https://grid.space/kiri/>.

Figura 39 – Interface software *slicer Ultimaker Cura*

Fonte: *Ultimaker Cura* (2023)⁴⁶.

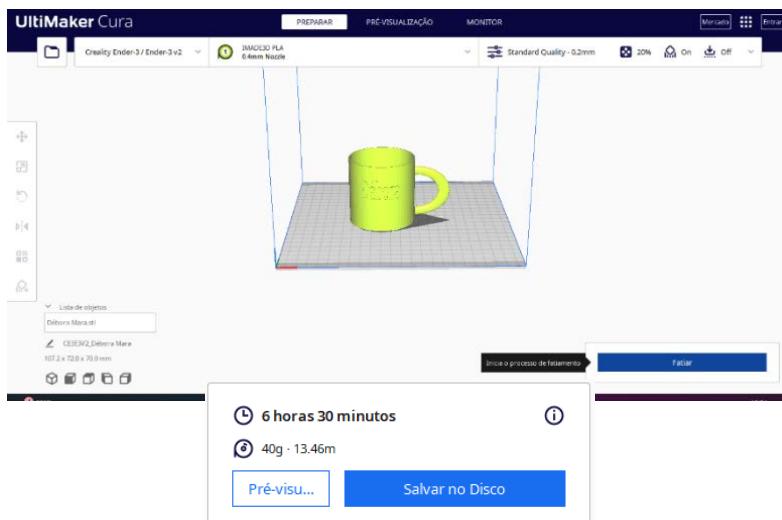
Esses parâmetros são importantes para a impressão de um objeto com otimização de recursos e estrutura sólida, e, como pode ser observado na Figura 39, esses parâmetros são numéricos, o que pode levar à exploração de conceitos matemáticos. Porém, não conseguimos trabalhar com os estudantes do curso Geo3DPrint, pois, além de não ser o foco do curso, o tempo não era suficiente.

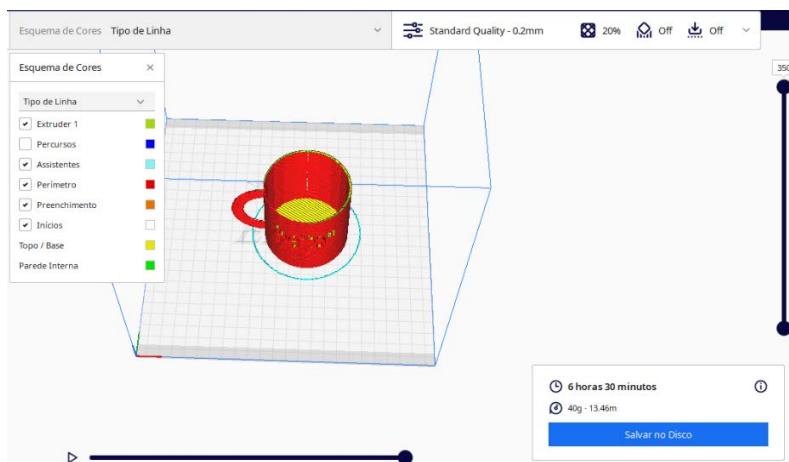
46 Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Por falar em tempo, outro desafio encontrado: o longo período de impressão. Cada caneca levou de 5h30min a 7h para ser impressa. Em uma turma com muitos estudantes, a prática poderia não ser viável. Então, para utilização da impressora 3D, é necessário um planejamento antecipado por parte do professor. Uma sugestão é combinar com cada grupo para que acompanhe a impressão de seus artefatos, o que pode auxiliar o professor nessa prática.

Após definidos os parâmetros no fatiador, é só clicar em (1) “Fatiar”, que o *software* fatia o objeto e determina o tempo de impressão que será necessário; (2) na caixa de diálogo que abre, pode-se escolher “Pré-visualização” ou “Salvar no Disco” – a indicação é que sempre se faça uma pré-visualização. No item 3 da Figura 40, há um exemplo da visualização que o *software* oferece.

Figura 40 – Fatiamento do artefato no *Ultimaker Cura*





Fonte: *Ultimaker Cura* (2023)⁴⁷.

Na opção de pré-visualização exposta na Figura 40, no item 3, é possível mover o controle deslizante direito e inferior, assim já se saberá como a impressão acontecerá. As cores mostram o que é considerado topo/base, preenchimento, inícios, parede interna, perímetro, assistente (suportes), extruder e percursos.

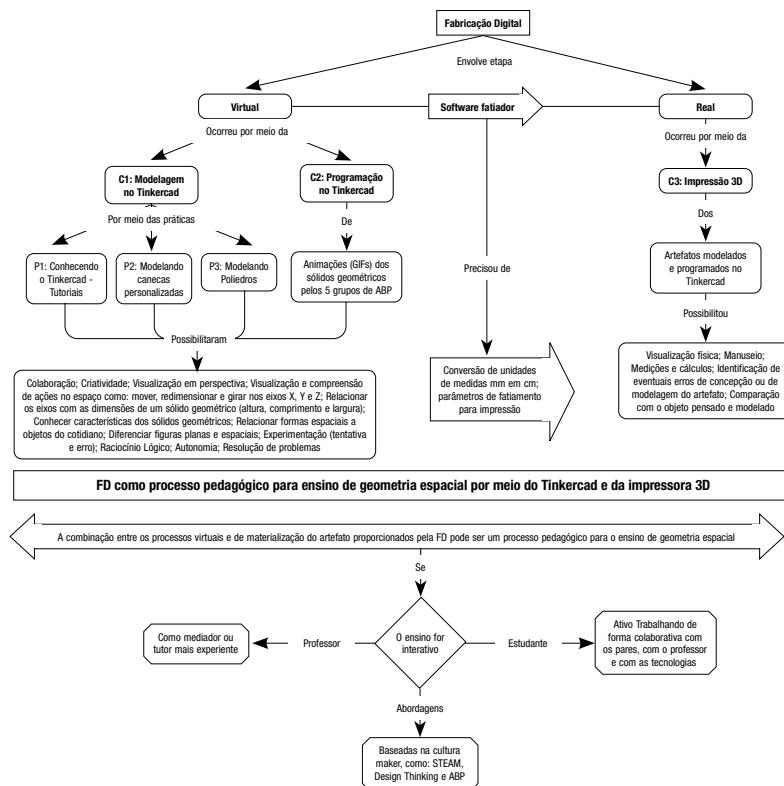
São muitos detalhes, não é mesmo? Mas observe o quanto um processo de fabricação digital de um artefato pode exigir de conhecimento prático de matemática. Então, apesar das dificuldades, uma turma de uma escola pública do interior mostrou que é possível aprender por meio desse processo. Entretanto, as pesquisas ainda são exploratórias, mas merecem atenção.

47 Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

4.4 RELAÇÕES POSSÍVEIS ENTRE AS CATEGORIAS E A EXPLICITAÇÃO DA FABRICAÇÃO DIGITAL COMO PROCESSO PEDAGÓGICO

A partir da análise das três categorias teóricas, foi possível estabelecer algumas relações entre os conceitos principais do processo FD desenvolvido no contexto do curso de extensão com estudantes da 2^a série do ensino médio, os quais podem ser observados na representação esquemática disponível na Figura 41.

Figura 41 – Sistematização das relações entre as categorias e a FD



Fonte: Autoria própria (2024).

A fabricação digital (retângulo azul claro superior), mostrada na Figura 41, envolve duas principais etapas, uma virtual e uma real. Na etapa virtual é criado/modelado o artefato, e para sua materialização é necessária uma etapa intermediária, que é o *software* fatiador, para só então, com uso da impressora 3D, materializá-lo no real.

A etapa virtual no curso de extensão ocorreu por meio da modelagem e da programação no *Tinkercad*. A modelagem – categoria 1 – ocorreu por meio de três práticas: P1 – Conhecendo o *Tinkercad* (tutoriais); P2 – Modelando Canecas Personalizadas; P3 – Modelando Poliedros. A programação – categoria 2 – ocorreu por meio da programação de animações (GIFs) de poliedros, desenvolvidos por cinco grupos de estudantes.

Essa etapa virtual da FD – que se deu por diferentes atividades desenvolvidas – mostrou, como descrito nas categorias, ser possível o desenvolvimento de habilidades relacionadas à geometria e para além disso, como autonomia, colaboração, criatividade, raciocínio lógico e resolução de problemas.

O *software* fatiador, etapa intermediária para a materialização do artefato, necessitou da conversão de unidades de medidas, pois no *Tinkercad* o plano de trabalho é em milímetros e na impressora 3D é em centímetros. Também, para esse elo entre o virtual e o real, é necessário realizar parametrização de algumas variáveis, para se obter uma impressão bem executada pela máquina.



A última etapa ocorreu por meio da impressora 3D – categoria 3 –, que é o real. Neste momento, o artefato modelado ou programado se materializa no mundo real, o que possibilita ações adicionais à etapa anterior, como as de manusear, comparar e identificar eventuais falhas de concepção.

Sendo assim, a combinação entre os processos virtuais e de materialização do artefato proporcionados pela FD pode ser um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial. Mas para isso o ensino precisa ser interativo, o estudante ativo no processo de ensino, trabalhando de forma colaborativa com os pares, com o professor e com as tecnologias. O professor como mediador ou tutor mais experiente e as abordagens de ensino serem embasadas na cultura *maker*, de aprender criando.

Destacamos que todo esse processo pedagógico envolveu desafios e limitações relativas a cada etapa do processo de FD, por isso, em cada categoria, foram descritos tensões e compromissos.

4.5 MANUSCRITO: A FD COMO UM PROCESSO PEDAGÓGICO PARA ENSINO DE GEOMETRIA ESPACIAL POR MEIO DO *TINKERCAD* E DA IMPRESSORA 3D

Ao investigar a viabilidade da FD para o ensino de geometria espacial, utilizando o software *Tinkercad* e a impressora 3D como recursos principais, emergiram dos

dados elementos para vislumbrar a FD como um processo pedagógico que pode contribuir para o ensino de geometria espacial.

Vale ressaltar que, ao se analisar o processo pedagógico, considerou-se este processo como uma articulação envolvendo um complexo sistema de interações comportamentais entre professor e alunos. Inspirados pela obra de Freire (2007), considera-se que: 1. Não há docência sem discância; 2. Ensinar não é transferir conhecimento; 3. Ensinar é uma especificidade humana – com a premissa de que “ensinar inexiste sem aprender e vice-versa” (Freire, 2007, p. 13).

O processo pedagógico pode ser entendido como o desenvolvimento de um conjunto de métodos sob a gestão do professor, que possibilita aos estudantes a construção de conhecimento, mediante combinações de atividades. A orientação correta dessas atividades depende do trabalho do professor quanto ao planejamento e à sistematização, pois, para o desenvolvimento das aulas, “conjuga objetivos, conteúdos, métodos e formas organizativas do ensino” (Libâneo, 2013, p. 164).

Em uma abordagem interativa de ensino, o professor pode assumir, segundo Resnick (2020), os papéis de catalisador, consultor, conector e colaborador. Ou ainda, de acordo com Bacich e Holanda (2020), o professor é um *design* de experiências autênticas de aprendizagem. Desse modo, mesmo que os discentes tenham um papel central no

processo de FD e abordagens de ensino baseadas na cultura *maker*, o papel do professor não é menosprezado, pois é ele que orienta a execução das atividades e aponta caminhos para que os alunos desenvolvam suas habilidades e construam suas aprendizagens.

A orientação dada durante o desenvolvimento do processo de ensino nesse contexto foi determinante, como mostram os relatos dos discentes⁴⁸:

A02: Isso. Só que aí depois foi pegando prática, depois da primeira aula foi de boa. A professora ajudando também.

A12: A caneca mesmo, principalmente a minha, teve vários erros. Eu tive que vim na hora do recreio para a professora ajudar.

São relatos que reforçam a importância do professor no processo de ensino, pois, mesmo com as TD da FD e da ajuda dos pares, o que Resnick (2020) chama de “mentor mais experiente” é necessário.

Durante o desenvolvimento do curso e a amostragem teórica, elucidamos que a FD envolve etapas virtuais e reais, e encontramos evidências de que a combinação entre elas pode contribuir para o ensino de geometria espacial. Entretanto, essa contribuição só acontece se o ensino for interativo, em que o estudante é ativo no processo de aprendizagem, trabalhando colaborativamente com os pares, com o professor e com as tecnologias. O professor como *design* de experiências

48 Os grifos são para destacar a importância do professor no processo.

autênticas ou tutor mais experiente, e as abordagens de ensino embasadas na cultura *maker*, de *aprender criando*.

A etapa virtual ocorreu por meio da modelagem e da programação no software *Tinkercad*. A modelagem, apresentada na categoria 1 (C1), aconteceu por meio de três práticas: P1 – Conhecendo o *Tinkercad* (tutoriais); P2 – Modelando Canecas Personalizadas; P3 – Modelando Poliedros. A categoria 2 (C2) discorre sobre a programação no *Tinkercad*, que se deu por meio da programação em blocos de animações (GIFs) de poliedros, desenvolvidos por cinco grupos de estudantes. Nas duas categorias são descritas as estratégias de ensino utilizadas, como exploração livre, dicas e perguntas quando necessário, e o uso do interesse dos estudantes como forma de engajamento. Estratégias que destacam o professor como catalisador, consultor e *design* de experiências autênticas de aprendizagem.

De acordo com as evidências que apresentamos nas C1 e C2 do capítulo de resultados e discussões, essas práticas que planejamos possibilitaram aos estudantes: colaboração; criatividade; visualização em perspectiva; visualização e compreensão de ações no espaço, como: mover, redimensionar e girar nos eixos x, y e z; relacionar os eixos com as dimensões de um sólido geométrico (altura, comprimento e largura); conhecer características dos sólidos geométricos; relacionar formas espaciais a objetos do cotidiano; diferenciar figuras planas e espaciais; experimentação (tentativa e erro); raciocínio lógico; autonomia; resolução de problemas.

Ao responderem sobre a experiência de programação do GIF na C2, analisamos também que os alunos reconheceram conceitos matemáticos relacionados à programação que executaram, tiveram aplicação prática dos conceitos matemáticos e alguns estudantes mencionaram a testagem de diferentes ângulos e posições para encontrar uma solução para a problemática, o que demonstra uma abordagem baseada na exploração e na experimentação.

Uma etapa intermediária, que acontece também no virtual e é essencial para a materialização do artefato, é o *software* fatiador – utilizamos o *Ultimaker Cura*. É ele que transforma o artefato modelado “sólido” em um artefato em camadas, para posterior impressão 3D. Devido a esse elo entre o virtual e o real, é preciso que, durante a modelagem ou programação, já sejam executados alguns cálculos matemáticos, como a conversão de unidades de medidas. No plano de trabalho do *Tinkercad*, a unidade de medida é milímetros e na mesa de impressão é em centímetros, sendo necessário, portanto, que se saiba quantos milímetros tem o artefato, para ficar com as dimensões reais que se desejam.

Esses *softwares* fatiadores possuem também parâmetros para a regulagem de materiais e tempo da impressão. Entretanto, devido ao tempo do curso, não conseguimos explorar esses parâmetros com os estudantes, mas eles também oferecem uma lacuna para investigação, pois necessitam de conhecimentos matemáticos e até cálculo de função para algumas parametrizações.



Por fim, chegamos à etapa real, que aconteceu por meio da impressão 3D. O processo explicitado na categoria 3 (C3) apresenta o processo final, em que os artefatos modelados e programados são impressos em 3D. Etapa que, segundo as evidências apresentadas, possibilita: a visualização física; o manuseio dos artefatos produzidos; medições e cálculos; a identificação de eventuais erros de concepção ou de modelagem do artefato; a comparação com o objeto pensado e modelado.

Ao analisarmos o questionário final respondido pelos estudantes, interpretamos que a FD como processo pedagógico permitiu o aprendizado sobre figuras geométricas, o aprendizado prático, a consciência da aplicabilidade no cotidiano e a percepção positiva sobre projetos em grupo.

Sendo assim, o processo de FD apresentou potencialidades para o ensino não somente de geometria, mas de outros conceitos matemáticos, não matemáticos e atitudinais. Todavia, apresentou também a necessidade de colocarmos em cada categoria as tensões e compromissos que devem ser assumidos por alguns atores do processo pedagógico, para superação de possíveis desafios ou limitações.

Logo, os processos de FD não são isentos de desafios e dificuldades, mas a estratégia de ensino utilizada possibilitou que isso fosse explorado. Nos textos extraídos de diários de campos dos estudantes e da professora, bem como da transcrição da roda de conversa, podemos identificar algumas



dificuldades que os próprios estudantes relataram ao refletirem sobre o curso⁴⁹:

Texto extraído do diário de campo grupo 5 - Tivemos **dificuldade** para saber qual o tamanho certo, no site é em milímetros e na impressora é em centímetros.

Quiz no kahoot módulo 2 do curso Geo3Dprint - Os estudantes apresentaram **dificuldades** conceituais quanto a sólidos geométricos e identificar se são planos ou espaciais. A pergunta 'O triângulo é uma figura plana (bidimensional)' teve 100% de erro, todos colocaram como sendo uma afirmação falsa. A mesma coisa aconteceu com a questão 'O cilindro é uma figura tridimensional'. Apenas 23% acertaram o significado das letras L, C e A usadas no *Tinkercad*. Apenas 31% colocaram que o quadrado é uma figura bidimensional.

Extraído da transcrição da roda de conversa - A16: Essas são as Pirâmides Triangular (entrega os sólidos impressos 3D para os colegas). Nós tivemos muita **dificuldade** de fazer. Tivemos começar fazer de novo do começo. Eu achei muito difícil por conta que (inaudível) lá no quadrilátero, eu achei muito difícil. Na hora que teve que começar fazer de novo, 'Nossa Senhora', quase desisti na hora. Mas, enfim, né, foi bom fazer, gostei.

A12: É, pra gente é uma nova experiência, né, porque eu só via esses negócios de impressão 3D no *YouTube*. Eu nunca tinha visto pessoalmente. Mas depois que eu vi, achei legal.

A12: **Deixamos plano, a base.**

Coordenadora: Aí, quando vocês falaram que tiveram dificuldade, vocês tentaram a primeira vez e o que não deu certo?

49 Os grifos nos enunciados são importantes para as análises dos dados da pesquisa.

A12: Aqueles triângulos lá. Os lados. A gente tava colocando os números, aí, tipo assim, eles viravam de ponta-cabeça, virava do lado e aí a gente teve muita dificuldade.

A03: Bom, nós falamos da caneca, a minha caneca, eu fiz ela, imprimi, fez a impressão. **Só que aí as letras, eu não colei elas direito, então aí elas caíram.** Estava escrito (nome)... mostra para todos a caneca com defeito. Aí ela caiu essa letra, essa letra está bem estranha e essa aqui ficou fixada, aquela está meio bamba. Aí eu tive que fazer igual o A12, eu vim no almoço, aí eu fiz ela de novo. Aí agora ela saiu certa, tá ali guardada. Aí a nossa **maior dificuldade**, ou pelo menos a minha, **foi arranjar o tamanho. O tamanho certo das formas geométricas**. Porque, tipo assim, no cone, esse aqui (pega o sólido na mão para mostrar) a **gente teve que pegar o quadrado, cortar ao meio** e aí, para fazer ele girar 360 graus para conseguir virar o cone. Só que aí a base ficava muito grande ou muito pequena e o triângulo ficava grande, pequeno, não ficava do mesmo tamanho. **Aí a gente teve que fazer, fazer, fazer para ficar do mesmo tamanho.** Até que a gente diminuiu um pouco a base e aumentou um pouco o triângulo, para ele ficar girando. Aí depois a gente **descobriu também os graus** e aí conseguiu fazer certinho. Aqui.

Analisamos, assim, que a FD como processo pedagógico permitiu aos estudantes identificarem o que sabiam ou não sabiam, e as dificuldades que eles expõem são ligadas à matemática. Tiveram dificuldade em converter mm em cm, foram orientados a pesquisar e executar o cálculo. Perguntamos a eles: “Se a nossa caneca terá 7 cm de altura, quantos mm devemos colocar a altura dela no *Tinkercad*?”.

No relato de A16 e A12, que fizeram parte do mesmo grupo, pudemos, por meio de seus relatos, identificar que a dificuldade foi relacionada à rotação das figuras nos eixos. E, no relato de A03, podemos dizer que a dificuldade foi de associar o lado do triângulo com o raio da circunferência da base do cone.

Sendo assim, entendemos que a combinação entre os processos virtuais e de materialização do artefato proporcionados pela FD não é isenta de desafios, mas pode ser um processo pedagógico para o ensino de geometria espacial. Desde que o ensino seja interativo, e para isso se utilize de abordagens de ensino baseadas na cultura *maker*, como STEAM, ABP e *Design Thinking*. Que se estimulem a autonomia, a criatividade e a criação a partir do interesse dos estudantes. E que os professores criem ambientes que oportunizem a construção do conhecimento e a aprendizagem colaborativa com os pares, com os próprios professores e com as tecnologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista algumas problemáticas no ensino de geometria, entre elas, a necessidade de uma abordagem que auxilie o estudante a identificar diferenças entre formas planas (bidimensional) e espaciais (tridimensional), propusemos inicialmente uma pesquisa sobre a integração entre o *software* de modelagem 3D *Tinkercad* e a impressora 3D.

Ao realizarmos a pesquisa bibliográfica, descobrimos que essa integração entre um *software* de modelagem e a impressora 3D já existia na literatura e recebia a denominação de fabricação digital. Assim, debruçamo-nos a entender o processo de FD e buscamos, com esta dissertação, responder: Como a fabricação digital pode contribuir com o ensino de geometria espacial por meio do *software* *Tinkercad* e da impressora 3D?

Com o objetivo de desenvolver uma teoria substantiva emergente da interpretação dos dados, sobre como a Fabricação Digital, por meio do uso do *software* *Tinkercad* e da impressão 3D, contribui para o ensino de Geometria Espacial em uma turma do ensino médio. Utilizamos o método de análise de pesquisa a Teoria Fundamentada nos Dados (TFD) e chegamos a uma teoria substantiva/interpretativa que oferece elementos para vislumbrar a FD como um processo

pedagógico que pode contribuir para o ensino de geometria espacial, por meio do uso do *Tinkercad* e da impressão 3D.

Ao longo do estudo, identificamos que a combinação entre os processos virtuais e reais da FD possibilitou o desenvolvimento de habilidades associadas à geometria espacial, como: visualização em perspectiva; visualização e compreensão de ações no espaço, como mover, redimensionar e girar nos eixos x, y e z; relacionar os eixos com as dimensões de um sólido geométrico (altura, comprimento e largura); conhecer características dos sólidos geométricos; relacionar formas espaciais a objetos do cotidiano; diferenciar figuras planas e espaciais; visualização física; manuseio do artefato; medições e cálculos; identificação de eventuais erros de concepção ou de modelagem do artefato e comparação entre o objeto pensado e o modelado.

Também habilidades relacionadas a outras áreas da matemática, como conversão de unidades de medidas e parâmetros de fatiamento para impressão. E ainda habilidades para além da matemática, como: criatividade, autonomia, resolução de problemas, raciocínio lógico, comunicação dos resultados, colaboração e experimentação. Ao analisarmos o questionário final respondido pelos estudantes, interpretamos que a FD como processo pedagógico permitiu o aprendizado sobre figuras geométricas, o aprendizado prático, a consciência da aplicabilidade no cotidiano e a percepção positiva sobre projetos em grupo.

Entretanto, essas habilidades identificadas nos textos extraídos dos diários de campo dos estudantes e de suas reflexões na roda de conversa não foram possíveis somente com o uso das TD da FD, mas sim ao se trabalhar uma abordagem de ensino interativo, baseada em abordagens educacionais centradas no aluno e na cultura *maker*, de aprender criando. Seguimos os passos da Aprendizagem Baseadas em Projetos (ABP), apresentados por Bender (2014). E interpretamos que, ao criar ambientes que promovam a autonomia, a criatividade e a colaboração, os professores podem facilitar a construção do conhecimento e estimular o engajamento dos alunos com as TD.

Além disso, nossa investigação enfatizou a importância do papel do professor em sala de aula, mesmo com a aprendizagem por pares ou com as TD. E o professor recebe novos papéis, como de catalisador, consultor, conector e colaborador, como descrito por Resnick (2020), ou ainda, de acordo com Bacich e Holanda (2020), como um *design* de experiências autênticas de aprendizagem. Assim, inspirados pelas obras de Freire (2007) e Resnick (2020), reconhecemos que o ensino não se resume à mera transferência de conhecimento, mas sim a um processo dinâmico de interação entre professores e alunos, onde ambos desempenham papéis ativos e colaborativos, que podem ser ampliados para o quarteto professores-alunos-tecnologia-conhecimento.

Dessa forma, nosso estudo pode contribuir com os professores, ao trazer a descrição de como aconteceu o curso,

podendo ser uma prática educativa adaptável e replicável para outros contextos educacionais. Contribui também com o meio acadêmico, ao trazer uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com os dados analisados por meio da metassíntese de estudos nacionais e internacionais, que elucidam práticas e investigações exploratórias sobre o *Tinkercad* e sobre a impressora 3D, bem como a integração entre essas duas tecnologias no ensino.

Adicionalmente, o estudo traz uma inovação quanto ao método de análise de pesquisa utilizado e sobre a temática da FD, que é um tema recente na literatura. Para além da RSL e conceituação de termos associados à FD, realizamos um curso de extensão com estudantes da Educação Básica, do qual apresentamos e discutimos os resultados, chegando a uma teoria interpretativa sobre o uso da FD como processo pedagógico que contribui para o ensino de geometria, por meio do uso do *Tinkercad* e da impressora 3D. Assim, a contribuição se estende também à área de geometria, pois propomos estratégias para seu ensino e explicitamos a FD como um processo pedagógico para seu ensino.

O nosso estudo teve limitações, pois, por exemplo, não conseguimos explorar os parâmetros do software fatiador com os estudantes. Bem como ansiávamos por desenvolver com os estudantes um projeto mais amplo, em que eles utilizassem os processos de FD para projetos STEAM, que apresentassem soluções de acessibilidade arquitetônica na escola, mas não foi possível devido à ruptura total com a forma de ensino com

que são acostumados, além do tempo e falta de recursos que possibilitessem a automatização de algo que fosse proposto.

Também vemos como uma limitação a não discussão da avaliação no processo pedagógico, uma vez que a avaliação em abordagens de ensino baseadas na cultura *maker* não é como a tradicional, em que se utiliza como instrumento apenas a prova escrita. Mas na ABP apresentamos uma rubrica que criamos com os estudantes e pode ser utilizada como base. E a roda de conversa e o questionário com perguntas abertas podem ser formas de avaliação, ao permitirem a reflexão sobre o processo, em que o estudante identifica facilidades, dificuldades, o que sabia, o que não sabia e o que descobriu durante o processo de ensino.

No decorrer do estudo, foi possível identificar lacunas que podem gerar novos estudos, como o uso dos processos de FD para o desenvolvimento de projetos STEAM ou com abordagem de *Design Thinking*, que tem tudo a ver com esse processo de criação e modelagem. Bem como estudo dos parâmetros presentes nos softwares fatiadores, pois apresentam relações matemáticas. Os processos de FD também podem ser utilizados em outros contextos, níveis de ensino e para o ensino de outros objetos de conhecimento, matemáticos ou não.

O processo de FD também tem desafios, como o acesso e a integração das TD no processo de ensino, e o acesso a espaços equipados para sua execução. Mas, no estado de

Mato Grosso, temos o movimento do Programa EducAção – 10 anos, que tem como um dos pilares tecnologia e educação, e podemos contar também com a Fapemat, para o financiamento de projetos que tragam materiais e equipamentos permanentes para a escola.

Certamente, o percurso desta pesquisa, desde a concepção inicial até a formulação de uma teoria substantiva sobre a fabricação digital como processo pedagógico para o ensino de geometria espacial, representa uma jornada de aprendizado e descoberta. Inicialmente, ao pleitear uma vaga de mestrado, o termo FD era desconhecido, mas, ao longo de dois anos de intensa pesquisa, esse desconhecimento se transformou em um entendimento e construção de uma teoria interpretativa da prática educativa.

O processo envolveu diversas etapas, desde a pesquisa bibliográfica e a revisão da literatura até a elaboração e realização de um curso de extensão e a análise dos dados coletados. A aplicação da TFD permitiu a construção de uma teoria substantiva, fundamentada nas experiências e percepções dos participantes do estudo.

Ao teorizar a FD como um processo pedagógico, capaz de enriquecer o ensino de geometria espacial, o estudo revela não apenas a complexidade e os desafios envolvidos, mas também o orgulho e a satisfação decorrentes de chegar à finalização. É um testemunho do comprometimento, da dedicação e da paixão pela pesquisa e pelo ensino, refletindo o potencial transformador da educação e da inovação pedagógica.



REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge:** a cognitive view. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- ANDERSON, C. **A nova revolução industrial: makers.** Tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ANTUNES, R.; PINTO, G. A. **A fábrica da educação:** da especialização taylorista à flexibilização toyotista. São Paulo: Cortez, 2017.
- ARAÚJO, J. de L.; BORBA, M. de C. Construindo pesquisas coletivamente em Educação Matemática. In: FIORENTINI, Dario et al. (org.). **Pesquisa qualitativa em educação matemática.** 6. ed. 1. reimp. Belo Horizonte: Autêntica, 2020. p. 25-45.
- ARUSIEVICZ, F.; PERES, A.; BERTAGNOLLI, S. de C. Espaço maker educacional e a gestão escolar. **#Tear:** Revista de Educação, Ciência e Tecnologia, Canoas, v. 11, n. 2, p. 1-17, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/6274> . Acesso em: 4 ago. 2023.
- ASSUNÇÃO, C. M. Movimento maker na escola. In: COSTA, A. C.G. da et al. (org.). **O futuro alcançou a escola:** o aluno digital, a BNCC e o uso de metodologias ativas de aprendizagem. São Paulo: Editora Brasil, 2019. p. 61-69.
- BACICH, L.; HOLANDA, L. **STEAM em sala de aula:** a aprendizagem baseada em projeto integrando conhecimentos na educação básica. Porto Alegre: Penso, 2020.

BANDEIRA, L. M. de S. A. *et al.* Instrumento de avaliação do software educacional Tinkercad: uma visão fundamentada na BNCC. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA*, 25., 2019, Brasília, DF. **Anais eletrônicos** [...]. Brasília, DF: SBC, 2019. p. 1324-1328. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/13310/13163>. Acesso em: 4 abr. 2022.

BARBOZA, L. R.; SABBA, C. G. **O estudo da matemática com o uso da impressora 3D na educação básica no Estado de São Paulo**. [S.l.: s.n.], [2023?].

BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos**: educação diferenciada para o século XXI. Tradução de Fernando de Siqueira Rodrigues. Revisão técnica de Maria da Graça Souza Horn. Porto Alegre: Penso, 2014.

BHADURI, S. *et al.* 3DnST: A framework towards understanding children's interaction with Tinkercad and Enhancing spatial thinking skills. *In: INTER-ACTION DESIGN AND CHILDREN (IDC '21)*, 24 a 30 jun. 2021, Athens. **Proceedings** [...]. New York: Association for Computing Machinery, 2021. p. 257-267. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3459990.3460717>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BLIKSTEIN, P. Digital fabrication and 'making' in education: the democratization of invention. *In: WALTER-HERRMANN, J. ; BÜCHING, C. (ed.). FabLabs: of machines, makers and inventors*. Bielefeld: Transcript, 2013. p.1-21.

BLIKSTEIN, P.; MARTINEZ, S. L. PANG, H. A. **Meaningful making**: projects and inspirations for FabLabs and makerspaces. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: MEC, 2017. Disponível em: <https://portal>.

mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/base-nacional-comum-curricular-bncc. Acesso em: 2 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 2 jan. 2023.

BRASIL. **Lei n. 9394 de 20 dezembro de 1996**. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Presidência da República, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 5 jan. 2023.

BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, v. 80, n. 4, p. 571-583, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016412120600197X?via%3Dihub> . Acesso em: 21 maio 2023.

BUDINSKI, N.; LAVICZA, Z.; HOUGHTON, T. Opportunities for 3D printing in hybrid education. **Open Education Studies**, v. 4, n. 1, p. 339-344, 2022. Disponível em: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/edu-2022-0175/html> . Acesso em: 8 nov. 2023.

CADENA-BLANCO, F.; ARIAS-RUEDA, M. J.; ARIAS-RUEDA, J. Geometría y emprendimiento con Tinkercad desde el enfoque de la educación STEAM. **Encuentro Educacional**, v.29, n. 2, p. 453-468, jul./dic. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366867002_Geometria_y_emprendimiento_con_Tinkercad_desde_el_enfoque_de_la_educacion_STEAM. Acesso em: 24 fev. 2023.

CHARMAZ, K. **A construção da teoria fundamentada**: um guia prático para análise qualitativa. Tradução de Joice Elias Costa. Porto

Alegre: Artmed, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://doceru.com/doc/1e088ns>. Acesso em: 14 out. 2022.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa**: escolhendo entre cinco abordagens. Tradução de Sandra Mallmann da Rosa. Revisão técnica de Dirceu da Silva. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

D'AMBROSIO, U. Tendências e perspectivas historiográficas e novos desafios na história da matemática e na educação matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 336-347, 2012. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emp/article/view/12769>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DILLING, F.; VOGLER, A. Fostering spatial ability through computer-aided design: a case study. **Digital Experiences in Mathematics Education**, v. 7, n. 2, p. 323-336, 2021. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1299844>. Acesso em: 20 out. 2022.

DOS SANTOS, J. L.; SGANZERLA, M. A. R. Impressora 3D de baixo custo para auxiliar cegos e/ou baixa visão na construção de sólidos geométricos: projeto mark. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, Canoas, n. 16, p. 88-107, 2018. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/ic/article/view/4691>. Acesso em: 15 set. 2022.

EYCHENNE, F.; NEVES, H. **Fab Lab**: a vanguarda da nova revolução industrial. São Paulo: Fab Lab Brasil, 2013.

FABFOUDATION. Projetar/fabricar/compartilhar. **Fab Labs**. 2022. Disponível em: <https://fabfoundation.org/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

FABRICAR. In: CUNHA, Antônio Geraldo da (org.). **Dicionário etimológico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Lexikon, 2012. p. 283.

FELIZARDO, C. R. et al. **Revisão sistemática da literatura em engenharia de software**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FINKEL, D. Dar clase con la boca cerrada. **E-pública: Revista Electrónica Sobre La Enseñanza de La Economía Pública**, n.6. p. 49-60, 2008. Disponível em: <https://e-publica.unizar.es/wp-content/uploads/2015/09/64RUIZ.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2023.

FIORENTINI, D. Investigação em Educação Matemática desde a perspectiva acadêmica e profissional: desafios e possibilidades de aproximação. **Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática**, San José, p. 61-82, 2013. Disponível em: <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/cifem/article/view/14711>. Acesso em: 24 mar. 2023.

FONSECA, M. da C. F. R. et al. **O ensino de geometria na escola fundamental**: três questões para a formação do professor dos ciclos iniciais. Belo Horizonte: Autêntica, 2001.

FREITAS, R. de et al. **InCircle**: uma versão planar do jogo da Torre de Hanoi na aprendizagem de conceitos matemático-computacionais. In: SBC – PROCEEDINGS OF SBGAMES 2019 - EDUCATION TRACK – SHORT PAPERS, 28 a 31 out. 2019, Rio de Janeiro. **Proceedings** [...]. Rio de Janeiro: SBC, 2019. p. 1168-1171. Disponível em: <https://www.sbgames.org/sbgames2019/files/papers/EducacaoShort/198327.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FREIRE, Paulo. **Educação e mudança**. São Paulo: Paz e Terra, 2007.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 1974.

GERSHENFELD, N. How to make almost anything: the digital fabrication revolution. **Foreign Affairs**, v. 91, n. 6, p. 43–57, 2012. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41720933>. Acesso em: 5 ago. 2023.

GERSHENFELD, N. et al. **Designing reality**: how to survive and thrive in the third digital revolution. New York: Basic Books, 2017.

GERSHENFELD, H. K.; PHILIBERT, R. A.; BOEHM, G. W. Looking forward in geriatric anxiety and depression: implications of basic science for the future. **The American Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 13, n. 12, p. 1027-1040, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16319295>. Acesso em: 17 set. 2022.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Berlim: Springer, 2014.

GONZÁLEZ YANES, B. et al. **Estudio de la geometría tridimensional mediante software de modelado 3D**. 2021. Dissertação (Mestrado em Formação de Professor) – Máster em Formación del Profesorado de Educación Secundaria y Bachillerato, Formación Profisional y Enseñanza de Idiomas, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 2021. Disponível em: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/22976>. Acesso em: 27 jul. 2023.

HEDLER, L. W. M. **Desenvolvimento do pensamento geométrico espacial geogebra, impressora 3D e abstração reflexionante**: processo de abstração reflexionante. 2020. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/219414> . Acesso em: 28 jul. 2023.

HUANG, C-Y.; WANG, J. C. Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: developing and evaluating an elementary school design-oriented model course. **Computers & Education**, v. 187, p. 104553, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131522001245?via%3Dihub>. Acesso em: 5 ago. 2023.

IGOE, T.; MOTA, C. A strategist's guide to digital fabrication. **Strategy+Business**, n. 64, 2011. Disponível em: <https://www.strategy-business.com/article/11307>. Acesso em: 16 set. 2022.

ISAACSON, W. **Os inovadores**: uma biografia da revolução digital. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 2014.

JUCÁ, D. de L. O. **O uso da prototipagem e fabricação digital no ambiente Fab Lab**. 2016. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/142793>. Acesso em: 26 out. 2022.

JUNG, Y. C.; LEE, K. T. A STEAM experience activity task: making and experiencing goods for the disabled with physical computing tools and 3D printing technology. **Brain, Digital, & Learning**, v. 12, n. 4, p. 675-692, 2022. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artId=ART002923675>. Acesso em: 18 maio 2023.

KADEEVA, O. E. *et al.* Creation of the simplest 3D models for additional education. **Revista Turismo Estudos e Práticas**, Natal, n. 4, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/680>. Acesso em: 18 maio 2023.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**: version 2.3. Durham: Keele; Staffs, 2007.

KITCHENHAM, B. *et al.* Systematic literature reviews in software engineering: a systematic literature review. **Information and Software Technology**, v. 51, p. 7-15. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950584908001390?via%3Dihub>. Acesso em: 24 abr. 2022.

KNILL, O; SLAVKOVSKY, E. A. **Thinking like archimedes with a 3D printer**. Cambridge: Harvard University, 2013.

KOSTAKIS, V.; NIAROS, V.; GIOTITSAS, C. Open source 3D printing as a means of learning: an educational experiment in two high schools in Greece. **Telematics and Informatics**, v. 32, p. 118-128, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736585314000343?via%3Dihub>. Acesso em: 27 abr. 2023.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 2, n. 6, p. 239-242, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 19 maio 2022.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 2013.

LIEBAN, D.; LAVICZA, Z. Dissecando um cubo como estratégia de ensino para aprimorar o raciocínio espacial dos alunos: combinando recursos físicos e digitais. *In: BRIDGES 2019: MATEMÁTICA, ARTE, MÚSICA, ARQUITETURA, EDUCAÇÃO, CULTURA*, 2019, Phoenix. **Proceedings** [...]. Phoenix: Tessellations, 2019, p. 319-326. Disponível em: <https://archive.bridgesmathart.org/2019/bridges2019-319.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 27 ago. 2023.

LIMA, P. F.; PITOMBEIRA, J. B. P. F. de C. Geometria. In: BRASIL. Ministério da Educação. **Matemática**: Ensino Fundamental. Brasília, DF: MEC, 2010. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~toscano/disc/2018/GeometriaPitombeiraFigueiredo.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.

LOPES, A. L. M.; FRACOLLI, L. A. Revisão sistemática de literatura e metassíntese qualitativa: considerações sobre sua aplicação na pesquisa em enfermagem. **Texto & Contexto-Enfermagem**, Florianópolis, v. 17, p. 771-778, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400020>. Acesso em: 17 jul. 2022.

LORENZATO, S. Por que não ensinar geometria? **Educação Matemática em Revista**, Brasília, DF, v. 4, p. 3-13, jan./jun. 1995. Disponível em: <https://www.sbmbrasil.org.br/periodicos/index.php/emr/article/view/1311> . Acesso em: 24 ago. 2022.

MANGIONE, G. R. J.; GARZIA, M.; ESPOSITO, A. Verso un curricolo maker 5-8 k. principi e applicazioni per lo sviluppo della competenza geometrica tramite 3D printing. **Qwerty-Open and Interdisciplinary Journal of Technology, Culture and Education**, v. 14, n. 1, p. 93-115, 2019. Disponível em: <https://www.ckbg.org/qwerty/index.php/qwerty/article/view/297>. Acesso em: 24 maio 2023.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. Atualização de João Bosco Medeiros. 8. ed. Barueri: Atlas, 2022.

MARQUES, G. Q. **Aprendizagem baseada em problemas na formação inicial de professores de ciências**: uma análise a partir da Teoria Fundamentada nos Dados. 2022. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6087>. Acesso em: 29 set. 2022.

MOLINA, C. D.; GONZÁLEZ, J. R. Uso de las impresoras 3D para la enseñanza de la geometría de los sólidos siguiendo el modelo de Van Hiele. CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 8., Bogotá. **Actas** [...]. Bogotá: Universidad de los Andes, 2018, p. 300-308. Disponível em: <https://funes.uniandes.edu.co/funes-documentos/uso-de-las-impresoras-3d-para-la-ensenanza-de-la-geometria-de-los-solidos-siguiendo-el-modelo-de-van-hiele/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem significativa**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

NIKOLAUS, K. **Self-organizing factories**. SIEMENS: pictures of the future. 1 out. 2014. Disponível em: <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-thefuture/industry-and-automation/digitial-factorytrends-industry-4-0.html>. Acesso em: 10 nov. 2022.

NOLLA, Á. *et al.* Impresión 3D como un recurso para desarrollar el potencial matemático. **Contextos Educativos**: Revista de Educación, La Rioja, n. 28, p. 87-102, 2021. Disponível em: <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/contextos/article/view/4999>. Acesso em: 25 jun. 2023.

PAIO, A. Desafios digitais na educação do século XXI: a fabricação digital como recurso didático. **Boletim da Aproged**, Porto, n. 35, p. 15-26, dez. 2021. Disponível em: <https://aproged.net/wp-content/uploads/2022/01/boletim-35.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2023.

PAVANELLO, R. M. O abandono do ensino da geometria no Brasil: causas e consequências. **Zetetiké**: Revista de Educação Matemática, v. 1, n.1, p. 7-18, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/zet.v1i1.8646822>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PIELSTICKER, F.; WITZKE, I.; VOGLER, A. Edge models with the CAD software: creating a new context for mathematics in elementary

school. **Digital Experiences in Mathematics Education**, v. 7, p. 339-360, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40751-021-00092-w>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PIMENTA, S. G.; LIMA, M. S. L. **Estágio e docência**. São Paulo: Cortez, 2004.

PRIGOL, E. L.; BEHRENS, M. A. Teoria fundamentada: metodologia aplicada na pesquisa em educação. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, v. 44, n. 3, e84611, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-623684611>. Acesso em: 25 set. 2023.

RAABE, A.; GOMES, E. B. Maker: uma nova abordagem para tecnologia na educação. **Revista Tecnologias na Educação**, ano 10, v. 26, p. 6-20, 2018. Edição Temática VIII – III Congresso sobre Tecnologias na Educação (Ctrl+E 2018). Disponível em: <http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2018/09/Art1-vol.26-EdicaoTematicaVIII-Setembro2018.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022.

REICHENBERGER, S. et al. 3D printing to address solids of revolution at school. **Bridges**, p. 493-496, 2019. Disponível em: <https://archive.bridgesmathart.org/2019/bridges2019-493.pdf>. Acesso em: 23 maio 2023.

RESNICK, M. **Jardim de infância para a vida toda**: por uma aprendizagem criativa, mão na massa e relevante para todos. Tradução de Mariana Casetto Cruz, Lívia Rulli Sobral. Revisão técnica Carolina Rodeghiero, Leo Burd. Porto Alegre: Penso, 2020.

ROGENSKI, M. L. C.; PEDROSO, S. M. D. O Ensino da Geometria na Educação Básica: realidade e possibilidades. **Cadernos PDE**, Ponta Grossa, v. 1, p. 1-18, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.educacao.pr.gov.br/pages/view.php?ref=22569&search=%21related22578>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ROSA, B. F. da. (RE)pensar a fabricação digital: uma análise das produções científicas sobre fabricação digital. 2019. Dissertação (Mestrado em Informática na Educação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: http://atom.poa.ifrs.edu.br/index.php/re-pensar-a-fabricacao-digital-uma-analise-das-producoes-cientificas-sobre-fabricacao-digital*/. Acesso em: 26 dez. 2022.

SANTOS, J. L. G. dos *et al.* Análise de dados: comparação entre as diferentes perspectivas metodológicas da Teoria Fundamentada nos Dados. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, e03303, p. 1-8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017021803303>. Acesso em: 29 jun. 2023.

SANTOS, R. S. **O processo de impressão 3D como ferramenta mediadora no ensino e aprendizagem de geometria espacial na Educação Básica**. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) – Instituto Federal do Piauí, Floriano, 2021. Disponível em: https://sca.profmat-sbm.org.br/profmat_tcc.php?id1=6894&id2=171055128. Acesso em: 8 set. 2023.

SEELY, J. C. K. **Digital fabrication in the architectural design process**. 2004. 77f. Thesis (Master of Science in Architecture Studies) - Departament of Architecture, Massachutts Institute of Technology, Massachutts, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/4393909.pdf>. Acesso em: 8 set. 2023.

SILVA, R. B. e; MERKLE, L. E. Perspectivas educacionais FabLearn: conceitos e práticas *maker* no Brasil. In: FABLEARN BRAZIL CONFERENCE, 2016, São Paulo. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/28491291/Perspectivas_educacionais_FabLearn_conceitos_e_pr%C3%A1ticas_maker_no_Brasil. Acesso em: 11 nov. 2022.

- SOUZA, V. S. de. **O homo faber segundo Hannah Arendt.** 2013. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: https://www.posfil.unb.br/images/Artigos/trabalhos/2013_mestrado_vinicius_souza.pdf. Acesso em: 26 jun. 2022.
- STOICA, A. Using math projects in teaching and learning. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 180, p. 702-708, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281501527X?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- TINKERCAD. [Software]. Autodesk. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 5 out. 2023.
- VORÁČOVÁ, Š. **Learning congruence through ornaments and tiling.** 2021. Disponível em: <https://atcm.mathandtech.org/EP2021/regular/21907.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.
- WISHBOX. **Manufatura aditiva:** entenda o que é e como ela funciona. Wishbox, 2015. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/o-que-e-manufatura-aditiva/>. Acesso em: 1 out. 2022.

SOBRE A AUTORA



Marcela Madanês Chavier

Professora de Matemática e Robótica na Escola Exponencial, no município de Nova Mutum/MT. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), na linha de pesquisa Tecnologias Digitais no Ensino de Ciências e Matemática.

Em 2024, obteve o título de mestre na mesma área em que cursa o doutorado, com pesquisa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Posteriormente, no mesmo ano, atuou em projetos e cursos de extensão na Unemat como bolsista profissional. É especialista em Matemática Financeira e Estatística (PROMINAS) e licenciada em Matemática pela Unemat. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação à docência.

Atuou na SEDUC-MT como professora de Matemática e orientadora nas áreas de Ciências da Natureza e Matemática.

Apixonada por educação e inovação tecnológica seus interesses de pesquisa incluem formação de professores, metodologias de ensino, ensino e aprendizagem e tecnologia educacional.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2671-5229>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1583977958372747>

E-mail: marcela.madanес@unemat.br



A obra apresenta a *Fabricação digital como processo pedagógico: ensino de geometria espacial com Tinkercad e impressão 3D*, a partir de uma pesquisa realizada com estudantes da 2^a série do Ensino Médio. Nesse contexto, são exploradas práticas com o software *Tinkercad* e a impressão 3D, integrando modelagem e programação como estratégias de ensino. Os estudantes são incentivados a aprender criando, assumindo o protagonismo na construção do conhecimento. A pesquisa se apoia na Teoria Fundamentada nos Dados, evidenciando o professor como *designer* de experiências de aprendizagem autênticas. Inspirada na cultura *maker* e na Aprendizagem Baseada em Projetos, a obra contribui para repensar metodologias no ensino de Matemática com tecnologias digitais.