



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE ARTES
DEPARTAMENTO DE DESIGN

RODRIGO FRANCO COSTA DE CARVALHO RODRIGUES

DARKER IS HIGHER

Usando litofania para o aprendizado com impressão 3D

Brasília

2023

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE ARTES
DEPARTAMENTO DE DESIGN**

RODRIGO FRANCO COSTA DE CARVALHO RODRIGUES

DARKER IS HIGHER

Usando litofania para o aprendizado com impressão 3D

Trabalho de Conclusão de Curso com habilitação em Projeto de Produto do curso de Design ministrado na Universidade de Brasília.

Orientador: Miguel Eduardo Gutierrez Paredes

Brasília

2023

Resumo

Este projeto, conduzido na Casa Thomas Jefferson, explora o uso e a integração inovadora da tecnologia de impressão 3D em ambientes educacionais. Abordando as complexidades e as relutâncias observadas na implementação de prototipagem rápida como um recurso pedagógico.

Neste projeto são propostas modificações nas impressoras 3D e nas configurações do fatiador para tornar as impressões mais rápidas, além do treinamento de equipe, auxiliando professores no seu uso, assim como desenvolve um uso inovador de ferramentas geradoras de litofanias como uma forma alternativa de produção de modelos 3D, mais condizente ao contexto escolar observado.

Tal abordagem obteve um significativo sucesso na superação das dificuldades na implementação da impressão 3D como recurso pedagógico no ensino de crianças, de 3 a 14 anos, dentro de metodologias de aprendizado baseadas no aprender pelo fazer, gerando a adoção da técnica desenvolvida neste projeto no currículo escolar da CTJ.

Abstract

This capstone project, conducted at Casa Thomas Jefferson, explores the innovative use and integration of 3D printing technology in educational settings, addressing the complexities and reluctances observed in implementing rapid prototyping as a pedagogical tool.

In this project, modifications are proposed to 3D printers and slicer settings to make printing faster, as well as staff training, assisting teachers in their use. It also develops an innovative use of lithophane generation tools as an alternative way of producing 3D models, more suitable to the observed school context.

This approach achieved significant success in overcoming the difficulties in implementing 3D printing as a pedagogical resource in teaching children aged 3 to 14, within learning methodologies based on learning by doing, leading to the adoption of the developed technique in the school curriculum.

Lista de Figuras

Figura 1. Equipamento em desuso. Filial Sudoeste. 05/2023.....	15
Figura 2. Duplo Diamante, Design Council, 2023.....	17
Figura 3. Esquemático de extrusora FFF. Autor.....	26
Figura 4. A impressão 3D como um processo. Autor.....	27
Figura 5. Modelo 3D fatiado em camadas. Autor.....	30
Figura 6. Interface do Tinkercad. Autor.....	34
Figura 7. Objeto no tinkercad. Autor.....	35
Figura 8. Projeto L'Artisan Électronique. Unfold. 2010.....	43
Figura 9. Projeto Sketch Furniture. Warnier et. al. 2014.....	44
Figura 10. Conversão de dados em litofania. Koone et al. 2022.....	46
Figura 11. Conversão de gráficos em litofania. Koone et al. 2022.....	46
Figura 12. Exemplo de litofania. Reddy. 2020.....	47
Figura 13. Configurações de ferramenta de litofania. Autor.....	48
Figura 14. Foto convertida em litofania. Autor.....	49
Figura 15. Geração de modelo 3D por escala de cinza. Autor.....	50
Figura 16. Modelo da Figura 15, sem base. Autor.....	51
Figura 17. Resultado gerado por degradê. Autor.....	52
Figura 18. Imagem modelo e resultado. Autor.....	52
Figura 19. Modelo da Figura 17 impresso. Autor.....	53
Figura 20. Impressões 3D feitas a partir da DiH. Autor.....	54
Figura 21. Correção de ruído na imagem modelo e efeito. Autor.....	55
Figura 22. Quadro de exemplos DiH. Autor.....	56
Figura 23. Edição da imagem modelo. Assistente Educacional.....	57
Figura 24. Brincos impressos. Assistente Educacional.....	58
Figura 25. Imagem modelo e resultado. Autor.....	59
Figura 26. Alunos observando a impressão. Filial Sudoeste. 09/2023. Autor.....	64
Figura 27. Ferramenta de litofania no Cura. Autor.....	75
Figura 28. Quadro de exemplos. Autor.....	77
Figura 29. Imagem modelo e Placa com nome. Autor.....	80
Figura 30. Imagem modelo e cortador de biscoito. Autor.....	82
Figura 31. Imagem modelo e carimbo. Autor.....	84
Figura 32. Imagem modelo e pegadas. Autor.....	86
Figura 33. Imagem modelo e quarto. Autor.....	88

Sumário

Lista de Siglas e Abreviações.....	8
1. Introdução.....	9
1.1. Contextualização.....	9
1.2. Objetivos.....	12
1.3. Justificativa.....	13
1.4. Metodologia.....	16
2. Desenvolvimento do projeto.....	21
2.1. Primeira Etapa: Descobrir.....	22
2.1.1. Aprender pelo Fazer.....	22
2.1.2. O processo de impressão 3D.....	25
2.1.3. As dificuldades no uso da impressão 3D.....	31
2.1.4. Barreiras da impressão 3D em aula na Casa Thomas Jefferson.....	32
2.2. Segunda Etapa: Definir.....	37
2.3. Terceira Etapa: Desenvolver.....	39
2.3.1. Primeira Barreira - Equipe e Manutenção.....	39
2.3.2. Segunda Barreira - Velocidade de impressão.....	41
2.3.3. Terceira Barreira - Modelagem 3D.....	43
2.3.3.1 Litofania.....	47
2.4. Quarta Etapa: Entregar.....	50
2.4.1. Darker Is Higher - ferramenta de litofania gerando objetos.....	50
2.4.2. Estudos de Caso.....	55
2.4.2.1. Estudo de Caso 1 - Plaquinhas com nome.....	55
2.4.2.2. Estudo de caso 2 - Brinco.....	57
2.4.2.3. Estudo de caso 3 - Cookie Cutter.....	58
2.4.3. Feedback da Técnica.....	61
2.4.4. Iteração.....	62
3. Análise dos resultados.....	64
4. Trabalhos futuros.....	67
5. Bibliografia.....	68
6. Apêndices.....	70
6.1. Apêndice A - Guia: Acelerando A Impressão 3D.....	70
6.1.1. Alteração do Bico e Configuração da Impressora:.....	70
6.1.2. Configurações de Altura de Camada e Espessura de Linha:.....	70
6.1.3. Ajuste de Paredes, camadas de topo e base:.....	71
6.1.4. Configurações de Preenchimento e Temperatura:.....	71

6.1.5. Ajuste de Expansão Horizontal:.....	72
6.1.6. Distância de retração:.....	72
6.1.7. Special modes:.....	72
6.2. Apêndice B - Guia de uso da Darker is Higher no contexto escolar:.....	73
6.2.1. O que é Darker is Higher?.....	73
6.2.2. Por que usar DiH?.....	73
6.2.3. Usando a técnica Darker is Higher:.....	74
6.2.4. Abordando os conteúdos em sala de aula.....	76
6.2.4.1. Como apresentar a impressora 3D aos alunos?.....	76
6.2.4.2. Como apresentar a Darker is Higher aos alunos?.....	76
6.2.4.3. Como desenvolver a atividade com a impressora 3D?.....	78
6.3. Apêndice C - Guia de atividades.....	80
6.3.1. Atividade - Placa com nome.....	80
6.3.2. Atividade - Cortador de biscoitos.....	82
6.3.3. Atividade - Carimbo.....	84
6.3.4. Atividade - Pegadas.....	86
6.3.5. Atividade - Quarto visto de cima.....	88
6.5. Apêndice D - Perguntas motivadoras para o feedback da DiH.....	90

Lista de Siglas e Abreviações

AbD - Agency By Design - iniciativa do Project zero para estudo e desenvolvimento de pedagogia baseada no aprender pelo fazer.

CTJ - Casa Thomas Jefferson: Centro binacional de ensino da língua inglesa.

Cura - Abreviação de Ultimaker Cura: software de fatiamento para impressão 3D.

DiH - Darker is Higher: Nome dado no capítulo 5.3. ao uso de ferramentas de litofania para produção de modelos que não sejam litofania.

FFF - Fused Filament Fabrication: tecnologia de impressão 3D que constrói modelos a partir da extrusão de filamento termoplástico.

TM - Thomas Maker: Departamento da CTJ voltado à produção de materiais pedagógicos.

1. Introdução

1.1. Contextualização

O Thomas Maker (TM) makerspace da Casa Thomas Jefferson (CTJ) representa uma iniciativa pioneira, destacando a crescente influência do Movimento Maker na educação e na promoção da criatividade. Esta iniciativa surgiu de uma parceria entre a CTJ, o Departamento de Estado dos EUA e a rede de Museus Smithsonian Institution. Inspirado pelas diretrizes e filosofias do Project Zero, o projeto visa disseminar e consolidar a cultura maker, integrando-a em contextos educacionais.

Em janeiro de 2023, o autor deste trabalho integrou-se à equipe do TM, enfrentando um desafio significativo. As impressoras 3D, distribuídas pelas diversas filiais da CTJ para uso dos professores como recurso educacional, encontravam-se subutilizadas, quase abandonadas.

Identificou-se que um dos obstáculos era a percepção dos softwares de modelagem 3D como complexos e intimidadores, especialmente para os estudantes mais jovens. Havia também uma notável resistência, tanto de professores quanto de alunos, em utilizar essas impressoras 3D. Contribuindo para esse cenário, a falta de uma equipe treinada para facilitar a familiarização com as impressoras acentuava a hesitação em adotar essa tecnologia como um recurso auxiliar nas aulas.

Em contrapartida, no cenário educacional, cada vez mais orientado para a integração de tecnologias emergentes, a impressão 3D se destaca como uma ferramenta pedagógica promissora. Segundo o estudo '3D printing as an educational technology: theoretical perspectives and learning outcomes', a impressão 3D transcende sua função como inovação tecnológica, atuando como um catalisador para novas abordagens de aprendizagem.

No contexto da CTJ, a administração expressava insatisfação com os altos custos associados aos equipamentos de impressão 3D nos espaços Maker, especialmente pela sua subutilização. Esse descontentamento também era compartilhado pelos pais, que raramente viam seus filhos utilizando as impressoras. Este desafio não se restringia à comunidade da Casa Thomas Jefferson, mas sim um fenômeno mais amplo, conforme descrito no estudo 'Os desafios em utilizar a impressão 3D no processo ensino-aprendizagem de design', (Chica Junior et al, 2018).

Em paralelo, outra referência importante é encontrada no livro 'Printing Things: Visions and Essentials for 3D Printing' (2014). No segundo capítulo, os autores Warnier e Verbruggen discutem a problemática, destacando a transição do artesanato físico para a concepção virtual:

"And there 's the rub: designing a 3D file for printing is a craft in its own right. Design skills have shifted from physical handicraft to virtual conception. [...] Nevertheless, the digital front end of 3D printing, the design software or modeling software, has traditionally been very specialized and therefore out of reach for many casual designers both in terms of budget and learning curve." (Warnier and Verbruggen pag. 32).

Esta citação destaca um dos desafios centrais na CTJ, evidenciando a necessidade de repensar a abordagem na integração da impressão 3D em sala de aula. Desde a disseminação inicial da tecnologia até o momento atual, é crucial adaptar o ensino para torná-lo acessível às crianças.

O cerne desta proposta é promover ferramentas que eliminem as barreiras previamente mencionadas, incentivando uma aprendizagem prática com a impressão 3D. Isso possibilitará que os alunos experimentem, criem e inovem, enquanto os professores se sentirão mais confiantes em adotar esta tecnologia em suas aulas, transformando seus conhecimentos em projetos tangíveis através da prototipagem rápida.

Com base nesta contextualização, o presente trabalho visa desenvolver e implementar estratégias que superem os desafios identificados, aproveitando o potencial da impressão 3D como uma ferramenta educacional inovadora. Nos capítulos seguintes, serão exploradas as abordagens metodológicas adotadas, as soluções propostas e sua implementação, além da avaliação dos impactos gerados na aprendizagem dos alunos e na prática pedagógica dos professores na CTJ.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

O principal objetivo é desmistificar o uso da impressão 3D para os professores da Casa Thomas Jefferson, superando as barreiras que dificultam a implementação desta tecnologia em sala de aula, com foco especial nos alunos mais jovens, entre 3 e 14 anos de idade

1.2.2. Objetivos Específicos:

Um objetivo específico é entender as resistências e desafios enfrentados por professores e alunos no uso da impressão 3D e dos softwares de modelagem, identificando as principais barreiras que impedem sua adoção efetiva.

Outro objetivo específico é desenvolver soluções práticas para superar as barreiras identificadas, alinhadas com a proposta pedagógica da Casa Thomas Jefferson.

1.3. Justificativa

A Casa Thomas Jefferson (CTJ) possui seis impressoras 3D distribuídas entre suas filiais. Contudo, apenas a unidade com espaço Thomas Maker (TM) relatou uso significativo desses equipamentos. Este uso se deve à presença de uma equipe capacitada para operar as máquinas e prestar auxílio durante as aulas, embora as solicitações para utilização ainda sejam raras. Além disso, o TM emprega sua impressora 3D na criação de recursos educacionais e em projetos comunitários desenvolvidos internamente.

O principal público-alvo da CTJ para o uso da impressão 3D como recurso educacional inclui os alunos do curso Bilingual Adventure, que abrange a faixa etária de 3 a 14 anos, bem como os estudantes da ONE School, uma escola regular que oferece turmas desde o jardim de infância até o ensino fundamental.

A integração de tecnologias emergentes, como a impressão 3D, é crucial para alinhar as práticas pedagógicas da CTJ às demandas e competências do século XXI. Esta visão está em sintonia com as ideias de Vilém Flusser, que sugere que as novas ferramentas e tecnologias de informação têm o potencial de transformar radicalmente nossos métodos educacionais, antevendo um futuro onde escolas funcionam como 'fábricas-escolas' (Flusser, 2007).

A aplicação de impressoras 3D como recurso pedagógico está alinhada com essa visão, criando uma ponte entre teoria e prática e transformando conceitos abstratos em objetos tangíveis.

Essa materialização de ideias por meio da impressão 3D fomenta um aprendizado mais interativo e engajador, refletindo a concepção de Flusser sobre uma educação dinâmica e adaptável ao dinamismo do contexto tecnológico. O uso da impressão 3D em atividades de projeto escolar representa um avanço rumo a um

futuro educacional mais integrado e prático, no qual os alunos não apenas assimilam conhecimentos, mas também os concretizam utilizando ferramentas tecnológicas.

A implementação da impressão 3D como recurso pedagógico na CTJ enfrenta diversos desafios, entre eles:

1. Uma falta de confiança na operação das impressoras, frequentemente originada pelo medo de danificar equipamentos caros.
2. Dificuldades na configuração correta do software de fatiamento, essencial ao uso eficiente das impressoras.
3. Desconhecimento sobre as limitações técnicas dos equipamentos, incluindo o tempo necessário para a impressão de peças.
4. Experiência com erros comuns de impressão, sem o conhecimento adequado para identificar e solucionar esses problemas.
5. Falta de manutenção regular do equipamento e desafios associados ao uso de softwares de modelagem 3D.

Estes obstáculos contribuem para a subutilização das impressoras 3D, levando a uma percepção reduzida do valor desses equipamentos. Tal cenário é ilustrado na Figura 1, onde se observa que a impressora, com o tempo, foi relegada a um segundo plano, e o espaço anteriormente dedicado a ela passou a ser ocupado por materiais de sucata e rolos de filamento vazios.



Figura 1. Equipamento em desuso. Filial Sudoeste. 05/2023.

1.4. Metodologia

A metodologia escolhida para este trabalho é baseada no Duplo Diamante, voltada ao design de serviço, que foi selecionada por sua capacidade de explorar o problema de forma abrangente antes de tentar resolvê-lo, garantindo soluções bem fundamentadas e que atendam às reais necessidades dos usuários. Ela é dividida em quatro fases, dentro de dois ciclos de divergência e convergência (Design Council, 2023).

Esta abordagem, ilustrada na Figura 2, inicia-se no primeiro diamante com a fase de Descobrir, na qual se explora o problema em profundidade, seguida pela fase de Definir, em que se refina e foca o problema. Este primeiro ciclo representa uma exploração ampla das circunstâncias, seguida pela concentração em um problema específico, evitando, assim, o desenvolvimento subsequente de soluções precipitadas baseadas em suposições incorretas.

No segundo diamante, encontram-se as fases subsequentes de Desenvolver e Entregar, que envolvem a geração de múltiplas soluções potenciais e o refinamento destas até a implementação da solução mais adequada. Este ciclo permite a inovação criativa e a experimentação, mantendo o foco no objetivo final.

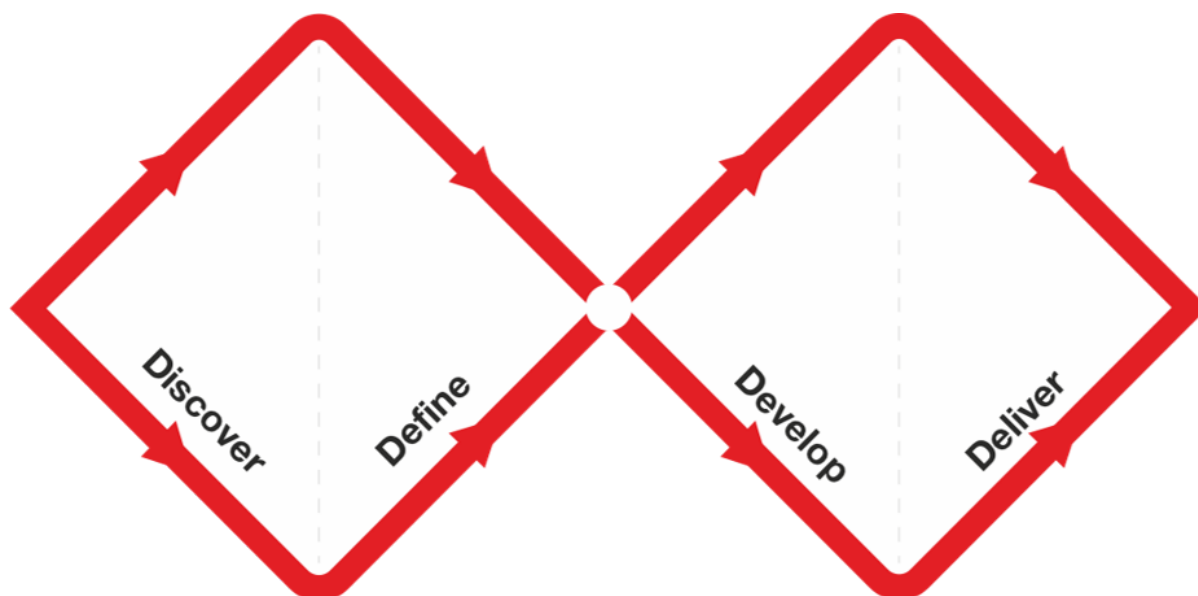


Figura 2. Duplo Diamante, Design Council, 2023

No contexto deste projeto, a metodologia do Duplo Diamante foi escolhida para enfrentar o desafio de implementar efetivamente a impressão 3D como recurso pedagógico na CTJ. Esta abordagem permite explorar as várias dificuldades que barram essa implementação, identificar as causas reais dessas dificuldades e, em seguida, desenvolver uma série de soluções para combatê-las. Posteriormente, essas soluções são testadas, visando a uma entrega inovadora que resolva a problemática inicial.

A estrutura básica desta metodologia neste trabalho então seria:

1. Descobrir

Considerando a problemática inicial — a falha na implementação da impressão 3D como recurso pedagógico na CTJ —, torna-se essencial descobrir as causas subjacentes dessa situação. É necessário compreender o porquê de se adotar este recurso pedagógico, e investigar e compreender os fatores que contribuíram para essa falha,

de modo a identificar as barreiras e desafios específicos enfrentados no processo de integração da tecnologia de impressão 3D no ambiente educacional.

2. Definir

Após identificar os problemas relacionados à implementação da impressão 3D na CTJ, a próxima etapa é sintetizá-los de maneira clara e concisa. O objetivo é consolidar as informações coletadas na fase de Descobrir em uma definição precisa e compreensível do problema, estabelecendo uma base sólida para o desenvolvimento de soluções eficazes e direcionadas.

3. Desenvolver

Nesta fase, com base nos problemas identificados, busca-se explorar uma variedade de soluções considerando os recursos disponíveis na CTJ, focando no desenvolvimento de abordagens criativas e práticas para resolver os desafios identificados.

4. Entregar

Definida a estratégia ideal para a integração da impressão 3D como ferramenta pedagógica na CTJ, o próximo passo é o aprimoramento prático. Isso envolve iterar atividades, testando e refinando a solução com base na experiência. A fase de Entregar foca na aplicação efetiva das estratégias desenvolvidas e na análise criteriosa dos resultados.

Este estágio é crucial para garantir que o projeto atenda às necessidades identificadas e seja sustentável e escalável.

Em resumo, a metodologia do Duplo Diamante, conforme aplicada neste projeto, oferece uma abordagem estruturada e detalhada para enfrentar o desafio de implementar a impressão 3D como um recurso pedagógico eficaz na CTJ. Cada fase - Descobrir, Definir, Desenvolver e Entregar - contribui de maneira única para um entendimento aprofundado do problema, permitindo a formulação de soluções inovadoras e práticas. Este processo não apenas garante que a implementação da impressão 3D seja feita de forma eficiente e sustentável, mas também possibilita que sejam exploradas todas as oportunidades de aprendizagem e crescimento que essa tecnologia pode oferecer no ambiente educacional.

A avaliação do sucesso do projeto será realizada de maneira multifacetada, priorizando a recepção e a percepção prática da técnica no contexto educacional. A medida principal do sucesso será a aceitação e a adoção das soluções pelo corpo docente, especificamente pela designer de curso, que desempenha um papel crucial na integração de novas metodologias no currículo.

Critérios para avaliação do sucesso do trabalho:

1. Integração no Currículo: O primeiro indicador de sucesso será a incorporação formal das soluções desenvolvidas no currículo escolar e no programa de treinamento de professores. Isso demonstrará um reconhecimento institucional da eficácia e aplicabilidade da técnica.
2. Feedback Positivo dos Educadores: A avaliação qualitativa, realizada através de feedbacks e comentários dos professores que participarem dos treinamentos e implementarem as soluções em sala de aula, será

um critério fundamental. A percepção positiva, sugestões de melhoria e relatos de experiências bem-sucedidas serão considerados indicativos de sucesso.

3. Observação Direta e Relatos de Caso: A observação direta das sessões de treinamento e das aulas onde a técnica é aplicada fornecerá insights valiosos sobre sua efetividade. Estudos de caso documentando a implementação das soluções em diferentes cenários educacionais também contribuirão para a avaliação do sucesso.
4. Adaptação e Flexibilidade da Técnica: A capacidade de adaptar as soluções desenvolvidas a diferentes grupos etários e contextos educacionais será um fator crucial. A flexibilidade e a versatilidade da técnica, evidenciadas por sua aplicação em uma variedade de situações de ensino, serão indicadores-chave de sucesso.
5. Demandas e Interesse: O aumento na demanda pelas impressoras 3D e o interesse contínuo dos professores e alunos nas soluções desenvolvidas serão considerados sinais de sucesso. Isso indicará não apenas a aceitação, mas também o valor percebido da técnica como uma ferramenta de ensino eficaz.

À medida que avançamos para os próximos capítulos, esta metodologia servirá como uma base sólida sobre a qual o trabalho será desenvolvido e estruturado. O estudo será dividido em quatro partes principais, cada uma correspondendo a uma das etapas do modelo de Duplo Diamante. Além disso, haverá uma análise de resultados, levando em consideração a proposta de avaliação para o sucesso do trabalho. Será realizada também uma avaliação de trabalhos futuros, contemplando a ampliação do escopo original do projeto e o

desenvolvimento de aspectos que não puderam ser completamente explorados dentro da metodologia proposta.

2. Desenvolvimento do projeto

2.1.Primeira Etapa: Descobrir

Neste capítulo, exploramos como a impressão 3D se encaixa como recurso educacional na abordagem adotada pela CTJ em seus cursos do Bilingual Adventure. Para compreender essa integração, é fundamental entender o conceito de "aprender pelo fazer", uma metodologia central nos cursos mencionados. Essa seção também analisa como a prototipagem rápida e o uso de makerspaces se alinham com essa abordagem, além de discutir o processo de impressão 3D e os desafios de sua aplicação no contexto educacional. Parte do foco será nas dificuldades específicas enfrentadas pela CTJ nesta integração.

2.1.1. Aprender pelo Fazer

O movimento Maker, caracterizado pela colaboração, interdisciplinaridade, prática do “aprender fazendo” e estímulo ao Do It Yourself (faça você mesmo), é essencial nesta discussão. A aplicação desse movimento no Agency by Design (AbD), no contexto do Project Zero da Faculdade de Educação de Harvard, visa compreender como intervenções educacionais podem apoiar a aprendizagem prática, identificar benefícios e traçar estratégias para implementar uma abordagem de “aprendizagem centrada no fazer”, conforme desenvolvido pelo programa. (Agency by Design, 2015)

Vilém Flusser, em "O Mundo Codificado", examina a relação entre escola e fábrica, questionando a separação tradicional e a desvalorização mútua entre essas entidades. Ele critica a visão clássica que posiciona a escola como um local nobre de contemplação e a fábrica como um lugar desprezível. Flusser argumenta que

essa separação e desvalorização mútua levam a uma "maluquice industrial", distorcendo a verdadeira natureza de ambas. (Flusser, 2007)

Flusser propõe que a fábrica seja, de fato, uma forma de escola aplicada, enquanto a escola é uma fábrica de aquisição de informações. Essa perspectiva desafia a ideia de que educação e produção são atividades distintas e não relacionadas. Ele sugere uma integração mais profunda entre aprender e fazer, indicando que o processo educacional e a produção industrial são complementares e interligados.

Flusser defende uma reavaliação fundamental de como vemos educação e produção, sugerindo que uma integração mais estreita entre esses dois domínios pode levar a uma compreensão mais completa e eficaz do aprendizado e da criação de valor no mundo moderno.

Carl Sagan, em "O mundo assombrado por demônios", defende uma educação que estimule a curiosidade e a exploração. Ele argumenta que a ciência deve ser apresentada de maneira acessível e interessante para todos. Sagan acredita que, ao tornar o aprendizado da ciência mais interativo e relacionado ao mundo real, podemos incentivar um interesse genuíno pela exploração científica. Essa abordagem não só aumenta o engajamento dos alunos na ciência, mas também fortalece suas habilidades de pensamento crítico e analítico, essenciais em um mundo dominado pela tecnologia e informação. (Sagan, 1997)

As visões de Flusser e Sagan sobre educação alinham-se com os princípios da AbD. Flusser propõe uma visão integrada de escola e fábrica, respaldada pela AbD, que defende o "empoderamento maker" e a fusão da teoria com a prática. Esta abordagem promove experiências de aprendizagem práticas que conectam conceitos acadêmicos com aplicações reais.

Paralelamente, as ideias de Sagan sobre educação científica complementam a abordagem da AbD. Sagan defende um ensino que estimule a curiosidade e a exploração, alinhando-se com o foco do AbD em pensamento crítico, criatividade e inovação. O AbD incentiva os alunos a serem curiosos, questionadores e reflexivos, favorecendo uma compreensão mais profunda e um engajamento mais significativo com o material aprendido.

Além disso, a visão de Flusser sobre a integração de educação e produção encontra paralelo na ênfase do AbD na aprendizagem centrada no design e na prática. Ele promove a ideia de que o processo educativo está intrinsecamente ligado à produção e criação de valor, desafiando a noção de educação e produção como domínios separados.

A CTJ apoia as visões da AbD, defendendo o ensino por meio de metodologias ativas, onde os estudantes aprendem através da prática e reflexão sobre seus erros e acertos. Neste contexto, a impressão 3D serve como uma integração entre a escola e o meio fabril, em abordagem alinhada à proposta de Flusser, atuando como uma ferramenta pedagógica eficaz ao possibilitar a fabricação de objetos variados e facilitar a observação desse processo. Assim, torna o aprendizado mais interativo e desperta a curiosidade das crianças, conforme defendido por Sagan.

2.1.2. O processo de impressão 3D

A impressora 3D é um dispositivo capaz de criar objetos físicos tridimensionais a partir de designs digitais. Ela funciona com base no princípio da manufatura aditiva, consistindo na adição de material em camadas sucessivas para construir um objeto. Existem diversos tipos de impressoras 3D, cada uma com métodos de impressão específicos. (Warnier et al., 2014)

Entre as diferentes tecnologias de impressão 3D, Warnier destaca a Fused Filament Fabrication (FFF), também conhecida como Fused Deposition Modeling. Este é um dos métodos mais comuns de impressão 3D e é a tecnologia disponível na Casa Thomas Jefferson. O funcionamento básico de uma impressora FFF envolve o uso de um filamento termoplástico, que é transformado no objeto impresso. O filamento é alimentado através de um motor até o bico extrusor, onde é aquecido até um estado semi-líquido. Em seguida, é extrudado através do bico, conhecido como *nozzle*, enquanto desenha a camada e sobrepõe as camadas para formar um objeto. Esta descrição é ilustrada na Figura 3. (Warnier, 2014)

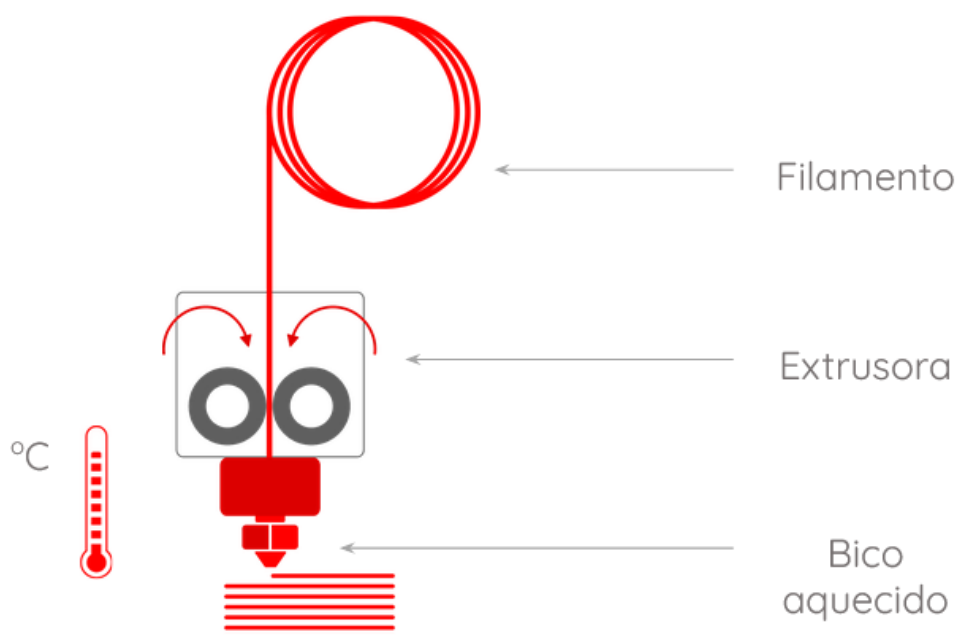


Figura 3. Esquemático de extrusora FFF. Autor.

Conforme o livro "Printing Things", as impressoras FFF representam uma revolução na maneira como criamos objetos físicos. Elas democratizam a produção e permitem a criação personalizada em pequena escala. Essas impressoras tornaram a tecnologia de impressão 3D acessível a um público mais amplo, abrangendo pequenos negócios, hobbyistas, universidades, oficinas e escolas, transformando a maneira como pensamos sobre fabricação e design de produtos. (Warnier et al., 2014)

Analisando o papel da impressão 3D no ambiente educacional, o artigo '3D printing as an educational technology: theoretical perspectives and learning outcomes' oferece insights significativos. Este estudo demonstra como a impressão 3D vai além de uma mera ferramenta tecnológica, desempenhando um papel importante no processo educativo. Ele destaca a capacidade dessa tecnologia em promover habilidades críticas como modelagem 3D, criatividade e solução de problemas. (Pearson et al., 2021)

A impressão 3D não se resume apenas à impressora, como ilustrado na Figura 4 pelo autor. Os elementos mostram as diferentes etapas do processo, da esquerda para a direita: modelagem 3D, configuração do fatiamento, impressão e acabamento. (Warnier, 2005)



Figura 4. A impressão 3D como um processo. Autor.

O primeiro passo é obter um modelo digital do objeto, criado através da modelagem ou escaneamento 3D. Esse modelo pode ser disponibilizado em bibliotecas online.

Após obter o modelo digital, a segunda etapa envolve a preparação para impressão usando um software fatiador, que separa o modelo em camadas e converte cada camada em um conjunto de instruções para a impressora 3D. As configurações do fatiador, descritas por Kerr, incluem qualidade, altura de camada, espessura de linha, superfície, paredes, topo e base, preenchimento, suporte e adesão à plataforma. Essas configurações influenciam em aspectos como resistência do modelo impresso, quantidade de material necessário, percepção das camadas e tempo de impressão. (Warnier, 2014)

As principais configurações de impressão do fatiador descritas por Kerr, em seu livro de introdução às impressoras 3D domésticas, são:

1. Qualidade

Estas configurações determinam o acabamento da peça. Podem ser ajustadas para variar a aparência e a precisão do objeto impresso.

1.1. Altura de camada

Influencia a visibilidade das camadas na peça impressa. Quanto menor a altura da camada, menos perceptíveis serão as camadas, mas isso resulta em um maior número delas e, conseqüentemente, um tempo de impressão mais longo. A altura da camada afeta a qualidade e precisão das formas ao longo do eixo Z.

1.2. Espessura de linha

Refere-se à largura de cada linha de filamento no desenho da camada. Esta variável, principalmente definida pela espessura do nozzle, pode ser ajustada para alterar a vazão, criando linhas mais grossas ou finas. Isso afeta a qualidade da impressão da camada e a precisão das formas no plano XY.

2. Superfície

Relaciona-se às espessuras entre o interior e o exterior da peça, influenciando no tempo de impressão e na resistência do objeto impresso.

2.1. Paredes

Define a espessura das paredes da peça no plano XY.

2.2. Topo e base

Essas configurações determinam as camadas de fechamento do objeto tanto no topo quanto na base.

3. Preenchimento

Define o quanto e o padrão de preenchimento no interior da peça.

4. Suporte e adesão a plataforma

Estruturas auxiliares na impressão, removíveis após a conclusão do processo.

4.1. Suporte

Configura o ângulo e as especificações dos suportes necessários para partes do objeto que não são sustentadas pela camada anterior.

4.2. Adesão à plataforma

Estruturas removíveis que evitam o descolamento da peça da superfície de impressão, essenciais principalmente para objetos com uma pequena área na primeira camada.

Baseado nessas configurações, o fatiador divide o modelo em camadas horizontais, ilustrado pela Figura 5. Cada camada é então transformada em caminhos para a impressora seguir enquanto deposita o filamento.

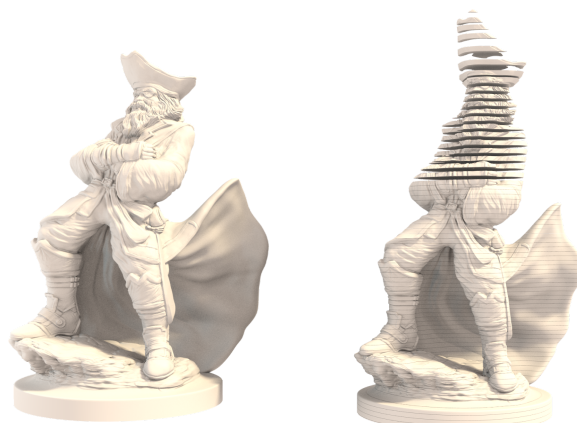


Figura 5. Modelo 3D fatiado em camadas. Autor.

Na terceira etapa, o objeto é construído de forma automatizada pela impressora 3D. Erros na configuração do fatiador podem se tornar aparentes nesta etapa e afetar a conclusão da impressão.

Após a impressão, o objeto é removido da plataforma. O acabamento é a última etapa e pode incluir a remoção de estruturas de suporte e de fixação, lixamento, pintura ou aplicação de verniz, aprimorando a aparência estética do objeto ou preparando-o para o uso final.

2.1.3. As dificuldades no uso da impressão 3D

O processo de impressão 3D inclui etapas que podem dificultar o uso eficiente dessa tecnologia. Desafios como a modelagem 3D, a configuração no software fatiador, a manutenção adequada das impressoras e a falta de uma equipe de apoio com conhecimento técnico sobre o processo são barreiras que impedem os professores da CTJ de aplicar a impressão 3D como recurso educacional em sala de aula.

Chicca et al. (2018) identificaram problemas comuns na implementação da impressão 3D como ferramenta de ensino para alunos de design. Uma das principais questões é o tempo significativo necessário para a impressão, um obstáculo em ambientes de aprendizado rápidos e dinâmicos. Além disso, os alunos enfrentaram dificuldades com a complexidade dos softwares de modelagem 3D, que exigem habilidades digitais avançadas. Esta curva de aprendizado íngreme pode desestimular os alunos e limitar a exploração do potencial da impressão 3D.

Os autores também apontam desafios logísticos, como a necessidade de manutenção constante das impressoras e a gestão de recursos limitados, como o filamento para impressão. Estes problemas práticos podem restringir as oportunidades dos alunos de experimentarem e iterarem seus designs.

Apesar desses desafios, os autores reconhecem a impressão 3D como uma ferramenta revolucionária no campo do design, especialmente no contexto educacional. A tecnologia permite que os estudantes materializem rapidamente conceitos e designs digitais em objetos físicos. Esta abordagem prática é essencial para que os alunos compreendam melhor os aspectos físicos e funcionais de seus projetos, um elemento crucial no processo de aprendizado em design.

2.1.4. Barreiras da impressão 3D em aula na Casa Thomas Jefferson

Para superar os desafios relacionados ao uso da impressão 3D na CTJ, foi essencial dialogar com professores, alunos e funcionários das filiais. O objetivo era identificar as barreiras que dificultavam a implementação da impressão 3D como recurso educacional.

Houve relatos constantes de pais sobre a subutilização das impressoras 3D por seus filhos e dos professores sobre as dificuldades, lentidão e mau funcionamento dos equipamentos. Esses problemas causavam atrasos no cronograma das aulas, já que a impressão 3D exigia muito tempo e uma aula quase inteira era dedicada a apresentar o recurso aos alunos e incentivá-los a usar um programa de modelagem 3D. Esse desafio era particularmente acentuado para alunos mais novos, devido à complexidade de interpretar formas tridimensionais em telas bidimensionais. Além disso, os alunos raramente acompanhavam a conclusão das impressões devido à lentidão do processo.

A frustração também era evidente entre a administração das escolas devido ao investimento substancial nas impressoras 3D, que eram percebidas como subutilizadas e mais focadas em marketing. Isso aumentava o descontentamento entre os pais, que não viam um retorno prático desse investimento na educação de seus filhos.

Para assegurar o êxito do projeto, é essencial focar nos professores, que precisam sentir-se confortáveis ao introduzir as soluções inovadoras em sala de aula. A simplificação da interação com as impressoras 3D é uma prioridade, dada a natureza não intuitiva destas ferramentas para muitos usuários. Facilitar ao máximo o manuseio dessa ferramenta pedagógica permitirá aos professores integrá-la de maneira mais eficaz e confiável em suas metodologias de ensino.

Conforme identificado pelo Designer de Curso e refinado através de diálogo com diferentes professores, o perfil predominante dos professores é de um grupo jovem, abaixo dos 35 anos, e majoritariamente feminino. Eles têm formação em pedagogia e língua inglesa, mas possuem conhecimento limitado sobre tecnologia, especialmente impressoras 3D.

Os professores estão acostumados a gerenciar e acompanhar projetos manuais dos alunos, alinhados com a pedagogia proposta pela CTJ, que também enfatiza a redução do tempo de exposição às telas. Essa combinação de fatores tem feito com que os professores enfrentem dificuldades para integrar o ensino de modelagem 3D nas aulas. Desafios adicionais, como a lentidão no processo de impressão, reforçam a necessidade de soluções alternativas. Uma dessas soluções poderia ser a implementação de equipes de assistentes treinados no uso das impressoras 3D, disponíveis para auxiliar os professores e facilitar a integração dessa tecnologia no currículo escolar.

A modelagem é um desafio particular. O software Tinkercad, desenvolvido pela Autodesk, é utilizado para a modelagem 3D nas aulas. Este software possui uma interface simples que propõe ser intuitiva, como mostrado na Figura 6, com uma área de trabalho predominante, sólidos destacados na barra lateral e ferramentas diversas para manipulação e notas na parte superior da tela.

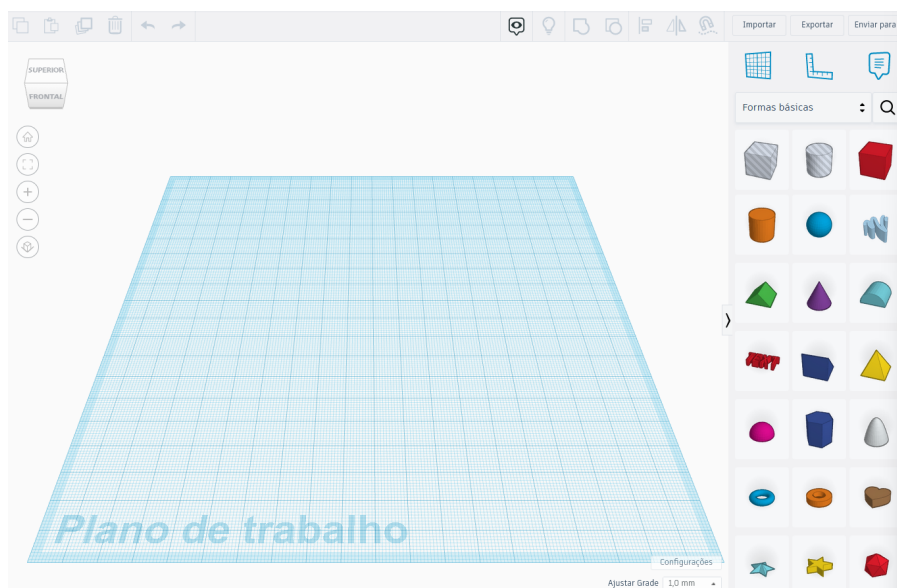


Figura 6. Interface do Tinkercad. Autor.

Criar um objeto no Tinkercad é um processo direto: basta arrastar um sólido para a área de trabalho. A Figura 7 ilustra a interação com um objeto, mostrando indicadores para alterar a escala nos eixos x, y e z, além de ferramentas para rotação e movimentação. O objeto pode assumir a natureza de sólido ou orifício, com a união ou subtração desses elementos permitindo a criação de formas complexas.

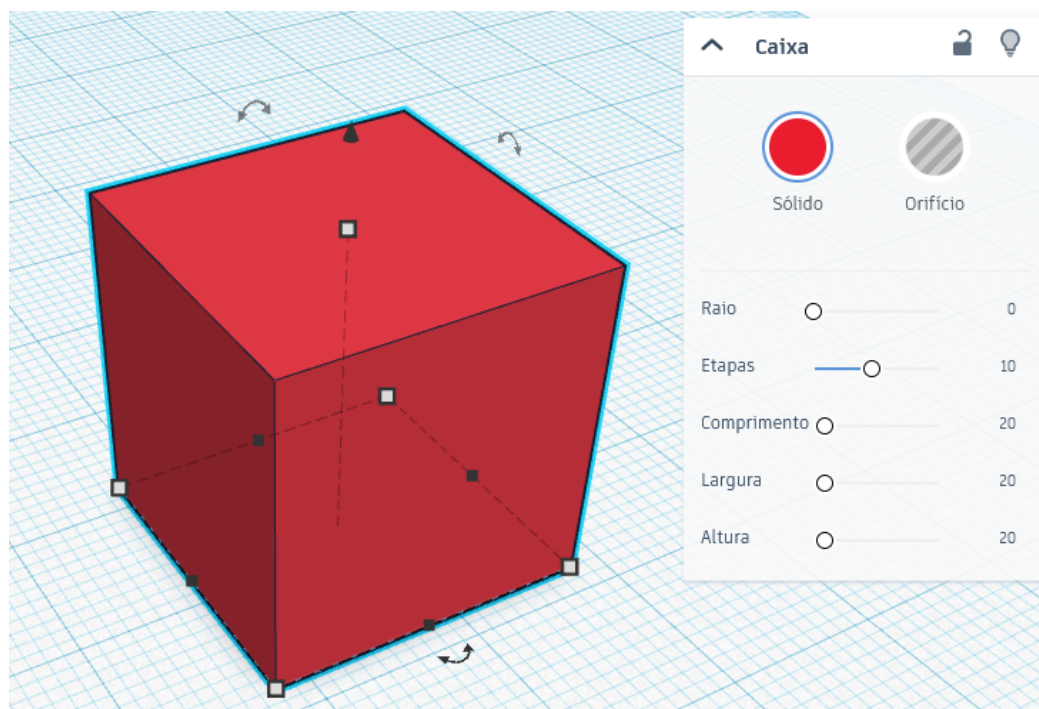


Figura 7. Objeto no tinkercad. Autor

O domínio de alguns conceitos básicos é crucial para modelar de forma intuitiva no Tinkercad. Isso inclui a familiaridade com a manipulação do mouse e uma compreensão preliminar de ferramentas de manipulação de imagens. O deslocamento de objetos no espaço tridimensional e o uso eficiente da ferramenta de união são aspectos particularmente desafiadores.

Há ainda o deslocamento de objetos no espaço tridimensional, onde se faz necessária a compreensão da área de trabalho como tendo três dimensões no espaço e como operá-la usando o mouse, que apenas se movimenta em duas dimensões e a ferramenta do cone preto, para mover no eixo Z.

A maioria dos alunos acima de 12 anos já possui as habilidades necessárias para operar o Tinkercad de maneira intuitiva. No entanto, eles geralmente encontram maior dificuldade no uso da ferramenta de união e na movimentação de objetos nos três eixos cartesianos. Apesar disso, essas habilidades são suficientes para adotar

uma abordagem intuitiva de aprendizagem do programa, seguindo um método passo a passo com comandos diretos e ilustrados.

O primeiro passo envolve a criação de um cubo, acompanhada por uma imagem correspondente, utilizando as mesmas cores da ferramenta de criação de cubos. Em seguida, os alunos progridem para construir uma casa com três objetos, o que os ensina a movimentar, posicionar e redimensionar as peças. O processo continua com a criação de uma xícara personalizada com o nome do aluno, introduzindo as ferramentas de união e subtração de sólidos. Após esses passos, o professor orienta os alunos na criação de um objeto específico para concluir a atividade da aula.

Embora esta metodologia tenha se mostrado eficaz, produzindo bons resultados em sala de aula, ela ainda demanda muito tempo e, conseqüentemente, raramente sobra tempo para as impressões. Além disso, a eficácia desta abordagem diminui progressivamente com alunos mais jovens, devido à complexidade dos conceitos envolvidos.

2.2. Segunda Etapa: Definir

Com base na análise das dificuldades enfrentadas na implementação das impressoras 3D como ferramentas pedagógicas, identificamos três barreiras principais, que sintetizam os desafios encontrados:

1. Falta de uma equipe treinada no uso das impressoras 3D nas filiais:
 - a. Esta equipe seria responsável pela manutenção das impressoras 3D em cada unidade e pelo armazenamento adequado dos filamentos plásticos.
 - b. Eles poderiam colaborar com os professores no planejamento e execução das atividades que envolvem as impressoras 3D.
 - c. Seriam encarregados de configurar o software fatiador, aliviando os professores dessa tarefa durante as aulas.

2. Tempo de impressão incompatível com as necessidades em sala de aula:
 - a. Existe a necessidade de reduzir o tempo de impressão para apenas alguns minutos por peça, a fim de atender a demanda de vários alunos em uma única aula.
 - b. É importante que os estudantes acompanhem todas as etapas do processo, desde a obtenção do modelo 3D até o acabamento da impressão, o que atualmente é desafiador devido às limitações de tempo

3. Dificuldades no uso de softwares de modelagem 3D:

- a. Modeladores 3D tradicionais podem ser desafiadores para estudantes mais jovens.
- b. O processo de aprendizagem do modelador 3D e a realização subsequente de projetos consomem um tempo incompatível com as limitações das aulas regulares.

Estas barreiras destacam a necessidade de estratégias e soluções práticas para integrar efetivamente a impressão 3D no ambiente educacional.

2.3. Terceira Etapa: Desenvolver

As principais soluções identificadas para superar as barreiras são:

1. Treinar uma equipe para dar suporte na manutenção e uso das impressoras 3D, além de auxiliar no desenvolvimento das aulas;
2. Acelerar o processo de impressão 3D, focando em reduzir o número de camadas do modelo e aumentar a velocidade de impressão de cada camada;
3. Explorar alternativas aos modeladores 3D tradicionais.

2.3.1. Primeira Barreira - Equipe e Manutenção.

Conhecendo a diversidade de softwares fatiadores na CTJ e a existência de impressoras de diferentes fabricantes, a padronização do software fatiador se tornou uma necessidade imediata. O Ultimaker Cura foi escolhido devido ao seu design amigável, distribuição gratuita, atualizações constantes e compatibilidade com todas as impressoras da CTJ. Esta padronização facilita tanto a replicabilidade do treinamento quanto a troca de experiências entre unidades.

A equipe a ser treinada seria formada por assistentes educacionais, que apresentam um perfil jovem e dinâmico, com muitos ainda cursando a graduação. Eles são caracterizados pela curiosidade e pelo interesse em se expressar através da personalização de objetos e da confecção de acessórios.

O treinamento das equipes das filiais começou com dois assistentes educacionais, focando na manutenção da impressora 3D e nas configurações

básicas do Cura. Posteriormente, visitamos as diferentes filiais, onde os assistentes treinaram funcionários locais nas mesmas habilidades e realizaram a manutenção das impressoras sob minha supervisão. Esta estratégia promoveu a repetição e a comunicação do aprendizado, reforçando o domínio do conteúdo.

Durante o treinamento, os funcionários foram incentivados a produzir pequenas peças com modelos que representavam desafios variados, exigindo configurações específicas. A rotina incluía a inserção e remoção do filamento e a limpeza das máquinas. Todos os procedimentos eram acompanhados por vídeos, sob orientação minha ou dos assistentes treinados.

A pedagogia adotada foi semelhante à usada na Thomas com as crianças: um aprendizado iterativo envolvendo reflexão, repetição e análise dos resultados. O erro, desde que não oferecesse risco, era incentivado, assim como a reflexão sobre ele. O plano de treinamento inicial, seguido de repasse do aprendizado sob supervisão, resultou em turmas menores, promovendo maior engajamento e participação dos funcionários, com cada sessão seguindo seu próprio ritmo. O treinamento focou na prática, evitando o uso de slides ou documentação escrita, e terminou com cada participante produzindo seu próprio material de referência.

Canais de comunicação foram estabelecidos para discussão de dúvidas e erros, proporcionando segurança aos funcionários em manter as práticas e garantindo o desenvolvimento contínuo das habilidades adquiridas.

2.3.2. Segunda Barreira - Velocidade de impressão.

Com equipes treinadas e as impressoras operacionais, o foco se voltou para a segunda barreira: o tempo de impressão. Acelerar esse processo depende de desenhar as camadas mais rapidamente e reduzir o número total de camadas. Uma solução foi a aquisição de nozzles de 0.8mm, substituindo os originais de 0.4mm. Com uma maior vazão de filamento, foi possível produzir linhas mais grossas, acelerando a impressão de cada camada. Embora isso resulte em menor resolução, não compromete os objetivos pedagógicos.

A substituição do bico exigiu ajustes nas configurações do software de fatiamento Ultimaker Cura. Na seção de configurações de impressão, especificamente na aba de qualidade, modificações foram feitas para se adaptar ao novo nozzle de 0.8mm. Esse bico maior permite a criação de camadas mais altas, o que reduz o número total de camadas necessárias para imprimir um modelo. Essa alteração resulta em uma maior visibilidade das camadas, mas isso se alinha com o propósito pretendido para as impressoras.

A altura ideal de camada foi estabelecida em 0.6mm, que se mostrou eficaz para manter uma boa coesão entre as camadas. A altura inicial da camada foi definida como 0.3mm para aprimorar a adesão da primeira camada à mesa de impressão, eliminando a necessidade de usar Brim ou Raft. Além disso, foi possível aumentar a espessura da linha para além do diâmetro do nozzle. O valor máximo utilizado com sucesso foi de 1.2mm, equilibrando a velocidade de impressão com a qualidade do objeto final.

Nas configurações de paredes do Ultimaker Cura, a quantidade de paredes foi ajustada para duas em objetos que exigem maior resistência e uma para aqueles que não necessitam. Na seção de topo e base, definiu-se uma única camada para a base e três para o topo, assegurando o fechamento completo em peças maiores. O padrão de preenchimento escolhido foi o zig zag com 10% de densidade, alterável

para 5% em peças com topos afunilados ou com pequenas distâncias para o bico percorrer, evitando a formação de buracos.

As temperaturas de impressão foram ajustadas para valores mais elevados e depois reguladas em cada máquina, juntamente com as configurações de retração, para prevenir entupimentos e minimizar a formação de "webs". Para filamentos mais antigos e frágeis, recomenda-se não utilizar a retração. Uma aplicação eficaz para esses filamentos é o uso dos modos Spiralize Outer Contour e Surface Mode. Quando ativados juntos, criam o Vase Mode, que permite imprimir apenas o chão e as paredes da peça em um movimento espiral contínuo, resultando em uma superfície sem emendas.

Em relação às configurações de suporte, apesar do acabamento não ser esteticamente ideal, obteve-se sucesso definindo a distância do suporte como o dobro da altura da camada e habilitando a interface de suporte. O ângulo de overhang foi ajustado para 75 graus, aproveitando a capacidade da linha mais grossa de suportar ângulos maiores. Com todas essas alterações, o tempo de impressão das peças teste foi significativamente reduzido, caindo para menos da metade do tempo original. Essa eficiência varia conforme o tamanho e a geometria da peça. Um guia simplificado para orientar nas modificações foi produzido e está disponível no Apêndice A.

2.3.3. Terceira Barreira - Modelagem 3D.

Para superar a terceira barreira, que envolve a modelagem 3D, foram exploradas abordagens inovadoras. Um exemplo é o projeto L'Artisan Électronique, que representa uma plataforma de olaria moderna. Conforme ilustrado na Figura 8, o usuário utiliza um dispositivo que capta os movimentos das mãos e os converte em deformações de um modelo 3D na tela. O objeto final é impresso em uma impressora 3D de cerâmica. Este projeto, exibido em museus, permitia que visitantes sem conhecimento técnico experimentassem a olaria digital e vissem suas criações serem impressas. (Knapen and Unfold, 2010)



Figura 8. Projeto L'Artisan Électronique. Unfold. 2010.

Outra abordagem é o projeto Sketch Furniture de 2005, mostrado na Figura 9. Neste projeto, os designers podiam desenhar mobiliários no ar usando um pincel digital. O movimento das mãos era capturado por câmeras e sensores, gerando modelos 3D que eram posteriormente impressos.



Figura 9. Projeto Sketch Furniture. Warnier et. al. 2014.

Ambos os projetos utilizam tecnologias de captura de movimentos, mas foram testados principalmente com adultos, no caso do Sketch Furniture, em um ambiente de estúdio com equipamentos especializados.

Na CTJ, seria possível implementar técnicas semelhantes, aproveitando a evolução da tecnologia e o acesso a equipamentos mais acessíveis para captura de movimento. Dispositivos como o Kinect 2 e o Oculus Quest 2 são exemplos de tecnologia disponível.

O Kinect 2, sucessor do Kinect 360, é um acessório para videogames da Microsoft, originalmente projetado para captar movimentos do jogador e utilizá-los como input nos jogos. No entanto, devido às suas características técnicas, que incluem a projeção de uma nuvem de pontos infravermelhos e a captação da deformação desta nuvem por duas câmeras, o Kinect 2 pode ser adaptado para funcionar como um scanner 3D ou como um sensor de movimento quando conectado a um computador. Existem diversos projetos de código aberto disponíveis na internet que exploram essas funcionalidades, abrangendo desde a captação de movimentos até a geração de modelos 3D.

Apesar dessas possibilidades, a produção descontinuada do Kinect 2 e o fato de a Thomas possuir apenas uma unidade tornam sua utilização impraticável para este projeto. A complexidade de seu uso e a incerteza quanto à sustentabilidade da solução a longo prazo foram fatores decisivos para a desconsideração desse equipamento.

O Oculus Quest 2, um óculos de realidade virtual produzido pela Meta, seria uma opção mais interessante, o óculos faz o rastreamento das mãos e possui softwares de modelagem 3D disponíveis gratuitamente e novas versões continuam a ser produzidas. Mas por ser um equipamento de uso individual e possuir apenas 8 unidades no acervo, de não ter um design ergonômico para crianças abaixo dos 12 anos, ter problemas associados a enjoos em pessoas mais sensíveis e a Thomas não ter planos para adquirir novas devido ao custo unitário médio de três mil reais, o equipamento também foi desconsiderado para uso neste projeto.

Uma abordagem alternativa e inovadora para a criação de modelos 3D, sem a necessidade de softwares de modelagem tradicionais ou o uso de sensores e dispositivos dispendiosos, é a utilização da ferramenta de litofania. Esta técnica será abordada com mais detalhes no subcapítulo seguinte. Segundo o estudo de Koone et al. (2022), a ferramenta de litofania possibilita a transformação automática de dados em modelos 3D de relevos por meio de um software específico. Esta metodologia foi aplicada na adaptação de dados científicos brutos, gráficos e outros materiais para formatos que podem ser interpretados pelo tato, especialmente útil para pessoas com deficiência visual. Esta aplicação representa uma inovação notável no uso da litofania para criar modelos 3D táteis.

Os resultados desta técnica inovadora são demonstrados nas Figuras 10 e 11, destacando seu potencial como uma ferramenta valiosa para promover a inclusão. A abordagem da litofania e o uso de ferramentas para gerar modelos 3D a partir de imagens serão explorados em profundidade nos próximos capítulos, fornecendo um entendimento mais aprofundado de seu funcionamento e aplicações.

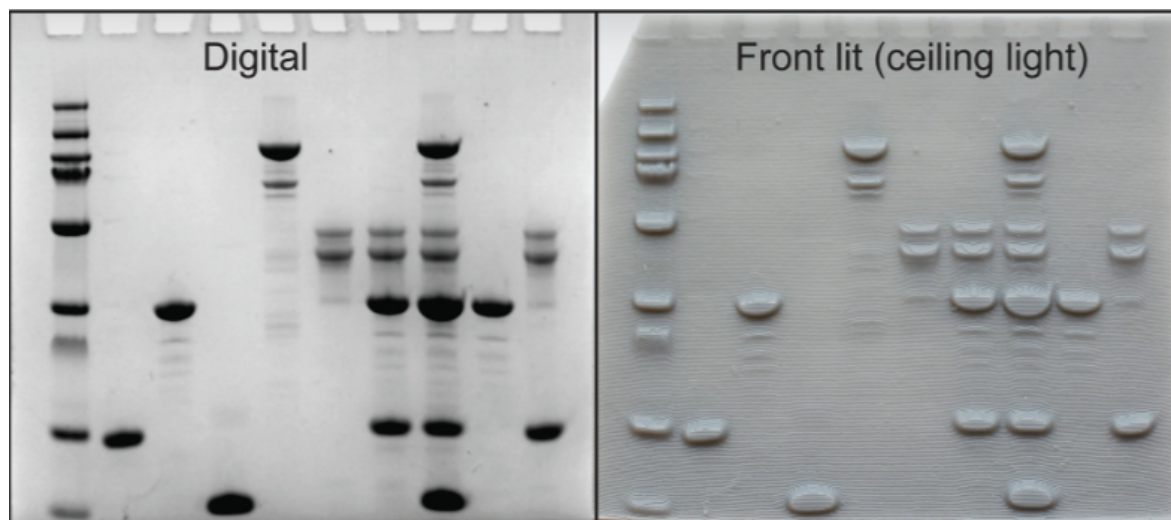


Figura 10. Conversão de dados em litofania. Koone et al. 2022.

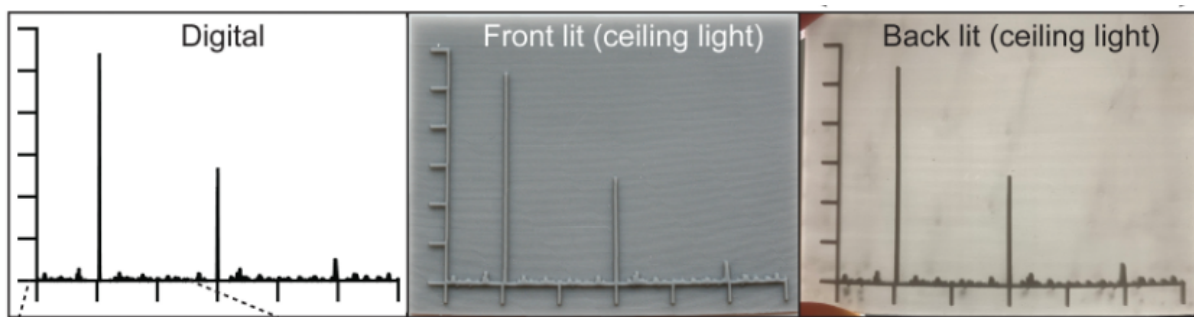


Figura 11. Conversão de gráficos em litofania. Koone et al. 2022.

2.3.3.1 Litofania

A litofania é uma forma de arte antiga, caracterizada por peças finas de cerâmica com relevos. Quando iluminadas por trás, estas peças tornam-se translúcidas, com variações de espessura criando sombras que revelam uma imagem. Com o advento da impressão 3D, a litofania foi redescoberta, e várias ferramentas foram desenvolvidas para produzir essas obras de forma automatizada a partir de imagens digitais. Essas ferramentas são projetadas para criar modelos finos o suficiente para permitir a passagem de luz através das camadas de filamento, como ilustrado na Figura 12. (Reddy, 2020)



Figura 12. Exemplo de litofania. Reddy. 2020.

O processo começa com a análise de cada pixel da imagem carregada, onde a ferramenta gera dados numéricos baseados no brilho de cada pixel. Esses valores são usados para deformar uma malha e criar um relevo, atribuindo alturas menores aos pontos mais brilhantes e maiores aos pontos mais escuros, alterando a translucidez do objeto e, conseqüentemente, as sombras projetadas quando exposto à luz.

Reddy menciona o uso de uma ferramenta online da 3DP para produção de litofanias, mas um processo similar pode ser realizado no software de fatiamento Ultimaker Cura, que possui uma ferramenta equivalente. O processo inicia com a abertura de uma imagem no Cura, que exibe uma janela de configuração para a conversão da imagem, como mostrado na Figura 13. O usuário pode definir as alturas máximas (Height) e mínimas (Base) para o eixo Z. Há duas configurações principais: “Darker is higher” (o mais escuro é mais alto) e “Lighter is higher” (o mais claro é mais alto), além de uma opção de suavização.

Convert Image	
Height (mm)	2.5
Base (mm)	0.4
Width (mm)	84.32432432432432
Depth (mm)	119.99999999999999
	Darker is higher ▾
Color Model	Linear ▾
1mm Transmittance (%)	50.0
Smoothing	- 1 +

Figura 13. Configurações de ferramenta de litofania. Autor.

A ferramenta do Cura, com base nas configurações aplicadas, analisa o brilho das cores dos pixels e atribui valores de altura proporcionais, dentro do intervalo entre a Base (altura da cor branca) e o Height (altura da cor preta), gerando um

modelo 3D para a impressão da litofania. Esta característica será explorada no desenvolvimento do projeto, como ilustrado na Figura 14.

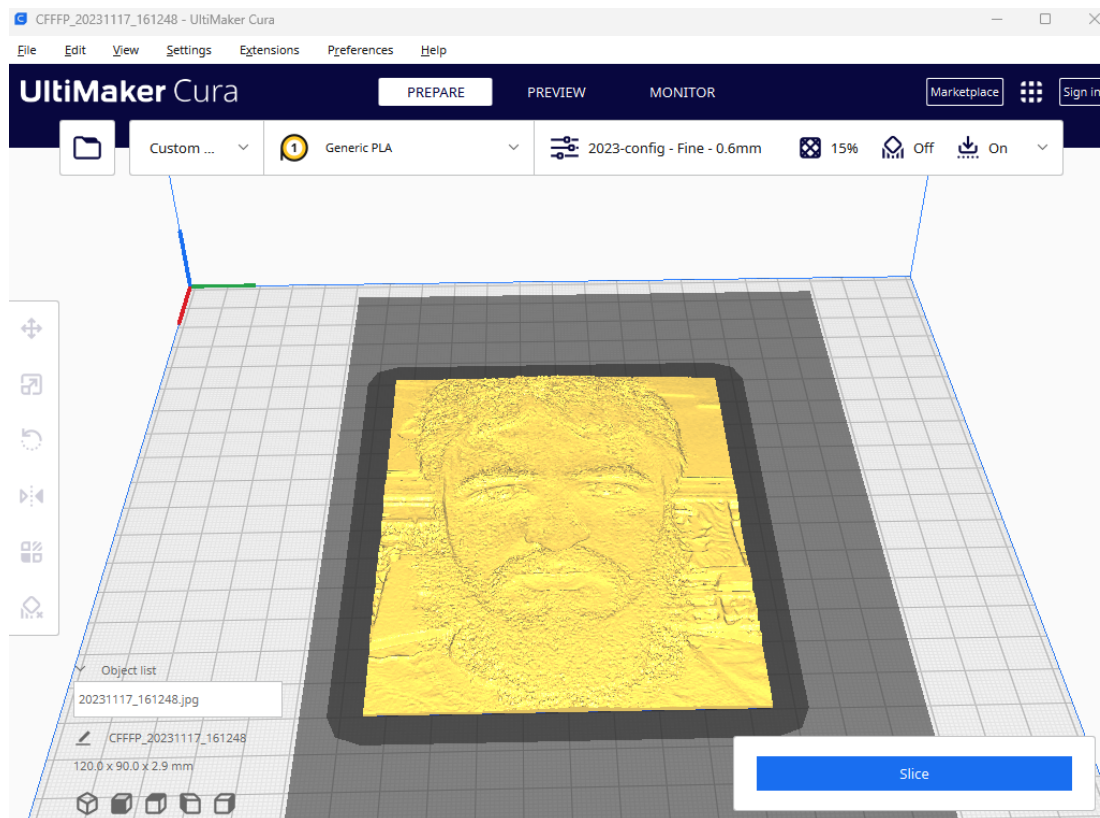


Figura 14. Foto convertida em litofania. Autor.

2.4. Quarta Etapa: Entregar

2.4.1. Darker Is Higher - ferramenta de litofania gerando objetos.

Em vez de seguir a abordagem de Koone et al. em 2022, que se concentra na produção de litofanias, esta técnica explora a flexibilidade das configurações da ferramenta para definir alturas de relevo variáveis, sem um limitador fixo de altura.

Para ilustrar esse efeito, pode-se usar uma imagem com uma escala de cinzas em um fundo branco, como demonstrado na Figura 15. Nesta imagem, a cor preta assume o valor máximo configurado para a altura (height), neste exemplo, 25mm. Por outro lado, o branco da 'folha' é atribuído ao valor base, que é 0,2 mm. As tonalidades de cinza representam valores intermediários, calculados proporcionalmente à quantidade de preto presente em cada tom. Assim, elas assumem uma altura entre o valor mínimo (0% preto, base) e o valor máximo (100% preto, height)."

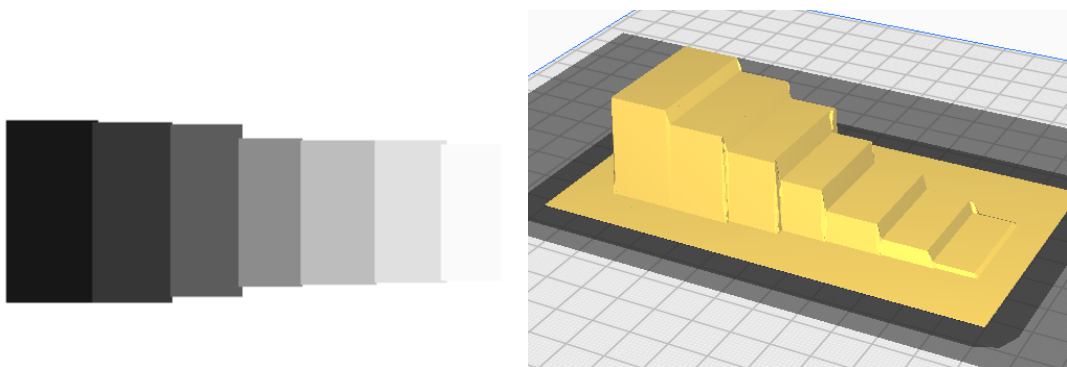


Figura 15. Geração de modelo 3D por escala de cinza. Autor.

Interessantemente, um fundo branco na imagem, quando configurado com altura mínima zero, perde completamente seu volume, conforme demonstrado na Figura 16. Essa característica possibilita a impressão de formas em tons de cinza

como objetos independentes, em vez de relevos vinculados a um plano de fundo, com alturas ajustadas de acordo com a intensidade da cor.

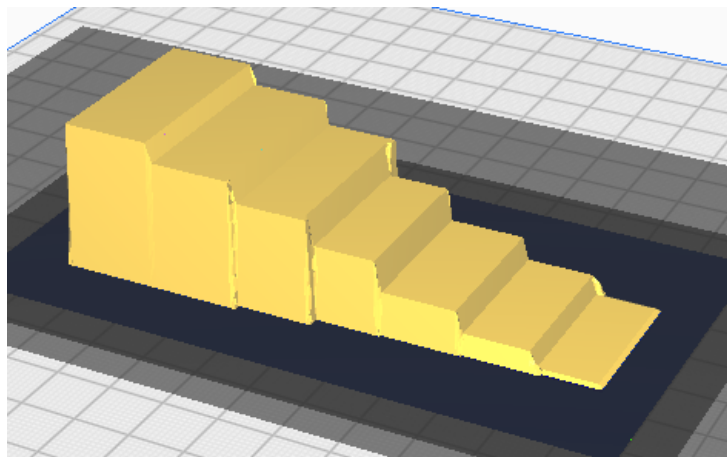


Figura 16. Modelo da Figura 15, sem base. Autor.

Com o objetivo de substituir os modeladores 3D para a modelagem de objetos simples em contextos educacionais, as imagens utilizadas para gerar os modelos 3D serão denominadas 'imagens modelo'.

Esta técnica possui limitações, como a formação de degraus em extrusões de tons de cinza diferentes ou um efeito de curvas de nível em degradês, exemplificadas na Figura 17

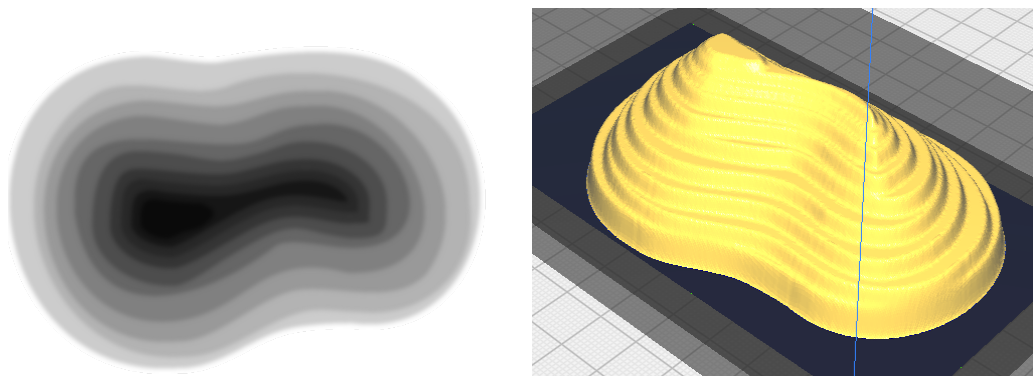


Figura 17. Resultado gerado por degradê. Autor.

No entanto, com criatividade e um controle refinado dos tons de cinza, é possível superar essas limitações. Um exemplo é a criação de uma cadeira utilizando retângulos e três tons de cinza, como ilustrado nas Figuras 18 e 19. Neste exemplo, a cadeira foi criada deitada para que usando um cinza claro se formasse o encosto, o preto originaria o assento e um cinza quase preto formaria as pernas.

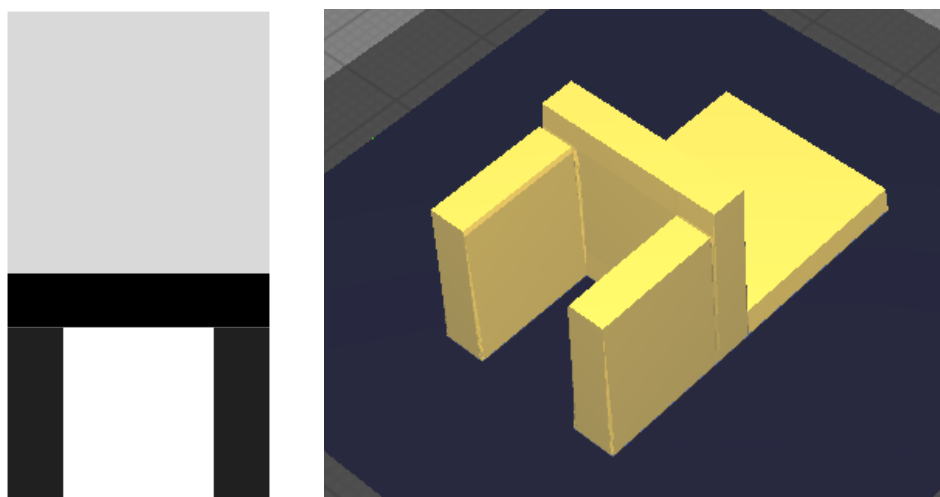


Figura 18. Imagem modelo e resultado. Autor.

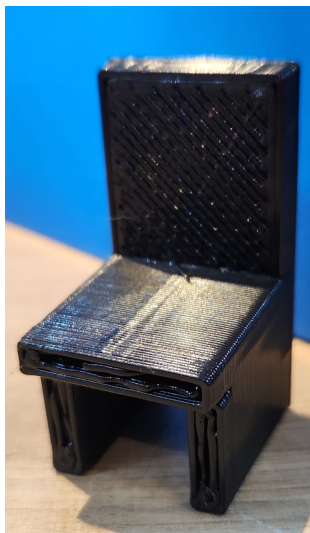


Figura 19. Modelo da Figura 17 impresso. Autor.

A ferramenta de litofania pode ser utilizada de maneira similar às ferramentas de desenho e extrusão encontradas em modeladores 3D tradicionais. Neste processo, o usuário desenha em um plano e, em seguida, realiza a extrusão dessa forma, ajustando a altura da extrusão com base nos tons de cinza da imagem. Detalhes adicionais sobre a utilização desta ferramenta podem ser encontrados no Apêndice B e C.

Diferentemente do trabalho de Koone et al., esta aplicação não se concentra em criar litofanias, mas sim em produzir objetos com relevos desvinculados de uma base, sem focar na translucidez. A falta de registros anteriores de uso de ferramentas de litofania para a produção de modelos 3D que não sejam litofanias pode ser atribuída às limitações dessas ferramentas e à falta de reconhecimento de sua aplicabilidade mais ampla. Para este novo uso de ferramentas de produção de litofania, será adotado o nome 'Darker is Higher' (DiH), em alusão a uma das configurações da ferramenta e considerando o contexto em que foi desenvolvido, dentro de um curso de inglês.

Após estabelecer as bases da técnica, novos sólidos foram criados (conforme ilustrado na Figura 20) e apresentados a uma professora. O objetivo era definir atividades para os primeiros testes, visando avaliar a aplicabilidade da técnica em sala de aula, especialmente com crianças mais novas. Este avanço serve como prelúdio aos estudos de caso detalhados no próximo capítulo, onde a eficácia e a versatilidade desta abordagem serão exploradas mais profundamente. Os estudos de caso apresentarão insights valiosos sobre como essa técnica pode ser integrada de maneira inovadora e eficaz no currículo educacional, especialmente para o engajamento e aprendizado de crianças mais novas. Esta transição do teórico ao prático é crucial para entender a relevância e o potencial de transformação dessa técnica no ambiente de sala de aula.



Figura 20. Impressões 3D feitas a partir da DiH. Autor.

2.4.2. Estudos de Caso

2.4.2.1. Estudo de Caso 1 - Plaquinhas com nome

A primeira aplicação prática da técnica 'Darker is Higher' envolveu alunos de 6 a 8 anos, com o objetivo de introduzi-los ao uso da impressora 3D através de uma atividade interativa. Os alunos criaram seus nomes com recortes de papel cartão preto, que foram posteriormente transformados em plaquinhas personalizadas impressas em 3D, destinadas a identificar seus lugares nas salas de aula.

Para refinar a técnica, inicialmente foi realizada uma aula teste com os assistentes agindo como alunos. Esse teste revelou um desafio significativo: a ausência de um scanner exigiu que as composições fossem fotografadas. As variações de iluminação e as impurezas no papel afetavam a cor de fundo nas fotos, o que poderia resultar em relevos indesejados nas impressões 3D. A solução encontrada foi o uso de um filtro de aumento de contraste no tablet, o que realçava os recortes pretos e garantia que o branco fosse corretamente interpretado como a altura mínima, como demonstrado na Figura 21



Figura 21. Correção de ruído na imagem modelo e efeito. Autor.

Na aula, que contou com a presença de seis alunos de 5 e 6 anos, da professora, de um assistente e do autor do projeto na posição de observador, os

alunos foram inicialmente introduzidos ao conceito de volume e materialidade por meio do uso de uma pistola de cola quente. Esse exercício serviu de base para apresentar a impressora 3D como uma ferramenta mais avançada, capaz de construir objetos sobrepondo camadas de material.

Posteriormente, os alunos foram apresentados ao quadro 'Darker is Higher', como mostrado na Figura 22. Este quadro exibia vários modelos criados com a técnica ao lado das imagens originais, incentivando os alunos a refletir sobre o processo de transformação. A ideia de que 'a cor mais escura é mais alta' foi explicada e utilizada para praticar vocabulário comparativo, como *'black is taller than gray which is taller than white'*.

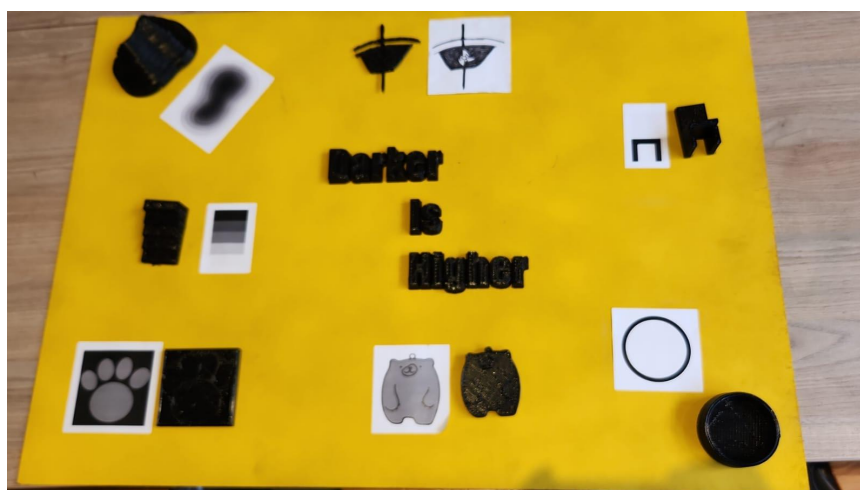


Figura 22. Quadro de exemplos DiH. Autor.

O processo de criação das plaquinhas envolveu a fotografia, recorte e aplicação de um filtro de contraste pelos assistentes, seguido da transferência dos modelos para o software CURA, configurando alturas mínima e máxima de 1mm e 8mm, respectivamente. As plaquinhas, medindo entre 40mm por 100mm a 150mm, foram impressas em um período de 10 a 12 minutos. A aula foi concluída com os alunos assistindo a impressão de três plaquinhas completas e o início da quarta.

2.4.2.2. Estudo de caso 2 - Brinco

Após a conclusão do primeiro teste, um Assistente Educacional demonstrou interesse em explorar a técnica 'Darker is Higher' para um projeto pessoal, decidindo criar um brinco personalizado. Ele iniciou o processo selecionando uma letra 'M' estilizada e preta do Google. Usando o Canva, adicionou um círculo cinza ao 'M', como ilustrado na Figura 23. Após a edição, a imagem foi transferida para o software CURA, onde ele ajustou as dimensões para atender às suas preferências de design.

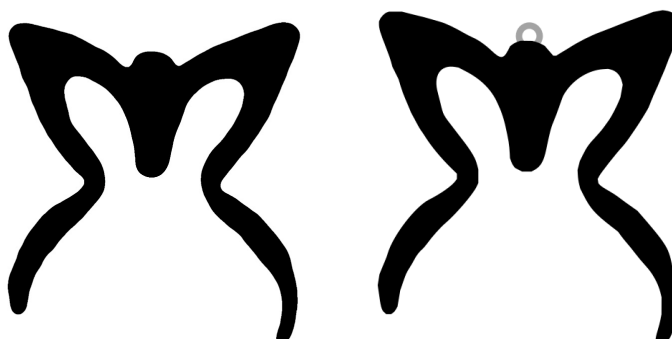


Figura 23. Edição da imagem modelo. Assistente Educacional.

A impressão do brinco foi um sucesso, evidenciado na Figura 24, destacando a eficácia da DiH como uma ferramenta versátil de modelagem 3D. Este exemplo ampliou a compreensão da aplicabilidade da técnica, mostrando que seu uso pode ser utilizado para projetos de criação e expressão pessoal.



Figura 24. Brincos impressos. Assistente Educacional

Ao concluir esta atividade, iniciou-se uma busca por novas aplicações da técnica. A equipe apresentou os modelos já criados a outros professores, com o objetivo de desenvolver novas atividades educacionais alinhadas a conteúdos curriculares relevantes, explorando ainda mais o potencial da DiH em diferentes contextos.

2.4.2.3. Estudo de caso 3 - *Cookie Cutter*

Logo após a conclusão dos primeiros testes, surgiu uma demanda de uma professora para produzir cortadores de biscoito como projeto escolar. Foi sugerida a utilização da técnica Darker is Higher combinada com impressão 3D. Os alunos foram incentivados a desenhar um animal de sua escolha, utilizando lápis e depois um marcador preto para definir os contornos, criando uma imagem clara e adequada para a técnica.

Durante a aula, que contou com 12 alunos divididos em dois grupos, os desenhos foram rapidamente finalizados. A Figura 25 mostra a imagem modelo e seu resultado no software fatiador, onde a dimensão Z foi mantida em 10mm, e as outras dimensões ajustadas, permitindo impressões de no máximo oito minutos.

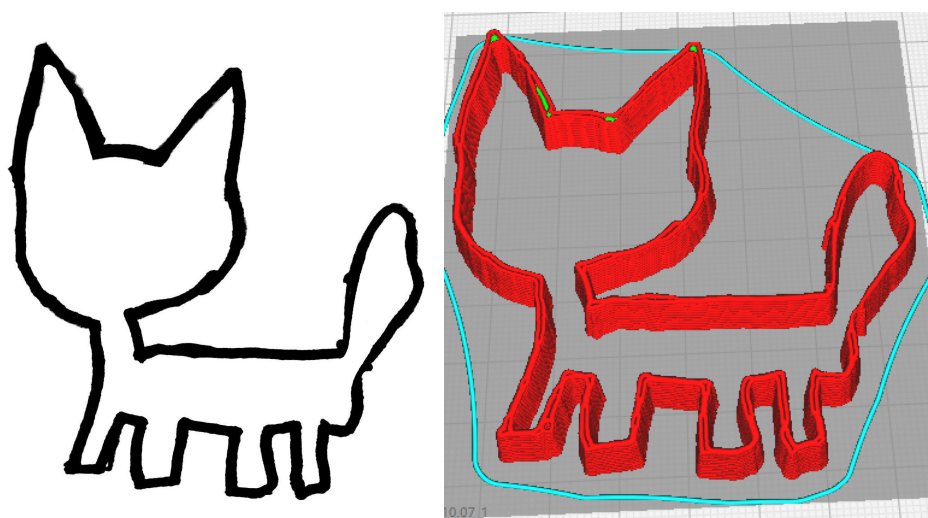


Figura 25. Imagem modelo e resultado. Autor.

No entanto, alguns desenhos apresentaram um desafio técnico ao serem reduzidos para a impressora, resultando em linhas mais finas do que a espessura mínima de impressão de 0.8mm, causando erros no fatiamento. Para contornar isso, a configuração de 'Expansão Horizontal' no software foi ajustada, permitindo

engrossar ou afinar as paredes do modelo nos planos X e Y. Essa solução garantiu a impressão bem-sucedida dos modelos mais desafiadores e foi adicionada às dicas de fatiamento no guia de atividades no Apêndice C.

Após o sucesso das duas atividades com as crianças e do projeto do assistente, surgiu a necessidade de coletar feedback dessas aplicações junto aos professores e ao assistente, buscando aprimorar futuras implementações da técnica.

2.4.3. Feedback da Técnica

Para avaliar a eficácia da técnica 'Darker is Higher', foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com as professoras e o assistente educacional. Essas entrevistas focaram nos acontecimentos em aula, dificuldades encontradas, sucessos alcançados e a comparação da técnica com métodos tradicionais de modelagem 3D.

As professoras elogiaram a simplicidade e a facilidade de aplicação da técnica, destacando sua contribuição para um ambiente de aula mais dinâmico em comparação com modeladores 3D convencionais. A rapidez na produção dos modelos e a conclusão acelerada das impressões reduziram a necessidade de atividades extras para manter as crianças engajadas. Contudo, foi notado que o gerenciamento da fila de espera para a impressão representou um desafio, sugerindo a necessidade de reestruturar a atividade para acomodar turmas maiores de maneira mais eficiente.

Uma das professoras, que participou do projeto piloto, recomendou enfatizar o uso de recursos manuais para criar as imagens, como desenho, recorte e colagem, e explorar a utilização de letras e formas pré-cortadas. Ela propôs a criação de formas geométricas bidimensionais aleatórias em MDF, pintadas de preto, para auxiliar no desenvolvimento de habilidades motoras e vocabulário, incluindo nomes de formas geométricas e ferramentas.

O assistente educacional, autor do brinco do Estudo de Caso 2, compartilhou sua percepção sobre a facilidade e intuição da técnica para criar modelos simples. Ele destacou como a técnica facilitou a confecção de uma imagem que resultou no objeto desejado, ilustrando o potencial da DiH como uma ferramenta educativa eficiente tanto para crianças quanto para adultos. Essa experiência também inspirou a ideia de usar a técnica para promover o engajamento em treinamentos de equipe, incentivando a criação de peças pessoais.

2.4.4. Iteração

O sucesso inicial da técnica 'Darker is Higher' estimulou sua expansão, começando com um programa de treinamento para as equipes de auxílio aos professores. Nestes treinamentos, as equipes aprenderam a técnica e foram encorajadas a aplicá-la na produção de objetos pessoais e decorativos, além de replicar as atividades já testadas. Uma parte crucial do treinamento foi a discussão dos erros cometidos durante a produção, oferecendo uma valiosa oportunidade de aprendizado sobre como ajustar as imagens para corrigir esses erros.

Posteriormente, as atividades desenvolvidas nos estudos de caso foram apresentadas a professores em todas as unidades, que as implementaram com sucesso. Com o apoio das equipes treinadas, os professores conseguiram resolver pequenos problemas surgidos durante as atividades e realizar a impressão da maioria dos modelos dentro do tempo de aula. Essas experiências enriqueceram o uso das impressoras 3D como recurso pedagógico e motivaram outros professores a adotar as atividades.

Com a DiH se estabelecendo, sendo bem recebida e gerando interesse em sua aplicação, o próximo passo foi elaborar orientações de atividades e de uso, para os professores. O guia foi desenvolvido com base nos feedbacks recebidos, tendo como objetivo apresentar aos professores a DiH e propostas de atividade para serem conduzidas em aula.

Para consolidar a técnica de DiH, foram elaboradas orientações de atividades e uso para os professores, baseadas nos feedbacks recebidos. O guia criado tinha como objetivo apresentar a DiH, oferecer formas práticas de introduzi-la às crianças, e fornecer dicas de atividades, incluindo exemplos de peças e instruções sobre como os alunos as produziram. Este guia foi dividido em duas partes: uso e atividades, disponíveis nos Apêndices B e C deste trabalho.

As atividades continuaram sendo replicadas com sucesso nos meses seguintes, beneficiando alunos de 5 a 14 anos. Ainda não houve oportunidade de testar a técnica com alunos mais jovens, de 3 e 4 anos, mas isso permanece como um objetivo futuro.

3. Análise dos resultados

O projeto de implementação da técnica 'Darker is Higher' na Casa Thomas Jefferson alcançou notável sucesso, evidenciado pelo crescente interesse e demanda por equipe especializada na implementação da impressão 3D em aulas. Essa evolução é ilustrada na Figura 26, que contrasta com o estado anterior da impressora, mostrando o aumento no cuidado e uso do equipamento.

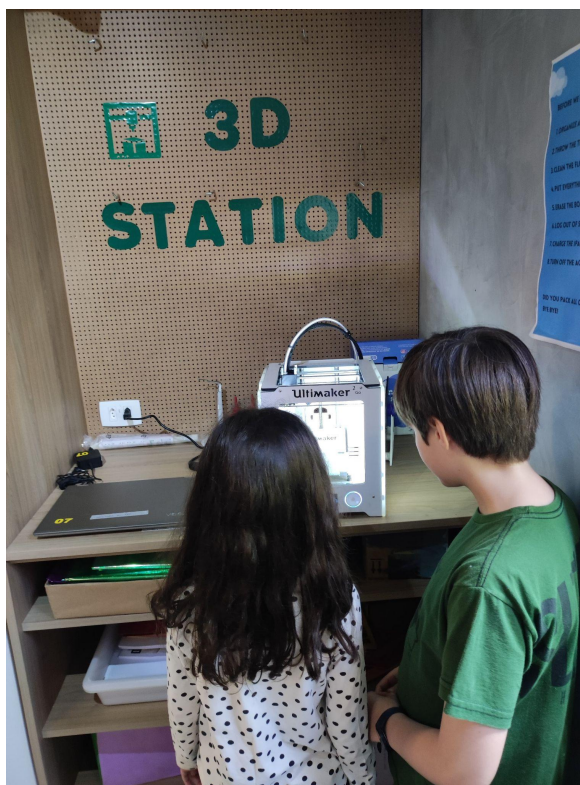


Figura 26. Alunos observando a impressão. Filial Sudoeste. 09/2023. Autor.

A introdução da técnica DiH demonstrou ser eficaz na familiarização de alunos, especialmente os mais jovens, com os conceitos básicos de impressão 3D. Além de facilitar o envolvimento dos estudantes, a técnica provou ser uma abordagem inovadora para ensinar comparativos e superlativos em inglês. A DiH

permitiu expandir a abordagem de ensino com 3D para alunos de até 5 anos, com planos para testar a técnica com crianças ainda mais jovens.

As modificações nas impressoras 3D e nos ajustes do software fatiador tornaram o processo de impressão mais rápido e adequado para o ambiente de sala de aula. O treinamento fornecido às equipes aumentou a autonomia, segurança e previsibilidade na exploração da tecnologia.

Apesar de desafios logísticos em turmas maiores, os aspectos positivos foram significativos. Mesmo que nem todos os alunos pudessem observar a conclusão da impressão em sala de aula, a reflexão sobre o processo criativo foi valiosa. Os trabalhos restantes eram impressos após as aulas e entregues posteriormente, mantendo o interesse dos alunos.

Foi constatada a necessidade de intensificar a capacitação contínua dos professores para assegurar um uso eficiente e consistente da tecnologia de impressão 3D. Para atender a essa demanda, foram desenvolvidas novas atividades, visando promover a adaptação da prototipagem 3D em diversas temáticas educacionais, evidenciando a versatilidade da tecnologia.

Estas atividades foram incluídas no guia disponível no Apêndice C, que será integrado ao programa de treinamento dos professores. Além disso, o guia servirá como um recurso valioso para os designers de cursos, oferecendo orientações práticas na elaboração de planos de aula que incorporam a impressão 3D. O objetivo é fornecer aos educadores ferramentas e ideias para explorar o potencial da impressão 3D em diferentes contextos educacionais, incentivando a criatividade e o engajamento dos alunos.

O projeto foi um sucesso notável na superação de barreiras para a implementação da impressão 3D como recurso pedagógico. Essencialmente, contribuiu para diminuir a resistência dos professores e aumentou significativamente

o interesse e a participação dos alunos no processo de aprendizado. A mudança na percepção e no uso do equipamento de impressão 3D foi uma das conquistas mais notáveis, saindo de um estado de negligência para se tornar um recurso amplamente procurado e valorizado por funcionários e alunos.

Este sucesso motivou o Designer de Curso a planejar a inclusão oficial das atividades e técnicas desenvolvidas no projeto DiH no programa de treinamento dos professores para 2024, um testemunho claro da eficácia e da relevância do projeto. No entanto, permanece o desafio de adaptar as estratégias de ensino para acomodar turmas de diferentes tamanhos, um aspecto crucial para garantir a sustentabilidade e a eficiência do projeto a longo prazo

4. Trabalhos futuros

Para aprimorar a aplicação da técnica 'Darker is Higher' em sala de aula, é crucial desenvolver e testar uma variedade mais ampla de atividades, adaptáveis a diversos contextos educacionais. Este processo já começou com a observação de projetos realizados em diferentes módulos, levando à geração de novas propostas, que serão testadas no próximo ano. Além disso, é necessário testar as atividades com o público de 3 a 5 anos e adaptar a técnica para esse grupo etário, bem como aprimorar as atividades para o público adolescente.

Com a integração da DiH no treinamento dos professores e nos planos de aula em 2024, espera-se um aumento na demanda pelas impressoras 3D. Portanto, é essencial estabelecer estratégias para a reserva dessas máquinas, garantindo o acesso justo e eficiente para todos os professores, e considerar a aquisição de equipamentos adicionais, se necessário.

O treinamento contínuo das equipes auxiliares no uso e na manutenção das impressoras 3D é fundamental. Este treinamento deve incluir a aplicação das novas atividades propostas e a constante iteração e aprimoramento da técnica, assegurando a continuidade das mudanças positivas e oferecendo suporte aos professores.

Existe também o interesse em explorar as possibilidades da DiH em novos cenários, como a criação de um curso de projeto maker. A técnica poderia ser apresentada como uma introdução à modelagem 3D, permitindo que os alunos comecem a desenvolver os conceitos iniciais de seus projetos de forma mais acessível, antes de avançarem para a modelagem de peças mais complexas. Isso poderia ajudar a reduzir a frustração inicial com a curva de aprendizado dos modeladores 3D, facilitando o processo de criação e aprendizado dos alunos.

5. Bibliografia

Agency by Design. “Maker-Centered Learning and the Development of Self: Preliminary Findings of the Agency by Design Project.” Edited by Project Zero and Harvard Graduate School of Education. 2015, https://pz.harvard.edu/sites/default/files/Maker-Centered-Learning-and-the-Development-of-Self_AbD_Jan-2015.pdf. Acesso: 10/11/2023.

ANACLETO CHICCA JUNIOR, N., and L. GOMEZ CASTILLO. “Os desafios em utilizar a impressão 3D no processo ensino-aprendizagem de design. Revista Novas Tecnologias na Educação.” *Revista Novas Tecnologias na Educação*, vol. 16, no. 1, 2018, <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/86040>. Acesso 25/11/2023.

Design Council. “The Double Diamond.” Design Council, <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>. Accessed 14 12 2023.

Flusser, V. *O Mundo Codificado*. 1ª ed. São Paulo: Cosac Naify, 2007. ISBN 978-8575035931

FRONT. Sketch Furniture. 2005, <http://www.frontdesign.se/sketch-furniture-performance-design-project>. Acesso em 20/11/2023.

Kerr, T. *3D Printing: Introduction to Accessible, Affordable Desktop 3D Printing*. 1ª ed. 2022. *Synthesis Lectures on Digital Circuits & Systems*. ISBN: 9783031193491

Knapen, Tim, and Unfold. *L’Artisan Électronique*. 5/2010. Unfold, <https://unfold.be/pages/l-artisan-electronique.html>. Acesso em 20/11/2023.

Koone, Jordan C., et al. "Data for all: Tactile graphics that light up with picture-perfect resolution." *SCIENCE ADVANCES*, vol. 8, no. 33, 2022, pp. 26-40, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abq2640>. Acesso em 01/12/2023.

Pearson, H. A.; Dubé, A. K. *3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice*. *Education and Information Technologies*, v. 27, n. 3, p. 3037-3064, 6 set. 2021. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10733-7>. Acesso em: 29/11/2023.

Reddy, Siddavatam Rammohan. "A LITHOPHANE MODEL MAKING PROCESS TO 3D PRINTERS." *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 11, no. 5, 2020, pp. 48-53, <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=11&IType=5>. Acesso em: 07/12/2023.

Sagan, Carl. *The Demon-Haunted World*. Random House Publishing Group, 1997.

Warnier, C.; Verbruggen, D. (Unfold); Gestalten (Eds.). *Printing Things: Visions and Essentials for 3D Printing*. Berlim: Gestalten, 2014. ISBN 978-3-89955-516-5

6. Apêndices

6.1. Apêndice A - Guia: Acelerando A Impressão 3D

Este guia fornece instruções detalhadas para técnicos que precisam preparar impressoras 3D para uma impressão mais rápida, com foco na técnica Darker is Higher. As seguintes modificações e configurações devem ser aplicadas:

6.1.1. Alteração do Bico e Configuração da Impressora:

6.1.1.1. Substitua o nozzle por um de 0.8mm. Esta mudança permite uma maior vazão de filamento, resultando em linhas mais grossas e reduzindo o tempo para imprimir cada camada;

6.1.1.2. No software de fatiamento, modifique as configurações da máquina o nozzle de 0.8mm.

6.1.2. Configurações de Altura de Camada e Espessura de Linha:

6.1.2.1. Usar o nozzle de 0.8mm permite usar camadas mais altas, use o valor de 0.5 ou 0.6mm, que vai reduzir a quantidade de camadas necessárias para imprimir o modelo, reduzindo também o tempo de impressão;

6.1.2.2. Experimente usar uma camada inicial mais baixa, de 0.3 ou 0.4mm para melhorar a adesão a mesa e dispensar o uso de configurações de adesão como o brim;

6.1.2.3. Altere a espessura de linha, é possível fazer camadas mais espessas que o diâmetro do bico, use valores de 0.8 a 1.2 nesta configuração.

6.1.3. Ajuste de Paredes, camadas de topo e base:

6.1.3.1. Altere a quantidade de camadas de paredes, com uma linha grossa a peça já vai ter resistência com uma única parede, mas use duas se quiser ter um melhor acabamento superficial;

6.1.3.2. A altura da camada já está alta, isso permite uma boa resistência da base, use uma, no máximo duas para a base, e duas ou três para o topo, faça testes para ver se o fechamento está saindo sem buracos!

6.1.4. Configurações de Preenchimento e Temperatura:

6.1.4.1. Defina o padrão de preenchimento para um estilo zig zag com uma densidade de 10%, que pode ser reduzida para 5% em peças com topo afunilado ou que exijam distâncias menores para o bico percorrer. Esta abordagem garante que não haja buracos na impressão;

6.1.4.2. Ajuste as temperaturas de impressão, com as outras modificações elas tendem a ser mais elevadas, faça testes para encontrar a temperatura que garanta melhor adesão entre camadas formando menos webs. Deixe a retração do filamento desativada para fazer os testes.

6.1.5. Ajuste de Expansão Horizontal:

Utilize a configuração de "Expansão Horizontal" no software para ajustar as dimensões das paredes do modelo nos planos X e Y. Isso permite a impressão bem-sucedida de modelos com contornos muito finos ou muito grossos. Use valores negativos para deixar as paredes mais finas e positivos para deixar mais grossas.

6.1.6. Distância de retração:

Após a configuração da temperatura, ajuste a retração para reduzir a formação de webs, mas fique de olho, se ele tiver dificuldade em fechar as paredes direitinho ou se começar a quebrar o filamento, é porque você exagerou demais, ou está usando filamento velho ou de má qualidade.

6.1.7. Special modes:

Você pode usar o famoso Vase Mode, às vezes chamado de Surface mode, com a opção de espiralizar o contorno, sem usar retração para usar aqueles filamentos mais velhos e quebradiços. Sempre é bom ver se ele vai ser compatível com a peça que você está imprimindo!

Essas modificações e ajustes demonstraram reduzir significativamente o tempo de impressão, em alguns casos para menos da metade do tempo original. No entanto, é importante notar que o efeito varia dependendo do tamanho e da geometria da peça impressa, devendo ser otimizadas para cada atividade.

6.2. Apêndice B - Guia de uso da Darker is Higher no contexto escolar:

Este guia foi elaborado para informar os professores acerca da Darker is Higher (DiH) e como usá-la como um recurso pedagógico.

6.2.1. O que é Darker is Higher?

DiH é um método para incorporar a impressão 3D como ferramenta de projeto em sala de aula. Este método utiliza de uma ferramenta de produção de litofania como uma forma alternativa de produzir modelos 3D sem necessidade de softwares de modelagem 3D. Foi desenvolvido para ser uma ferramenta prática nas aulas, permitindo aos alunos aprender fazendo.

6.2.2. Por que usar DiH?

A DiH usa um ferramenta de produção de litofanias que transforma imagens em modelos 3D, onde áreas mais escuras correspondem a maiores alturas no relevo. Isso simplifica o processo de design 3D, tornando-o mais acessível e interessante para os estudantes, especialmente os mais jovens, pois permite a elaboração rápida de modelos 3D sem a exposição prolongada a telas.

6.2.3. Usando a técnica Darker is Higher:

1. Gerando a imagem modelo:

- a. Fazer um desenho ou composição com tons de cinza
- b. Tirar foto do desenho ou composição, recomenda-se usar apps de scanner que possuem filtros que aumentam o contraste e limpam sombras e sujeiras.
- c. Recortar a foto para reduzir o branco da imagem.
- d. Passar a imagem para o computador

2. Usando a ferramenta de Litofania do Cura:

Esta etapa do processo vai ser realizada por um Assistente com conhecimento do fatiador e do uso do Cura, mas caso tenha curiosidade, segue o passo a passo:

- a. Abrir a imagem no Cura, vai aparecer uma janela tal como visto na Figura 27.

Convert Image	
Height (mm)	2.5
Base (mm)	0.4
Width (mm)	84.32432432432432
Depth (mm)	119.99999999999999
	Darker is higher <input type="checkbox"/>
Color Model	Linear <input type="checkbox"/>
1mm Transmittance (%)	50.0
Smoothing	- 1 +

Figura 27. Ferramenta de litofania no Cura. Autor.

- b. Selecionar a altura máxima do modelo em Height
- c. Colocar altura de base como zero
- d. Clicar em ok
- e. Usar as ferramentas do cura de escala para alterar o X e Y e se necessário, o Z
- f. Otimizar as configurações de acordo com o modelo.

3. Imprimir

- a. É recomendável ter mais de um cartão SD, para fatiar outros modelos e salvar no segundo cartão SD enquanto o primeiro está imprimindo.

6.2.4. Abordando os conteúdos em sala de aula.

Este capítulo aborda dicas de como apresentar a impressora 3D, e a DiH para os alunos, assim como dicas para planejar uma aula usando a DiH como recurso pedagógico.

6.2.4.1. Como apresentar a impressora 3D aos alunos?

1. Se for a primeira vez que os alunos vão ver a impressora 3D, apresente a elas a pistola de cola quente, fale sobre segurança e risco de queimadura se você for descuidado, peça para fazerem uma linha com a pistola de cola quente e espere esfriar, peça pra fazerem outra linha por cima da primeira, pergunte o que eles acham que aconteceria se vocês fizessem uma terceira linha, e várias linhas? Seria possível construir algo assim?
2. Apresente a impressora 3D como uma pistola de cola quente robô.

6.2.4.2. Como apresentar a Darker is Higher aos alunos?

1. Apresente uma uma imagem de um quadrado preto e a impressão 3D daquele quadrado preto, pergunte o que eles estão vendo ali, deixe tirarem as próprias conclusões
2. Apresente uma imagem com um contorno preto e a impressão 3D do cortador de biscoitos, pergunte o que estão vendo, deixe eles elaborarem as conclusões

3. Apresente uma escala de cinzas e mostre uma escadinha impressa. perguntem o que estão vendo, e pergunte, o que vocês acham que é mais alto? este preto ou este cinza? este cinza escuro ou este cinza claro? prossiga permitindo que cheguem às conclusões.
4. Apresente um desenho com 3 tons de cinza e o preto e perguntem a forma que aquela imagem geraria, qual seria a parte mais alta?
5. Mostre imagens de diferentes objetos e os objetos que elas geraram fale que quanto mais escuro é mais alto fica na peça impressa.
6. Experimente criar um quadro com exemplos de imagem e peças impressas tal como observado na Figura 28.

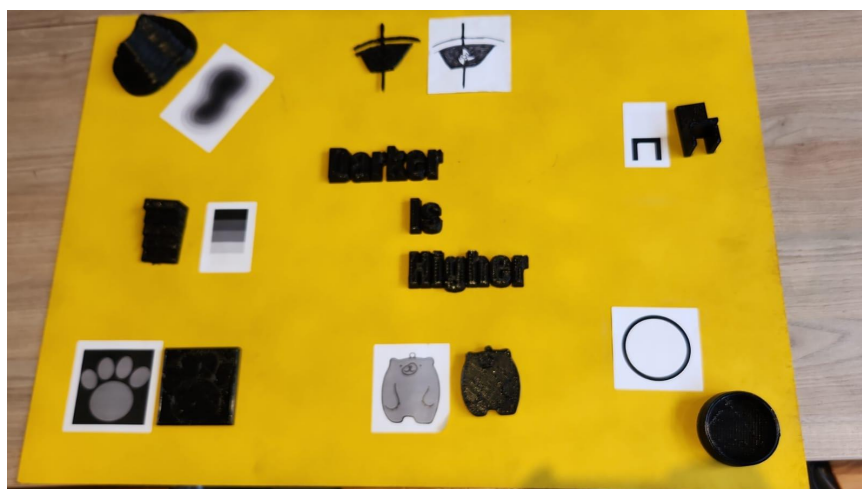


Figura 28. Quadro de exemplos. Autor.

6.2.4.3. Como desenvolver a atividade com a impressora 3D?

- 1) Planejamento com Técnico: Antes de começar, é bom repassar o plano de aula com o técnico responsável. Eles podem ajudar a ajustar a impressora 3D para tornar as impressões mais rápidas e eficientes.
- 2) Observação da Impressão: É recomendável que os alunos observem pelo menos uma impressão completa de uma peça. Isso os ajuda a entender melhor o processo e a discutir o que aprenderam enquanto a experiência ainda está fresca em suas mentes.
- 3) Adaptação às Necessidades da Turma: Verifique o número de alunos, faça ensaios junto ao técnico para melhor prever o tempo que vai levar para a impressão das peças e, se necessário, considere trabalhar em duplas ou trios, ou mesmo dividir a turma para que uma parte faça a atividade com a impressão em uma aula enquanto a outra faz uma atividade complementar e na aula seguinte eles revezam, para otimizar o tempo de impressão.
- 4) Utilidade da peça: não faça algo por fazer, de uma utilidade para aquela peça, se for um cortador de biscoitos, faça uma aula falando de receitas antes e uma aula cozinhando e usando os cortadores depois, um carimbo pode servir para eles identificarem suas atividades, uma placa com o nome para identificar suas mesas ou o espaço de guardar sua mochila, de significado para as peças produzidas, insira-as em um contexto maior.
- 5) Para todas as atividades é necessário o uso de Smartphone ou Tablet, com um aplicativo de scanner ou de foto com filtros de alto contraste.

- 6) Todas as atividades foram projetadas para serem usadas com o fatiador Ultimaker Cura, mas pode-se usar um software de litografia online e um fatiador de sua preferência.

6.3. Apêndice C - Guia de atividades

Este guia sugere uma série de formas manuais de criação das imagens modelo, com o uso de desenhos, recortes e colagens, focando no necessário desenvolvimento motor das crianças, mas as atividades podem ser adaptadas para os alunos mais velhos, com o uso de ferramentas digitais e softwares de manipulação de imagens, que permitem maior controle de formas e cores.

Estas atividades servem como uma referência de possibilidades de como incorporar a Darker is Higher ao conteúdo de suas aulas.

6.3.1. Atividade - Placa com nome

Esta atividade tem como objetivo confeccionar uma imagem modelo e um modelo 3D tal qual ilustrados pela Figura 29, tal peça depois de impressa pode ser usada para identificar mesas, armários ou locais para se pôr a mochila, ou usadas em atividades para identificar e chamar as crianças.



Figura 29. Imagem modelo e Placa com nome. Autor.

Materiais:

- Letras recortadas em papel preto
- Folha branca

Instruções:

1. Cole as letras no papel para formar seu nome;
2. Tire a foto da folha, tomando cuidado de estar em um local claro, e evitando a projeção de sombras sobre a folha;
3. Recorte a imagem no formato que você deseja que fique a plaquinha;
4. Passe a foto pro computador, se necessário use o editor de fotos nativo para aumentar mais contraste;
5. Abra a imagem no Cura.

Dica de fatiamento

- Use 1 ou 2mm para altura de base na hora de abrir a imagem no cura
- Com uma grande área na base, você pode usar uma camada inicial mais alta sem se preocupar com a aderência.
- Uma linha de parede é o suficiente
- Tente dimensionar a peça de olho no tempo de impressão

6.3.2. Atividade - Cortador de biscoitos

Esta atividade tem como objetivo confeccionar uma imagem modelo e um modelo 3D tal qual ilustrados pela Figura 30, a peça resultante poderá ser utilizada como cortador de biscoitos na próxima aula.

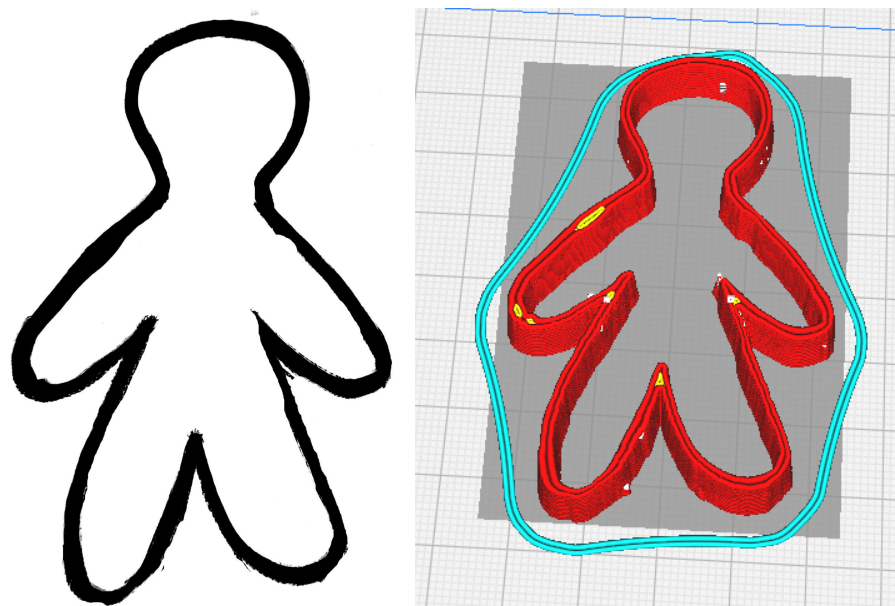


Figura 30. Imagem modelo e cortador de biscoito. Autor.

Materiais:

- Lápis
- Borracha
- Marcador Preto
- Folha branca

Instruções:

1. Faça um desenho de lápis na folha branca;
2. Contorne o desenho com um marcador preto;
3. Recorte a imagem para reduzir o espaço branco ao redor do contorno;
4. Passe a foto pro computador, se necessário use o editor de fotos nativo para aumentar mais contraste;
5. Abra a imagem no Cura.

Dica de fatiamento

- Use 0.3mm na altura da primeira camada para garantir uma boa aderência
- Se o contorno ficou muito fino em algum ponto e o fatiamento não estiver ficando bom, use a expansão horizontal para corrigir.
- Tente dimensionar a peça de olho no tempo de impressão

6.3.3. Atividade - Carimbo

Esta atividade tem como objetivo confeccionar uma imagem modelo e um modelo 3D tal qual ilustrados pela Figura 31, tal peça depois de impressa poderá ser utilizada como Carimbo para identificar trabalhos dos alunos, ou para o aluno marcar em uma folha como já tendo concluído uma atividade, ou para interagir com outros alunos.

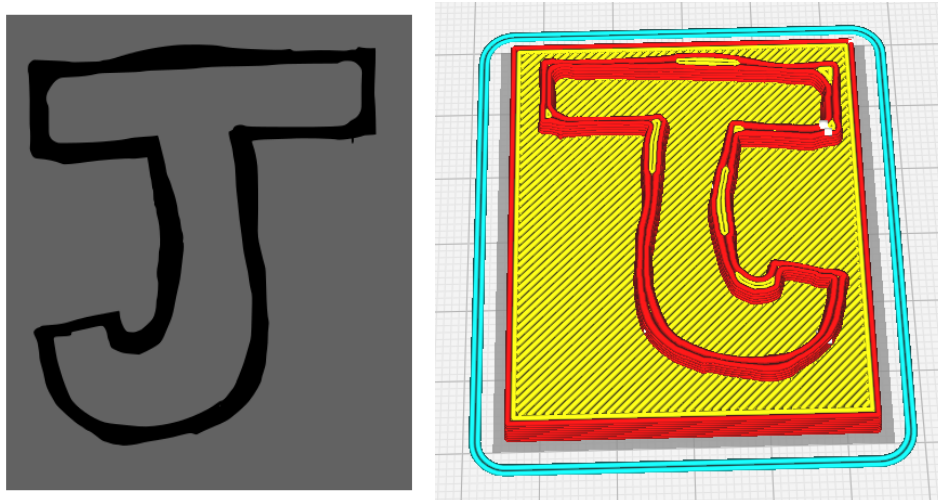


Figura 31. Imagem modelo e carimbo. Autor

Materiais:

- Lápis
- Borracha
- Marcador Preto
- Folha branca
- Recorte de papel cinza
- Cola

Instruções:

1. Cole o recorte de papel cinza na folha branca;
2. Desenhe a lápis dentro do papel cinza o que o carimbo deve ter de escrita ou desenho;
3. Contorne o desenho com um marcador preto;
4. Recorte a imagem para retirar o excesso da folha em branco;
5. Passe a foto pro computador, se necessário use o editor de fotos nativo para aumentar mais contraste;
6. Abra a imagem no Cura.

Dica de fatiamento

- Espelhe o modelo gerado para ele servir como carimbo.
- Com uma grande área na base, você pode usar uma camada inicial mais alta sem se preocupar com a aderência.
- Uma linha de parede é o suficiente.
- Tente usar um pouco mais de preenchimento ou mais camadas de topo para evitar buracos.
- Tente dimensionar a peça de olho no tempo de impressão.
- Se o contorno ficou muito fino em algum ponto e o fatiamento não estiver ficando bom, use a expansão horizontal para corrigir.

6.3.4. Atividade - Pegadas

Esta atividade tem como objetivo confeccionar uma imagem modelo e um modelo 3D tal qual ilustrados pela Figura 32, para serem usados para marcar pegadas em um material macio como argila ou massinha de modelar, pode ser usado em uma atividade de tentar identificar quem deixou o rastro de pegadas ou em atividade para falar de pegadas fósseis.

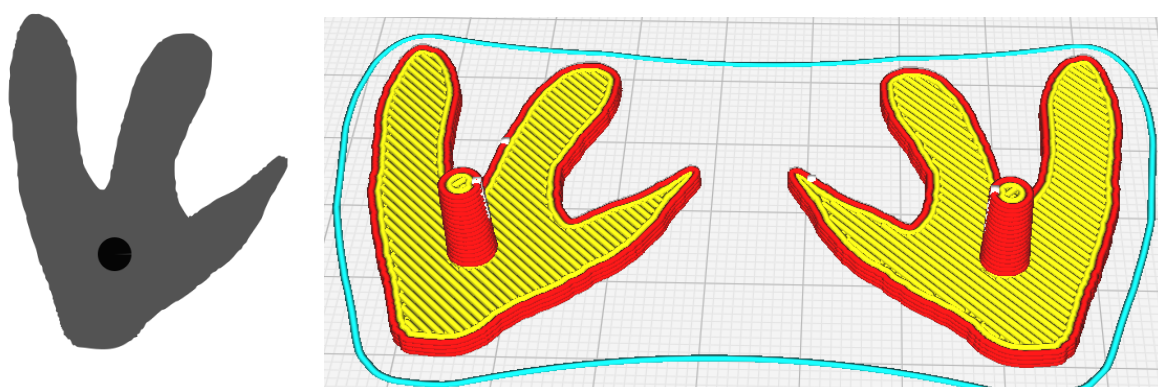


Figura 32. Imagem modelo e pegadas. Autor.

Materiais:

- Lápis
- Borracha
- Papel Cinza
- Marcador preto
- Folha em branco
- Tesoura
- Cola

Instruções:

1. Desenhe a pegada no papel cinza;
2. Com a tesoura recorte a pegada
3. Cole sua pegada no papel branco
4. Desenhe um círculo com o marcador preto dentro da pegada
5. Recorte a imagem para retirar o excesso da folha em branco.
6. Passe a foto pro computador, se necessário use o editor de fotos nativo para aumentar mais contraste.
7. Abra a imagem no Cura

Dica de fatiamento

- Espelhe o modelo gerado para fazer a pegada para o segundo pé.
- Uma linha de parede é o suficiente.
- Tente usar um pouco mais de preenchimento ou mais camadas de topo para evitar buracos.

6.3.5. Atividade - Quarto visto de cima

Esta atividade tem como objetivo confeccionar uma imagem modelo e um modelo 3D tal qual ilustrados pela Figura 33, este modelo servirá para trabalhar a inteligência espacial do aluno, comparativos e superlativos.

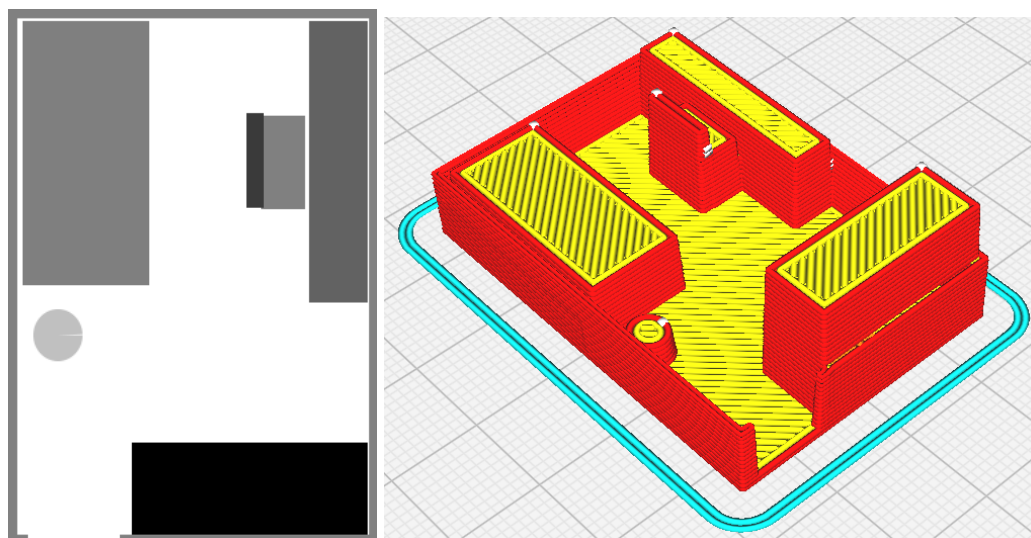


Figura 33. Imagem modelo e quarto. Autor.

Materiais:

- Papel Cinza claro
- Papel Cinza médio
- Papel Cinza escuro
- Papel preto
- Folha em branco
- Tesoura
- Cola

Instruções:

1. Recorte as paredes do seu quarto no Cinza médio e cole no papel branco.
2. Recorte sua cama no papel Cinza médio e cole no espaço do seu quarto
3. o que tem no chão do seu quarto, menor que sua cama? recorte no papel cinza claro e cole no espaço do quarto
4. O que tem no seu quarto maior que sua cama? Separe os objetos maiores que a cama em dois grupos: os muito maiores e os pouco maiores. recorte de cinza escuro os muito maiores e de cinza claro os pouco maiores. cole os objetos no espaço do quarto.
5. Recorte a imagem para retirar o excesso da folha em branco.
6. Passe a foto pro computador, se necessário use o editor de fotos nativo para aumentar mais contraste.
7. Abra a imagem no Cura

Dica de fatiamento

- Use 1 ou 2mm para altura de base na hora de abrir a imagem no cura
- Evite modelos pequenos que desapareçam com algum elemento
- Tente dimensionar a peça de olho no tempo de impressão

6.5. Apêndice D - Perguntas motivadoras para o feedback da DiH.

Lista de perguntas que guiaram as entrevistas de feedback:

- 1- Você já aplicou a impressão 3D como ferramenta pedagógica antes?
- 2- Se sim, quais as principais dificuldades que você presenciou?
- 3- O que mudou para esta nova aplicação?
- 4- A técnica DiH correspondeu às suas necessidades para as práticas em aula?
- 5- Você teve alguma dificuldade na aplicação da DiH?
- 6- Você imagina alguma outra atividade em que faça sentido usar esta técnica?
- 7- Como você gostaria que fosse o formato de um guia para esta técnica?