



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**A FABRICAÇÃO DIGITAL APLICADA AO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE *DESIGN* DE MOBILIÁRIO**

Mariel Selingardi Espíndola

2024

CAMPO GRANDE | MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**A FABRICAÇÃO DIGITAL APLICADA AO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE *DESIGN* DE MOBILIÁRIO**

MARIEL SELINGARDI ESPÍNDOLA

Dissertação para defesa do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Gilfranco Alves

CAMPO GRANDE

AGOSTO/2024



FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIEL SELINGARDI ESPÍNDOLA

A FABRICAÇÃO DIGITAL APLICADA AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE DESIGN DE MOBILIÁRIO

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em **28 de agosto de 2024**, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilfranco Alves (Orientador - Presidente)

Prof. Dra. Andrea Naguissa Yuba (Titular)

Prof. Dra. Renata Benedetti Mello Nagy Ramos (Titular)

Profa. Dr. Andres Cheung (Suplente interno)

Prof. Dra. Juliana Trujillo (Suplente externo)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Renata Benedetti Mello Nagy Ramos, Usuário Externo**, em 19/09/2024, às 09:55, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gilfranco Medeiros Alves, Professor do Magisterio Superior**, em 01/10/2024, às 10:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Andrea Naguissa Yuba, Professora do Magistério Superior**, em 01/10/2024, às 13:27, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5120532** e o código CRC **39105031**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.021190/2024-11

SEI nº 5120532

AGRADECIMENTOS

“A gratidão é mãe de todas as virtudes”

Em primeiro lugar à Deus, que tornou essa árdua tarefa possível, me mostrando que é justo que muito custe o que muito vale. Obrigada por me capacitar até aqui, e colocar as pessoas certas em meu caminho, sei que foi tarefa Sua.

Aos meus pais, José e Marisa, meus primeiros professores, que desde sempre me mostraram que o conhecimento é a melhor herança que os pais podem deixar aos seus filhos, pois uma vez dado, nunca mais será tomado. Obrigada por prezarem sempre pela minha educação, e por terem me passado os valores que me fazem ser quem sou com muito amor, carinho e paciência. Obrigada também às minhas irmãs, Nádia e Natália, os melhores presentes que já ganhei nessa vida. Por serem tão minhas, e por estarem sempre ao meu lado, vivendo as dores e as delícias dessa vida comigo.

Ao Raphael, que iniciou esse processo sendo meu namorado, se tornou meu noivo, e ao término dessa árdua jornada, segue ao meu lado, agora como meu marido. Obrigada pelo apoio imensurável, pela dedicação em não me deixar desistir, por acreditar infinitamente mais em mim do que eu mesma, pelos inúmeros momentos em que se ausentou para que eu pudesse produzir, e por sempre falar as palavras que eu preciso ouvir, e não aquelas que eu desejo. Isso é amor, verdadeiro.

Ao meu escritório Selingardi Arquitetura, em especial à minha mãe Marisa, aqui no papel de sócia e da melhor professora de arquitetura que eu poderia ter na vida, por ter me proporcionado um ambiente seguro, estável, e por ter trabalhado em dobro nos meus momentos de ausência, para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Obrigada pelo apoio.

Ao meu orientador, Gil, que me orientou na graduação, e que agora nesta outra etapa se fez presente mais uma vez, não somente como um verdadeiro orientador, que guia e indica o melhor caminho, mas também como um amigo que tantas vezes ouviu os momentos de pânico, e sempre com sabedoria e calma soube ser uma luz no fim do túnel, me indicando as ferramentas (leia-se livros, artigos, ideias, entre tantas outras coisas) necessárias para que eu pudesse chegar até aqui. Muito obrigada, você é brilhante! Aos professores que cruzaram meu caminho nessa jornada, em especial, Juliana Trujillo, Mayara Dias, Andrea Naguissa e Ana Paula Milani.

Às minhas colegas do mestrado Ana e Natacha, que foram parceiras nos inúmeros momentos de desespero, dando o suporte necessário para que nenhuma de nós desistisse. Saibam que vocês foram inspiradoras nesse processo, por estarem sempre à minha frente, e me fazerem enxergar que eu também conseguiria. Ao meu colega Paulo, por toda a ajuda e disponibilidade em me auxiliar no processo prático dessa pesquisa, minha imensa gratidão por todo o conhecimento compartilhado comigo.

À minha companheira canina Caramela, por estar sempre ao meu lado em tantas manhãs, tardes, noites e madrugadas, sem deixar que esse processo produtivo se tornasse solitário. Obrigada pela sua querida e amável companhia.

Por fim, ao grupo de pesquisa Algo+Ritmo da UFMS, pelas discussões e conversas relevantes, que despertam a curiosidade, a vontade de aprender e de tornar o mundo um lugar melhor. À UFMS pelo maravilhoso programa de Pós-Graduação oferecido de maneira integral e completa, e à CAPES.

RESUMO

Processos de transformação estão intrinsecamente ligados ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao uso de máquinas, que facilitam e tornam a transformação de materiais em produtos mais eficiente, produtiva e inovadora. Diante de tais transformações, o presente trabalho apresenta como eixo temático o encadeamento entre os processos de fabricação artesanal, de fabricação industrial e de fabricação digital, visando expor as potencialidades apresentadas pela fabricação digital, identificar as conveniências dessa mudança de processos, e também exemplificar e experimentar as técnicas digitais abordadas de maneira prática, com a prototipagem e a fabricação de um produto de mobiliário. Todo este processo de experimentações práticas foi, juntamente com um questionário aplicado à profissionais da área, instrumentos para a elaboração do produto final desta pesquisa, que tem como objetivo geral a proposição de um *workflow* de processos digitais, com o objetivo de orientar futuros usuários interessados em práticas digitais a iniciarem seus projetos. Foi realizada uma revisão bibliográfica acerca do eixo central da pesquisa, e foram utilizados conceitos da Cibernética, como a retroalimentação e *feedback looping* para o desenvolvimento dos protótipos. A metodologia do *Design Science Research* foi a base para o desenvolvimento do produto final, por ser o método mais adequado para proposições. Além disso, alguns conceitos do *Metadesign* foram também utilizados neste estudo. Apresenta-se como resultado, uma estante fabricada digitalmente em escala 1:1, que atende aos requisitos de adaptabilidade aos diferentes contextos de residência e formas de morar, e que também apresenta uma estética agradável ao senso comum dos usuários em geral. Essa experimentação atuou como instrumento para a elaboração do Guia de Fabricação Digital para Mobiliários, produto final da presente pesquisa, que busca também fomentar uma discussão ainda maior acerca do *framework* desenvolvido, trazendo como resultado uma contribuição tecnológica-social.

Palavras-chave: fabricação digital; *design* de mobiliário; arquitetura e urbanismo.

ABSTRACT

Transformation processes are intrinsically linked to the development of new technologies and the use of machines, which facilitate and make the transformation of materials into products more efficient, productive, and innovative. In view of such transformations, the present work presents as its thematic axis the link between the processes of handcrafted fabrication, industrial fabrication, and digital fabrication, aiming to expose the potentialities presented by digital fabrication, identify the advantages of this process shift, and also exemplify and experiment with the digital techniques addressed in a practical manner, through the prototyping and manufacturing of a furniture product. All these practical experiments, along with a questionnaire applied to professionals in the field, were instruments for the development of the final product of this research, whose general objective is the proposal of a *workflow* of digital processes, aiming to guide future users interested in digital practices to start their projects. A literature review was carried out on the central axis of the research, and concepts from Cybernetics, such as feedback looping, were used for the development of the prototypes. The Design Science Research methodology was the basis for the development of the final product, as it is the most suitable method for proposals. Additionally, some concepts from Metadesign were also used in this study. The result is a digitally manufactured bookshelf at a 1:1 scale, which meets the requirements of adaptability to different residential contexts and ways of living, and also presents an aesthetically pleasing design to the common user's sense. This experimentation played as an instrument for the development of the Digital Manufacturing Guide for Furniture, the final product of this research, which also seeks to foster an even greater discussion about the developed framework, bringing a techno-social contribution as a result.

Keywords: digital fabrication; furniture design; architecture and urban planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cômoda neoclássica francesa do século XVII, rica em detalhes que resultavam em custos elevados	14
Figura 2 - Estante de Otto Wagner para o Postal Savings Bank da Áustria, Viena	15
Figura 3 - Estante baixa B22, de Thonet, em aço tubular	17
Figura 4 - Tabela comparativa entre os métodos de produção artesanal, industrial e digital	18
Figura 5 - Metodologias utilizadas na pesquisa	23
Figura 6 - Diagrama com as metodologias aplicadas nas etapas da pesquisa.....	24
Figura 7 - The Fish Sculpture, de Frank Gehry, em Barcelona	35
Figura 8 - Diagrama do processo file-to-factory aplicado no desenvolvimento da estante....	37
Figura 9 - Métodos de produção automatizada, classificados por finalidade, número de dimensões e métodos de produção	39
Figura 10 - À esquerda, protótipo de um painel para exposição de objetos e organização de ferramentas. À direita, a peça final, montada em escala 1:1	40
Figura 11 - Linha de mobiliário da OpenDesk	42
Figura 12 - Cadeira Kelp, impressa em 3D com material proveniente de redes de pesca recicladas, por Times Gang.....	43
Figura 13 - Síntese dos tipos de impressão 3D, vantagens, desvantagens e exemplos de uso	44
Figura 14 - The Bubble - Projeto de Bernard Franken para o pavilhão de exposições da BMW em Frankfurt (1999) e Munique (2000).....	45
Figura 15 - Síntese dos tipos de manufatura: subtrativa, aditiva e formativa.....	45
Figura 16 - Estudos preliminares de um script paramétrico para uma estrutura de estante .	50
Figura 17 - Nesting otimizando uma quantidade de elementos dentro de uma chapa de MDF	51
Figura 18 - Nesting aplicado na fabricação de um painel	52

Figura 19 - Processos subtrativos e materiais.....	54
Figura 20 - Representação de painéis de MDF/HDF, MDP e OSB.....	55
Figura 21 - Mobiliário fabricado por marcenarias tradicionais, utilizando MDP, no padrão Gianduia.....	56
Figura 22 - Interiores de um apartamento com uso de painéis OSB	57
Figura 23 - MDF aplicado em painel de marcenaria, utilizando técnicas de marcenaria tradicional na caixa com técnicas de fabricação digital nos elementos vazados, cortados à laser em uma CNC	59
Figura 24 - Encaixes em estrutura de madeira.....	61
Figura 25 - Jochen e Friedrich: 50 encaixes tradicionais de madeira para serem executados por CNC	62
Figura 26 - Tipos de encaixe do sistema Tsugite	63
Figura 27 - Estudo de possíveis encaixes para serem usados na estante.....	63
Figura 28 - Site da Ikea (2024) com os parâmetros personalizáveis no projeto e venda de uma estante	65
Figura 29 - Moodboard com referências para guiar o desenvolvimento da estante	68
Figura 30 - Vista superior, lateral e frontal da estante	70
Figura 31 - Imagens renderizadas da estante, demonstrando seus possíveis usos.....	70
Figura 32 - Script paramétrico de uma estante genérica.....	71
Figura 33 - Recorte das peças prototipadas na etapa 01.....	73
Figura 34 - Cortadora a laser utilizada no processo inicial de prototipagem	74
Figura 35 - Dimensões iniciais das peças	75
Figura 36 - Peças redesenhadas, com as dimensões modificadas.....	76
Figura 37 - Vista de topo e objetos 3D no software Rhinoceros.....	77
Figura 38 - Objetos em polyline colocados lado a lado.....	77
Figura 39 - Peças cortadas na CNC corte a laser, na etapa 01	79

Figura 40 - CNC Router utilizada no corte da segunda etapa das peças.....	80
Figura 41 - Fresa no modelo Cutdown, de 0,375mm, utilizada para corte das peças.....	81
Figura 42 - Redesenho das peças para o corte com a CNC Router na etapa 02.....	82
Figura 43 - Tela do software Artcam com as configurações de corte definidas.....	83
Figura 44 - Resultados do corte na fresadora das peças de giro, com o erro detectado no desenho	84
Figura 45 - Resultado final das peças laterais, com o miolo e cavilha	84
Figura 46 - Peça de giro inicial com desbaste e peça redesenhada.....	85
Figura 47 - Desenho planejado das peças que foram produzidas na CNC Corte a Laser na etapa 03	86
Figura 48 - Plano de corte inicial do protótipo final na etapa 03.....	87
Figura 49 - Primeiras peças cortadas na etapa 03	87
Figura 50 - Plano de corte considerando a perda de material pelo corte a laser.....	88
Figura 51 - Segundo corte das peças na etapa 03, considerando o aumento de 0,02mm.....	88
Figura 52 - Corte das peças aumentando 0,04mm nas peças positivas, na etapa 03	89
Figura 53 - Plano de corte de todas as peças, para montagem do protótipo final na etapa 03	89
Figura 54 - Parte do suporte da estante, no quadro inferior, cortado na router em escala 1:1, na etapa 04.....	90
Figura 55 - Suportes encaixados na base, com a peça de travamento encaixada.....	90
Figura 56 - Aprimoramento realizado na peça lateral da mesa.....	91
Figura 57 - Protótipo final da estante, cortada a laser em MDF de 3mm, na etapa 03	92
Figura 58 - Imagem renderizada da versão final do design da estante	93
Figura 59 - Parte do suporte da estante, no quadro inferior, cortado na router em escala 1:1, na etapa 04.....	94

Figura 60 - Plano de corte para ser executado pela router no MDF branco de 15mm, na etapa 04	95
Figura 61 a, b, c, d - Montagem dos suportes, encaixados na base, com a peça de travamento entre elas	95
Figura 62 - Peças integrantes da mesa, encaixadas e montadas na escala 1:1	96
Figura 63 - Estante final fabricada digitalmente em MDF branco 15mm, com CNC Router, na etapa 04	97
Figura 64 - Perfil dos participantes da pesquisa quanto às suas ocupações	106
Figura 65 - Perfil dos participantes da pesquisa quanto ao contato com serviços e processos de marcenaria.....	106
Figura 66 - Perfil dos participantes quanto ao contato com processos de fabricação digital	107
Figura 67 - Nível de conhecimento dos participantes acerca de processos de fabricação digital	107
Figura 68 - Resposta dos participantes sobre saber iniciar os processos de fabricação digital ou não	108
Figura 69 - Necessidade de elaboração de um guia para processos digitais, de acordo com os participantes da pesquisa.....	108
Figura 70 - Guia de Fabricação Digital para Mobiliários	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamentos de marcenarias e estimativa do tempo de montagem	98
Tabela 2 - Síntese dos feedbacks gerados em cada uma das etapas, e os aprimoramentos realizados.....	104

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
2D	Duas dimensões
2.5D	Duas dimensões e meia
3D	Três dimensões
CAD	<i>Computer-aided design</i> – Desenho auxiliado por computador
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i> – Manufatura auxiliada por computador
CNC	<i>Computer Numering Control</i> – Controle numérico computadorizado
FD	Fabricação Digital
MS	Mato Grosso do Sul
NC	<i>Numeric Control</i> – Controle Numérico
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
FDM	Fusão por deposição de material
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva a <i>Laser</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i> – Fabricação de Objetos Laminados
MM	Milímetros
CM	Centímetros
MP	Modelagem Paramétrica
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> – Placa de Fibra de Média Densidade
HDF	<i>High Density Fiberboard</i> – Painéis de Fibras de Alta Densidade
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i> – Painel de Partículas de Média Densidade
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> – Painéis Orientados
DXF	Drawing Exchange Format
DSR	<i>Design Science Research</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	16
RESUMO	18
ABSTRACT	19
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	20
LISTA DE TABELAS.....	24
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	25
SUMÁRIO	26
1	
INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa.....	20
1.2 Objetivos	21
1.3 Metodologia.....	22
1.3.1 Cibernética	24
1.3.2 <i>Design Science Research</i> – DSR	26
1.3.3 <i>Metadesign</i>	29
1.3.4 Desenvolvimento do projeto da estante.....	30
1.4 Estrutura da Dissertação	31
2	
FABRICAÇÃO DIGITAL.....	35
2.1 Técnicas: Subtrativas, aditivas, formativas e seus maquinários	38
2.2 Prototipagem	46
2.3 Conceitos: Parametria e <i>Nesting</i>	48
2.4 Materiais e técnicas: um panorama.....	52
2.5 Encaixes.....	60
2.6 Customização em Massa	64
3	
EXPERIMENTOS: DESENVOLVIMENTO DOS PRODUTOS	67
3.1 Estante Paramétrica	68
3.1.1 Passo a passo da fabricação digital	68
3.1.2 Etapa 01.....	73

3.1.3	Etapa 02.....	80
3.1.4	Etapa 03.....	85
3.1.5	Etapa 04.....	92
3.1.6	Análise de Custos e tempo de montagem.....	98
3.1.7	Considerações finais sobre o experimento prático	102
3.2	Proposição do Guia de Fabricação Digital para Mobiliários.....	105
3.2.1	Questionário.....	106
3.2.2	Guia de Fabricação Digital para Mobiliários.....	109
4	CONCLUSÕES	114
4.1	Sugestões para trabalhos futuros	118
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
6	APÊNDICE 01 – QUESTIONÁRIO APLICADO	132
7	APÊNDICE 02 – ORÇAMENTO DAS MARCENARIAS A, B, C E D.....	135
7.1	<i>Orçamento Marcenaria A.....</i>	135
7.2	<i>Orçamento Marcenaria B.....</i>	137
7.3	<i>Orçamento Marcenaria C.....</i>	138
7.4	<i>Orçamento Marcenaria D</i>	139

1 INTRODUÇÃO

Em uma breve análise da história da evolução humana, fica evidente que um dos aspectos mais relevantes da capacidade de pensamento do ser humano reside na nossa habilidade de modificar a natureza e o ambiente que nos cerca. Essas transformações têm sido uma constante ao longo da história e nos acompanham até os dias atuais. Desde os tempos pré-históricos, quando os seres humanos transformavam pedras em ferramentas para caça e defesa, até os dias de hoje, com a conversão dos metais em aço e do petróleo em plástico, o processo de transformação tem sido uma característica marcante da trajetória humana. Essas mudanças não apenas evidenciam nossa criatividade, mas também demonstram nossa capacidade de adaptação e de inovação diante das demandas e desafios do nosso entorno.

Com a evolução das primeiras sociedades, o homem passa a buscar moradias para sua proteção e convivência, prática esta evolutiva até os dias atuais, onde ainda passamos por constantes transformações nos nossos modos de habitar. Com o passar do tempo, buscando mais conforto e praticidade, o homem passou a desenvolver artefatos para serem incorporados às suas moradias, surgindo assim os primeiros itens de mobiliário. Primeiramente estavam presentes somente como artigos de luxo, mas foram sendo de fato incorporados às habitações, à medida em que iam se tornando mais fáceis de serem produzidos, e conseqüentemente tornavam-se mais acessíveis a mais camadas da população.

Martini (2016, p. 12) relata que “a evolução do móvel tem profunda relação com o desenvolvimento da arquitetura e com a respectiva cultura dos povos.” Os modos de morar foram sendo adaptados no decorrer dos anos, assim como os recursos existentes para fabricação destes móveis também mudaram, e além disso,

“através dos séculos, os móveis adaptam-se também aos costumes. Nos princípios do século XVIII os braços das cadeiras encurvam-se, não para acompanhar a linha das pernas, mas para evitar que se enrugassem os volumosos vestidos impostos pela moda da época. As formas ogivais, marcas do estilo gótico, não foram criadas por um mero capricho da nobreza. Eram a personificação do forte sentimento religioso que tomou conta da Europa no século XI.” (GALVÃO, 2016 p.2).

Portanto, a marcenaria, arte exclusivamente responsável pela fabricação dos mobiliários antes do surgimento das indústrias, trata-se de uma das profissões mais antigas do mundo (KLOSOWSKI et al., 2018 apud CALDAS, 2021). No início de sua atividade, acontecia de maneira artesanal e apresentava técnicas que utilizavam habilidades manuais e ferramentas simples.

A manufatura artesanal foi a primeira forma de produção na civilização, onde as lições eram passadas “de pai para filho”, e os produtos eram feitos sob medida e sob demanda. Como resultado deste processo, o *design* dos produtos era único e de excelente qualidade, mas o montante final resultava em uma linha de produção limitada e sem padronização, com baixa escala de produção, e gerando, conseqüentemente, peças de custo elevado, conforme o exemplo da Figura 1. Além disso, o *design* do mobiliário também obedecia primeiramente à função, sendo produzidas peças que iam de acordo com as necessidades mais básicas dos usuários da época, como se sentar, dormir, e posteriormente, armazenar alimentos, peças de vestuário e outros itens.

Figura 1 – Cômoda neoclássica francesa do século XVII, rica em detalhes que resultavam em custos elevados



Fonte: MALLALIEU, 1999 apud RAMOS, 2013, p. 35

É notável que processos de transformação estão intrinsecamente ligados ao desenvolvimento de tecnologias e ao uso de máquinas, que facilitam a transformação de materiais em produtos e tornam o processo mais eficiente, produtiva e inovadora. Podemos afirmar que uma das primeiras grandes mudanças na história, impulsionada pela tecnologia, ocorreu com a introdução das máquinas a vapor, que substituiu a força de tração animal e humana. Esse marco histórico deu início a uma era caracterizada pela propagação das indústrias e pela expansão das ferrovias.

Após 1840, o fim da Revolução Industrial marca a transição significativa de uma economia agrária e de uma produção artesanal para uma economia e produção industrial, baseada na produção automatizada. O fordismo, que se refere ao sistema de produção

desenvolvido por Henry Ford¹ (1863-1947) na indústria automobilística, desempenhou um importante papel na aceleração da produção industrial, sendo caracterizado pela produção em série e pela padronização, que resultaram no aumento da produtividade das fábricas e na redução dos custos dos produtos, fator importante à época. Neste período, o *design* era “‘escravo da fabricação, com a criatividade restrita por uma série de razões’, como moldagem e custos” (LEFTERI, 2013, p.6). A Figura 2 demonstra uma estante projetada para o Postal Savings Bank da Áustria, em Viena, onde Otto Wagner² (1841-1918) projetou não somente o edifício, mas também seu mobiliário.

Figura 2 - Estante de Otto Wagner para o Postal Savings Bank da Áustria, Viena



Fonte: DURANTE, 2015

O movimento *'arts and crafts'*, traduzido como artes e ofícios, surge entre as décadas de 1860 e 1870, como uma reação aos resultados da produção em série, que geravam produtos uniformes, similares e focados na quantidade (FREDIANI, PIMENTEL e MEDEIROS, 2022). Willian Morris³ (1834-1896) liderou o movimento, que buscava “[...] restaurar as artes tradicionais através do *design* e execução de produtos de alta qualidade que não só fossem úteis, mas também belos” (FIELL; FIELL, 2000 apud MOURA, 2022, p.38), e também no qual as máquinas só eram utilizadas quando houvesse o intuito de aumentar a qualidade dos produtos ou reduzir a carga horária ou esforço dos trabalhadores (MOURA, 2022). Seus ideais anti-industriais resultavam em produtos de valor elevado, fator este que foi aprimorado com o uso mais inclusivo das máquinas por novos movimentos como o *Deutscher Werkbund* e o

¹ Henry Ford - Primeiro empresário a aplicar a montagem em série de forma a produzir em massa automóveis em menos tempo e a um menor custo

² Otto Wagner foi arquiteto e planejador urbano austríaco

³ Willian Morris foi *designer* têxtil, poeta, romancista, tradutor e ativista socialista inglês.

Art Nouveau, que mantinham ‘o princípio de união do saber artesanal e as possibilidades trazidas pela indústria’ (CAVALLO, 2017, apud DE LAURENTIS, 2022, p.30).

Nota-se que a fabricação industrial, surgida a partir de limitações na fabricação artesanal, já dava espaço para movimentos que criticavam a fabricação em série dos produtos, gerando inquietação para com os produtos que apresentavam um *design* restrito aos novos meios de fabricação, e sem a possibilidade de personalização. Deste modo, eram fabricados produtos com baixo custo e em larga escala, mas que apresentavam um *design* simples, e muito similares entre eles.

O movimento *Deustcher Werkbund*, fundado em Munique, na Alemanha, surge justamente com o objetivo de aprimorar a qualidade dos produtos resultantes da fabricação industrial, e trazer alguma relevância ao *design* destes produtos. Os arquitetos, *designers* e outros envolvidos neste movimento buscavam apresentar o *design* dos produtos como um componente essencial, e não somente como resultado dos processos de fabricação. Bruno Taut⁴ (1880-1938), importante figura deste movimento, foi o responsável pelo projeto do Pavilhão de Vidro, cenário de importantes exposições do *Deustcher Werkbund*, que apresentou críticas e inquietações relevantes em relação à fabricação industrial, evidenciando que, ao contrário do que se pensava à época, apresentava sim diversas limitações.

Algum tempo depois, fundada por Walter Gropius⁵ (1883-1969), a partir da fusão do movimento *Arts and Crafts* e da escola de Belas Artes, a *Bauhaus* foi uma escola de arte, *design* e arquitetura, que pregava os conceitos do *design* industrial, através da fusão entre arte, artesanato e indústria. “Visava-se ‘[...] eliminar as desvantagens da máquina, sem sacrificar nenhuma de suas vantagens reais.” (GROPIUS, 1975, p. 30-31 apud RIBEIRO e LOURENÇO, 2012, p.6). Uma das metas era a standardização, para que os produtos pudessem ser replicados de maneira padronizada nas indústrias.

[...] os projetistas tinham de fiar-se nos métodos de produção em escala industrial, e por isso, a *Bauhaus* enviou seus melhores alunos, durante a formação, para um certo período de trabalho prático nas fábricas. Inversamente, das fábricas vinham às oficinas da *Bauhaus* trabalhadores experientes, a fim de discutir com os professores e estudantes as necessidades da indústria. Desse modo surgiu uma influência recíproca, que encontrou expressão em produções valiosas, cuja qualidade técnica

⁴ Bruno Taut foi arquiteto, planejador urbano e escritor alemão

⁵ Walter Gropius foi arquiteto e educador alemão.

e artística foi reconhecida igualmente pelo produtor e consumidor (GROPIUS, 1975, p. 40-41 apud RIBEIRO e LOURENÇO, 2012, p.13).

A Figura 3 mostra a estante baixa B22, projetada por Michael Thonet (1796-1871)⁶, que a partir da invenção de uma máquina para fabricar móveis de madeira curvada, revolucionou a indústria do *design* e da fabricação de móveis. Tal máquina deu origem à cadeira Thonet, uma das mais icônicas do mundo, e posteriormente, à outras séries de móveis utilizando os mesmos princípios, como a estante B22, que faz parte de uma série de móveis laterais, publicados no catálogo 1930/31.

Figura 3 - Estante baixa B22, de Thonet, em aço tubular



Fonte: Archiexpo, 2023

Já no século XXI, o modelo de produção passa por outra mudança, que mais uma vez caminha lado a lado com o avanço da ciência e da tecnologia nas últimas décadas. Segundo Flusser (2017) apud Caldas e Torres (2022), trata-se de uma revolução digital que tem como principal característica a passagem de uma era de máquinas para uma era de robôs, e

“Aveso à produção em série, como na linha de montagem desenvolvida por Henry Ford, na primeira metade do século XX, em que se obrigava a produção de peças standardizadas e idênticas fabricadas por uma única empresa, o desenvolvimento da revolução informática desencadeou uma mudança em direção à personalização em série.” (ORCIUOLI e PUPO, 2012, p.644)

Enquanto no fordismo e nos conceitos da *Bauhaus*, a fabricação dos objetos obedecia à *mass production* – produção em série, traduzidos em “princípios de padronização, repetição serial de elementos padronizados, pré-fabricação e montagem in loco” (MITCHELL, 1999 apud CANUTO, 2016, p.134), na era digital emerge o termo *mass customization*, um paradigma pós-fordista de produção que afetou [...] diversos segmentos da economia (CANUTO, 2016).

⁶ Michael Thonet foi construtor de móveis e industrial alemão

Caldas e Torres (2022) explicam que

“A indústria do passado decidia o que as pessoas deveriam consumir, produzindo em escala produtos idênticos para todos os tipos de pessoas. Esse novo cenário quebra paradigmas e permite às pessoas a oportunidade de serem protagonistas do movimento, possibilitando a criação e customização de produtos por meio de uma rede de usuários conectados, trocando informação e criando coisas, um cenário difícil de imaginar há décadas.” (CALDAS E TORRES, 2022, p.48)

Alguns críticos, segundo Orciuoli (2012, p. 654) apontam esse fenômeno como “artesanato digital”, diante do grande potencial em se produzir objetos únicos e personalizados. Este novo método de fabricação de tantos artefatos possíveis, apresenta uma fusão entre a tradição, utilizada na fabricação artesanal, com a tecnologia, utilizada inicialmente na produção industrial. Ao integrar ferramentas digitais no processo artesanal, temos como resultado produtos inovadores, mantendo a rapidez e o baixo custo da fabricação digital, aliada com a qualidade da fabricação artesanal.

Na Figura 4, adaptada da Rede Brasileira de Fabricação Digital (Rbfd), 2023⁷, faz-se uma comparação entre os três métodos de fabricação, artesanal, industrial e digital, em relação a alguns fatores como precisão, possibilidade de produção em série e simulação. Nota-se que a fabricação digital se assemelha mais à fabricação artesanal do que à industrial, visto que a possibilidade de prototipagem é apresentada em ambas as técnicas, permitindo que o objeto seja testado e analisado em menor ou real escala. Além disso, com a materialização da forma, é possível otimizar as decisões projetuais, com a diferença de acontecer de maneira mais rápida e com menos gasto de insumos na fabricação digital.

Figura 4 - Tabela comparativa entre os métodos de produção artesanal, industrial e digital

	PRECISÃO	PRODUÇÃO EM SÉRIE	TENTATIVA E ERRO	ADAPTABILIDADE	SIMULAÇÃO DA FABRICAÇÃO
PRODUÇÃO ARTESANAL	✗	✗	✓	✓	✗
PRODUÇÃO INDUSTRIAL	✓	✓	✗	✗	✗
PRODUÇÃO DIGITAL	✓	✓✗	✓	✓	✓

Fonte: a autora, adaptado de Rbfd, 2023

⁷ Aula do *workshop* - CNC aplicada à arquitetura e *design* - assistida pela autora durante o *Digital Futures 2023*, uma plataforma independente e online para educação em arquitetura.

Leite e Martins (2015) confirmam o exposto quando afirmam que a prática da fabricação industrial, que se traduz na preparação de desenhos que serão interpretados por pedreiros ou carpinteiros, e posteriormente materializados em um canteiro de obras ou marcenaria (no foco desta pesquisa), dilui o papel do arquiteto ou *designer* em um profissional que apenas prepara tais desenhos. Na fabricação artesanal, estes profissionais eram tidos como mestres, produzindo suas peças diretamente *in loco*, participando ativamente da tomada de decisões no processo de desenvolvimento da peça. Já na era digital, o profissional assume o papel de organizador da informação, enquanto o desenho assume um novo papel, o de conduzir a geração de um *GCode*⁸ que alimenta o sistema de fabricação adotado, traduzindo dessa maneira, os elementos virtuais em reais.

“Para um sistema de informação, a materialidade é um dado. E como tal, é um elemento do mundo virtual. O processamento da informação é um sistema virtual. Já a fabricação, seja de qualquer elemento, por métodos completamente manuais ou utilizando máquina mecânica é ligado à materialidade, ao mundo real. Máquinas controladas por computador conseguem associar estes dois mundos distintos e as consequências para os envolvidos na fabricação de objetos (mesmo um edifício) são muitas.” (LEITE e MARTINS, 2015, p. 561)

O arquiteto e o *designer* voltam a ser os inventores das máquinas e mecanismos que irão concretizar suas ideias (NAN, 2015), como acontece no processo que integra as tecnologias CAD-CAM, onde um mesmo modelo é desenhado digitalmente tanto para representação quanto para materialização. Esse é o sistema utilizado em máquinas de controle numérico (CNC), surgidas a partir de 1940, mas popularizadas a partir dos anos 2000, e que permitem a tradução de dados recebidos de um computador em impulsos elétricos. Esses impulsos são então utilizados para acionar as máquinas que fabricam peças que refletem as características do projeto original, com base em informações geradas por processos complexos (MORAIS, 2016).

“Esse processo também é chamado de *file-to-factory*, onde o arquivo com o *design* produzido transforma-se em código diretamente dos modelos 3D digitais a ser compreendido pelos equipamentos de fabricação. Esse arquivo é essencial para gerar as linhas de corte, camadas de impressão, e percursos de movimentação.” (STACEY, 2004; FERNANDES, FEITOSA, 2015 apud CORRÊA e ALVES, 2015, p. 336)

Traçando então uma relação entre os processos apresentados, o presente estudo busca evidenciar as vantagens apresentadas pela fabricação digital, e experimentar na prática, com o desenvolvimento e prototipagem de uma peça de mobiliário, o processo, suas etapas

⁸ Linguagem de programação usada para controlar máquinas CNC, traduzindo a partir dos *softwares*, comandos de movimento e operação para fabricação de peças

e aplicações, visando desenvolver um *framework* para desenvolvimento de peças de mobiliário, utilizando a mediação digital. Para a presente pesquisa, foi definido como objeto de estudo uma estante, que será elaborada buscando confrontar algumas técnicas tradicionais de produção encontrada nas marcenarias tradicionais, e que visa cumprir alguns requisitos como facilidade em relação aos seus processos de montagem e remontagem, e adaptabilidade em diversos contextos de residências.

1.1 Justificativa

A industrialização é o processo que torna a tecnologia mais acessível a todos, e geralmente advém de pesquisas que visam se tornar inovações. Ressaltando-se a missão das universidades, principalmente públicas, para a inovação, a presente pesquisa vincula-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9, que conforme ONU (2022), no item 9.5, busca

‘fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento’ (ONU, 2022, online)

A sustentabilidade de maneira geral trata-se de uma das premissas básicas da presente pesquisa, não somente na busca do desenvolvimento de produtos com otimização de recursos, que reduzam a geração de resíduos e que sejam reutilizáveis e desmontáveis, mas principalmente visando dar ênfase na sustentabilidade através da atividade projetual. Também apresenta e aplica técnicas de mediação digital tais como a parametrização, que permite a customização em série, além de técnicas de fabricação digital com a utilização de máquinas CNC, e também processos como o *nesting*, que se refere à otimização de corte e posicionamento de peças em uma chapa de diversos materiais como madeira, metal, tecido ou plástico, para maximizar a sua utilização e minimizar o desperdício.

Assim, com a aplicação de diversas técnicas de fabricação digital, busca-se alcançar produtos que possam ser vistos como inovações, não somente em se tratando da facilidade em relação aos seus processos de montagem, mas também por suas características de adaptabilidade em diversos contextos de residências, visto que um dos grandes problemas encontrados por consumidores de mobiliário trata-se justamente da dificuldade encontrada na compra de móveis ditos como ‘sob medida’, que se encaixem em seus diferentes modos

de viver ao longo da vida, e que vão de encontro ao pensamento de Cooper (2007), que enxerga o *design* como um facilitador de experiências.

Algumas dificuldades são encontradas quando se busca um mobiliário sob medida. Pensando em um contexto brasileiro de imóveis alugados, um cenário onde inúmeras mudanças podem acontecer, a primeira questão trata-se da adaptabilidade deste mobiliário em residências futuras. Além disso, o tempo de produção das peças que compõem uma peça de mobiliário (caixaria, peças internas, portas e gavetas, por exemplo) nas marcenarias tradicionais é elevado, assim como a montagem da peça final no local. E encontra-se ainda, a barreira do custo elevado desse mobiliário, decorrentes do desperdício de material e também de seu baixo aproveitamento, do alto custo quando são necessárias muitas chapas de MDF (material comumente utilizado para fabricação de marcenaria sob medida) e do maquinário variado, tão necessário para elaboração das peças. Em virtude disso, surge a necessidade de se elaborar uma peça de mobiliário, que na presente pesquisa, trata-se de uma estante, que abranja não somente a função de armazenamento de livros e objetos de decoração, mas que possa também, com as diferentes possibilidades de montagem, funcionar como armazenamento de sapatos, algumas garrafas, como uma pequena mesa de estudos, variados usos que vão de acordo com as necessidades de seus usuários, em suas diferentes fases de vida.

1.2 Objetivos

- Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é estruturar um *workflow* de processos, com a elaboração de um guia, para auxiliar os futuros profissionais e interessados em práticas digitais a fabricarem digitalmente seus artefatos.

- Objetivos Específicos

1. Analisar os processos de fabricação artesanal, industrial e digital, traçando uma relação entre eles, que evidencie as potencialidades da fabricação digital;
2. Fabricar digitalmente uma peça de mobiliário, e utilizar seus processos como um roteiro para a fabricação digital;

3. Comparar os métodos tradicionais de marcenaria e a fabricação digital de mobiliários, com recorte em função dos custos e tempo de montagem.

1.3 Metodologia

Orientada para a aplicação prática e utilizando uma abordagem qualitativa, esta pesquisa, além da revisão bibliográfica, procura elaborar e organizar os conhecimentos obtidos através de uma experimentação, retroalimentando assim, teoria e prática. Com objetivos de natureza exploratória, aplicada ao desenvolvimento, tem como foco a abordagem de processos de fabricação digital, aplicados no desenvolvimento de uma peça de mobiliário.

A fabricação desta peça de mobiliário, neste estudo definida como uma estante, atua como um instrumento para o desenvolvimento do produto final da pesquisa, que se trata de um guia de fabricação digital para mobiliários, com o objetivo de auxiliar a futura produção de outros usuários, e ser um diretório dessa experiência, facilitando o caminho de outros interessados neste processo. Além disso, entende-se que mesmo que tal material esteja voltado para a fabricação digital de peças de mobiliário, outros artefatos com fins diferentes podem também ser elaborados a partir deste mesmo guia, visto que os processos são semelhantes.

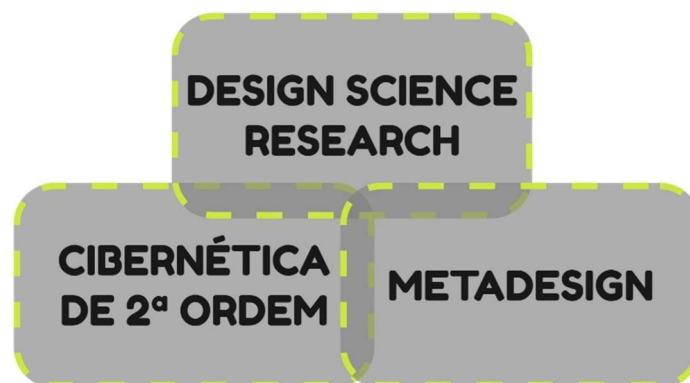
No desenvolvimento destas etapas, desenvolveu-se inicialmente uma revisão da literatura acerca dos assuntos que fomentam essas discussões, como uma linha do tempo sobre o processo de fabricação de peças de mobiliário, tendo um recorte temporal a partir dos anos 1800, onde predominava uma marcenaria artesanal, passando pela Revolução Industrial, com o surgimento da fabricação industrial, até os dias atuais, onde nos encontramos em uma Revolução Digital, pautada pela fabricação digital.

A partir do desenvolvimento dessa revisão bibliográfica, pôde-se compreender melhor como se deu a instauração de cada um desses processos, as barreiras encontradas por cada um deles, como se deu a transição para o método seguinte, além de permitir um encadeamento entre esses três processos, que fundamentou a ideia de que a fabricação digital pode ser considerada o método mais eficiente de produção, visto que ele une as vantagens dos dois modos de fabricação praticados anteriormente.

Mais adiante, aprofundou-se o olhar sobre os processos e técnicas adotadas na fabricação digital, para que se pudesse entender seu contexto e funcionamento, assim como as formas de pensar desse novo método, que apresentam processos otimizados, modificando o olhar e o pensamento do projetista desde a concepção dos objetos até a finalização do produto. Tal conhecimento possibilitou que fosse definida a peça de mobiliário que seria fabricada para servir como objeto de estudo para esta pesquisa, a estante, além de nortear os passos que deveriam ser seguidos para que se pudesse atingir um *workflow* prático e intuitivo, adotando as técnicas de fabricação digital revisadas bibliograficamente, na prática.

Para tanto, foram utilizadas três bases metodológicas, conforme a Figura 5. A Cibernética de 2ª ordem foi utilizada durante as etapas de prototipagem, aplicando os conceitos de *feedback looping*, e também no desenvolvimento do corpo teórico da pesquisa, que foi constantemente retroalimentada. Paralelamente, a metodologia DSR – *Design Science Research*, que se trata de uma abordagem para resolver problemas complexos através da criação de artefatos, foi utilizada tanto no desenvolvimento da estante em si, como na elaboração do guia, produto final deste trabalho. Além dessas duas metodologias, ainda foram base para este trabalho alguns conceitos de *Metadesign*, que se traduz em um modo de pensar o *design* do próprio *design*.

Figura 5 - Metodologias utilizadas na pesquisa

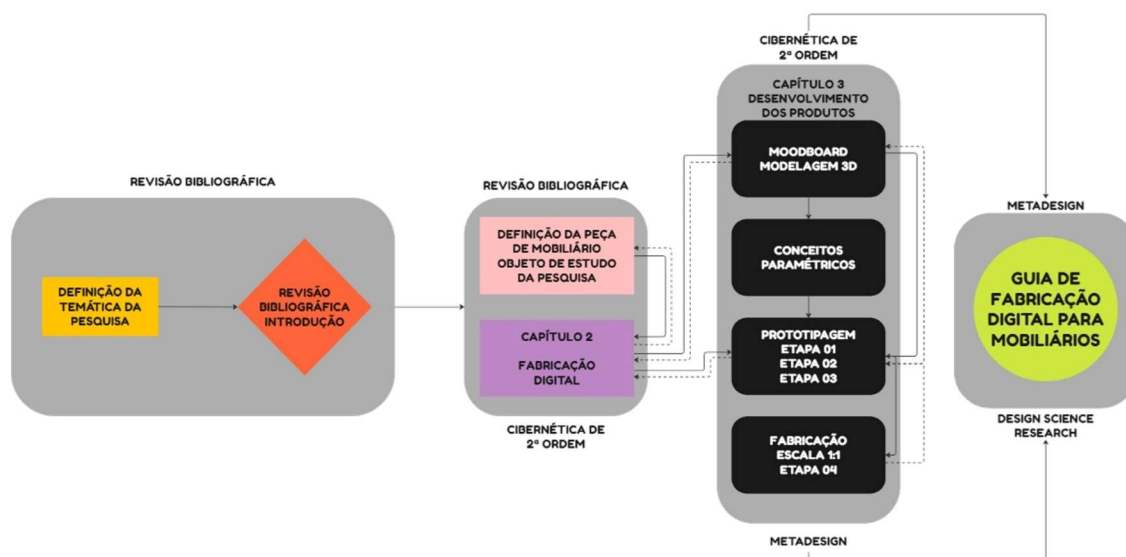


Fonte: a autora, 2024

É importante ressaltar que apesar de cada etapa da pesquisa ter sido baseada em uma metodologia, durante o desenvolvimento do processo elas acabam se comunicando, quando a fabricação em si da estante é um artefato, suscetível ao processo do DSR, e também quando a elaboração do guia é retroalimentada com os dados coletados nas etapas de fabricação e prototipagem, assim como acontece no *feedback looping*, advindo da Cibernética. Além disso, os conceitos do *metadesign* são encontrados tanto na elaboração da estante adaptável, e na

parametrização, quanto na elaboração do guia que pode ser utilizado de diferentes maneiras por cada usuário, de acordo com suas necessidades e experiência. A **Figura 6** demonstra um diagrama das metodologias abordadas utilizadas no corpo do presente estudo.

Figura 6 - Diagrama com as metodologias aplicadas nas etapas da pesquisa



Fonte: a autora, 2024

A seguir, serão abordadas as metodologias utilizadas na pesquisa, de modo a explicar cada uma delas, e demonstrar como os objetivos do presente estudo serão alcançados, a partir dos conceitos da Cibernética, da *Design Science Research* e do *Metadesign*. Além disso, será explanado como se deu o desenvolvimento do projeto da estante.

1.3.1 Cibernética

Em qualquer cenário, é essencial empregar o conhecimento de maneira a auxiliar na resolução de problemas. Baseado nisso, a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa no corpo teórico, e também para o desenvolvimento da estante e da pesquisa como um todo, baseou-se em alguns conceitos da Cibernética, que

“É uma maneira de pensar, não uma coleção de fatos. Pensar envolve conceitos: formando-os e relacionando uns com os outros. Alguns dos conceitos que caracterizam a cibernética têm sido, durante muito tempo, implícitos ou explícitos. A autorregulação e o controle, a autonomia e a comunicação, por exemplo, certamente não são novas em linguagem comum, mas não se configuram como termos centrais em qualquer ciência.” (von GLASERSFELD, 1992. p.1. apud DI STASI, e PRATSCHKE, 2018, p.125).

De acordo com Alves e Nojimoto (2011, p.2), a Cibernética “não inquire o que é esta coisa?”, mas sim “o que ela faz?”. Utilizando estes conceitos, a pesquisa busca entender os processos de fabricação digital, e apoiando-se na Cibernética definida por Wiener⁹ (1894-1964), na década de 1940, que “trata da observação dos sistemas, tendo como um de seus conceitos centrais a circularidade (também chamada de retroalimentação ou *loop/feedback*)” (ALVES e NOJIMOTO, 2011, p.3).

A esta ciência foi dado o nome de Cibernética, que se propõe a estudar o controle e a comunicação, tanto em sistemas de máquinas quanto em sistemas orgânicos, e foi primeiramente conceituada dessa forma pelo matemático americano Wiener (1970). Willian Ross Ashby¹⁰ (1903-1972), um dos pioneiros desta ciência, ainda argumenta que

“A cibernética está para os sistemas assim como a geometria está para os objetos, ou seja, uma abstração extremamente útil para operarmos no mundo, físico ou não, de nosso cotidiano. Vários conceitos são desenvolvidos ao se fazer essa descrição abstrata dos sistemas, tais como circularidade, feedback e caixa preta, que possibilitaram, entre outras coisas, o desenvolvimento da automação industrial recente [...]” (ASHBY, 1956 apud CABRAL FILHO, 2016, p.58)

Posteriormente, com a consideração de que não é possível haver o conhecimento sem aquele que o conhece (CABRAL FILHO, 2016), em 1970, Heinz Von Foerster¹¹ (1911-2002) revisando essa ciência, incorpora a ideia de ‘observação do observador’. Essa revisão foi chamada de "Cibernética da Cibernética" ou Cibernética de Segunda Ordem, que seria, portanto, o "estudo dos sistemas de observação" (SCOTT, 2004, p. 1373 apud ALVES e NOJIMOTO, 2011). Essa alteração expande o alcance da Cibernética para além de ciências exatas, transformando-a em uma ferramenta de grande potencial para a compreensão e intervenção em processos sociais e psicológicos, e também nos processos de criação. Desta maneira, a Cibernética de Segunda Ordem torna-se uma ferramenta de destaque para a arquitetura e para o *design*, pois

“possibilita [...] uma nova visão dos processos de projeto e planejamento, pensados não mais numa estrutura de causalidade linear (o determinismo projetual herdado da Renascença), mas numa estrutura programática que permite combinar determinação e indeterminação (FLUSSER, 1983). Com o desenvolvimento e barateamento das tecnologias da informação e comunicação, as premissas da cibernética dos anos 1960, tais como recursividade e feedback, se tornaram viáveis

⁹ Nobert Wiener foi um matemático norte americano, conhecido como o fundador da cibernética.

¹⁰ Willian Ashby foi um médico neurologista inglês, que em 1951 criou a primeira máquina numericamente controlada.

¹¹ Heinz Foerster foi um cientista austríaco-americano que combinou a física com a filosofia, um dos arquitetos da Cibernética.

e cotidianas. O uso da interatividade e automação se tornou frequente, tanto nos processos de projeto e planejamento, via a parametrização de programas de representação, quanto nos processos de construção, via a fabricação digital.” (CABRAL FILHO, 2016, p.58)

Portanto, a metodologia utilizada no desenvolvimento da peça de mobiliário parte dos conceitos abordados no corpo teórico da pesquisa, considerando que a revisão bibliográfica acerca da literatura existente permitiu uma análise de como os processos de fabricação aconteceram, e posteriormente, possibilitou o desenvolvimento do capítulo acerca da fabricação digital em si, que norteou o desenvolvimento do projeto e da prototipagem e fabricação da peça objeto de estudo da pesquisa. Um estudo retroalimentava o outro, de maneira que a todo momento, novas abordagens eram incluídas nos textos anteriores, tanto para que se pudesse compreender melhor os processos quanto para embasar de maneira mais assertiva os próximos passos da pesquisa.

Paralelamente ao desenvolvimento do corpo teórico do trabalho, o desenvolvimento prático e a fabricação da estante em si, foi desenvolvida com as técnicas de mediação digital abordadas anteriormente. Partindo-se da modelagem do conceito da estante em ambiente virtual, passando por análise de conceitos da parametrização, assim como a prototipagem da peça, prevista para várias etapas. Em cada uma dessas etapas foram coletados dados que foram cruciais tanto para as etapas seguintes, quanto para revisar as etapas anteriores, enriquecendo o conteúdo com tópicos ainda mais relevantes, e desta forma, aplicando o conceito do *feedback looping* em todo o processo.

Por fim, tal conceito foi novamente aplicado na etapa da prototipagem, imprescindível a um processo de fabricação digital, pois revela dados e situações que só podem ser percebidas a partir da experimentação prática, e que são cruciais para o desenvolvimento das decisões de projeto e ajustes necessários nos passos anteriores, visto que implicarão diretamente na qualidade do produto final, o qual será desenvolvido em escala real ao término desta pesquisa.

1.3.2 *Design Science Research* – DSR

Para o desenvolvimento do produto final desta pesquisa, o Guia de Fabricação Digital para Mobiliários, foi aplicada a metodologia *Design Science Research* – DSR, que segundo Çağdaş e Stubkjær apud Freitas Junior (2017) “se constitui em um processo rigoroso de

projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos”. Além de ser uma pesquisa de cunho tecnológico, deve também se valer de métodos científicos para embasar suas problemáticas e justificativas, e geralmente, tem como resultado a criação de um artefato, de algo novo, que seja esclarecido através do “conhecimento do saber-como” (CUPANI, 2011).

O ponto de partida inicial para esta pesquisa foi a inquietação em relação a dificuldade de se fabricar mobiliários sob medida, de modo que não seja a partir de técnicas de marcenaria tradicional, visto que tal técnica apresenta algumas barreiras, como por exemplo o tempo de fabricação, o alto custo e a quantidade de erros identificados no processo. Tais barreiras são vivenciadas na prática pela autora, e observadas em seu dia a dia de trabalho, a partir da contratação destes serviços de marcenaria para implementação em projetos de reforma e *design* de interiores. Buscou-se então a elaboração de uma estante de baixo custo, facilidade de montagem e desmontagem, e adaptação em diversos contextos de moradia.

Não obstante, a motivação também surge com a ideia de que, mesmo que o princípio desta pesquisa seja acerca da fabricação digital de uma estante, essa experimentação atuou como um instrumento, definido por Vassão (2008), como um meio para realização de algo, de acordo com premissas e objetivos pré-determinados, para a elaboração de um guia, com o objetivo de atuar como um diretório de experiências e um método a ser seguido para fabricação de outras peças de mobiliários, e também outros tipos de artefatos, como peças de decoração, peças e componentes de máquinas, produtos de consumo, dispositivos médicos, equipamentos complementares, entre outros inúmeros artefatos.

Diante de diversas técnicas de se fabricar digitalmente uma peça de mobiliário, é natural que os interessados neste processo busquem uma maneira de como dar início a este projeto. Portanto, para dar início a esta pesquisa, buscou-se entender e analisar estes processos desde o princípio, e a partir das dificuldades e questionamentos encontrados na prática, identificou-se a necessidade da elaboração de um material que busca facilitar os futuros interessados neste processo, resolvido através da elaboração de um guia de como e por onde começar a fabricar um mobiliário digitalmente.

Entende-se então como a problemática central, que guiou o processo de trabalho, definidas a partir do questionamento: **Como orientar outros usuários a produzirem artefatos através da fabricação digital?**

As classes de problemas são definidas a partir das dificuldades encontradas no momento da fabricação da estante, onde a partir da modelagem 3D do objeto e definição dos maquinários e materiais que seriam utilizados, foi possível realizar uma prototipagem inicial, com o objetivo de coletar alguns dados, que permitiram a revisão da modelagem das peças, corrigindo o que não funcionou em um primeiro momento, para que as próximas tentativas fossem mais assertivas, até se alcançar o resultado desejado na fabricação da peça final. Com os *feedbacks loopings* gerados nestas etapas, foi possível mapear estes problemas, e já antecipá-los aos usuários do guia, facilitando assim o trabalho dos futuros *designers* e fabricantes.

Visto que a DSR é uma ciência pragmática cuja finalidade é “conceber um conhecimento sobre como projetar, e não apenas aplicá-lo” (DRESCH; LACERDA E JÚNIOR, 2015, p. 57), o guia elaborado visa não apenas orientar os processos, a partir do que foi experimentado na fabricação da estante, mas também incitar aos seus usuários o pensamento de que o *design* da peça está diretamente ligado às técnicas e ao maquinário que será utilizado, assim como o material e a sua finalidade.

Portanto, seu desenvolvimento foi elaborado a partir de um questionário aplicado em profissionais que já tem algum conhecimento sobre o processo, como arquitetos, *designers* de interiores, marceneiros e profissionais, buscando avaliar o conhecimento desses profissionais acerca da fabricação digital, e também validar a importância da elaboração de um guia, que possa orientá-los na futura utilização deste método de fabricação. As respostas obtidas, reforçam tanto a importância deste material, diante da ausência de métodos similares, como também foram a base para orientar os tópicos contidos no guia, que abordam desde a finalidade da fabricação do material, até as etapas de prototipagem e fabricação final do artefato em si.

A demonstração, exigida pelo método DSR, também se valerá do *workflow* elaborado, e confirmada através do questionário aplicado ao público que pode vir a utilizar o guia, visto que para se formular uma solução, é necessário inicialmente a identificação do problema, que foi justamente a motivação para a aplicação do questionário, pois as respostas obtidas serviram de guia para a formulação do problema.

A avaliação fica a cargo da pesquisa como um todo, visto que a parte prática em si da produção digital da estante, orientou a necessidade de elaboração do guia, que tem seu conteúdo confirmado pelas experimentações práticas dos métodos de fabricação digital. Por

fim, a comunicação será atingida através da divulgação do guia em um endereço eletrônico, disponibilizado na nota de rodapé no capítulo que apresenta o guia, juntamente com a caracterização dos pesquisadores envolvidos neste processo, e um diretório de todas as experiências realizadas durante o tempo que esta pesquisa se desenvolveu.

1.3.3 *Metadesign*

De acordo com Vassão, 2010, o *Metadesign* tem sido empregado como uma disciplina de projeto desde os anos 1960, inicialmente por Van Onck¹². Em 1986, foi revisitado por Youngblood¹³ (1942-2021) no campo da comunicação e das artes. Em 1990, Paul Virilio¹⁴ (1932-2018) o abordou sob uma perspectiva de crítica sociocultural. Na década de 2000, Elisa Giaccardi¹⁵ expandiu seu uso, integrando-o à arte, ao *design*, à arquitetura e à tecnologia.

Os conceitos de *Metadesign* partem de um princípio que coloca o usuário, consumidor final, ou qualquer outro papel dos sujeitos externos ao processo de fabricação como *co-designers* do *design* final de um artefato. Porém, neste cenário, pode surgir uma percepção de que com a aplicação destes conceitos, qualquer pessoa pode elaborar qualquer coisa, pensamento este que prejudica a implantação de tecnologias e métodos inovadores para diversas áreas, incluindo a da fabricação digital aplicada a peças de mobiliário.

Esta perspectiva pode ser confrontada a partir do panorama de que, mesmo que se inclua o usuário de um determinado produto ativamente no *design* da peça, como acontece por exemplo com os móveis fabricados pela Tylko (2024), os parâmetros iniciais já foram definidos com medidas e informações mínimas e máximas, ou seja, ele apenas inclui o usuário no processo, dando a ele uma certa autonomia, mas com limite desses parâmetros, que garantem a integridade da peça em questões de estrutura, fabricação e no *design* em si da peça final.

Além disso, o *metadesign* baseia-se também em explicar o *design* do *design*, semelhante ao DSR. Vassão, 2010 diz que

¹² Andries van Onck - *Designer* holandês nascido em 1928 que teve influência do movimento modernista *DeStijl*.

¹³ Gene Youngblood - Teórico americano das artes e da política da mídia e um estudioso respeitado na história e na teoria dos cinemas alternativos.

¹⁴ Paul Virilio - filósofo, urbanista francês, arquiteto, polemista, pesquisador e autor de vários livros sobre as tecnologias da comunicação

¹⁵ Elisa Giaccardi - Professora de *Design* Pós-industrial na Delft University of Technology (TU Delft)

“Um modo coerente de compreender esse “projeto do processo de projeto” é como o projeto de processos e não do produto acabado, em si. Não que se despreze a concretização de um produto unitário que possa ser identificado como tal, ou que o *metadesign* promova uma ainda maior alienação, em uma espécie de projeto de conceitos em detrimento da realização. É justamente o contrário: reconhecer que o projeto do processo é tão uma criação, uma realização, quanto a efetivação de um processo de projeto em um objeto finalizado.” (VASSÃO, 2010, p. 107)

Deste modo, o guia de fabricação digital para mobiliários, resultado final desta pesquisa, baseia-se justamente neste conceito, quando busca elaborar um projeto dos processos utilizados na fabricação da estante, utilizada como instrumento para a sua elaboração. Além disso, baseado nos mesmos conceitos, conforme descrito por De Moraes apud Alves e Trujillo (2015) o metaprojeto pode ser considerado então como o ‘projeto do processo de projeto’. Desta forma, o guia busca explicar e direcionar maneiras para se elaborar um artefato digitalmente, e visa atender não somente aos usuários interessados em fabricação digital de mobiliários, mas ser um auxílio também para os interessados em produzir outros artefatos através da fabricação digital, corroborando com o exposto por Alves e Trujillo (2015) quando afirmam que ‘o modelo a ser proposto por um metaprojeto buscaria atender o máximo de hipóteses possíveis e assim não produziria como *output* um modelo projetual único de soluções técnicas preestabelecidas’.

Vassão, 2008, descreve que

“Quando consideramos os circuitos abertos de projeto – a exemplo dos projetos de habitação popular que envolvem o *feedback* da comunidade e avaliação pós-ocupação, que inicia outro ciclo de projeto – concretamente, não podemos determinar um momento específico em que o projeto termina. Do ponto de vista do arquiteto ou *designer* como prestador de serviços, o projeto termina em algum momento especificado em contrato, o qual pode se variar bastante – desde o estudo preliminar, até o acompanhamento da obra *in situ*. Do ponto de vista do usuário, o projeto é uma entidade entranhada em sua vida. No caso de uma habitação, aquilo que escapou ao arquiteto ou empreendedor será objeto de intervenção do morador.” (VASSÃO, 2008)

Portanto, os conceitos do *metadesign* estão aplicados e permeiam o corpo desta pesquisa, tanto ao elaborar um *workflow* de processos que expliquem como se deu a elaboração de uma peça de mobiliário fabricada digitalmente, quanto ao colocar o usuário, tanto do guia, como da estante em si, como *co-designer* destes processos.

1.3.4 Desenvolvimento do projeto da estante

O objeto de estudo foi elaborado para atender a alguns requisitos como fácil montagem e desmontagem, menor custo em relação aos modos tradicionais de fabricação

em marcenaria, e adaptabilidade em diversos tipos de residência, visando solucionar algumas problemáticas encontradas por usuários de peças de mobiliário durante suas vidas e diferentes formas de morar.

Aplicando as técnicas de fabricação digital, busca-se elaborar uma peça que atenda ao conceito da *mass customization* – customização em massa – ou seja, que possa ser fabricada em larga escala, sem que a personalização afete o tempo de produção ou o valor final do produto. Com a peça desenvolvida, busca-se estabelecer uma relação entre os custos finais através da fabricação digital e os custos pelos modos tradicionais de fabricação, comprovados através de orçamentos solicitados pela autora à profissionais de marcenaria na cidade de Campo Grande, MS. Além disso, evidencia-se também a facilidade de transformação da estante pelo próprio usuário, em função da altura das prateleiras, da abertura ou não da mesa de estudos, sem que seja necessária uma intervenção do marceneiro responsável pela elaboração da peça, que muitas vezes precisa realizar a desmontagem do mobiliário para que sejam feitas modificações tão significativas.

Ao final do desenvolvimento da peça, busca-se evidenciar as vantagens da fabricação digital, através de um breve comparativo - recortado em função do tempo de montagem e valor das peças – com a fabricação de marcenarias tradicionais, e elaborar um *workflow* de desenvolvimento de peças de mobiliário utilizando como conceito a fabricação digital, para que outras peças e produtos possam ser também elaboradas.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação apresenta dois capítulos, além dos capítulos de introdução e conclusão. Em um primeiro momento, elaborada através de revisão bibliográfica, apresenta-se, na própria introdução, uma linha do tempo através dos métodos de fabricação, apresentando um histórico dessa trajetória, e um encadeamento entre estes processos. Posteriormente, apresenta-se a fabricação digital, com suas características, potencialidades e limitações, evidenciando um panorama deste processo de fabricação, eixo central desta pesquisa. Com a temática mais aprofundada, apresenta-se o passo a passo de desenvolvimento da experimentação prática de fabricação digital de uma estante, aqui definida como objeto de estudo, e adiante, a proposição do produto final da pesquisa, o Guia de Fabricação Digital para Mobiliários.

Sendo assim, o trabalho se inicia com a introdução geral da pesquisa, onde se faz a contextualização da temática em questão, através de uma revisão crítica da literatura, com o objetivo de aprofundar-se em três temáticas centrais: a fabricação artesanal, a fabricação industrial e a fabricação digital, fazendo um encadeamento entre estes três processos, para que se pudesse compreender como cada um destes processos surgiu e se desenvolveu. Apresenta-se um recorte temporal, a partir dos anos 1800, onde se desenvolvia uma marcenaria artesanal, passada de pai para filho, com técnicas manuais, produtos de altíssima qualidade e sofisticação, mas que demandavam um tempo elevado de produção, o que resultava em uma demanda alta, e produtos de custo elevado, entre outros fatores, característicos da época.

Passando pela Revolução Industrial, com os ideais fordistas, abordamos a fabricação industrial, que apresentou mudanças significativas na cadeia de fabricação de produtos em geral, trazendo princípios de padronização, repetição serial de elementos padronizados, pré-fabricação e montagem *in-loco*, conforme descritos por Mitchell (1999) apud Kolarevic (2000b), p. 255 apud Canuto (2016), mas sem a possibilidade de personalização. São apresentados os movimentos *Arts and Crafts*, o movimento *Deutscher Werkbund*, que foram também marcos significativos, passando pela escola alemã *Bauhaus*, até o momento atual, onde passamos por uma nova revolução, apresentada como a Revolução Digital (FLUSSER, 2017 apud CALDAS e TORRES, 2022), onde se encontram os processos de fabricação digital. Apresentados os três processos de fabricação, buscar-se-á estabelecer uma relação entre eles, e evidenciar as potencialidades e problemáticas encontradas na fabricação digital, após sua caracterização, abordadas no capítulo seguinte.

Ao término da contextualização da pesquisa, apresentam-se suas justificativas, e também são expostos os objetivos gerais e específicos, além da metodologia utilizada, que reúne métodos da Cibernética, do *Design Science Research* e alguns conceitos do *Metadesign*.

Adiante, no **capítulo 02**, abordamos exclusivamente a **Fabricação Digital**, buscando apresentar as técnicas utilizadas e seus métodos, definidos de acordo com o material e o produto que se deseja fabricar, assim como abordar o maquinário mais comumente utilizado neste tipo de fabricação. Apresenta-se também a prototipagem como uma relevante etapa da fabricação digital, abordando os métodos para realização desta, e também evidenciando os seus benefícios, como por exemplo a tomada de decisões projetuais mais assertiva. Apresentam-se também conceitos de parametria e *nesting*, que são processos utilizados

dentro da fabricação digital que permitem explorar a criação de novas formas de maneira sistematizada (ORCIUOLI, 2016), no caso do desenho paramétrico, e otimizar a utilização de recursos e a geração de resíduos, no caso do *nesting*.

Apresenta-se um compilado dos materiais mais utilizados nas técnicas de fabricação digital, com um panorama do que se é possível realizar. Evidencia-se também a análise de alguns tipos de encaixes, muito utilizados na fabricação artesanal, que se perderam por se tratar de uma técnica com conexões muito precisas, sendo necessárias grandes habilidades manuais e muito tempo de fabricação e estudo (COMELLI, 2018), mas que podem ser facilmente executadas com as técnicas da fabricação digital. E por fim, apresenta-se a *mass customization* – customização em massa, em contraposição ao método fordista de *mass production*, que apresenta possibilidades de variação e diferenciação dos produtos, no mesmo recurso de tempo e custo disponibilizado para produtos padronizados, evidenciando um cenário ideal entre os processos de fabricação artesanal e industrial.

No **capítulo 03 – Desenvolvimento dos produtos**, após abordadas e colocadas em discussão as revisões de literatura acerca dos assuntos que embasam a temática e fomentam as discussões acerca desta pesquisa, apresenta-se o capítulo contendo os experimentos de natureza prática do trabalho, com o desenvolvimento do mobiliário, uma estante, escolhida como objeto de estudo da dissertação. Elaborou-se um passo a passo, com cada uma das etapas descritas detalhadamente, desde a concepção do *design* da estante, modelada em 3D digitalmente, até a elaboração de um *script* paramétrico de uma estante genérica. Com componentes semelhantes, foi possível avaliar o potencial da parametria neste processo, evidenciando sua potencialidade em relação às possibilidades da geometria da estante, como também a necessidade de mais ou menos peças de travamento, assim como todo o contexto atrelado ao custo final da peça.

O passo seguinte aborda a prototipagem de peças e componentes da estante, baseadas em conceitos da Cibernética da retroalimentação, que nortearam as alterações necessárias no *design* das peças, no plano de corte, nos materiais, entre outros ajustes que se mostraram necessários. Por fim, com todos os aprimoramentos realizados, foi possível elaborar a estante em escala 1:1, e apresentar uma breve comparação de custos e de tempo de montagem entre os métodos de marcenaria tradicional e digital. Todo o processo realizado no desenvolvimento da estante atuou como instrumento para a elaboração do *workflow* proposto item 3.2, que reúne um diretório de informações e das experiências realizadas.

Por fim, como produto final desta pesquisa, apresenta-se o **Guia de Fabricação Digital para Mobiliários**, que através de tópicos, busca direcionar os interessados em Fabricação Digital a darem um primeiro passo na realização de seus projetos. Através de um questionário que tanto validou a necessidade desse material, quanto evidenciou os caminhos a serem seguidos, foram reunidas as experiências vividas na fabricação digital da estante, que foram o instrumento principal utilizado na elaboração do produto final desta pesquisa de mestrado.

O **último capítulo** apresenta as impressões finais e conclusões acerca da pesquisa, buscando validar sua relevância, evidenciar a resolução das problemáticas definidas nos objetivos e entender suas lacunas, identificando as possíveis pesquisas futuras. Ao término, apresentam-se ainda dois apêndices, contendo o questionário aplicado em profissionais da área, e os orçamentos de marcenaria obtidos de empresas da cidade de Campo Grande, MS.

2 FABRICAÇÃO DIGITAL

Após as análises acerca dos modos de fabricação artesanal e industrial, assim como a instauração de seus processos e impactos no *design* de mobiliário, abordados no capítulo anterior, apresenta-se agora a Fabricação Digital como o eixo central do presente trabalho, visto que a partir do *workflow*, técnicas, conceitos e outras abordagens aqui expostas, foi desenvolvida de fato a elaboração da estante, peça objeto de estudo desta pesquisa, com a aplicação direta do conteúdo aqui evidenciado.

A transição da era industrial para a era digital encontra-se em desenvolvimento, e pode ser entendida como uma revolução, “descrita como uma 3ª Revolução Industrial, baseada no digital,” conforme relata Orciuoli (2012, p. 653). Os modelos de produção, conseqüentemente, passam também por mudanças, e mais uma vez caminham lado a lado com o avanço da ciência e da tecnologia nas últimas décadas. Segundo Flusser (2017) apud Caldas e Torres (2022), trata-se de uma revolução digital que tem como principal característica a passagem de uma era de máquinas para uma era de robôs, e é fomentada pelos processos de fabricação digital, que permitem que os indivíduos projetem e produzam objetos tangíveis sob demanda, quando e onde for necessário (GERSHENFELD, 2012, p. 43 apud MINEIRO e MAGALHÃES, 2018, p.4803). A Figura 7 mostra o *The Fish*, projetado por Frank Gehry¹⁶, para a entrada da Vila Olímpica em Barcelona, um dos primeiros projetos do mundo a serem desenvolvidos e produzidos digitalmente.

Figura 7 - The Fish Sculpture, de Frank Gehry, em Barcelona



Fonte: Archipreneur, 2015

¹⁶ Frank Gehry é um renomado arquiteto canadense-americano, ganhador do Prêmio *Pritzker* de 1989.

Um dos marcos dessa revolução digital no campo da AEC se deu com a implantação da tecnologia CAD - *computer-aided design*, traduzida por desenho auxiliado por computador, onde os projetos antes desenhados à mão passaram a ser elaborados, criados e modificados no computador, de maneira muito mais precisa e eficaz. Com o avanço dessas tecnologias, surge também a tecnologia CAM - *computer-aided manufacturing*, traduzida por manufatura assistida por computador, ou seja, envolve o uso do computador não somente para elaborar os projetos, mas também para controlar máquinas processos de fabricação.

Na indústria, a demanda de produção de peças de alta complexidade, que exigiam alta precisão e produção em larga escala, ainda nos anos 1950, levaram ao desenvolvimento do processo de NC - *numeric control*, traduzido por controle numérico, que se trata de

“um sistema [...] que tem a finalidade de controlar as ações de uma ou mais máquinas as quais realizam a interpretação automática que estão expressas em números. Os dados são convertidos como distâncias, ângulos temperaturas e outros. As máquinas que são numericamente controladas recebem informações digitais.” (DE AZEVEDO, 2020 apud ORLANDO e FILHO, 2021, p. 610)

Tal processo, quando associado às tecnologias CAD e CAM, resulta na tecnologia chamada CNC - *computer numeric control*, traduzida por controle numérico computadorizado, que, conforme relata Morais, 2016

“é um sistema que permite traduzir informações recebidas de um computador em impulsos elétricos, os quais são responsáveis pelo acionamento de motores que produzem uma peça com as características do projeto, a partir de instruções geradas por informações complexas.” (MORAIS, 2016, p.66)

Portanto, a tecnologia CAD projeta peças, componentes ou produtos que, pela tecnologia CAM são traduzidas em instruções, para que uma máquina CNC possa entender e executar a tarefa programada. Tal processo pode ser compreendido como *File-to-Factory*, do inglês, do arquivo à fábrica, e Stacey (2004) e Fernandes, Feitosa (2015) apud Corrêa e Alves (2015, p. 336) complementam que o arquivo é essencial para gerar as linhas de corte, camadas de impressão, e percursos de movimentação das máquinas. Tal processo corresponde a um processo de fabricação digital, em que produtos de uso final são projetados e produzidos digitalmente. (FONSECA, 2016, p.100).

No âmbito desta pesquisa, para o desenvolvimento da peça objeto de estudo, utilizou-se a tecnologia CAD para a modelagem conceitual da peça, utilizando o *software Sketchup*, buscando a visualização de seu *design*, baseado em referências projetuais advindas da revisão bibliográfica, e também do mobiliário *Open Desk*. Com o esboço da peça definido, ainda

utilizando a tecnologia CAD, foi elaborado um script paramétrico de uma estante genérica, através da manipulação do *software Rhinoceros* e seu plugin Grasshopper, onde foi possível evidenciar as geometrias derivadas das diferentes dimensões dessa estante, assim como verificar combinações e possibilidades de uso, de acordo com o posicionamento das prateleiras, por exemplo. Os dois momentos compõem a etapa de projeto da peça, e foram posteriormente transformados em códigos, dessa vez utilizando-se da tecnologia CAM.

Para a etapa de prototipagem, utilizou-se o *software CorelDraw* com o *plugin Corel Laser*, para envio dos códigos para uma CNC corte à laser. Já na etapa final, foi utilizado o *software Artcam*, para envio dos códigos para uma CNC router. Ambos os *softwares* geraram os códigos que foram lidos e interpretados pelas máquinas CNC, para que as peças fossem cortadas e depois montadas, completando assim o ciclo *file-to-factory*, uma das etapas da fabricação digital, como demonstrado na **Figura 8**.

Figura 8 - Diagrama do processo file-to-factory aplicado no desenvolvimento da estante



Fonte: a autora, 2024

Muitas são as vantagens do processo *file-to-factory*, como por exemplo a minimização de erros, visto que utiliza uma “comunicação direta entre o projetista e o fabricante” (LACROIX, 2020, p.43), além da precisão e da eficiência do processo. Da mesma forma, o processo aproxima o projetista de seus artefatos, o arquiteto e o *designer* voltam a ser os inventores das máquinas e mecanismos que irão concretizar suas ideias (NAN, 2015). Como nos princípios da escola alemã *Bauhaus*, que se baseava justamente na integração qualificada não só do arquiteto, mas do artesão, no processo industrial, o processo de fabricação digital exige do *designer* não somente formas de pensar como também formas de fazer o objeto

(ORCIUOLI e BAQUERO, 2014, tradução própria)¹⁷. Esta frase destaca que, ao lidar com ferramentas computacionais, é necessário não apenas saber como usá-las, mas também desenvolver uma abordagem de pensamento específica para aproveitar seu potencial. Alguns críticos denominam o *designer* da atualidade como um artesão digital e o definem como

“Um profissional que conhece tanto as formas geométricas com as quais trabalha como os métodos utilizados para produzi-la. O *design* feito sob esses critérios resulta num produto consistente. Para o artesão digital, por exemplo, não é suficiente saber que um parafuso, liga e fixa dois componentes. Para selecionar e especificar corretamente um parafuso é necessário verificar cerca de quinze das suas características, algumas relacionadas diretamente com as propriedades físicas dos materiais que serão ligados.” (DOMINGUES, 2014, p. 22)¹⁸

LACROIX (2020) ainda cita como imprescindível o conhecimento sobre a utilização de *softwares* que facilitem o trabalho de detalhamento. Sendo assim, vamos abordar alguns processos utilizados na fabricação digital, que, de acordo com Celani e Pupo (2008), são classificados conforme sua finalidade (teste e avaliações ou produção de artefatos maiores), e também segundo o número de eixos a ser produzido (2D, 2.5D e 3D). No que se refere à maneira como produzem os objetos, os métodos automatizados ainda podem ser do tipo subtrativo, aditivo ou formativo, tratadas no item a seguir.

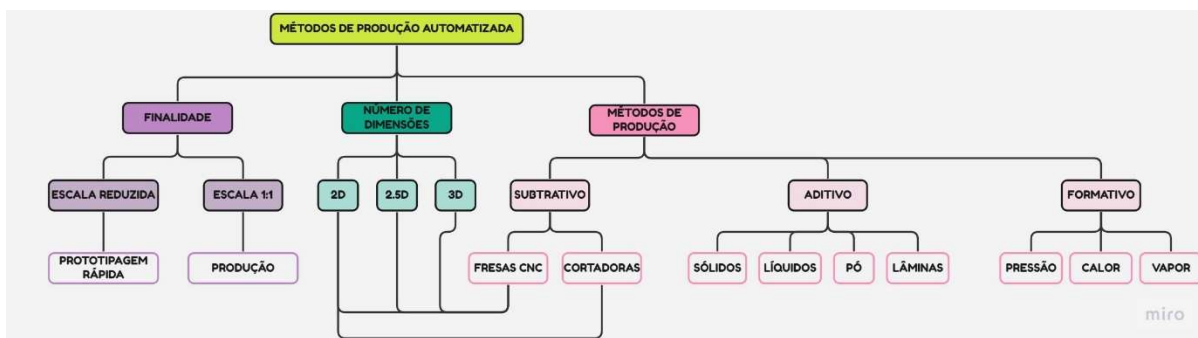
2.1 Técnicas: Subtrativas, aditivas, formativas e seus maquinários

Celani e Pupo (2008) classificam os processos de produção automatizada em três categorias, sendo a primeira delas pela finalidade da produção, a segunda pelo número de eixos a ser produzido, e a terceira quanto à maneira de se produzir. Conforme demonstrado na **Figura 9**, verifica-se que quando a finalidade da produção for destinada à testes e avaliações, o sistema de produção será classificado como prototipagem rápida, enquanto quando for destinado à produção de artefatos com escalas maiores, o sistema será chamado de manufatura ou fabricação (termo adotado para esta pesquisa) digital.

¹⁷ **Do original em Inglês:** “Computational tools require from us not only ways of doing but also ways thinking.”

¹⁸ Informação obtida por Domingues (2014) em disciplina Sintaxe e Redesenho em sistemas simples e complexos de objetos, da FAUUSP, ministrada pelo Professor Carlos Egídio Alonso.

Figura 9 - Métodos de produção automatizada, classificados por finalidade, número de dimensões e métodos de produção



Fonte: a autora, adaptado de Celani e Pupo (2008)

Ainda sobre a Figura 9, em relação às dimensões, Celani e Pupo (2008) explicam que os sistemas podem possuir duas dimensões (2D), como as cortadoras de papel ou outros materiais finos, duas dimensões e meia (2.5D), quando além de cortar, a CNC ainda é capaz de produzir alguns relevos simples, e três eixos, chamadas de três dimensões (3D), que produzem artefatos tridimensionais, como fresas ou impressoras 3D. Quanto aos métodos de produção, eles podem ser subtrativos, aditivos ou formativos.

A finalidade da produção define não somente as técnicas utilizadas, como também o maquinário envolvido na produção. Quando se fala em escala reduzida, estamos falando em prototipagem, que geralmente está associada ao termo rápida. O conceito de prototipagem rápida está muito ligado aos sistemas aditivos, de impressão 3D, mas é importante ressaltar que a impressão 3D se trata apenas de uma das técnicas de prototipagem disponível. De acordo com Moeskopf e Feenstra (2008) apud Andrade (2016, p. 164), prototipagem rápida se refere “a uma tecnologia utilizada para produzir objetos físicos pela adição de camadas, a partir de dados computacionais em 3D, oriundos de um sistema CAD.” Já para Pupo (2008, p.4), o termo é uma referência ao “uso de sistemas que não necessitam da assistência humana.”

A escala 1:1 abrange o termo fabricação digital, que será adotado nesta pesquisa. No âmbito deste trabalho, a produção automatizada foi desenvolvida com as duas finalidades, primeiramente com a prototipagem de uma peça da estante, visando materializar o conteúdo elaborado em ambiente digital e validar o conceito de *design* elaborado. Essa etapa também teve o objetivo de realizar o aprimoramento das técnicas de corte, utilizadas em um momento posterior. Com a prototipagem realizada, as decisões de projeto puderam ser tomadas de

maneira mais assertivas, e como resultado final, buscou-se fabricar a estante na escala 1:1, com as melhorias já aplicadas em ambiente digital, minimizando possíveis erros na peça final.

À título de ilustração, a **Figura 10** demonstra uma experiência realizada na fabricação de um painel, utilizando técnicas de fabricação digital, onde a prototipagem foi realizada em escala reduzida, evidenciada à esquerda. À direita, a peça fabricada em escala 1:1, com os devidos ajustes realizados, após a etapa da prototipagem.

Figura 10 - À esquerda, protótipo de um painel para exposição de objetos e organização de ferramentas. À direita, a peça final, montada em escala 1:1



Fonte: DE ALCÂNTARA FILHO e MENDES (2017, p.93 e p.95)

O número de dimensões também é fator classificatório para os métodos de fabricação automatizada. Uma cortadora de vinil, por exemplo, que corte apenas materiais de pouca espessura, como papel, funciona em apenas dois eixos, X e Y, sendo classificado como um método 2D. Já uma fresadora, que pode desbastar nos dois eixos, e ainda possui um eixo capaz de executar alguns relevos pequenos, pode ser considerada um método 2.5D, visto que atende parcialmente o eixo X, porém sem conseguir executar modelos tridimensionais muito complexos (PUPO, 2008). Quando se trata de uma fresadora de três eixos ou mais, ou uma impressora 3D, que produzem artefatos em três dimensões, estamos falando de métodos 3D.

Em relação aos métodos de produção, os métodos subtrativos são caracterizados, conforme Pupo (2016), pelo desbaste ou subtração de material até que a peça desejada seja produzida e consiste em extrair matéria-prima por meio de fresas, facas e *lasers*. Existem vários tipos de CNCs, que variam em função do tipo de material, escala e a finalidade do projeto, sendo a CNC *milling* (fresadora), *routing* (usinagem) e a cortadora à laser as principais. (SEELY, 2004).

As cortadoras caracterizam-se pelos movimentos bidimensionais do eixo de corte, do material a ser cortado ou uma combinação dos dois, e, portanto, são os sistemas que

produzem objetos em 2D, compostas por máquinas que cortam chapas de diversos materiais e espessuras, como MDF, acrílico, metal, papel, entre outros. Dentre as cortadoras mais utilizadas, estão as cortadoras a *laser*, que cortam materiais com até 16mm de espessura, as cortadoras do tipo plasma-*arc*, que utilizam um arco elétrico e gás comprimido atingindo uma temperatura de quase 14.000 graus *Celsius* no momento do corte possibilitando o uso de placas de aço mais grossas, e as cortadoras de jato d'água, que tem capacidade de corte de uma placa de titânio de 38cm de espessura. (KOLAREVIC, 2005 apud PUPO, 2016).

Já entre as máquinas CNC, as fresadoras têm papel de destaque, pois podem trabalhar nos eixos 2D, 2.5D e 3D, podendo chegar até a 5D. Existem diversas opções de máquinas CNC, por exemplo a CNC *Milling* (Fresadora) que

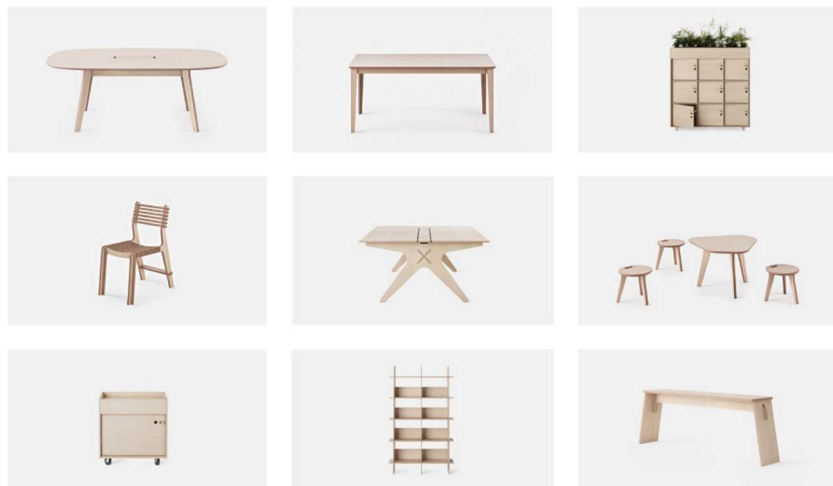
“destina-se a criação de formas tridimensionais, ou seja, trabalha em processos de fresagem em materiais como metais, madeiras ou plásticos em função de fresas que se movimentam nos eixos x, y e z por meio dos comandos numéricos enviados para a CNC, ou seja, o programa permite definir a taxa de avanço da máquina e a precisão que será alcançada, e na maioria das vezes são usadas para executar componentes individuais, como matrizes e peças de menor escala.” (HAUSCHILD e KARZEL, 2011 apud ARANTES, 2021, p.29)

Por outro lado, a CNC *Routing* (usinagem) realiza o corte e a usinagem do material, por meio das fresas.

“Os eixos definidos a partir do programa operado permite a movimentação na dimensão 2,5D, ou seja, a movimentação apresenta cortes em profundidades distintas dentro do material, no qual vista de cima, apresenta todas as superfícies paralelas ou em 90º graus, diferindo da movimentação na dimensão 3D, são utilizadas para escala de ampla aplicação, desde um pequeno objeto a grandes construções, as vantagens desse procedimento contam com uma variedade de formatos a ser operados, além de ter um baixo custo de aquisição.” (SEELY, 2004 apud ARANTES, 2021, p.29)

A **Figura 11** mostra a linha de mobiliário projetada pela empresa *OpenDesk*, que consiste em móveis projetados digitalmente, onde o usuário tem a opção de comprar o produto final pronto, ou, fazer o *download* do arquivo digital para ser enviado à uma máquina CNC, permitindo que qualquer pessoa fabrique seu próprio móvel, ou envie para empresas que façam o corte e montem, ou ainda, através do site, ser conectado à marceneiros que façam o trabalho de qualquer lugar do mundo.

Figura 11 - Linha de mobiliário da OpenDesk



Fonte: SOUZA, 2020 in *Archdaily* Brasil

Já os métodos aditivos, em oposição aos métodos subtrativos, consistem na sobreposição sucessiva de camadas de material até que o objeto tridimensional seja formado, conforme Volpato (2007) apud Fonseca (2016). Além disso,

“o processo aditivo consiste em criar objetos, camada por camada, por meio de movimentos controlados por computador. O caminho do processo é iniciado da mesma forma como iniciado nos processos das fresadoras, usinagem e corte à *laser*. O usuário começa preparando um arquivo tridimensional no computador, configura a máquina e depois envia o arquivo para ser ‘impresso’. [...] As máquinas desenham uma camada do objeto desejado na superfície superior com uma resina líquida fotossensível, e essa camada desce, assim que estiver finalizada, para receber a próxima camada de material.” (SEELY, 2004, p.19, tradução própria)¹⁹

Pupo (2008, p.9) explica que “o *software* precisa criar fatias horizontais do modelo digital, que são impressas, solidificadas ou cortadas, e coladas umas sobre as outras.” A tecnologia utilizada para essa técnica é conhecida como impressão 3D, um termo amplo que abrange várias técnicas de impressão, subdivididas a partir do material base que utiliza para a materialização do arquivo digital, podendo ser materiais sólidos, líquidos, em pó ou lâminas (PUPO, 2009 apud FONSECA, 2016b). Para materiais sólidos, os tipos mais utilizados são a fusão por deposição de material – FDM, em que filamentos de material termoplástico são

¹⁹ **Do original em Inglês:** “Create objects by building up material layer-by-layer through computer-controlled movements. The way the process is started is generally the same as it is for CNC processes. The user starts by preparing a three-dimensional file in the computer, sets up the machine, and then sends the file to be 'printed'. The machine automatically builds up the material according to the computerized directions it is given. [...] the machine draws a layer of the desired object on the top surface of a photosensitive liquid resin, curing the top surface. Following each writing of a layer, the support surface holding the solidified resin moves down one layer's thickness at a time, recoating the top surface with liquid resin and the next layer is written on the top surface again.”

derretidos e depositados em camadas, que se solidificam à medida em que esfriam (LOPES, 2016).

Para materiais líquidos, o mais comumente utilizado é a estereolitografia – SLA, que utiliza como matéria prima uma resina polimérica fotossensível, que através de um laser ultravioleta, é solidificado, camada por camada. (LOPES, 2016). Temos também impressões por jato de tinta, usado para depositar pequenas gotas de líquidos que endurecem para formar objetos, e a 3D *Bioprinting*, que usa bio-tintas líquidas, geralmente compostas de células e materiais compatíveis, para criar tecidos e órgãos, além das *polyjets/multijets*, que utilizam jatos de material fotopolimerizável que endurecem quando expostas à luz ultravioleta. Diversos materiais podem ser estudados e reciclados, para dar origem à novas matérias primas para serem utilizadas nas impressoras 3D, como por exemplo a empresa *Times Gang*, que utilizou redes de pesca recicladas como filamento para as impressoras 3D fabricarem a cadeira Kelp (Figura 12).

Figura 12 - Cadeira Kelp, impressa em 3D com material proveniente de redes de pesca recicladas, por Times Gang



Fonte: Montjoy, 2023 in Archdaily Brasil

Os materiais em pó podem ser utilizados no processo chamado sinterização seletiva a laser – SLS – onde um pó, geralmente de metal, plástico ou material cerâmico, é exposto a um laser que aquece e funde seletivamente o material em camadas finas, e também o *Binder Jetting*, que usa um aglutinante líquido para unir partículas de pó e construir objetos. Por fim, as lâminas, utilizadas no processo de LOM – *laminated object manufacturing*, ou fabricação de objetos laminados, que apesar de apresentar algumas técnicas subtrativas no processo,

ainda pode ser considerado uma técnica aditiva. Neste processo, o material base, geralmente papel, plástico ou metal, é laminado e sequencialmente colocado, colado e cortado, até atingir a tridimensionalidade pretendida. (LOPES, 2016).

Na **Figura 13**, Morandini e Del Vecchio (2020, p.73) apresentam uma síntese dos principais processos dos métodos aditivos, com suas vantagens e desvantagens, bem como seus principais usos.

Figura 13 - Síntese dos tipos de impressão 3D, vantagens, desvantagens e exemplos de uso

Tipo de impressão 3D	Vantagens	Desvantagens	Exemplos de uso
FDM	Pela facilidade de uso e tamanho, é o tipo mais acessível às pessoas. Tem ótimo custo-benefício.	Muitas vezes necessário o acabamento manual da peça. Nível de precisão moderado.	Muito utilizado em ambientes menores, tanto em uso comercial como pessoal.
SLA	Nível de detalhamento e precisão elevado, sendo o tipo que consegue atingir o melhor nível de detalhamento entre as impressões 3D	Devido à precisão, o tempo para imprimir objetos tende a ser alto. Além disso, os fotopolímeros utilizados como matéria prima possuem custo elevado.	Uso viável em produtos comerciais e industriais de alta precisão, bem como em áreas como a medicina.
SLS	Baixo custo de matéria prima. Qualquer tipo de material transformado em pó pode ser usado.	Acabamento do produto não é tão durável, pois depende muito da qualidade das partículas de pó utilizadas	Fabricação de protótipos de alta fidelidade e produtos comerciais. Normalmente utilizado em indústrias de grande porte.
LOM	Custo geral baixo e rápida produção de objetos	Não resistente ao uso contínuo, ficando desgastando com o tempo.	Fabricação de protótipos, devido ao seu baixo custo de produção.

Fonte: Morandini e Del Vecchio, 2020, p.73

Quando abordamos a técnica formativa, os processos acontecem de maneira um pouco diferente, sem que seja necessário adicionar ou subtrair matéria. Neste tipo de técnica,

“são utilizados processos como forças mecânicas (pressão, calor ou vapor) para dar forma ou deformar os materiais para a forma pretendida. O método pode trabalhar com os materiais em três estados: líquido, plástico e sólido. No caso dos materiais em estado líquido, são utilizados processos que envolvam moldes ou extrusão para determinar a forma pretendida. No estado plástico, são utilizadas forças mecânicas, como, por exemplo, prensas pneumáticas para moldar. No sólido, os materiais são dobrados através de quineiras, de força de pressão de água ou prensas pneumáticas.” (PAIO, 2016, p.197)

Os moldes podem ser elaborados por outras técnicas de fabricação digital, como aconteceu na construção do edifício *The Bubble* (Figura 14) projeto do escritório Bernard Franken em parceria com o escritório de engenharia *Bollinger + Grohmann*, projetado para ser o pavilhão de exposições da *BMW* em Frankfurt (1999) e em Munique (2000). Os componentes de acrílico da bolha foram deformados sobre moldes de espuma de poliuretano, que foram fabricados a partir de técnicas subtrativas. Além disso, também foram feitos cortes

em CNC de três eixos para elaboração das peças de alumínio da estrutura, combinando desta maneira mais de uma técnica de fabricação digital no mesmo projeto. Este método não produz desperdício de materiais, uma vez que os moldes utilizados podem ser reaproveitados para fabricação de novas peças, ou reutilizados para fabricação de novos moldes, conforme explica Paio (2016).

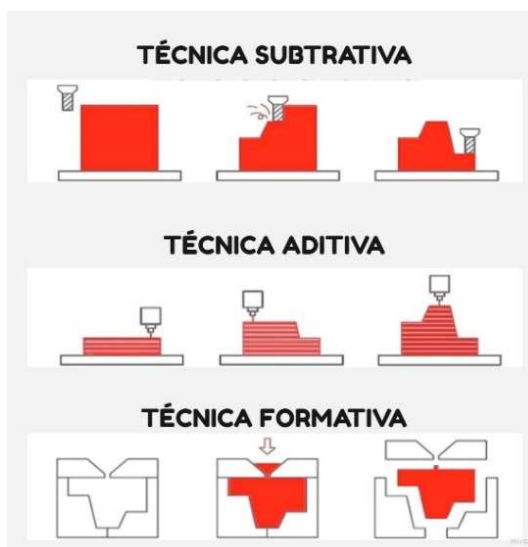
Figura 14 - The Bubble - Projeto de Bernard Franken para o pavilhão de exposições da BMW em Frankfurt (1999) e Munique (2000)



Fonte: FRANKEN, apud RUGGIERO, 2021, p.122

Fazendo uma breve síntese entre as técnicas subtrativas, aditivas e formativas, a Figura 15 resume a diferença entre as técnicas, evidenciando em vermelho o objeto sendo construído através dos diferentes procedimentos.

Figura 15 - Síntese dos tipos de manufatura: subtrativa, aditiva e formativa



Fonte: a autora, adaptado de WILTGEN (2019) apud WILTGEN e LOPES (2022, p.48)

Fica evidente, portanto, a diferença entre as técnicas utilizadas na fabricação digital, que guiam a escolha do material a ser utilizado, uma vez que cada tipo de maquinário é

utilizado para cada um dos diversos tipos de material que podem ser empregados na concepção de artefatos produzidos digitalmente. Após a análise das técnicas disponíveis, portanto, para a fabricação da peça objeto de estudo desta pesquisa, que se trata de peça de mobiliário, já foi possível prever que, o material utilizado seria o MDF, e portanto, utilizadas as técnicas subtrativas, através de máquinas CNC Router ou de corte a laser.

2.2 Prototipagem

Quando se fala em prototipagem, é natural que se faça associação com o termo 'rápida'. Assim como na fabricação digital, que pode também ser denominada manufatura rápida. Celani e Pupo (2008) explicam que o termo 'rápida' (*rapid prototyping* e *rapid manufacturing*) faz referência ao fato desses sistemas não requererem nenhum tipo de ajuda humana, visto que utilizam a união das tecnologias CAD-CAM-CNC, já abordadas anteriormente.

Da mesma forma que se associa o termo prototipagem ao termo rápida, associa-se o termo completo, prototipagem rápida, "normalmente aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos" (BUSWELL et al., 2007 apud PUPO, 2008, p.3). Contudo, existem também métodos baseados na sobreposição de camadas (CELANI e PUPO, 2008), nos métodos subtrativos, como no caso desta pesquisa, e nos métodos formativos. Silva (2017) afirma que a prototipagem pode envolver a impressão 3D, o corte à *laser*, a usinagem CNC, entre outros. Celani e Leite (2021), por sua vez, já dizem que hoje em dia, a prototipagem rápida já é mais conhecida como fabricação digital, e trata-se na verdade, de uma das etapas, não obrigatória, dentro deste amplo campo que é a fabricação digital. Pupo (2009), em sua tese, esclarece que a diferença está compreendida apenas na finalidade da produção.

"O primeiro termo, a PROTOTIPAGEM DIGITAL, inclui todas as técnicas de prototipagem rápida (sobreposição de camadas), corte a *laser*, fresas e corte com vinil, para a produção de maquetes em escalas reduzidas e protótipos em escala 1:1. O segundo termo, a FABRICAÇÃO DIGITAL, inclui técnicas destinadas à produção de edifícios ou partes deles (*file-to-factory*, metal e *tube bending*). Estas, por sua vez, destinadas à produção de fôrmas ou peças finais de edifícios, com equipamentos de CNC." (PUPO, 2009, p.9)

De acordo com Moeskopf e Feenstra (2008) apud Andrade (2016), a prototipagem se refere a uma tecnologia utilizada para produzir objetos físicos, a partir de dados

computacionais em 3D, oriundos de um sistema CAD. Vamos então considerar a prototipagem como uma etapa da fabricação digital, visto que a materialização do conteúdo, inicialmente elaborado em ambiente digital, permite a avaliação e testagem dos conceitos do *design* da peça, assim como suas funcionalidades e viabilidade, antes de investir recursos significativos na produção do produto final. O objetivo desta etapa é identificar problemas, fazer iterações no *design*, coletar *feedback*, indo de encontro com a metodologia da Cibernética de Segunda Ordem, e aprimorar o conceito original.

Ressalta-se ainda a importância da prototipagem no processo,

“como uma etapa de auxílio nas tomadas de decisão do projetista. A execução de um modelo palpável lança o desafio de pensar construtivamente, obrigando o profissional a pensar em soluções que sejam viáveis construtivamente” (LACROIX, 2020, p.127)

Diversos autores afirmam a importância da prototipagem no processo de fabricação de produtos finais, como Barbosa Neto, Araújo e Celani, 2012, que em uma experiência para projeto de uma mesa de recepção, relatam que

“Como resultado da observação do modelo físico [...], pode-se constatar que alguns ajustes na curvatura do modelo virtual deveriam ser realizados, já que uma das partes apresentava instabilidade. Assim, a utilização do modelo impresso possibilitou a observação de um fenômeno que não poderia ser constatado durante o processo de modelagem no ambiente virtual.” (BARBOSA NETO, ARAÚJO e CELANI, 2012, p.562)

Assim como De Alcântara Filho e Mendes (2017), que durante a experiência de fabricar digitalmente um painel para exposição de objetos e organizador de ferramentas, elaboraram três protótipos, o primeiro em escala reduzida de 1:10 de uma parte do painel, que se mostrou insuficiente para ser montado, mas serviu para compreensão da melhor folga do *laser* para a espessura escolhida da chapa de MDF. Já na segunda prototipagem, em versão maior, contendo as mesmas partes do painel, foi possível a verificação de um problema no *design* do produto. Com os aprimoramentos necessários, foi feito um corte em escala real, mas ainda em fase de prototipagem, visto que ainda foram necessários alguns ajustes, para que o produto final pudesse finalmente ser produzido.

Portanto, diante das experiências de autores, e conforme Andrade (2016), podemos afirmar que a etapa de prototipagem permite maior precisão, maior nível de detalhes e uma redução significativa no tempo para a produção final dos modelos. Permite também que os modelos sejam prototipados diretamente a partir dos modelos CAD, permitindo uma visão

tridimensional e materializada da solução estudada, o que faz com que os projetistas se sintam mais seguros para realizar os aprimoramentos necessários para a evolução da peça final

2.3 Conceitos: Parametria e *Nesting*

A parametria, nesta pesquisa, apresentou um caráter exploratório, e pode ser considerada parte da etapa criativa do processo de elaboração da estante. Isto porque, após a modelagem tridimensional do conceito da peça no *software Sketchup*, onde foi possível uma primeira visualização de seu *design*, elaborado a partir de precedentes extraídos da revisão bibliográfica que compõe este trabalho, e também do mobiliário fabricado pela empresa OpenDesk, transferiu-se a modelagem para o *software Rhinoceros*, que associado ao seu *plugin Grasshopper*, também “é um *software* de modelagem tridimensional, mas por meio de regras de associação de parâmetros, através de uma interface de programação visual.” (BUENO, 2016, p.118). O mesmo autor define que o *software* é

“um modelador algorítmico com uma linguagem de programação visual, capaz de estabelecer associações paramétricas de projeto arquitetônico, implementar algoritmos generativos e evolutivos e fornecer meios para entrada e saída de dados para outros tipos de *software*, incluindo BIM [...], em tempo real.” (RMA, 2013 apud BUENO, 2016, p.118)

Portanto, ainda conforme Bueno (2016), os resultados possíveis, resultantes das combinações entre os parâmetros definidos e as restrições estabelecidas, não podem ser previstos, de início, e por isso, o processo pode ser considerado realmente criativo. Além disso,

“A combinação entre os parâmetros permite criar novas formas, de um modo investigativo, com descobertas inesperadas. O resultado desejado na modelagem paramétrica é fazer que o algoritmo promova formas inovadoras, que possam ser comparadas e avaliadas entre si, amparando assim decisões mais bem embasadas. Neste sentido, a MP estende a capacidade humana de imaginar e de combinar grandes quantidades de dados e informações” (FLORIO, 2016, p.139)

O *Grasshopper* é um *plugin* editor gráfico de algoritmos generativos, disponibilizado dentro do *software* de modelagem *Rhinoceros*. Possui uma interface de programação visual baseada em nós, ou seja, em vez de escrever os códigos, o projetista cria *scripts* arrastando e conectando elementos gráficos chamados "nós" em um espaço de trabalho. Os nós são conectados por fios que representam o fluxo de dados, que fluem de um nó para o outro, passando por transformações e cálculos ao longo do caminho, criando então modelos que se

baseiam em regras e lógica, para gerar formas, complexas ou não, automaticamente. À medida que o projetista cria e ajusta o *script* no *Grasshopper* (lado direito da Figura 16), a geometria é atualizada em tempo real no *Rhinoceros* (lado esquerdo da Figura 16), o que permite a visualização imediata das mudanças, sem que seja preciso desenhar manualmente cada uma das possíveis soluções geradas (PINTO e PUPO, 2015).

Portanto, conforme Kolarevic (2003) apud Lara (2016),

“A metodologia paramétrica/algorítmica pode ser sistematizada pelo controle indireto da forma, por meio de dependência geométrica, pela decomposição do objeto intencionado em partes ou componentes que podem ser descritos nas regras e explorar e simular novas formas com base na lógica.” (KOLAREVIC, 2003 apud LARA, 2016, p.76)

Ainda conforme o mesmo autor, mas agora citado por Lacroix (2020),

“No projeto paramétrico, são os parâmetros de um projeto específico que são declarados, não seu formato. Pela atribuição de diferentes valores aos parâmetros, diferentes objetos ou configurações podem ser criados. Equações podem ser usadas para descrever as relações entre objetos, assim definindo uma geometria associativa – a “geometria constituinte que é mutuamente ligada”. Dessa maneira, interdependências entre objetos podem ser estabelecidas, e o comportamento dos objetos sobre transformações ser definido [...]. Pela primeira vez na história, arquitetos estão projetando não o formato específico do edifício, mas um conjunto de princípios codificados como uma sequência de equações paramétricas pelas quais instâncias específicas do projeto podem ser geradas e variadas no momento, conforme necessário. O projeto paramétrico apela à rejeição de soluções fixas e à exploração de potencialidades infinitamente variáveis” (KOLAREVIC, 2003, apud LACROIX, 2020, p.45)²⁰

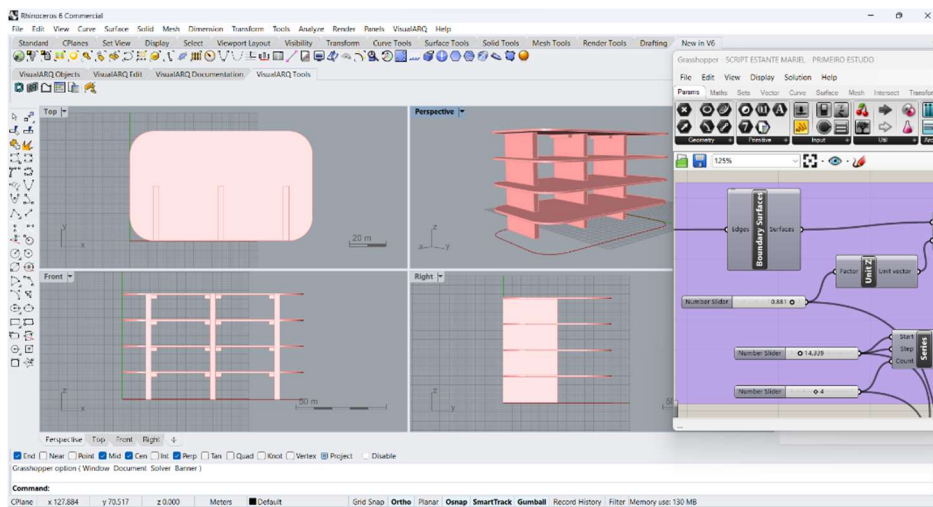
Após o processo de modelagem 3D da estante, foi elaborado, de maneira prévia, um *script* de uma estante paramétrica, de modelo genérico, com base no modelo disponibilizado pelo *Ace Design Institute* (2019), demonstrado na Figura 16, onde foi possível explorar a potencialidade da parametria neste processo, pois, apenas com o controle dos *inputs* de altura, largura e profundidade da peça como um todo, já era possível explorar sua materialidade, alterada em tempo real, sem que fosse necessária desenhar cada modificação de seus componentes.

Entende-se então que, a parametria, no processo desta pesquisa, atuou com um caráter exploratório de soluções, e que em etapas futuras, pode revelar as possíveis combinações para a estante, em função do número de prateleiras, que pode ser alterado também em função da altura total da peça, assim como seu *design*, que pode ser modificado

²⁰ Tradução de Lacroix (2020)

de acordo com a largura e comprimento total da estante. As inúmeras possibilidades podem ser alteradas e visualizadas de maneira rápida e fácil, pois apenas com a alteração dos parâmetros já é possível visualizar a geometria, em tempo real. Além de parâmetros como altura, largura e comprimento, e consequentemente o número de prateleiras, podem ser evidenciadas também as possíveis combinações em relação às peças de múltiplo uso, como a peça pensada para atuar como uma sapateira, ou suporte para garrafas, assim como um outro componente, que fechado, atua como um nicho, e aberto funciona como uma pequena mesa.

Figura 16 - Estudos preliminares de um script paramétrico para uma estrutura de estante



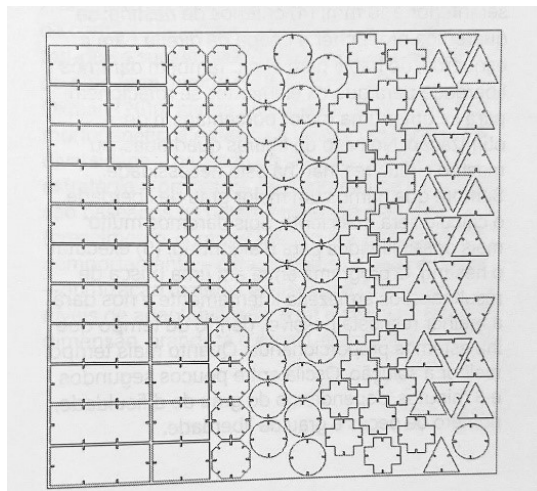
Fonte: a autora, com base em *Ace Design Institute*, 2019

Todas essas combinações podem ser previamente visualizadas no desenho paramétrico, sem que seja necessário pensar em como ficaria o desenho de cada uma delas, além do *software* ainda poder revelar uma nova combinação, não pensada inicialmente pela projetista. Além disso, em etapas futuras, é possível ainda atrelar às informações de dimensões gerais, uso ou não das peças da mesa e suporte de sapatos e garrafas ao custo final da peça, que pode ser revelado pelo *software* em função das escolhas do usuário.

Depois de explorados brevemente as potencialidades da parametria neste processo, o próximo passo foi envio dos arquivos para a cortadora a *laser*, para o corte da chapa de MDF 6mm, com o objetivo de, em um primeiro momento, elaborar um protótipo da estante, em escala reduzida. Primeiramente, faz-se necessário a planificação das superfícies, transformando-as em linhas (*polylines*, na linguagem dos *softwares*), para que os *softwares* necessários para as próximas etapas consigam ler seus contornos (*boundaries*). Feito isso, com os limites de cada peça estabelecidos, aplica-se o processo de *nesting*, buscando a distribuição dessas peças de maneira otimizada na placa de material a ser cortada.

Orciuoli (2016), traduz *nest*, em inglês, com o significado de ‘ninho’, portanto, aninhar. Porém, segundo o autor, talvez a palavra que melhor exprima o sentido de *nesting* no contexto da fabricação digital, seja acomodar, ou seja, como distribuir alguns objetos, da melhor maneira possível, sempre objetivando a otimização do material, como na **Figura 17**. Os conceitos de *nesting* são definidos pelo processo de posicionar partes de corte em placas planas, para serem cortadas por máquinas de fabricação digital, tal como a máquina de fresagem CNC em sistemas CAD/CAM (LANDIM et al. 2017 apud LACROIX, 2020, p.220)²¹.

Figura 17 - Nesting otimizando uma quantidade de elementos dentro de uma chapa de MDF



Fonte: ORCIUOLI (2016, p.143).

Em mais uma definição de *nesting*, agora segundo Júnior, et al (2013), que descreve que o processo

“Consiste em encontrar a melhor forma de organizar peças em uma superfície plana e encontrar o melhor *layout*, para que o corte seja realizado visando a minimização da matéria prima. Podemos descrever o problema utilizando o seguinte exemplo: dada as dimensões de um retângulo (matéria prima), que são constantes, e definindo as peças que devem ser cortadas; tal problema pode ser definido como a melhor forma de alocar essas peças dentro do retângulo, sem sobrepôr as geometrias, de forma a minimizar o comprimento da faixa de material utilizado longitudinalmente.” (JUNIOR et al, 2013, p.1397, tradução própria)²²

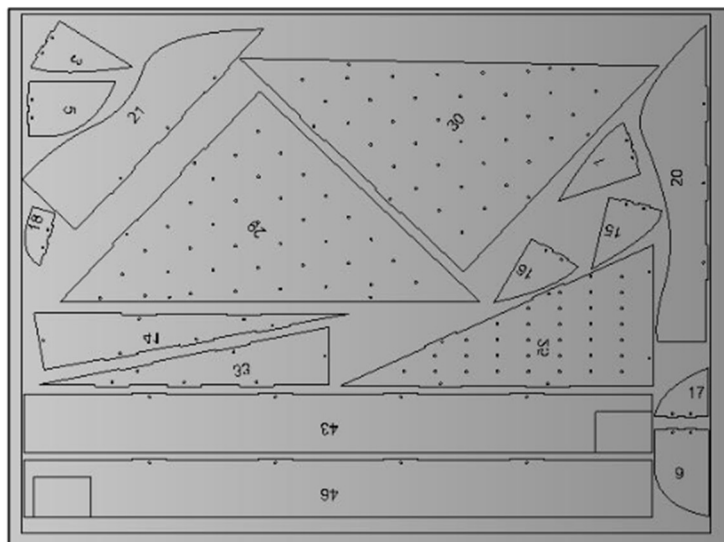
Na **Figura 18**, vemos o *nesting* aplicado para o corte das peças na elaboração de um painel, experiência relatada também no conceito de prototipagem e nota-se que além da

²¹ Tradução de Lacroix (2020)

²² **Do original em Inglês:** “[...] which consists of finding the most efficient layout for cutting irregular shapes out of a given strip with minimum waste material. More specifically, given the dimensions of the rectangular strip - a constant width and an infinite length - and the pieces which need to be cut, the problem can be defined as to find such an arrangement of pieces (with no overlapping) that minimizes the length of the rectangular strip.”

distribuição otimizada das peças na chapa, o *software* utilizado também faz a identificação das peças, em forma de gravação, facilitando assim o processo de montagem do objeto final.

Figura 18 - Nesting aplicado na fabricação de um painel



Fonte: DE ALCÂNTARA FILHO e MENDES (2017, p.94)

É importante ressaltar que não só a otimização da matéria prima é uma das vantagens do *nesting*, como também a redução do tempo de configuração da máquina (*setup*), através dos caminhos das ferramentas a elas atribuídas. Ferrary (2015), diz que considerar os caminhos de ferramenta é uma etapa importante já que, dependendo do diâmetro da ferramenta, esta pode sobrepor outra peça, danificando o produto final.

Além disso, otimizar os caminhos da ferramenta diminuem o tempo final de operação da máquina, reduzindo assim o custo final da peça, visto que o valor do corte das peças é determinado em função do tempo de funcionamento da máquina. Uma outra questão deve ser considerada em relação aos materiais com desenho, por exemplo a madeira, que possui veios. Quando se busca respeitar um certo sentido em relação a estes veios, apesar das vantagens, o *nesting* pode ser uma barreira, que poderá ser mais bem explorado a partir do corte das peças da estante, objeto de estudo desta pesquisa.

2.4 Materiais e técnicas: um panorama

Quando se fala em fabricação digital, a gama de materiais possíveis para se utilizar no fabrico de artefatos é imensa. Cada técnica, abordada no subcapítulo 2.1 - Técnicas: Subtrativas, aditivas, formativas e seus maquinários, possui os materiais mais apropriados, assim como algumas limitações. Ashby e Jonhson (2009) apud Barros (2011) classificam

diversos tipos de materiais em famílias, classes e membros, organizando suas propriedades com base em atributos que abrangem características físicas, mecânicas, térmicas, elétricas, ópticas, ecológicas, de processamento, acústicas, táteis, entre outros. Na fabricação digital, a escolha de materiais é determinada pelos atributos associados ao processamento da matéria-prima.

Nos métodos aditivos, o estado físico dos materiais, geralmente sólidos, pós ou líquidos, são transformados quando submetidos a processos térmicos, e desta forma, são manipulados para gerar os componentes desejados (ALVARADO e BRUSCATO, 2009 apud BARROS, 2011). O material mais comumente utilizado para alimentar as impressoras 3D, responsáveis pelos métodos aditivos, são os polímeros plásticos, como por exemplo o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), que segundo Ashby e Jonhson (2003, p.32, tradução própria)²³, é um polímero “de comportamento camaleônico, muito adaptável”. Além disso, estamos falando de um polímero termoplástico, ou seja, pode ser fundido e extrusado diversas vezes, adquirindo um caráter extremamente moldável.

Já os métodos subtrativos utilizam materiais em estados sólidos, com formatos pré-estabelecidos, geralmente em forma de chapas. Lefteri (2013) diz que esses sistemas abrangem um grande número de materiais, como madeiras, polímeros e metais, utilizando diversificados processos (também já abordados no subcapítulo 2.1) para subtrair o material e realizar as operações de corte e usinagem. Abrão e Nunes (2019) abordam algumas técnicas e seus materiais, dizendo que

“A CNC *Router* é utilizada para o fresamento de formas bidimensionais em materiais como folhas de madeira, compensado e espumas. A CNC *Milling* é voltada para a criação de formas tridimensionais a partir de um bloco de material, tais como madeira, metal, plástico e espumas. A CNC a *laser* trabalha com materiais como: madeira, papel, papelão, aglomerado de madeira e plástico (SEELY, 2004); as impressoras 3D contemplam diferentes materiais a serem depositados, dentre eles: plástico, cerâmica, moléculas, até chocolate, entre outros, sendo a matéria prima mais habitual são os plásticos de engenharia como o ABS (Acrlonitrila butadieno estireno) e PLA (ácido polilático)” (ABRÃO e NUNES, 2019, p.127).

Barros (2011) relacionou os diferentes equipamentos das técnicas subtrativas com o tipo de material que pode ser utilizado em cada processo, conforme a Figura 19.

²³ **Do original em Inglês:** “Colored, they look like ceramics; printed, they can look like wood or textile; metallized, they look exactly like metal. They can be as transparent as glass or as opaque as lead, as flexible as rubber or as stiff – when reinforced – as aluminum. But despite this chameleon-like behavior they do have a certain personality: they feel warm – much warmer than metal or glass. They are adaptable – that is part of their special character; and they lend themselves, particularly, to brightly colored, lighthearted, even humorous, design.”

Figura 19 - Processos subtrativos e materiais

Material \ Processo	Madeiras Naturais	Pedras Minerais Naturais	Metais Ferrosos	Alumínios	Cerâmicos	Polímeros	Elastômeros
CNC Milling	●	●		●	●	●	
CNC Router	●	●		●	●	●	
Cortadora Laser	●	●	●	●	●	●	●
CNC Jato de água	●	●	●	●	●	●	●
Cortadora Vinil						●	

Fonte: BARROS, 2011, p.26

Diante da variedade de materiais, técnicas e maquinários disponíveis para fabricação digital, a aproximação do profissional com o processo de manufatura é fundamental. Kolarevic (2010) apud Barbosa Neto (2013) ressalta que

“Conhecendo as capacidades de produção e disponibilidade de um equipamento de fabricação controlado digitalmente permite que projetistas projetem especificamente para as capacidades dessas máquinas. A consequência é que os projetistas estão se tornando muito mais diretamente envolvidos no processo de fabricação, uma vez que criam a informação que é interpretada pelo fabricante diretamente dentro do dado de controle, que guia o equipamento de fabricação digital” (KOLAREVIC, 2010 apud BARBOSA NETO, 2013, p.112)²⁴

Ashby e Johnson (2003), afirmam que cada material deve ser utilizado de maneira que exponha suas qualidades intrínsecas e sua aparência natural. Isso tem raízes na tradição da manufatura artesanal – com o uso de argilas e esmaltes pelos ceramistas, o uso de madeira pelos carpinteiros e as habilidades dos ourives e fabricantes de vidro na criação de belos objetos, que exploram as qualidades únicas dos materiais com os quais trabalham, traduzidas em uma integridade com a arte manual e os materiais (ASHBY e JONHSON, 2003, p.30, tradução nossa)²⁵. Talvez por essa razão, apesar da diversidade de materiais disponíveis para elaboração de peças no método subtrativo, o uso da madeira ainda é predominante, principalmente em se tratando do fabrico de peças de mobiliário. Para além disso, Carvalho, 2023, evidencia o quanto é essencial entender a madeira, ressaltar seu valor, a diversidade e importância de sua preservação, tanto no processo de projeto quanto no processo produtivo.

²⁴ Tradução de Barbosa Neto (2013)

²⁵ **Do original em Inglês:** “each material must be used in ways that expose its intrinsic qualities and natural appearance. It has its roots in the tradition of craftsmanship – potters’ use of clays and glazes, carpenters’ use of woods, the skills of silversmiths and glass makers in beautiful crafting objects that exploit the unique qualities of the materials with which they work – an integrity to craft and material.”

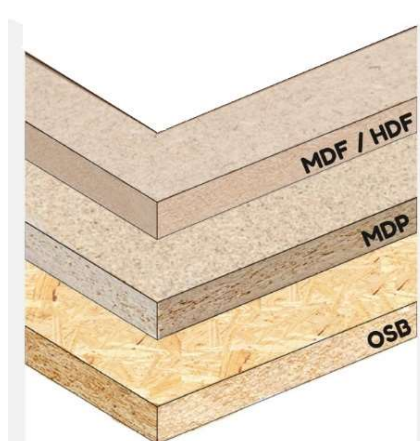
Caldas (2021) afirma que as madeiras mais utilizadas para a fabricação de mobiliários são as chapas de madeira modificadas, comercialmente vendidas como o compensado, aglomerado, MDF, MDP, OSB, entre outros. Segundo Dalmolin (2016) apud Caldas (2021, p.87), “as chapas de compensado e MDF são os materiais mais usados para a fabricação digital, pois podem ser mais bem aproveitados, levando em consideração a técnica aplicada.” Além disso, são materiais provenientes de florestas plantadas, “que são áreas reflorestadas e cultivadas, e que atendem a um plano de manejo sustentável sob a regulamentação de órgãos diretamente ligados ao Ibama” (IBF, 2020 apud CARVALHO, 2023, p.35).

Os painéis de madeira, classificação onde se encontram o MDF, material definido para elaboração da estante objeto de estudo desta pesquisa, além de seus similares HDF, MDP e OSB, são definidos como

“[...] estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos. [...] Surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça.” (MATTOS, CHAGAS E GONÇALVES, 2008, p.123)

Conforme Araújo (2020), os painéis ainda podem ser classificados como painéis de madeira processada mecanicamente (compensado ou madeira laminada colada, por exemplo) ou painéis de madeira reconstituída, que são aqueles compostos por partículas, lascas ou fibras. Dentre os painéis de madeira reconstituída, encontramos o MDP (*medium density particleboard*) – painel de partículas de média densidade, o MDF (*medium density fiberboard*) – painéis de fibra de média densidade, o HDF (*high density fiberboard*) – painéis de fibras de alta densidade e o OSB (*oriented strand board*) – painéis orientados, ilustrados na **Figura 20**.

Figura 20 - Representação de painéis de MDF/HDF, MDP e OSB



Fonte: a autora, adaptado de SOUZA, 2020b

O MDP, é resultado da prensagem de partículas de resíduos da madeira, como serragem ou pó, que se aglutinam por meio de resina, com ação de calor e pressão, transformando-se em painéis compactados. Também é conhecido como aglomerado, apesar de ter uma pequena evolução de um material para o outro, em relação ao processo de prensagem, que passou de uma prensagem cíclica para uma prensagem contínua. Como matéria prima, utiliza desde resíduos industriais de madeira, assim como resíduos de exploração florestal, e madeiras não industrializáveis ou de qualidade inferior. Porém, a maior fonte de matéria-prima é proveniente de florestas plantadas, em especial, de eucalipto e pinus. (ARAÚJO, 2020)

Algumas vantagens são encontradas no uso do MDP para a fabricação de mobiliário, como relata Silva (2012), por exemplo a inexistência de defeitos em relação aos veios e nós naturais da madeira bruta (anisotropia), além da resistência proporcional do painel no sentido da largura e do comprimento. Do mesmo modo, observa-se também a menor exigência em relação à qualidade da madeira utilizada como matéria prima e menor custo de produção de mão de obra. Também é um material muito estável, já vem lixado e pode ser cortado em qualquer direção, o que permite seu melhor aproveitamento nos maquinários CNC e nos processos de marcenaria tradicional. Porém, o autor ressalta que para atingir as vantagens enumeradas, é necessário obedecer a um padrão no processo produtivo, normatizado pela NBR 14810. A **Figura 21** demonstra um mobiliário feito sob medida, utilizando chapas de MDP fabricados pela empresa Duratex, que descreve o material como sendo uma ótima opção para móveis e revestimentos em geral.

Figura 21 - Mobiliário fabricado por marcenarias tradicionais, utilizando MDP, no padrão Gianduia



Fonte: DURATEX

O OSB é formado por “tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente em diversas camadas, unidas por resinas e sob a ação de alta pressão e temperatura” (MATTOS, CHAGAS E GONÇALVES, 2008, p.124). O painel é formado de maneira que

“As partículas das camadas externas estão alinhadas e dispostas no sentido paralelo ao comprimento ou à largura do painel, enquanto as partículas das camadas internas podem ser orientadas aleatoriamente ou alinhadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas das camadas externas. (EN 300, 2006) Essa estrutura de colchão confere aos painéis OSB excelentes propriedades mecânicas.” (FERRO, et al, 2015, p.1)

Sua elevada resistência mecânica justifica sua grande utilização em diversas áreas, mas principalmente na construção civil, em bases de paredes e forros, tapumes, entre outros elementos estruturais. Como as chapas não possuem espaços vazios em seu interior, sem nós ou fendilhados, são bastante uniformes e adquirem boa capacidade de isolamento acústico. Possuem a elasticidade da madeira convencional, mas são mais resistentes mecanicamente, além de serem recicláveis, e duráveis em áreas externas, podendo ter contato com a água. Utilizam como matéria prima, madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, além de espécies de menor valor comercial, adquirindo dessa forma, um custo final mais baixo em relação a outros produtos similares. (ARAÚJO, 2020)

Os painéis de OBS possuem uma estética bastante característica, derivada de seus modos de produção, e essa aparência tem sido empregada no fabrico de móveis que buscam essa característica (SOUZA, 2020b). Por terem uma superfície rugosa, não aceitam a aplicação de produtos laminados, como o MDF e o MDP, por exemplo, ficando a critério do projetista a escolha de especificar ou não um material com a aparência do OBS. A **Figura 22** exemplifica o uso desses painéis em um apartamento, utilizado para a fabricação de uma divisória e de uma estante/divisória, onde fica evidente a estética característica desse material.

Figura 22 - Interiores de um apartamento com uso de painéis OSB



Fonte: ARCHDAILY via SOUZA, 2020b

Por último, apresentamos o MDF, que se assemelha ao MDP, com a diferença de utilizar como matéria prima madeira com maior grau de desagregação, ou seja, com as partículas reduzidas a fibra, e posteriormente, também aglutinadas por meio de resinas, com ação do calor e pressão. São

“[...] produtos homogêneos, uniformes, estável, com superfície plana e lisa, com boa trabalhabilidade, alta usinabilidade para encaixar, entalhar, cortar, parafusar, perfurar e moldurar, proporcionando economia no uso de tintas e vernizes. Devido à densidade adequada e homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel de MDF pode ser facilmente torneado, entalhado e usinado.” (IWAKIRI, 2005 apud ARAÚJO, 2020, p.36)

Por se tratar de um material mais denso, consome mais matéria-prima tanto de madeira como de resina, e por isso apresenta um valor elevado, quando comparado ao MDP (ARAÚJO, 2020). Por outro lado, a densidade promove um melhor comportamento mecânico, deixando o MDF semelhante à madeira maciça, permitindo grande usabilidade e aplicações versáteis para a fabricação de mobiliários (MATTOS, CHAGAS e GONÇALVES, 2008).

Souza (2020b) afirma que é o material mais utilizado em marcenarias tradicionais, visto que permite diversos tipos de acabamentos como pinturas, laqueação, além de colagem de lâminas naturais de madeira ou melamínicas. Os próprios fabricantes já oferecem em seus catálogos de produtos uma infinidade de acabamentos, que mesmo não sendo resistentes à água, já disponibilizam alguns aprimoramentos de seus produtos, como chapas resistentes ao fogo com a adição de alguns materiais em sua composição, e também chapas hidrofóbicas, por exemplo.

Piekarski (2013) explica que o HDF se diferencia do MDF apenas no seu processo de fabricação, onde ao receber uma pressão maior na prensa das camadas de fibra e resina, resulta em chapas de maior densidade e menor espessura, mais resistentes, que conseqüentemente suportam mais peso e vencem vãos maiores, sendo comumente utilizadas para pisos e componentes estruturais de mobiliários como fundos de móveis, peças curvas e fabricação de painéis de grandes espessuras.

A matéria-prima utilizada na fabricação do MDF é a mesma utilizada no fabrico do MDP, madeira proveniente de florestas plantadas de pinus e eucalipto. (MATTOS, CHAGAS e GONÇALVES, 2008). O controle dos processos de fabricação obedecem à NBR 15316, e permitem a padronização das chapas, que garantem algumas vantagens no uso do material, como por exemplo sua boa resistência mecânica, grande disponibilidade de matéria-prima associada à aspectos renováveis da fonte (CAMPOS e LAHR, 2002), além de, no âmbito desta

pesquisa, possuir características que permitem a aplicação das técnicas utilizadas na fabricação digital, como a “alta usinabilidade para encaixar, entalhar, cortar e perfurar.” (IWAKIRI, 2005 apud ARAÚJO, 2020, p.36). A Figura 23 demonstra um painel de TV com divisória de ambientes com o MDF aplicado, utilizando técnicas de marcenaria tradicional na caixaria, aliado com técnicas de fabricação digital nos elementos vazados, cortados à laser em uma CNC.

Figura 23 - MDF aplicado em painel de marcenaria, utilizando técnicas de marcenaria tradicional na caixaria com técnicas de fabricação digital nos elementos vazados, cortados à laser em uma CNC



Fonte: a autora, acervo próprio

O MDF apresenta um bom desempenho para os objetivos da pesquisa, além de permitir o sistema de encaixes (abordados no próximo subcapítulo), dispensa o uso de outros materiais, como parafusos e colas, para que suas conexões sejam feitas. Dessa maneira, atinge um dos objetivos do experimento prático proposto, em relação à facilidade de montagem e remontagem, além da modificação da altura das prateleiras e das peças pelo próprio usuário, de maneira facilitada e alternada, sem precisar recorrer a um profissional especializado para isso.

Por fim, por se tratar de madeira proveniente de florestas plantadas, e, portanto, um material renovável, cumpre também o requisito de ser um material mais sustentável em relação a outros possíveis materiais disponíveis, indo de encontro a uma das justificativas sobre a sustentabilidade e à ODS 9, apresentadas para o presente trabalho, e enquadrando-se também no programa de pós-graduação e à linha de pesquisa ao qual pertence, sustentabilidade.

2.5 Encaixes

Móvel é um termo usado para descrever um objeto ou peça de mobília que é projetado e fabricado para ser usado em um espaço habitacional ou de trabalho. Também pode ser definido como um objeto material que possibilita e dá suporte à execução de diferentes tarefas, pois quando inserido num ambiente transforma sua função, facilitando o uso do local e melhorando a qualidade de vida naquele espaço, como em uma cozinha, quarto, sala ou banheiro. (MARÇAL, 2009)

Já o termo mobiliário, de uma forma geral, pode ser definido como um “conjunto de peças alongadas e planas que são ligadas entre si de diversas formas, como cola, pregos, dobradiças ou parafusos.” (FU et al, 2015 apud SILVA et. al, 2017, p.313). Na fabricação de um mobiliário, é sempre necessário pensar na união entre as peças, que juntas compõem a estrutura do móvel. Marçal (2009) divide as técnicas de união em dois grandes grupos, sendo a primeira em junções feitas de madeira com madeira, diretamente, e a segunda em junções que utilizam ferragens ou dispositivos de união.

As ferragens podem ser de metal ou plástico, e tem a vantagem de permitir a montagem depois de feitos os acabamentos, porém, seu uso, muitas vezes, não possibilita a sua montagem e desmontagem sem que sejam afetadas algumas partes da peça. Já as junções feitas de madeira com madeira, acabam sendo mais vantajosas. Quando são feitas com colagem simples, quando bem executada, costumam ser bem eficientes, porém, costumam ser mais destinadas ao uso em caso de painéis maciços, justamente pela dificuldade em se desmontar, caso haja necessidade.

Outras formas de união de madeira diretamente com madeira são derivadas das antigas artes de carpintaria. Marçal (2019) relata que quando a construção de uma peça de mobiliário exigia pedaços de madeira maiores que os fornecidos em um único tronco de árvore, tornou-se necessário encontrar processos para unir uma parte com a outra. Dessa necessidade, surgiram as técnicas de encaixe, que com o passar do tempo foram muito aprimoradas, principalmente nas culturas e artes de carpintaria chinesa e japonesa, mas que ao longo do tempo foram se perdendo, devido à sua complexidade de produção. Por serem produtos muito artesanais e que demandam conexões muito precisas, eram necessárias grandes habilidades manuais e muito tempo de fabricação e estudo (COMELLI, 2018).

A forma de construir através dos encaixes, com madeira, engloba inúmeras vantagens. Os encaixes funcionam como uma espécie de amortecedor, sendo mais resistentes à terremotos, por exemplo, fator importante para o contexto chinês e japonês, em que essas técnicas se desenvolveram de maneira mais acelerada. Além disso, ofereciam também soluções de durabilidade, visto que toda a estrutura encaixada da obra podia ser desmontada de tempos em tempos, para que fosse feita a substituição das peças mais danificadas.

Figura 24 - Encaixes em estrutura de madeira



Fonte: CHAREST, 2018 apud COMELLI, 2018, p.37

A **Figura 24** ilustra um exemplo de uma estrutura toda feita em madeira, com encaixes, evidenciando que a desmontagem pode ser feita de maneira facilitada, permitindo a substituição das peças danificadas. O processo de desmontagem confere também um caráter efêmero à essas construções, oferecendo a liberdade delas mudarem de lugar com facilidade. Apesar de tantas vantagens, o processo oferecia dificuldades na fabricação das peças de complexa geometria, e foi se perdendo ao longo do tempo (COMELLI, 2018).

A fabricação digital, utilizando a associação das tecnologias CAD-CAM-CNC, que resultam no processo *file-to-factory*, como já abordado anteriormente, possui tecnologia o suficiente para produzir as peças complexas de maneira simplificada e precisa, minimizando os erros, sem a necessidade da interferência humana no processo entre o computador e a máquina CNC, o que resulta em processos de produção mais precisos, rápidos e eficientes. As vantagens desse modo de fabricação das peças, aliadas às vantagens já descobertas e testadas

Figura 26 - Tipos de encaixe do sistema Tsugite

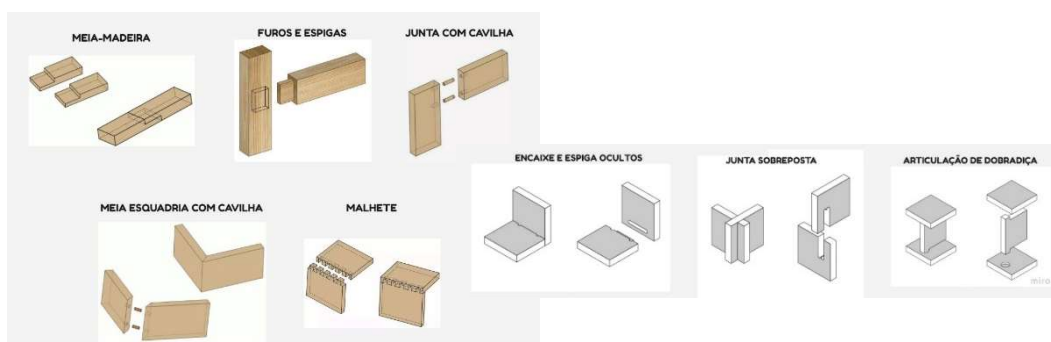


Fonte: Larsson et. al (2020) apud CARVALHO (2023, p.33)

O uso de encaixes dispensa o uso de outros materiais para a união das peças, como colas e parafusos, que além de facilitarem o processo de montagem e remontagem, induzem também à versatilidade do móvel em atender múltiplos usos, além de validar e conferir um caráter mais sustentável, utilizando menos matéria-prima para a fabricação, e eliminando componentes não recicláveis e tóxicos, como as colas, por exemplo. Além disso, a estética do mobiliário também adquire uma personalidade que vai de acordo com as referências pesquisadas durante a elaboração do corpo teórico da pesquisa, unindo princípios de mobiliários da época industrial e artesanal, com um novo aspecto.

Segundo Matos (2015), algumas vantagens claras podem ser notadas no uso dos encaixes na fabricação de mobiliário, começando pelo cruzamento de placas que confere estabilidade às peças, ainda mais quando executadas pelas máquinas CNC, que garantem alta precisão nos cortes, garantindo encaixes exatos. A manutenção também se torna facilitada, uma vez que é possível a substituição de uma só peça danificada.

Figura 27 - Estudo de possíveis encaixes para serem usados na estante



Fonte: a autora, 2023, adaptado de OpenDesk

A **Figura 27** apresenta um compilado de encaixes, com foco nos encaixes que foram estudados para a montagem da estrutura da estante, e também para o encaixe de suas prateleiras, e de possíveis encaixes que atuem como dobradiças, para a peça que funcionasse como mesa, quando estiver aberta.

2.6 Customização em Massa

Depois de sintetizados os conteúdos acerca das técnicas, maquinários, materiais e conceitos de parametria e *nesting*, é possível entender melhor estes processos que possibilitam a customização em massa – *mass customization*. Esse modo de fabricação é facilitado pelos processos de produção numericamente controlados por computador (CANUTO, 2016) e, conforme exposto por Gonçalves (2023), ela pode ser definida como o fornecimento de produtos customizados a preços não tão altos.

Pode também ser apresentada como uma contraposição à noção fordista de fabricação em massa – *mass production*, caracterizada por princípios de padronização, repetição serial de elementos padronizados, pré-fabricação e montagem *in-loco* (MITCHELL, 1999, apud KOLAREVIC, 2000b, p. 255, apud CANUTO, 2016, p.134).

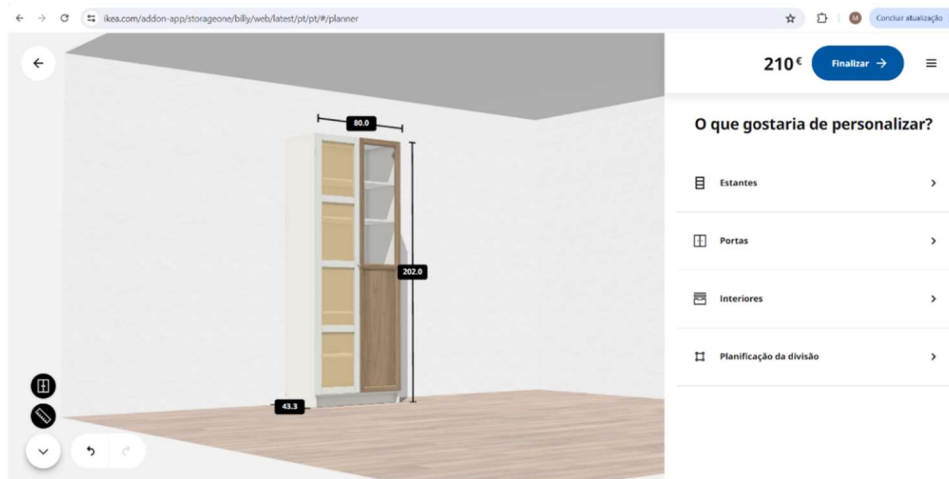
Portanto, trata-se de um processo de fabricação que engloba os benefícios supracitados da fabricação em massa, e contrapõe as limitações através da flexibilidade da personalização dos itens que serão fabricados, criando artefatos adaptados às preferências e necessidades de seus usuários. As vantagens encontradas neste modo de fabricação são muitas, inclusive em relação à fabricação sob demanda, possibilitada pelos maquinários empregados e pela tecnologia *file-to-factory* que integra este modo de produção, que permitem a fabricação das peças de acordo com os pedidos realizados, reduzindo o estoque de materiais, e também seu desperdício.

Muitas empresas de mobiliário já utilizam esse sistema, como por exemplo a *Ikea* (2024), uma multinacional sueca que projeta e vende mobiliários que são montados pelos próprios consumidores. A **Figura 28**²⁶ mostra uma captura de tela do site da loja, onde é possível visualizar a materialidade das escolhas definidas pelo usuário para uma estante, no

²⁶ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\07. IKEA - DEMONSTRAÇÃO MONTAGEM ESTANTE.mp4](#)

centro da tela, e à direita, as personalizações disponíveis para customização, como cores, colocação ou não de elementos como portas, puxadores, e dimensões gerais dos módulos.

Figura 28 - Site da Ikea (2024) com os parâmetros personalizáveis no projeto e venda de uma estante



Fonte: a autora, em Ikea (2024)

Outro exemplo de empresa que utiliza a customização em massa para seus produtos é a fabricante *Tylko* (2024), que permite que o usuário defina a quantidade de prateleiras, dimensões de altura, largura e profundidade, assim como o uso ou não de portas, gavetas, entre outros componentes²⁷. E além de estantes, muitos outros mobiliários podem ser personalizados, sempre indo de acordo com as predefinições, que já foram limitadas por um profissional responsável, garantindo que mesmo com a modificação de alguns parâmetros, a peça final ainda seja viável de ser produzida, e apresente uma estrutura íntegra e um *design* esteticamente agradável, com aparência similar em todas as suas configurações.

Essa flexibilidade é oferecida na customização em massa de diversos artefatos, não somente mobiliários, e também é possibilitada através da parametria dos componentes, e de conceitos de *metadesign*, que colocam o usuário como *co-designer* do projeto final da peça, sempre respeitando parâmetros pré-definidos por um profissional da área de *design* de produtos, que já tomou decisões projetuais essenciais para garantir um bom resultado final.

No contexto desta pesquisa, a customização em massa pode ser aplicada ao possibilitar ao usuário final a personalização de sua estante, similarmente ao oferecido pelas empresas *Ikea* (2024) e *Tylko* (2024), acima citadas, que também colocam o usuário final como *co-designer* do mobiliário, e que pode ser fabricada em escala, sob demanda, garantindo um bom

²⁷ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\08. TYLKO - DEMONSTRAÇÃO MONTAGEM ESTANTE.mp4](#)

custo benefício, demonstrado ao término da fabricação da estante objeto desta pesquisa, e também evidenciando as potencialidades e explicitando as limitações da fabricação digital aplicada ao desenvolvimento de mobiliários.

Encerrando este capítulo onde a fabricação digital foi explorada em vários contextos, com abordagem das técnicas subtrativas, aditivas e formativas, dos maquinários recomendados para cada uma dessas técnicas, foi possível abordar o tópico da prototipagem, onde além de realizar a revisão da literatura acerca do assunto, foi também possível descrever o maquinário que foi utilizado na etapa de prototipagem da estante, objeto de estudo da presente pesquisa.

Conectando as temáticas para dar continuidade à pesquisa, foram abordados os conceitos de *nesting* e parametria, que foram também aplicados de maneira prática em etapas posteriores deste trabalho. Além disso, foi realizado um panorama acerca dos materiais mais utilizados, que possibilitou a especificação do MDF como material a ser utilizado na etapa de prototipagem da estante, e também na produção da peça final em escala 1:1. Para encerrar, foi realizada uma revisão acerca dos encaixes, onde foi possível estudar algumas técnicas, que corroboram com as escolhas dos encaixes que irão compor a estante, objeto de estudo desta pesquisa, além de conceitos da customização em massa, que possibilitou a perspectiva acerca de como essa estratégia pode contribuir inclusive para a redução de custos do produto final.

Toda a revisão da literatura abordada neste capítulo serviu de base para as futuras etapas, aplicando na prática a testagem de algumas das técnicas aqui abordadas, verificando-se na prática alguns conceitos metodológicos da Cibernética de Segunda Ordem, uma vez que, esta base teórica foi constantemente consultada, e retroalimentada com os *feedbacks* *loopings* aplicados nas diferentes etapas, tanto teóricas quanto práticas.

3 EXPERIMENTOS: DESENVOLVIMENTO DOS PRODUTOS

Este capítulo foi desenvolvido de maneira a demonstrar e validar os objetivos demonstrados no início da pesquisa, com os métodos aplicados e discutidos durante o processo de desenvolvimento dos protótipos e da peça de mobiliário em questão. Conforme mencionado nos objetivos, foi definido para esta pesquisa um experimento prático com o objetivo de fabricar digitalmente uma estante, que possua não somente a função de armazenamento de livros e objetos de decoração, mas que com algumas personalizações definidas pelos seus usuários, possa também agregar outras funções, como o armazenamento de sapatos ou garrafas, uma pequena mesa para diversas tarefas, e distribuir de maneira facilmente modificável a altura de suas prateleiras em função das necessidades do usuário, que podem ser modificadas ao longo da vida e de suas formas de morar.

O processo de desenvolvimento da estante atuou como instrumento para a elaboração de um guia de fabricação digital para mobiliários, produto final desta pesquisa, que busca ser um manual para orientar futuros pesquisadores, e também outros interessados neste processo, a desenvolverem uma peça de mobiliário desde o início, através de um *workflow* de processos que se inicia definindo o objetivo da fabricação do objeto, partindo para os *softwares*, tipos de material, equipamentos, técnicas e dicas finais. Com este material desenvolvido, busca-se não somente facilitar este processo de fabricação digital para mobiliários, mas também fomentar uma discussão maior acerca de processos digitais, para que seja possível aprimorar as técnicas aqui aplicadas, e incorporá-las como técnica de trabalho tanto profissional quanto acadêmico.

Portanto, serão abordados os passos realizados para a fabricação da estante, que após a revisão bibliográfica realizada no início deste estudo, resultou no *design* pensado para a peça, desenvolvido pela modelagem virtual de sua materialidade. Após a modelagem 3D, deu-se início às etapas de prototipagem em escala reduzida, que possibilitaram a fabricação da peça final, em escala 1:1. Após algumas considerações finais, apresenta-se a proposição do guia de fabricação digital para mobiliários, com o conteúdo deste artefato, e algumas explicações acerca dele.

3.1 Estante Paramétrica

3.1.1 Passo a passo da fabricação digital

Para dar início à fabricação digital da estante, definida como objeto de estudo desta pesquisa, foi realizada a revisão bibliográfica acerca dos mobiliários fabricados digitalmente, que indicou o caminho para se pensar na estante como um todo, com a definição de alguns conceitos para seu *design* e materialidade. Buscando cumprir os objetivos de elaborar uma peça adaptável em diversos contextos de moradia, e que também pudesse ser customizada de acordo com as necessidades dos usuários, buscou-se elaborar um artefato que pudesse ter a altura das prateleiras facilmente modificada, sem que fosse necessário a intervenção de um montador ou marceneiro, como acontece com os móveis fabricados com as técnicas de marcenaria tradicional. Além disso, a peça é toda estruturada através de encaixes de madeira com madeira, sem que seja necessário a utilização de juntas externas, como colas ou parafusos. Esta característica cumpre também o requisito do mobiliário ser uma peça de fácil montagem e desmontagem.

Definidos todos estes conceitos, com os mobiliários pesquisados como precedentes, foi possível elaborar um *moodboard*²⁸, conforme mostra a **Figura 29**, para facilitar a visualização da materialidade desejada para o mobiliário, assim como guiar os próximos passos de desenvolvimento da sua modelagem e *design* em ambiente, inicialmente, virtual.

Figura 29 - Moodboard com referências para guiar o desenvolvimento da estante



Fonte: a autora, 2024

²⁸ Ferramenta visual utilizada para reunir e organizar imagens, cores, texturas, tipografias e outros elementos que representam o estilo e conceito de um projeto, ajudando a definir a direção criativa e comunicar a estética desejada. (Walter, 2011)

Com o *moodboard* elaborado, deu-se início à modelagem 3D da estante, já com as ideias do *design* e da materialidade definidas. Atrelada à fabricação digital, o material escolhido para a peça de mobiliário foi o MDF, pela sua facilidade e ampla utilização no mercado de móveis, além da familiaridade tanto da autora quanto da empresa *Factor*, de Campo Grande, MS, que auxiliou no processo de corte das peças, em um terceiro momento. Tais dados, como o material a ser utilizado, assim como o maquinário que se tem acesso para a produção, são importantes para o desenvolvimento do *design* inicial da peça, tanto para pensar nos seus encaixes e junções, quanto para modelar corretamente as espessuras e dimensões do produto. É necessário que as definições do material e do maquinário que será utilizado sejam pensadas de maneira simultânea com o *design* desejado para a peça, para que o *design* já seja desenvolvido de maneira mais assertiva, e se atinja um bom resultado final.

Definido então o MDF como material a ser utilizado, e visando desenvolver uma estante com encaixes da própria madeira, buscou-se atender os objetivos iniciais: uma peça de fácil montagem e desmontagem, que pudesse ser transformada pelo próprio usuário ao longo da vida e de seus modos de morar, e que além de prateleiras que armazenam livros e objetos diversos, pudesse também servir para outras funções. Para tal, foi desenvolvido um sistema de peças recortadas e conectadas através de uma cavilha, e o suporte elaborado com vários recortes, que acoplam a peça de suporte das prateleiras, de modo que facilitasse a mudança de altura entre elas, podendo ser facilmente alterada pelos usuários, de acordo com as necessidades de cada momento. Ainda foi desenvolvido um componente que atua como uma mesa para diversas tarefas, quando aberta, e quando fechada, atua como um nicho ou duas prateleiras. Além disso, pensou-se também em um componente que possa atuar tanto como abrigo de sapatos quanto para suporte de garrafas.

Além de se definir o MDF como material, foi necessário pensar também na espessura da chapa que seria utilizada, que determinaria o maquinário a ser utilizado na fabricação da peça final. Para suportar um certo peso, decorrente do armazenamento de livros, por exemplo, é necessário que o material apresente alguma resistência à estas forças. Portanto, definiu-se o MDF de 15mm para o corte das peças, que foi no mesmo momento atrelado a uma máquina CNC Router, a qual tem a capacidade de cortar materiais como a madeira, nesta espessura. Além disso, como descrito anteriormente, é capaz também de cortar materiais com essa espessura com a precisão necessária para os encaixes acontecerem de maneira satisfatória.

A **Figura 30** mostra o *design* inicial pensado para a peça, elaborado no *software Sketchup*, com desenhos das vistas superior, lateral e frontal, além de imagens renderizadas, demonstrando a materialidade, com suas principais dimensões, com o MDF já aplicado como material utilizado, e os seus encaixes já definidos e resolvidos.

Figura 30 - Vista superior, lateral e frontal da estante



Fonte: a autora, 2024

Com a modelagem inicial desenvolvida, foi possível elaborar imagens renderizadas, através do *plugin Vray*, inserido no próprio *Sketchup*, que demonstrassem suas possíveis utilizações, com o suporte de sapatos e garrafas, com a mesa aberta e fechada, e com as prateleiras posicionadas em diferentes alturas, conforme demonstrado na **Figura 31**.

Figura 31 - Imagens renderizadas da estante, demonstrando seus possíveis usos

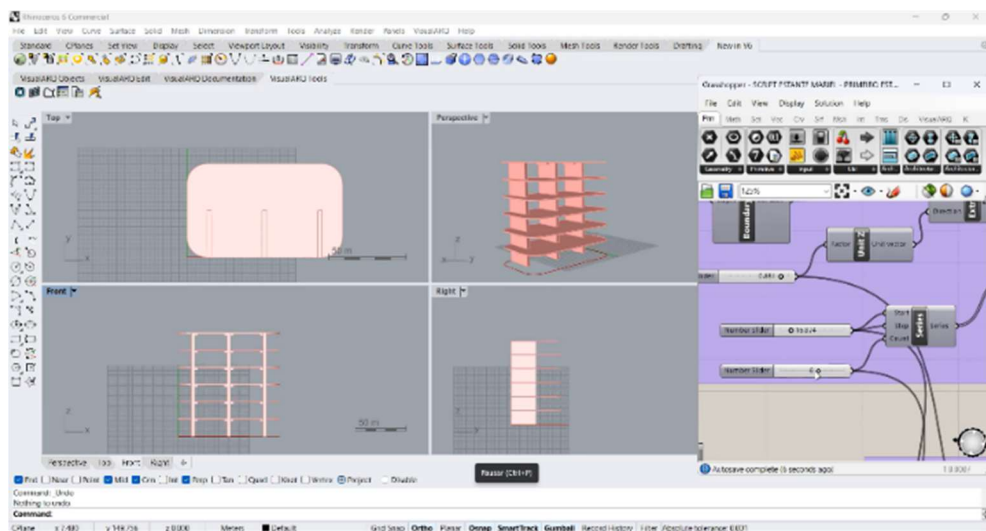


Fonte: a autora, 2024

Definidos os conceitos de materialidade da estante, buscou-se entender como a parametria poderia auxiliar no processo. Para tal, foi desenvolvido um *script*, com base no

modelo do *Ace Design Institute* (2019), no *software Grasshopper*, com os componentes de uma estante genérica (contendo a base da estrutura e as prateleiras), para que se pudesse entender como desenvolver posteriormente, em outras pesquisas, um *script* semelhante, mas com a geometria desenvolvida para a estante da pesquisa, e entender também como a parametrização poderia atuar neste estudo. Definindo parâmetros de altura, largura e profundidade, e também quanto à quantidade de prateleiras, foi possível visualizar os diferentes *designs* da estante apenas com a alteração destes parâmetros, sem que fosse necessário modelar uma a uma. A **Figura 32**²⁹ mostra uma captura de tela do *software*, com o *script* da estante genérica elaborado e suas vistas nas cenas ao lado.

Figura 32 - Script paramétrico de uma estante genérica



Fonte: a autora, 2024, com base em *Ace Design Institute*, 2019

Com esse estudo preliminar realizado a partir de um *script* de uma estante genérica, foi possível pensar na parametrização como um caráter exploratório pra essa pesquisa, visto que depois de definidos os seus componentes como as prateleiras, estrutura, entre outros, é possível elaborar o *script* definitivo já com essas peças, para que os diferentes usos sejam testados, como a utilização ou não de uma peça de suporte para sapatos e garrafas, a utilização ou não da mesa, assim como as possíveis combinações entre elas, possibilitando a visualização dos diferentes *designs* da peça final em função da modificação das medidas de altura, largura e comprimento, visto que conforme Domingues (2014),

“A parametrização viabiliza a integração e documentação das várias fases do processo, proporciona alto nível de confiabilidade e precisão do projeto, e permite

²⁹ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\01. VÍDEO ESTANTE GENÉRICA PARAMETRIZADA.mp4](#)

foco na funcionalidade e integração dos sistemas, vai muito além dos aspectos geométricos.” (DOMINGUES, 2014)

Portanto, com o *design* da estante modelado em ambiente virtual, para futuras pesquisas é possível elaborar-se um *script* com o *design* final da estante, com suas peças, prateleiras e componentes configurados. Podem ser definidos os parâmetros de altura total, largura total e também a profundidade das prateleiras, além da quantidade de prateleiras e da utilização ou não dos componentes da mesa e do suporte de garrafas e sapatos. Por não ser o enfoque principal dessa pesquisa, a parametria aqui atuou somente com um caráter exploratório, e demonstrou potenciais futuros, podendo identificar de maneira rápida e interativa, os possíveis *designs* gerados pelas diversas combinações possíveis dos componentes da estante.

Ainda nesta etapa, podem surgir alguns questionamentos acerca da criação e elaboração de peças de mobiliário, ao se notar certa autonomia do usuário, ao definir o tamanho, quantidade de prateleiras, entre outros parâmetros que podem ser modificados. Diante deste cenário, a necessidade de se ter um profissional para elaborar essas peças pode ser questionada, advinda da impressão de que com a parametria, qualquer pessoa pode elaborar qualquer produto.

Baseado nos conceitos de *metadesign*, onde é imprescindível pensar no usuário como *co-designer*, que define e customiza a peça de acordo com as suas necessidades, é necessário também que o *design* final obedeça a alguns parâmetros pré configurados, com restrição de dimensões mínimas e máximas e restrição na quantidade de peças como a mesa ou peças inclinadas, que já foram previamente estabelecidas pelo *designer* da peça, neste caso, a autora desta pesquisa. Desta forma, o questionamento de que qualquer pessoa pode então fabricar qualquer coisa, sem parâmetro algum, é respondido, visto que, o usuário pode sim atuar como *co-designer*, mas com restrições de parâmetros definidos por um profissional, que garantem a integridade tanto da estrutura da peça, quanto de sua materialidade e *design* final respeitando princípios e normas técnicas, por exemplo.

Após uma breve abordagem acerca da parametria, identificou-se a necessidade de experimentar, na prática, o funcionamento dos encaixes planejados, assim como visualizar a materialidade da estante, não mais em ambiente virtual, mas em modelos e escalas reais. Para tal, foram realizadas quatro etapas, sendo a primeira delas uma prototipagem de algumas peças, em escala reduzida, executada por uma máquina de Corte a *Laser*. Na segunda etapa,

foi realizada a prototipagem das mesmas peças da etapa 01, porém em escala real, utilizando uma CNC Router. A etapa 03 realizou a prototipagem da estante completa, com todos os seus componentes, mas em escala reduzida, novamente utilizando uma máquina de corte a laser. Por fim, a etapa 04, que descreve a fabricação da estante completa, em escala 1:1, utilizando uma CNC Router, maquinário definido em etapas anteriores. Todas estas etapas buscaram não somente experimentar o comportamento dos encaixes, mas também aprimorar as técnicas de fabricação digital na prática, fundamentando o *workflow* que foi desenvolvido posteriormente, como um guia prático para auxiliar os futuros interessados em práticas digitais.

3.1.2 Etapa 01

Inicialmente, em um recorte, foram definidas algumas peças para serem produzidas e analisadas. Sendo caracterizadas como a parte central da estante, foram escolhidos alguns dos encaixes de sua estrutura, com as duas peças laterais, o suporte das prateleiras e as cavilhas, onde acontece o travamento da estante em si. Além dessas peças, também foi determinada como experimento inicial a peça de giro que realiza o movimento de rotação para a abertura da mesa, com o objetivo de visualizar seu comportamento, materialidade e encaixes. A **Figura 33** mostra as peças selecionadas para o corte dessa primeira etapa, com um *zoom* das peças no contexto geral da estante.

Figura 33 - Recorte das peças prototipadas na etapa 01



Fonte: a autora, 2024

Foi utilizada nessa etapa, uma chapa de MDF de 6mm, e o maquinário escolhido foi uma CNC corte a *laser*, da marca VISUTEC, Modelo VS9060AL, com 80W de potência e área de corte máxima de 90x60 centímetros (**Figura 34**). A escolha desse maquinário foi impactada por alguns fatores, sendo o primeiro deles pela escolha do material definitivo da estante ser também uma chapa de MDF, de espessura maior, seguido da familiaridade da empresa Factor, de Campo Grande, MS, que auxiliou no processo de fabricação da peça nos dois instantes, com o material, e também pelo fato da máquina estar disponível para utilização e experimentações.

Figura 34 - Cortadora a laser utilizada no processo inicial de prototipagem

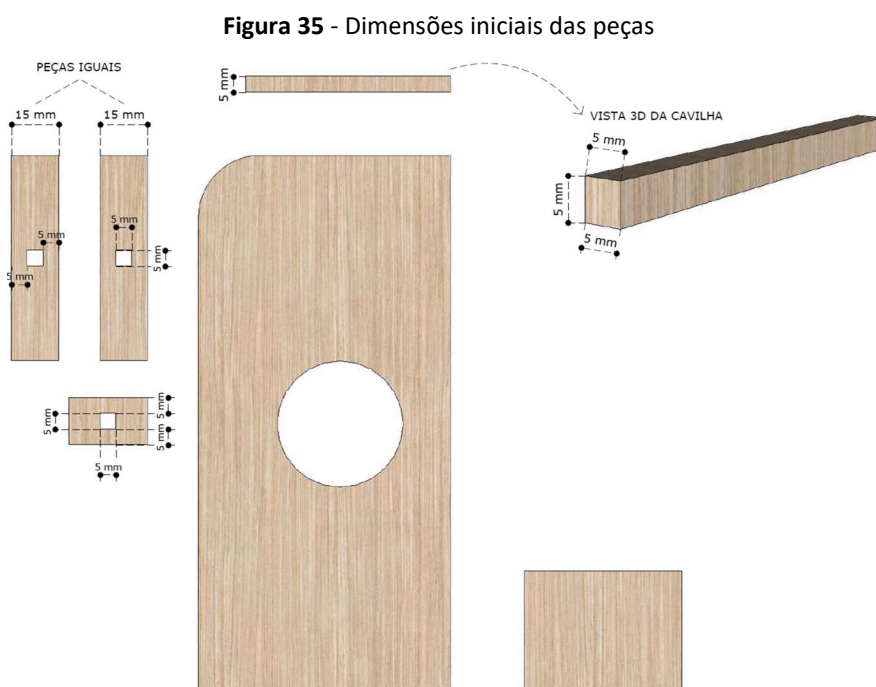


Fonte: a autora, 2024

Por se tratar de um protótipo, é mais viável e econômico cortar as peças em menor escala para testar seus encaixes na cortadora a *laser*, que executa este trabalho com mais agilidade e precisão do que uma *Router*, por exemplo. Por outro lado, a cortadora a *laser* apresenta uma restrição no corte de materiais de mais espessura, como o MDF 15 mm, utilizado na fabricação final. Seria possível também, nesta etapa, ao prototipar a estante em escala reduzida, utilizar, por exemplo, uma impressora 3D, que fabricasse as peças individualmente para serem encaixadas. Porém, entende-se que a impressora utiliza outro tipo de matéria prima, como polímeros ou resinas, que não resultaria em materialidades e comportamentos tão semelhantes quanto a cortadora *Router*, utilizando o MDF, que seria utilizada na etapa final da produção. Do mesmo modo, poderia ser utilizado outro material a ser cortado pela cortadora a *laser*, como o acrílico, por exemplo. Porém, igualmente, os materiais e os encaixes não se comportariam de maneira tão semelhante ao produto final como o MDF.

Todos estes possíveis caminhos corroboram com a necessidade de definir o *design* da peça, o material e o maquinário maneira conjunta, facilitando a tomada de decisões de projeto e a produtividade do processo, e que também vão de encontro com o pensamento de Orcioli

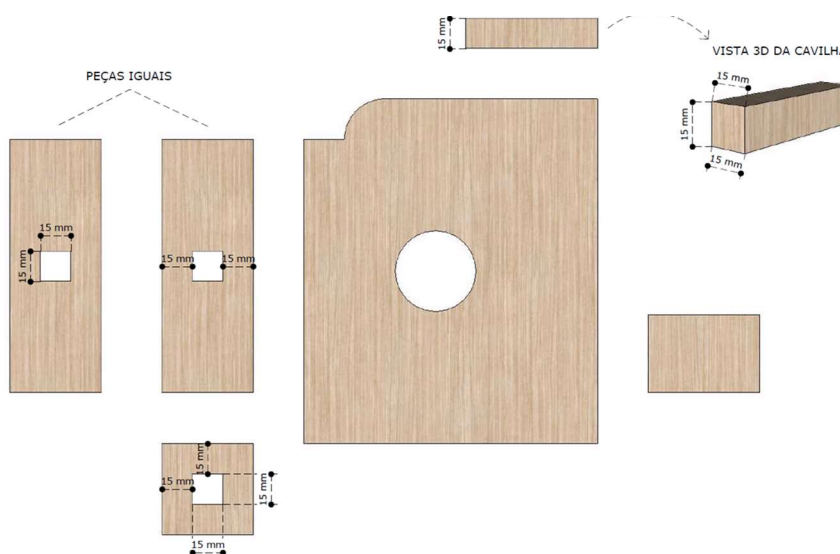
e Baquero (2014), quando destacam a importância do pensamento integrado entre pensar e fazer o objeto. Para reforçar mais uma vez esta ideia, o *design* inicial foi modificado, já adiantando alguns problemas que seriam encontrados na próxima etapa, no corte das peças na CNC Router e na integridade da estrutura da peça na fabricação final. As laterais da entrada da cavilha, assim como a entrada e a cavilha em si estavam inicialmente com as medidas de 5mm, conforme mostra a **Figura 35**.



Fonte: a autora, 2024

Neste cenário, as laterais da peça estavam com dimensões muito estreitas, que poderiam ocasionar na ruptura do material em algum momento, e mesmo que ela não acontecesse, a estrutura ficaria muito frágil. Além disso, a menor fresa disponível para trabalho na próxima etapa (02) tem a dimensão de 3,175 milímetros de diâmetro, o que tornaria o corte do quadrado interno de 5 milímetros impossível, visto que o quadrado se tornaria um círculo, sem os ângulos internos de 90°. Desta forma, as dimensões das peças da estrutura foram alteradas, sendo feito novamente o desenho das peças para serem cortadas a *laser*. Deste modo, o protótipo seria fabricado com as dimensões corretas, com 15mm de espaço em cada lado do furo da cavilha, assim como o espaço para a entrada da cavilha, e a cavilha em si, também com as medidas de 15mm, conforme demonstrado na **Figura 36**.

Figura 36 - Peças redesenhadas, com as dimensões modificadas



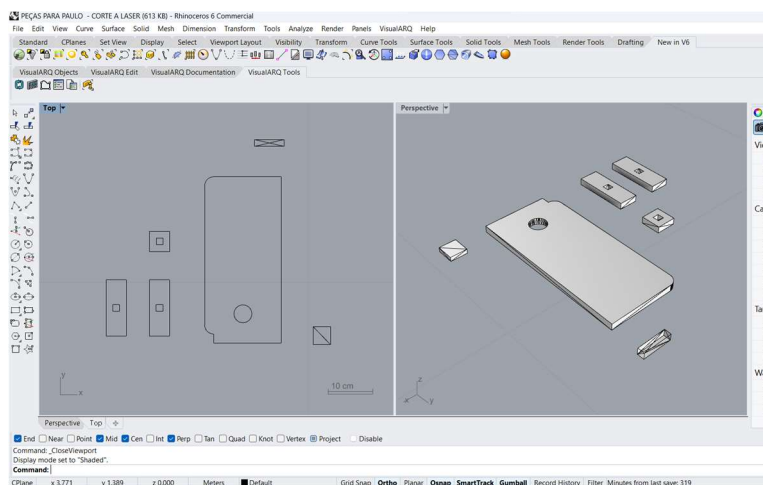
Fonte: a autora, 2024

As peças foram modeladas no *software Sketchup*, em escala 1:1, com as medidas em milímetros. Para dar continuidade ao processo, é necessário exportar o arquivo em formato DXF³⁰, para que possa ser lido por outro *software*, utilizado pela cortadora a *laser* para executar as tarefas programadas. Nesta etapa, mesmo não sendo necessário, visto que o *Sketchup* exporta diretamente em formato DXF, importamos o arquivo modelado em 3D para o *software Rhinoceros*, para entender um pouco mais deste processo.

No *Rhinoceros*, aplicamos a escala desejada nos desenhos, definidas pela estrutura da chapa, que passaria de 15mm para 6mm, ficando as peças em uma escala aproximada de 1:25. Depois disso, foi aplicado o comando *Make2D*, que transforma os objetos 3D em linhas 2D, a partir da vista de topo dos objetos, conforme a Figura 37. Importar o arquivo 3D do *sketchup* para o *Rhinoceros* só seria uma etapa estritamente necessária, se a geometria dos objetos fosse muito complexa, visto que o *Rhinoceros* tem uma modelagem focada em *nurbs* (nós), garantindo mais precisão. Porém, como as peças possuem geometrias relativamente simples, era possível exportar os arquivos em formato DXF diretamente do *sketchup*.

³⁰ Arquivo de imagens vetoriais 2D

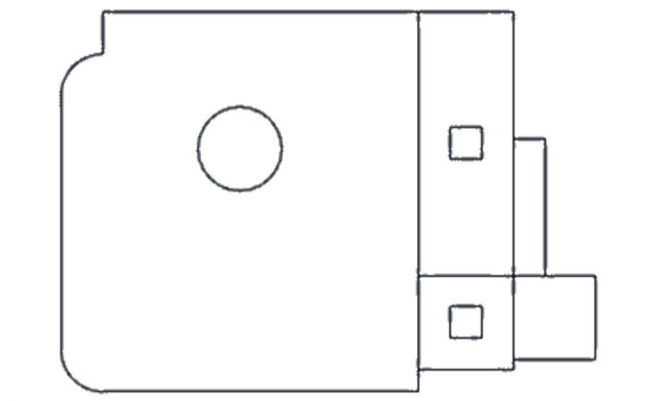
Figura 37 - Vista de topo e objetos 3D no software Rhinoceros



Fonte: a autora, 2024

Com as linhas organizadas em *polylines*, os objetos foram colocados lado a lado, sem a aplicação do processo de *nesting* (acomodação das peças da melhor maneira possível, visando garantir o gasto da menor quantidade de material possível), pois nesse primeiro momento, seriam fabricadas poucas peças. Os polígonos foram colocados então lado a lado (**Figura 38**), visto que o *laser* oferece a precisão o suficiente para que uma linha só corte os dois objetos, economizando dessa maneira o tempo de corte da máquina. A sequência dos movimentos da máquina é definida pelas *layers* de cada linha, portanto, agrupar as linhas dos polígonos em *polylines* estabelece uma ordem de corte, de modo que a máquina complete o corte de um grupo, e siga para o grupo seguinte, obedecendo uma sequência lógica.

Figura 38 - Objetos em polyline colocados lado a lado



Fonte: a autora, 2024

Com o *software Corel*, e o *plugin CorelLaser*, próprio para programar cortadoras a *laser*, algumas configurações precisam ser definidas: determinar se a fabricação se trata de corte ou gravação, e definir os *inputs* de velocidade de corte e potência da máquina. Determinar

também o local do início do corte (meio, embaixo ou em cima), e ao término das configurações, é possível solicitar um *preview*, para conferir se o caminho da máquina está correto. A cortadora utilizada não possui um computador de bordo integrado, ou seja, precisa de um computador externo para funcionar, e de um *software CAM*, para transformar o arquivo *CAD* em *G-Code*, para que possa executar o corte. Dessa maneira, ao término das configurações no *CorelLaser*, o *G-Code* já é enviado diretamente para a máquina, sem que seja necessário salvar um terceiro tipo de arquivo, em *G-Code*. Neste processo, o *Sketchup*, juntamente com *Rhinoceros* realizaram a etapa *CAD*, o *CorelLaser* realizou a etapa *CAM*, enviando o arquivo em *G-Code* para a máquina CNC, completando dessa maneira o ciclo *file-to-Factory*, determinante na fabricação digital de qualquer produto.

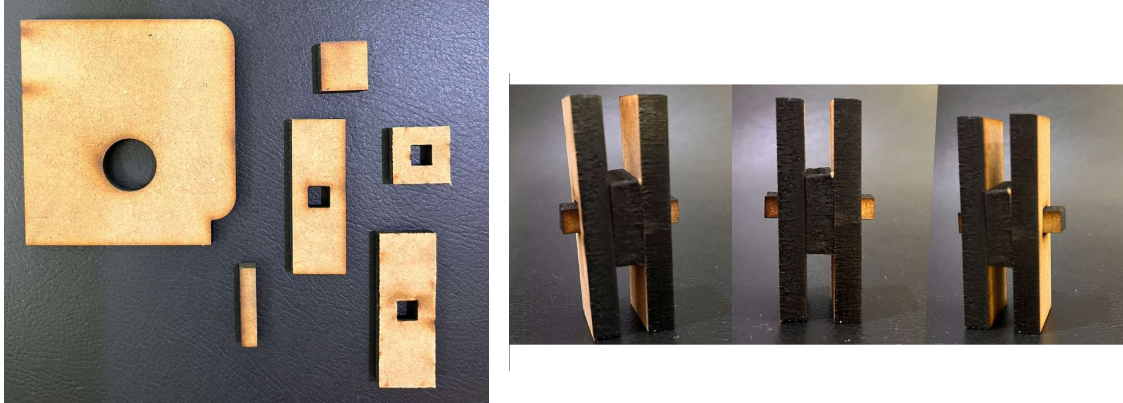
Para o primeiro corte, foi definida a velocidade de 7mm por segundo, com 75w de potência, começando o corte pelo topo da chapa. Ao término do processo, 83 segundos depois, a máquina não conseguiu realizar o corte da chapa. As configurações foram então redefinidas para a velocidade de 10mm por segundo, mais lenta que na primeira tentativa, com 60w de potência, e deste modo, a máquina realizou o corte de maneira eficiente. Ao montar os encaixes, notou-se um erro no plano de corte, elaborado sem uma das peças necessárias. Sendo assim, foi necessário realizar um terceiro corte, que além de elaborar a peça faltante, foi também um outro teste para averiguar as configurações de potência e velocidade. Baseado nos *feedbacks* gerados em um primeiro momento (já que com as configurações iniciais, a máquina não fez o corte da peça de maneira eficaz), definiu-se uma potência de 80w, com a velocidade de 6mm por segundo, também começando pelo topo. Deste modo, a peça faltante foi cortada de maneira correta e eficiente.

Os resultados dessa primeira etapa, demonstrados na Figura 39, apresentam as peças cortadas, em suas devidas dimensões, e ao realizar a montagem, notou-se que, apesar dos encaixes funcionarem, o fato da máquina ter realizado os dois cortes para poder de fato cortar a peça, interferiu em um primeiro momento, visto que os encaixes estavam sem a fixação necessária. Se essa já fosse a etapa final de fabricação dessa peça, o impacto teria sido maior. Porém, para efeitos de prototipagem, se mostrou satisfatório, ao demonstrar que os encaixes, mesmo sem a resistência necessária, se comportam de maneira eficaz. O resultado dessa primeira etapa, demonstrado na Figura 39³¹, são as peças prototipadas, e a realização da

³¹ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\02. CORTE A LASER - ETAPA 01.MOV](#)

montagem dos encaixes, que apesar de realizados, não estavam precisos o suficiente para oferecer o travamento desejado.

Figura 39 - Peças cortadas na CNC corte a laser, na etapa 01



Fonte: a autora, 2024

Com estes resultados iniciais, foi possível coletar as impressões acerca da materialidade da peça, que apresentou um *design* satisfatório para a autora, assim como a sua espacialidade, visto que ao colocar as peças montadas, notou-se que a estrutura estava operando corretamente. As etapas até aqui realizadas, evidenciam o fato de que, como a cortadora a *laser* consome 0,02mm de material no momento do corte, esse desgaste precisaria ser considerado no momento da elaboração do plano de corte, para que, mesmo que seja necessário programar uma certa folga nas peças, para facilitar o encaixe, ele seja feito de maneira a não comprometer a estrutura da peça desejada.

É importante ressaltar também que, no início da modelagem, uma das peças necessitaria de desbaste bilateral, não realizado pela cortadora a *laser*, e também não realizado pela fresadora (que realiza o desbaste somente em um dos lados da chapa). Ou seja, em momentos futuros, seria necessária a alteração do *design* dessa peça, em função do maquinário que seria utilizado nos processos. Todas essas barreiras encontradas na primeira etapa da prototipagem corroboram com o pensamento de Orciuoli e Baquero (2014), quando dizem que “o processo de fabricação digital exige do *designer* não somente formas de pensar como também formas de fazer o objeto”, visto que a peça que exige desbaste teria que ser pensada de outra maneira, que fosse de encontro com as limitações do maquinário utilizado.

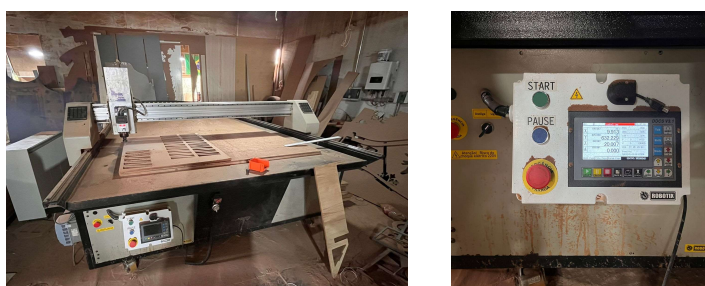
O *feedback* gerado nesta etapa evidencia um resultado satisfatório da materialidade da peça idealizada, porém, evidencia também a necessidade de se repensar alguns detalhes do mobiliário, para que as próximas etapas fossem mais assertivas, levando a um resultado final integralmente satisfatório.

3.1.3 Etapa 02

Na segunda etapa desta prototipagem, tendo os encaixes e materialidade da estante sido testadas de maneira prévia na a cortadora a *laser*, buscou-se fabricar as mesmas peças, mas agora utilizando uma CNC Router, para cortar uma chapa de espessura maior, 15mm, utilizando a escala 1:1, para verificar seu comportamento e encaixes em tamanho real. Além disso, busca-se coletar informações acerca da resistência na lateral do corte de entrada da cavilha, remodelada em um momento anterior para dimensões com 15mm de tamanho e folga.

A Router foi escolhida para fazer a fabricação final da peça, pois, além de ser o maquinário disponibilizado pela empresa Factor, que já demonstrava muita familiaridade com a máquina, ainda é a mais indicada para a fabricação de mobiliários com encaixes, por oferecer cortes precisos, que encaixem perfeitamente e ofereçam a estabilidade necessária, além de ser um maquinário muito utilizado no corte de MDF, com eficiência e qualidade. A máquina utilizada foi uma CNC Router, da marca Goiás, com motor *spindle* de 5cv e área de corte de 2,00x3,00 metros, demonstrados na **Figura 40**. Ela possui um computador integrado, ou seja, não precisa de um computador externo para funcionar. Por isso, a variedade de *softwares CAM* que podem ser utilizados é maior, pois, diferentemente do caso anterior, o *software* responsável pela programação da máquina irá exportar um arquivo, em *G-Code*, que será enviado para a máquina através de um *pen drive*, completando também, dessa maneira, o ciclo *file-to-factory*. Para essa primeira etapa de corte, foi utilizada uma chapa de compensado de 15mm, de madeira amescla.

Figura 40 - CNC Router utilizada no corte da segunda etapa das peças



Fonte: a autora, 2024

A router consiste em uma máquina que pode utilizar diversas fresas para cortar e desbastar as chapas, e é capaz de realizar o corte de chapas de diferentes espessuras. Para essa etapa, foi utilizada uma fresa do modelo *cutdown*, com dois fios de corte. Esse modelo tem o sentido de corte invertido, ou seja, corta de baixo para cima, o que facilita a usinagem

de materiais mais maleáveis, sem provocar danos, pois a fresa entra no material sem cortar, e ao subir realiza o corte. Como dito anteriormente, o diâmetro dessa fresa mede 3,175mm, e, apesar de já ter sido realizado o redesenho das peças em função da possível fragilidade das laterais e da impossibilidade de se fazer o corte interno de quadrados de 5x5mm com ângulos de 90º, os cortes com fresa possuem outra particularidade.

Como demonstrado na **Figura 41**, a fresa é um elemento redondo, e os ângulos, tanto internos quanto externos da geometria pretendida, são todos retos, de 90º. Para realizar os cortes do lado externo, é possível atingir os ângulos retos pretendidos, pois ela tem espaço para delimitar os 90º. Porém, em cortes internos, tal tarefa se torna impossível de ser feito sem alteração da geometria desejada, visto que a fresa precisa de espaço para fazer os ângulos retos, deste modo desencadeando em dificuldades e falhas no encaixe das peças. Por isso, foi necessário mais um aprimoramento no desenho das peças, para que o corte e os encaixes acontecessem de maneira satisfatória ao término deste processo.

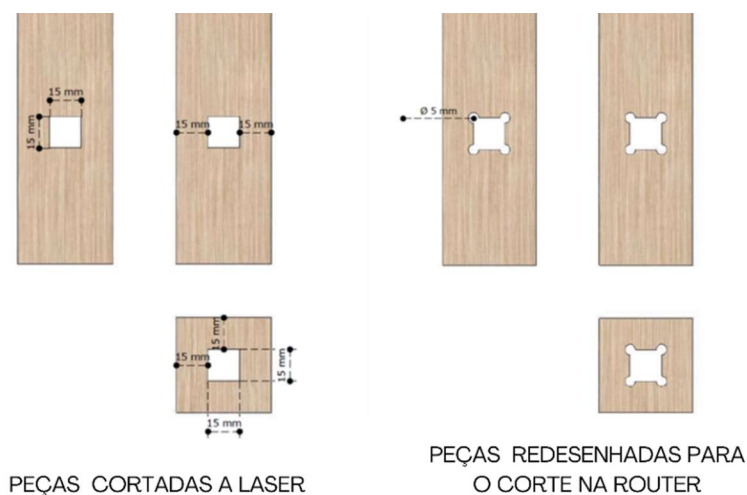
Figura 41 - Fresa no modelo Cutdown, de 0,375mm, utilizada para corte das peças



Fonte: a autora, 2024

Para tornar esse processo viável, foi necessário incluir nos ângulos internos, pequenos círculos, popularmente chamados de 'orelha de Mickey', de 5mm (maiores, portanto, que 3,175mm) em cada ângulo reto da geometria das peças, para que a fresa pudesse realizar os cortes de maneira correta e precisa, garantindo desta forma, o bom funcionamento dos encaixes. A **Figura 42** mostra as peças modificadas na segunda etapa, e as peças redesenhadas para a etapa 02.

Figura 42 - Redesenho das peças para o corte com a CNC Router na etapa 02



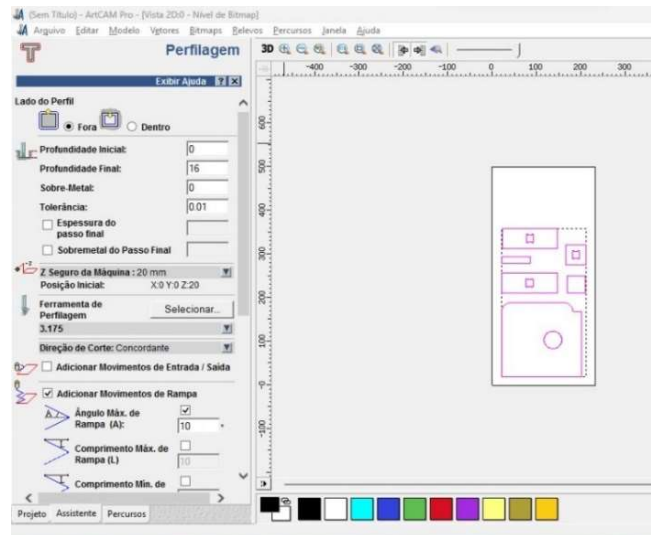
Fonte: a autora, 2024

Depois de já remodeladas para atender à especificidade do maquinário, exportou-se o arquivo do *sketchup*, em formato DXF, para o *software Artcam*, para que fossem feitas as configurações para a máquina realizar o corte da chapa. Nesta etapa, precisam ser definidos os *inputs* de tamanho da chapa, que neste caso, foi uma sobra de 23x50cm, e posteriormente, alguns outros *inputs*, como a margem livre que será deixada na chapa, o diâmetro da fresa utilizada, o espaço entre as peças, entre outras configurações que também auxiliam o *software* a realizar o *nesting* (nesta etapa, aplicado, por ser feito pelo próprio *software*) na chapa, para otimizar o uso do material e o tempo de corte da máquina. Também é necessário agrupar as linhas que correspondem a cortes internos e em outro grupo, as que correspondem a cortes externos, para que se possa determinar a ordem de corte. Além disso, para o corte das linhas externas, é possível configurar se a fresa passará por fora ou por dentro da linha, já para os recortes internos, a máquina entende que deve ser feito pelo lado interno, para manter as dimensões e geometria do modelo 3D.

Em um segundo momento, é necessário realizar a configuração da fresa dentro do *software*, que corresponde ao processo de informar ao computador com precisão, as características da fresa que será utilizada, com informações de diâmetro, profundidade que ela entrará na chapa, velocidade de rotação, entre outros parâmetros. Isso faz com que o computador leia e interprete a ferramenta, determinando como ela irá executar o corte na máquina. Outras configurações podem ser definidas, como por exemplo, os movimentos de rampa, que quando adicionados, preservam a durabilidade da fresa, para descer mais suave no material, e preservam também o material, para que não seja danificado durante o corte. A

Figura 43 mostra a tela do *software Artcam* com as configurações para este corte já definidas. Por fim, determina-se a ordem do corte das peças, definido para começar pelos cortes internos para manter a estabilidade da chapa, e realiza-se o salvamento do arquivo, já em formado *G-Code*, para ser enviado para a máquina através de um *pen drive*.

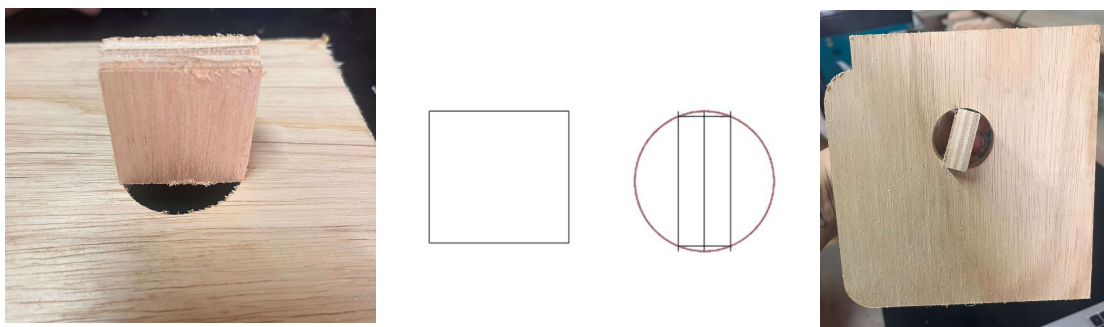
Figura 43 - Tela do software Artcam com as configurações de corte definidas



Fonte: a autora, 2024

Como resultado desta segunda etapa, alguns impasses foram encontrados. A peça de giro da mesa precisou ser cortada mais de uma vez, por não ter sido considerada a espessura do material, e por isso, o encaixe não funcionou, pois, a peça estava maior do que o diâmetro do círculo. No corte a *laser*, tal problema não aconteceu devido ao consumo de 0,02mm de material ocasionado pelo *laser*, o que, naquela etapa, foi suficiente para promover o encaixe, mesmo que sem a fixação necessária. De início, o erro encontrado no corte pela fresadora foi atribuído à máquina, mas, após o segundo corte, nas dimensões corretas, foi constatado que os cantos da peça deveriam ser descontados, e ainda foi descontado mais 0,05mm para que o encaixe acontecesse de maneira mais confortável. A **Figura 44** mostra o primeiro corte, maior do que o diâmetro do círculo, seguida do desenho onde foi detectado a questão dos cantos, e por fim, a peça final, com o encaixe satisfatório no diâmetro do círculo.

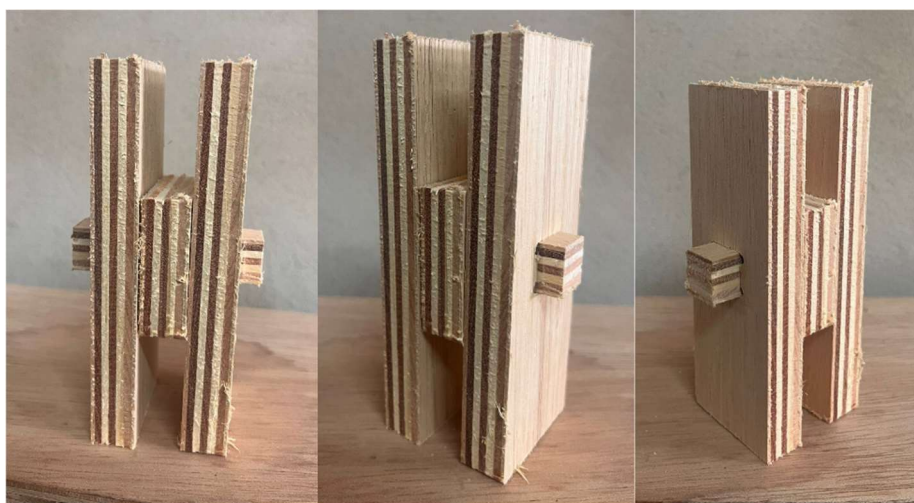
Figura 44 - Resultados do corte na fresadora das peças de giro, com o erro detectado no desenho



Fonte: a autora, 2024

As demais peças, demonstradas na **Figura 45**³², foram cortadas corretamente, na primeira tentativa, e os encaixes aconteceram de maneira satisfatória, funcionando de maneira satisfatória. Algumas peças precisaram ser lixadas, para que o encaixe fosse facilitado. Porém, a estrutura das peças laterais, com o meio e a cavilha fazendo o travamento apresentaram um bom comportamento, fixo na medida necessária, e demonstrando a potencialidade do *design* das peças para a produção final.

Figura 45 - Resultado final das peças laterais, com o miolo e cavilha



Fonte: a autora, 2024

Como nesta segunda etapa a prototipagem foi desenvolvida no compensado de madeira, foram detectados alguns arrepiados provenientes das fibras do material, que precisam do lixamento para um resultado mais satisfatório. Porém, para o objetivo do momento, as peças cortadas apresentaram os feedbacks necessários para os aprimoramentos das próximas etapas.

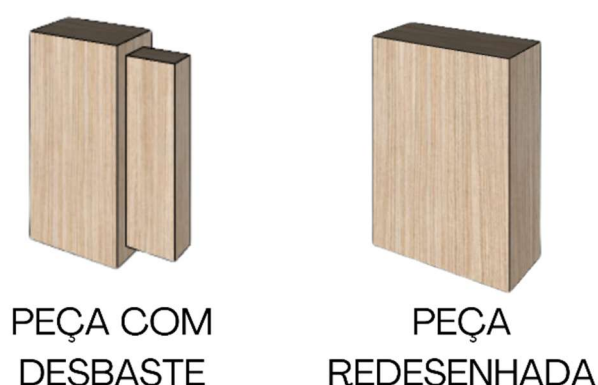
³² [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\03. CORTE ROUTER - ETAPA 02.MOV](#)

Nota-se aqui a diferença entre os materiais utilizados nas duas etapas (MDF e compensado de madeira), pois, mesmo que sejam semelhantes, apresentam certas diferenças em seu comportamento. Da mesma maneira, é possível também notar a diferença entre os dois maquinários, cortadora a *laser* e *router*. Mesmo que as duas sejam maquinários controlados por computador, cada uma delas possui particularidades quanto à precisão, ao tipo de tarefa que consegue executar, sendo então necessário um conhecimento prévio acerca das especificidades de cada uma delas, assim como a escolha do material, mais uma vez ressaltando o pensamento de Orciuoli e Baquero (2014).

3.1.4 Etapa 03

Em uma terceira fase, buscou fazer então, o redesenho de todas as peças da estante, com a inserção dos círculos de 0,5mm nos cortes internos, visto que, a produção final será realizada na CNC *Router*, utilizando chapas de MDF 15mm. Além disso, a peça de travamento da mesa na estrutura da estante, inicialmente, havia sido pensada para ser fabricada com desbaste, realizado pela máquina, porém, com desbaste bilateral, tarefa esta que a fresadora não consegue realizar. Pensando então em resolver também essa questão, e facilitar a produção final, sem incluir o desbaste, tal peça foi redesenhada, já buscando solucionar os empecilhos encontrados. A **Figura 46** mostra a peça de giro originalmente modelada, e a mudança realizada em seu *design* para atender às limitações da máquina.

Figura 46 - Peça de giro inicial com desbaste e peça redesenhada

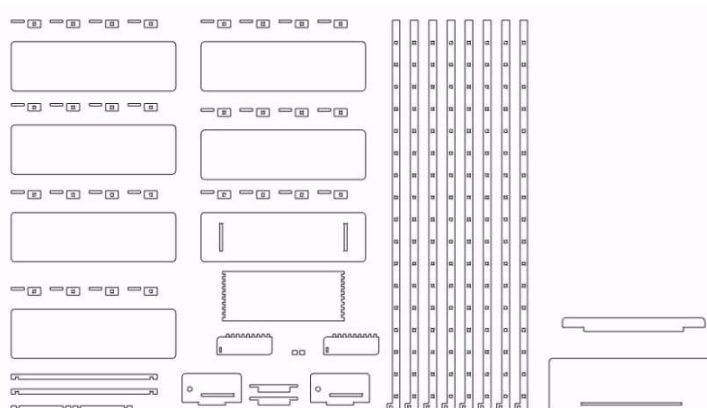


Fonte: a autora, 2024

A **Figura 47** mostra, por fim, todas as peças da estante redesenhadas, e já planificadas em 2D, para serem novamente produzidas na CNC Corte a *Laser*, ainda em escala reduzida,

para avaliação do comportamento de todas as peças juntas, integradas e montadas, antes da etapa final de produção.

Figura 47 - Desenho planejado das peças que foram produzidas na CNC Corte a Laser na etapa 03



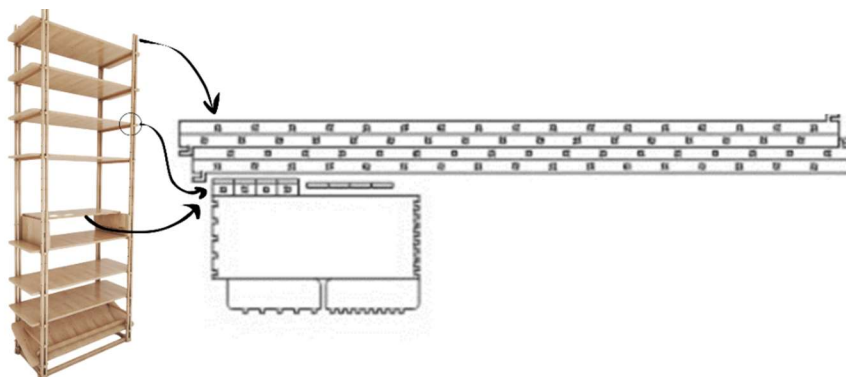
Fonte: a autora, 2024

Para essa etapa, já buscando *feedbacks* em um modelo já aprimorado e, portanto, mais próximo do modelo final, foi utilizada uma chapa de MDF de 3mm, mas de espessura menor. O mesmo processo da primeira etapa foi repetido, exportando-se o arquivo do *sketchup* para o *rhinoceros*, mas nesta etapa, buscando realmente mais precisão, garantida pela modelagem em *nurbs*, do software *Rhinoceros*. A escala foi definida em função da espessura da placa, uma vez que as placas em escala 1:1 possuem 15mm, na escala utilizada elas possuem 3mm, resultando em uma escala de aproximadamente 1:20. Agora, com a quantidade de peças existentes, o processo de *nesting* seria muito útil, para que o aproveitamento das peças seja o melhor possível na chapa que seria utilizada. O próprio *Rhinoceros* possui um *plugin* para realizar essa tarefa, porém, com funcionamento um tanto limitado para desenhos de geometria mais complexas. Portanto, o *nesting* aqui foi realizado de maneira manual, colocando os objetos lado a lado, para aproveitar o mesmo corte para duas figuras, de maneira simultânea, a fim de diminuir o tempo de corte da máquina.

A princípio, utilizando uma sobra de chapa para essa primeira análise, foram produzidas somente as peças que compõem a estrutura externa da estante (suporte, miolos e cavilhas), além das peças que compõem a mesa. Nas peças da mesa, foi realizada uma mudança no desenho das peças, para testar qual encaixe se comportaria melhor (com mais ou menos 'dentes'), sempre buscando a otimização do processo, visto que a peça com menos dentes, leva menos tempo para ser cortada, reduzindo assim o valor final da peça. A **Figura 48**

mostra as peças já no plano de corte, colocadas lado a lado. Do lado esquerdo da peça maior, o desenho modificado com menos encaixes, e do lado direito, o desenho sem modificações, com os encaixes originais.

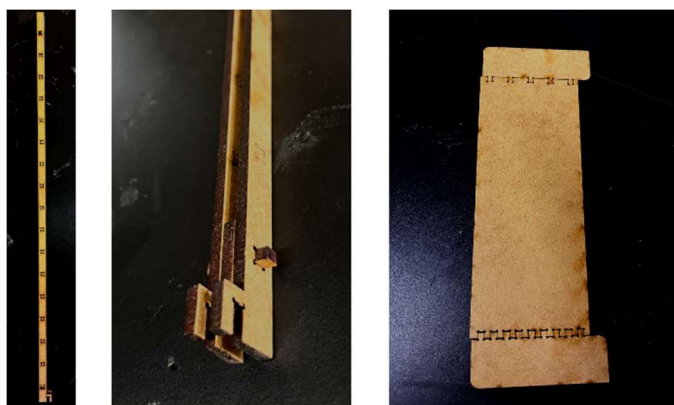
Figura 48 - Plano de corte inicial do protótipo final na etapa 03



Fonte: a autora, 2024

Exportando o arquivo para o *software CorelLaser*, foram definidas as configurações de potência e velocidade da máquina, ajustadas em 36W, cortando 14mm por segundo, e após 9 minutos, a máquina realizou o corte de todas as peças, demonstradas na Figura 48. Anteriormente, na primeira etapa de corte das peças, o consumo do material pelo *laser*, em 0,02mm, não foi considerado, pois naquele primeiro momento da prototipagem, não acarretava grandes problemas para a estrutura das peças. Porém, neste momento, essa perda de material precisa ser considerada, uma vez que o ajuste das peças precisa estar preciso o suficiente para oferecer a resistência necessária para a estrutura da estante como um todo. A **Figura 49** mostra as peças cortadas nessa primeira etapa, com os encaixes montados, porém sem a precisão necessária para a firmeza da estrutura.

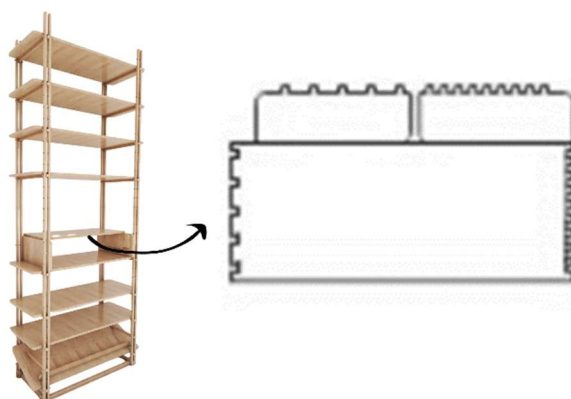
Figura 49 - Primeiras peças cortadas na etapa 03



Fonte: a autora, 2024

Depois dessa primeira análise, com o *feedback* em relação ao consumo do material pelo *laser*, a solução encontrada foi aumentar cada um dos desenhos em 0,02mm para o lado de fora, visando aumentar o tamanho das peças, para garantir mais estabilidade aos encaixes. Buscou-se fazer esse teste somente nas peças da mesa, conforme a **Figura 50**, por se tratar de um encaixe relevante na estrutura geral da estante. Do mesmo modo, ainda estava sendo analisado o encaixe ideal das laterais da peça, com menos encaixes (lado esquerdo) e com mais encaixes (lado direito).

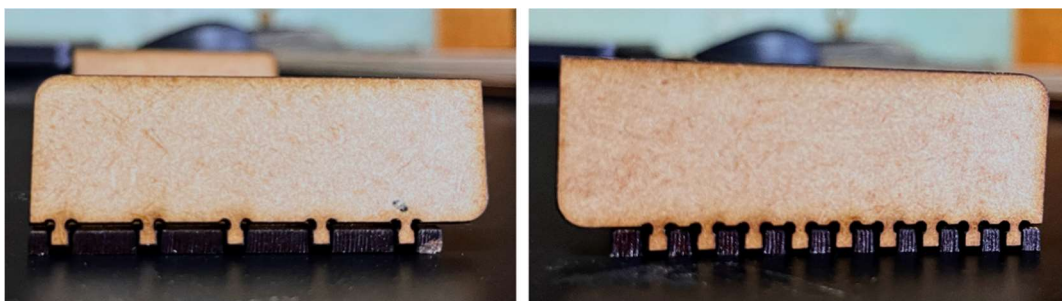
Figura 50 - Plano de corte considerando a perda de material pelo corte a laser



Fonte: a autora, 2024

Mesmo com o desconto de 0,02mm considerado e aplicado nas peças, o encaixe ainda não estava acontecendo de maneira satisfatória, pois, proporcionalmente, as peças ainda estavam com folga entre elas. A **Figura 51** demonstra o resultado do corte das peças, já com o aumento de 0,02mm de cada lado, que resultaram num encaixe um pouco mais fixo, mas ainda sem a precisão e firmeza necessária para a estruturação da estante.

Figura 51 - Segundo corte das peças na etapa 03, considerando o aumento de 0,02mm

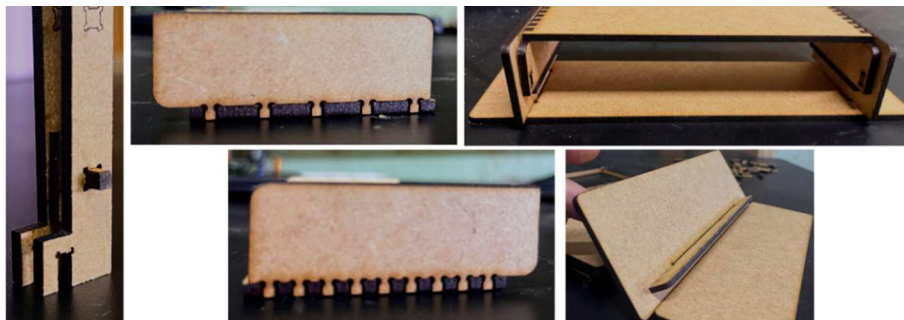


Fonte: a autora, 2024

Para não descartar completamente o primeiro corte das peças, a solução foi aumentar somente as peças positivas em 0,04mm (0,02mm de cada uma, concentradas apenas nas peças que de fato fazem o encaixe), e esse teste foi realizado aumentando as cavilhas de

tamanho, e mantendo o tamanho original dos seus encaixes. Da mesma maneira, as peças positivas da lateral da mesa também foram aumentadas em 0,04mm, para garantir a firmeza necessária. Dessa forma, o encaixe ficou com a precisão e a firmeza necessária, conforme a **Figura 52**.

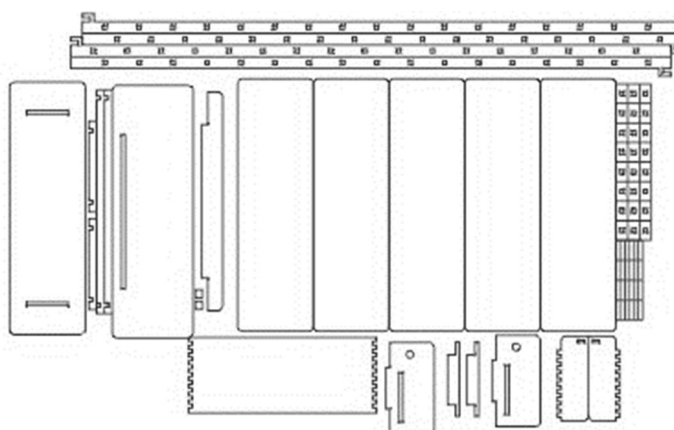
Figura 52 - Corte das peças aumentando 0,04mm nas peças positivas, na etapa 03



Fonte: a autora, 2024

Ainda nesta etapa, notou-se a necessidade de aumentar a peça de giro da mesa, para garantir sua estabilidade ao realizar o movimento de rotação. Foi então realizado um aumento de 15mm para cada lado da peça, apenas para que ela transpassasse o círculo, garantindo assim mais segurança no movimento de giro. Além disso, apesar do encaixe com menos dentes ter demonstrado a fixação e a firmeza necessária, pensando na fabricação da peça final, com a chapa de maior espessura, e conseqüentemente mais peso, optou-se por manter o encaixe original, com mais dentes, para garantir a estruturação das peças na fabricação do produto final. Sendo assim, todas as peças foram organizadas no plano de corte, conforme a **Figura 53**, e em 21 minutos, com a potência e velocidade mantidas (36W e 14mm por segundo), as peças foram cortadas de maneira satisfatória.

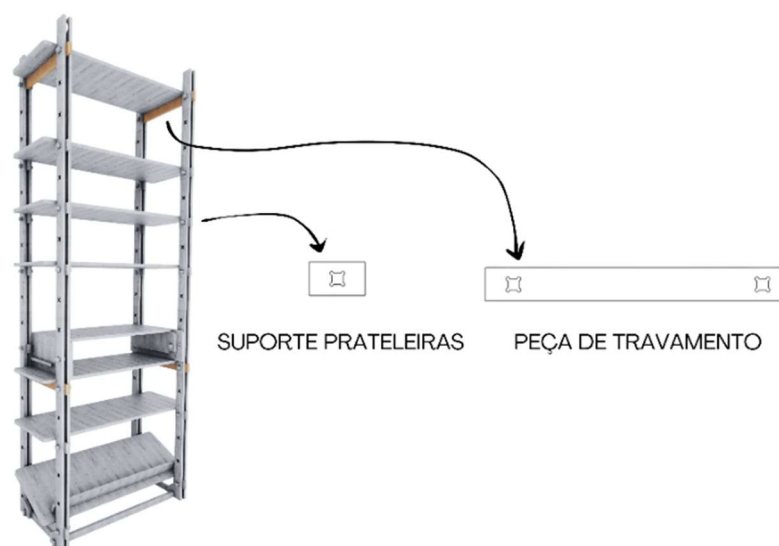
Figura 53 - Plano de corte de todas as peças, para montagem do protótipo final na etapa 03



Fonte: a autora, 2024

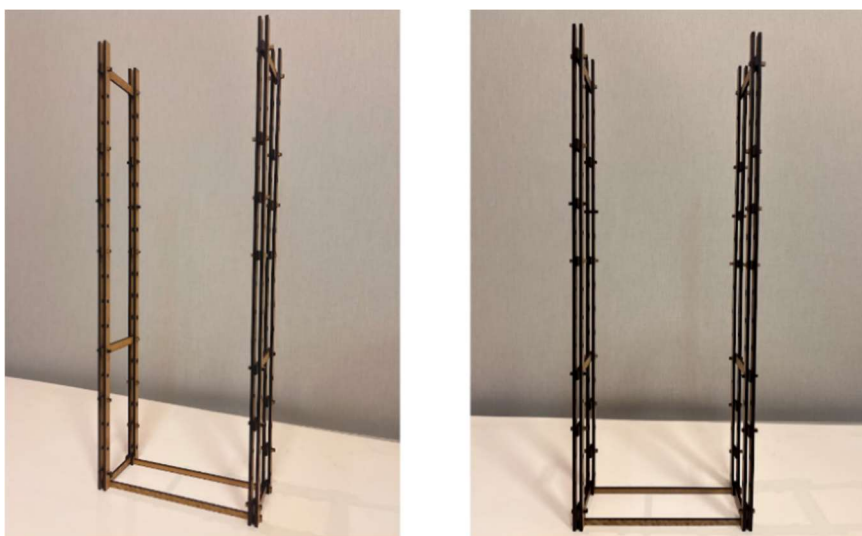
Ao realizar a montagem das peças, duas situações foram notadas. A primeira delas, em relação ao travamento dos suportes da estante, quando colocadas as prateleiras. Os suportes estavam fixos com o miolo e a cavilha, e posicionados corretamente na base, se mostrando estáveis. Porém, ao colocar as prateleiras, os suportes mostraram a necessidade de um travamento entre os suportes da frente e de trás, visto que eles abriam de maneira a não suportar as prateleiras colocadas. Desta forma, foram desenhadas novas peças de travamento (**Figura 54**), no mesmo modelo da peça central, que faz o suporte das prateleiras, mas maiores, atravessando a estante da frente até a parte de trás, unindo dessa forma os suportes frontais e posteriores, conforme demonstrado na **Figura 55**.

Figura 54 - Parte do suporte da estante, no quadro inferior, cortado na router em escala 1:1, na etapa 04



Fonte: a autora, 2024

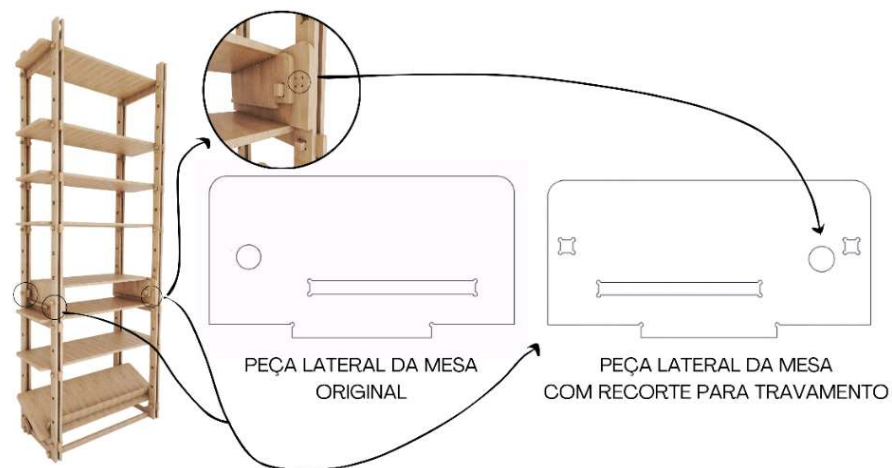
Figura 55 - Suportes encaixados na base, com a peça de travamento encaixada



Fonte: a autora, 2024

O outro *feedback* gerado nesta etapa apontava um problema encontrado no travamento da mesa na estrutura geral da estante. Ao se colocar peso na mesa aberta, notou-se que ela não estava fixada na estrutura central da estante, e dessa maneira, se soltava pela parte da frente³³. Deste modo, foram inseridos novos recortes na peça lateral da mesa, e através das cavilhas utilizadas nos outros travamentos da estante, a mesa foi fixada na estrutura central da estante. A **Figura 56** mostra o desenho com essa modificação realizada. Este aprimoramento foi desenhado, e realizado na etapa posterior (Etapa 04), de corte das peças em tamanho real. Portanto, a apresenta o protótipo realizado ainda sem essa modificação, que foi realizada em uma etapa posterior.

Figura 56 - Aprimoramento realizado na peça lateral da mesa



Fonte: a autora, 2024

Realizados todos os aprimoramentos necessários, o protótipo final da estante foi montado, conforme a **Figura 57**³⁴. O *design* e a materialidade da peça se apresentaram de maneira satisfatória, de acordo com a modelagem 3D da peça. Da mesma forma, os encaixes das peças de suporte com as cavilhas se comportaram de maneira também satisfatória, assim como os encaixes da peça de giro da mesa, que se mostrou eficaz. Uma atenção deve ser direcionada para a parte inferior dos suportes, em relação à fragilidade do material, que mesmo que tenha apresentado um comportamento suficientemente fixo para a estabilidade da estante, merece um reforço quanto ao desenho da peça.

³³ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\06. ETAPA 03 - MESINHA SOLTA.mp4](#)

³⁴ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\04. CORTE A LASER - ETAPA 03.mp4](#)

Figura 57 - Protótipo final da estante, cortada a laser em MDF de 3mm, na etapa 03



Fonte: a autora, 2024

Com as questões evidenciadas pelos *feedbacks* dessa etapa da prototipagem, ainda foi possível simular uma certa carga no protótipo, para avaliar a estrutura quando submetida a um certo peso, como aconteceria na produção da peça final. Foram utilizados alguns objetos para simular o peso dos objetos reais, e ver como a estrutura da estante por inteiro se comportava. Ressalta-se que o teste de carga aqui realizado foi feito somente com um caráter exploratório e qualitativo, sem dados numéricos sobre a quantidade de peso suportado pela estante em si, ficando essa análise como sugestão de futuros trabalhos.

3.1.5 Etapa 04

Com todo o processo de prototipagem realizado, a próxima etapa, denominada etapa 04, refere-se à fabricação final da peça, no MDF de 15mm de espessura, utilizando a CNC Router. Com base na metodologia da Cibernética, aplicando os conceitos de *feedback looping*, foram consideradas todas as barreiras encontradas desde a primeira etapa, no corte a laser de recortes das peças, passando pela segunda etapa, quando foi realizado o corte dos mesmos recortes na Router com material semelhante ao da fabricação final, e na terceira etapa, de corte a laser do protótipo completo.

Com todos os aprimoramentos aplicados no *design* inicial da peça, o resultado foi o modelo virtual da estante finalizado, demonstrado na **Figura 58**, através de imagens renderizadas da peça, já com o material que seria utilizado aplicado (chapa de MDF branco 15mm), e seus possíveis usos. Apesar da parametrização, no âmbito desta pesquisa, ter sido uma ferramenta puramente exploratória de soluções de *design*, entende-se que é possível

aprimorar ainda mais o *script* da estante, podendo ser incorporados *inputs* de peso e travamento das peças, que através da parametrização, irão revelar a necessidade de aumentar ou diminuir a quantidade de peças de travamento dos suportes da estante, em função da altura final da peça, definida pelo usuário e *co-designer* da peça de mobiliário.

Figura 58 - Imagem renderizada da versão final do design da estante



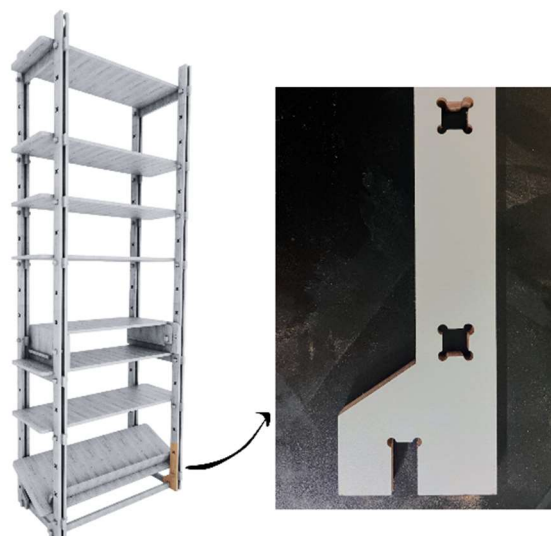
Fonte: a autora, 2024

Na etapa 02, quando foi realizado o corte de uma fração das peças na *router*, na escala 1:1, utilizou-se um compensado de madeira amescla, de 15mm. Apesar da similaridade deste material inicial com o MDF branco de 15mm, os encaixes de madeira com madeira são conexões que demandam precisão. A madeira amescla é um material um pouco mais maleável do que o MDF, portanto, já sabendo dessa propriedade, e prevendo problemas futuros nos encaixes em MDF (material mais duro e mais sensível a rupturas), precisou ser considerada uma folga entre os encaixes, para que a peça final atingisse o resultado esperado. Assim como na etapa 02, de corte a *laser*, o desconto de 0,02mm das peças precisou ser considerado, nesta quarta e última etapa este desconto precisou também ser levado em conta. Deste modo, as peças negativas (ou seja, aquelas que recebem os encaixes, também chamadas de ‘fêmeas’) foram aumentadas em 1,5mm, para que os encaixes acontecessem de maneira mais confortável, sem riscos à integridade do MDF, que é um material mais suscetível a quebras.

Ademais, de acordo com o *feedback* gerado na etapa 03 quanto à fragilidade da parte inferior do suporte da estante, foi realizado um aprimoramento no desenho da parte inferior, com a inserção de um ângulo, para melhor distribuição da carga nessa base. Portanto, após o redesenho, foi realizado na *router*, o maquinário utilizado para a última etapa, um recorte somente dessa peça, para análise desse novo *design*, seguido da confirmação da necessidade

da folga para o bom funcionamento dos encaixes. A **Figura 59** mostra o recorte de uma parte primeira peça, em escala 1:1.

Figura 59 - Parte do suporte da estante, no quadro inferior, cortado na router em escala 1:1, na etapa 04

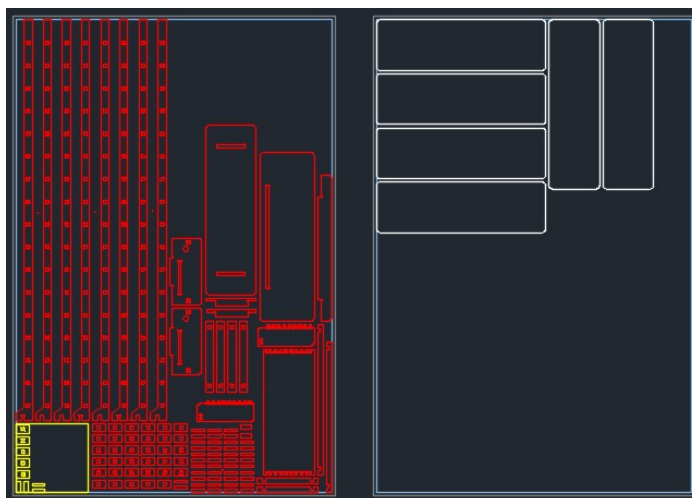


Fonte: a autora, 2024

Em um segundo momento, realizou-se o corte das peças de suporte das prateleiras, com as cavilhas, para análise da folga de 1,5mm nos encaixes negativos, e também para confirmação do comportamento dessas peças juntas, encaixadas e montadas em seus devidos lugares. Essa medida, de 1,5mm de folga nas peças negativas, foi atingida após alguns testes, e após a confirmação de que sem folga, os encaixes não aconteceriam de maneira confortável e viável para que a estante pudesse contar com a facilidade de montagem e desmontagem. Portanto, iniciou-se com uma folga de 0,8mm, passando para 1,00mm, passando para 1,2mm (em amarelo na **Figura 60**), até chegar na medida satisfatória de 1,5mm de folga nas peças negativas.

Após confirmada essa medida, essa folga foi aplicada em todos os desenhos de encaixes negativos. Com isso, foi possível elaborar a primeira parte do plano de corte, que já contemplou as oito peças integrantes do suporte, as peças do miolo de suporte das prateleiras, todas as cavilhas, as peças de giro da mesa, as peças de travamento, a prateleira de apoio para garrafas e sapatos, as peças da base e as peças da mesa, demonstradas em vermelho na **Figura 60**. As figuras em branco representam um terceiro momento do corte das peças, já na segunda chapa de MDF, quando foram cortadas as prateleiras, enquanto as figuras em amarelo demonstram os testes iniciais com as diferentes folgas dos encaixes negativos.

Figura 60 - Plano de corte para ser executado pela router no MDF branco de 15mm, na etapa 04



Fonte: a autora, 2024

Após o corte de todas as peças em vermelho, realizou-se a montagem inicial da estrutura, começando pelo encaixe das bases, e posteriormente encaixe das oito peças do suporte, divididas em quatro, contendo duas peças cada uma, separadas pela peça do miolo que faz o suporte das prateleiras e unidas pelas cavilhas. A **Figura 61 (a)** mostra essa montagem inicial, onde os encaixes com a folga determinada anteriormente apresentavam um bom comportamento, fixas o suficiente para darem estabilidade aos suportes da estante. Nessa etapa de corte em escala real, a instabilidade dos suportes, apresentada na etapa 03 de prototipagem, já ficou mais evidente, devido ao tamanho e peso das peças, antes mesmo que fossem colocadas as prateleiras. Sendo assim, já foram colocadas também as peças de travamento entre os suportes, conforme mostra a **Figura 61 (d)**, assegurando mais estabilidade à estrutura.

Figura 61 a, b, c, d - Montagem dos suportes, encaixados na base, com a peça de travamento entre eles



Fonte: a autora, 2024

Finalizada a montagem da estrutura da estante, com os suportes, base e peças de travamento, deu-se início à montagem da mesa, para avaliar seus encaixes com os aprimoramentos definidos anteriormente, assim como o comportamento da peça de giro. Os encaixes da base com o tampo da mesa aconteceram de forma satisfatória, suficiente para manter a fixação necessária entre essas duas peças. Porém, o círculo onde seria inserida a peça de giro, apresentou dimensões menores do que o necessário para a rotação da mesa. Dessa forma, após alguns testes, o círculo inicial, com uma dimensão de 29mm (considerando uma folga de 4mm, visto que a peça de giro tem altura de 25mm), foi redesenhado para 29,4mm. Ainda assim, a rotação ainda estava presa, não girando de maneira correta. Novamente a peça lateral foi cortada, dessa vez com 30mm, e dessa maneira, a peça de giro conseguiu fazer o movimento de rotação confortavelmente, para que a abertura da mesa possa ser realizada sem entraves. Na segunda etapa do processo do corte das peças em escala real, utilizando madeira amescla, esse mesmo *feedback* foi gerado, quando não foi considerado o desconto necessário pela geometria do encontro do círculo com a peça de giro de ângulos retos. Mesmo com os aprimoramentos realizados, ainda foi necessário otimizar a peça, pois a mudança de material interferiu no resultado final.

Após realizados estes aprimoramentos, e revisão final das peças da mesa, a folga deixada entre os encaixes relativos a estes componentes se mostrou satisfatória e suficiente tanto para o travamento das peças, quando para o movimento de rotação exigido pela mesa. Além disso, os encaixes estavam confortáveis o suficiente para que fosse cumprido o requisito da estante ser uma peça de fácil montagem e desmontagem, desejados para seu *design* final. A **Figura 62** mostra as peças da mesa cortadas, encaixadas e montadas em seus devidos lugares, com a abertura acontecendo corretamente.

Figura 62 - Peças integrantes da mesa, encaixadas e montadas na escala 1:1



Fonte: a autora, 2024

Depois de colocada a mesa em seu devido lugar, e fixada na estrutura central da estante, foi possível realizar o encaixe das outras prateleiras, distribuídas de acordo com o protótipo cortado a *laser*, para demonstração do resultado atingido com a experimentação destes processos, na fabricação digital de uma estante em MDF branco de 15mm, realizada pela CNC Router. Os processos aqui experimentados, responderam algumas questões encontradas durante o processo, que foram sistematizadas e deram origem ao diretório de informações contidas no Guia de Fabricação Digital para Mobiliários, explanado nos próximos tópicos desta pesquisa. A **Figura 63**³⁵ mostra a estante final, com alguns usos diversos demonstrados.

Figura 63 - Estante final fabricada digitalmente em MDF branco 15mm, com CNC Router, na etapa 04



Fonte: a autora, 2024

O plano de corte total da estante, com todas as peças encaixadas e dimensionadas dentro da chapa, que tem a medida padrão, de fábrica, de 1,85 x 2,75 metros, evidenciou que seriam necessárias duas chapas para a elaboração da peça final, mesmo que não fosse necessário a utilização de um quadrado pequeno para os testes iniciais. A quantidade de chapas utilizadas, assim como os movimentos que serão realizados pela máquina, impactam diretamente no custo final da peça, tema este que será abordado no próximo tópico de discussão do desenvolvimento da estante.

³⁵ [LINKS NOTAS DE RODAPÉ\05. CORTE ROUTER - ETAPA 04.mp4](#)

Considerando somente o tempo que a máquina levou para cortar as peças que foram realmente utilizadas na estante, foram contabilizados três horas e dois minutos para o corte das peças, e utilizada uma chapa inteira, e mais um terço da segunda chapa, aproximadamente, demonstrado na Figura 60. Desta maneira, foi possível quantificar o valor em reais da peça final, explanado no tópico posterior a esta seção.

3.1.6 Análise de Custos e tempo de montagem

Nesta seção, com a intenção de cumprir um dos objetivos propostos no início dessa pesquisa, em realizar uma breve comparação de custos e tempo de montagem entre uma peça de mobiliário fabricada digitalmente e a mesma peça fabricada através de métodos tradicionais de marcenaria, foram solicitados orçamentos e estimativa do tempo de montagem da estante, baseados na Figura 58 (a), e com as dimensões da estante fabricada na escala 1:1, de 2,30 metros de altura, 0,40 metros de profundidade e 0,97 metros de largura, utilizando chapas de MDF branco de 15mm. As empresas que forneceram os orçamentos são caracterizadas como pequenas empresas, e utilizam os métodos tradicionais de marcenaria para fabricação e montagem dos mobiliários solicitados. Os orçamentos obtidos encontram-se no apêndice dessa pesquisa, e apresentam os valores descritos na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Orçamentos de marcenarias e estimativa do tempo de montagem

MARCENARIA	ORÇAMENTO	ESTIMATIVA DE TEMPO DE MONTAGEM
MARCENARIA A	R\$ 800,00	3 a 4 HORAS
MARCENARIA B	R\$ 3.300,00	1 DIA
MARCENARIA C	R\$ 1.200,00	6 HORAS
MARCENARIA D	R\$ 1.600,00	2 DIAS

Fonte: a autora, 2024

O valor de orçamento informado por cada uma delas, inclui o material utilizado, a mão de obra para a fabricação das peças, e a mão de obra para montagem da peça no local. Além disso, além das dimensões informadas, e da imagem fornecida para o projeto, cada marcenaria determinou o modo de montagem com o qual tem mais familiaridade para

produzir, o que explica a diferença de valores entre cada uma delas. Mas vale ressaltar que nenhuma delas utilizou o sistema de encaixe de madeira com madeira para a montagem da peça final, tendo ainda a Marcenaria B utilizando ferragens para garantir a estabilidade das juntas. Além disso, o lucro visado por cada uma das marcenarias também impacta diretamente no custo final do produto, podendo esse ser reduzido de acordo com a negociação feita entre marcenaria e cliente.

O tempo de montagem informado por cada uma das marcenarias indicadas, foi determinado de acordo com a experiência de cada uma delas, que atuam no mercado já há algum tempo. É importante ressaltar que, neste processo, não há envolvimento do *designer* ou projetista de maneira ativa no custo final da peça, assim como não há uma transparência nesse processo. O modo tradicional de marcenaria apenas recebe do projetista os desenhos técnicos, e realiza o corte e montagem das peças, informando o valor final deste processo, que geralmente é repassado a um terceiro envolvido, o cliente final. O que ocorre, em alguns casos, é o orçamento ficar um pouco além do esperado pelo cliente final, e o marceneiro oferecer algumas soluções que podem reduzir o custo da peça, como por exemplo, utilizar chapas mais finas, diminuir a dimensão das peças para utilização de apenas uma chapa, ou utilização de ferragens de menor valor comercial. Porém, são decisões que não impactam necessariamente no *design* da peça, e muitas das vezes nem passam pelo projetista, são tomadas em conjunto apenas pelo marceneiro e o cliente final.

O valor da produção de uma peça fabricada digitalmente depende de dois fatores diretos: quantidade de material utilizado e o tempo que a máquina leva para fazer os cortes. Por essa razão, o *designer* da peça está inserido no processo, pois através do conhecimento desses dois fatores, consegue ter uma noção mais aproximada do custo de seus projetos, em um processo muito mais transparente do que a marcenaria convencional.

Para o plano de corte da Figura 60, a máquina, caracterizada no início deste capítulo como uma CNC *Router*, marca Goiás, com motor *spindle* de 5cv, foram necessários duas horas e quarenta minutos para o corte da primeira chapa, e 22 minutos para o corte da segunda chapa. O valor da hora de corte, cobrada pela empresa Factor, de Campo Grande, MS, que auxiliou e disponibilizou os maquinários para a realização das experimentações aqui realizadas, é de R\$180,00. Portanto, o custo para o corte das peças ficou em R\$ 543,00³⁶. Além

³⁶ R\$180,00 dividido por 60 minutos: R\$3,00 por minuto.

disso, foram utilizadas uma chapa inteira de MDF branco 15mm, e mais um terço da segunda chapa. Considerando que uma chapa deste material, de 1,85 x 2,75 metros, da marca Greenplac, custa R\$ 183,69, foram gastos R\$ 244,92³⁷ para a elaboração de todas as peças necessárias para a fabricação da estante, resultando em um custo final de R\$ 787,92.³⁸

Mesmo que o custo final da peça tenha se mostrado vantajoso em relação às marcenarias B, C e D, a marcenaria A apresentou um custo semelhante ao encontrado na fabricação digital. Porém, diante de todo o processo realizado, é possível identificar alguns fatores que poderiam contribuir para a diminuição do custo final da peça fabricada digitalmente. O primeiro deles em relação ao corte realizado pela máquina, pois, pela configuração utilizada, e para reduzir o gasto com as fresas, configurou-se a máquina para que ela precisasse realizar o mesmo caminho duas vezes, para o corte completo das peças. Dessa maneira, pode-se afirmar que, considerando um corte só, mesmo que tenha que a fresa dure menos e esse custo precise ser considerado, o tempo total de três horas e vinte, cairia para basicamente metade desse tempo, e conseqüentemente, metade do valor.

Do mesmo modo, as dimensões gerais das peças poderiam ser ajustadas, para que, mesmo nas versões maiores da estante, fosse possível utilizar apenas uma chapa, reduzindo dessa forma os custos finais. A parametria, em um primeiro momento utilizada somente em caráter exploratório na pesquisa, pode auxiliar muito a visão final dos custos, onde, alterando-se os parâmetros das dimensões das peças, já é possível determinar o custo final do artefato, pois os *inputs* de dimensão das peças estarão atrelados à quantidade de chapas que serão utilizadas. Além desses aspectos, os recortes feitos nos suportes da estante também podem ser reduzidos, ou mais espaçados, de forma também a minimizar o caminho feito pela máquina ao cortar cada um dos recortes. É possível realizar um espaçamento que ainda ofereça uma flexibilidade na altura entre as prateleiras, mas que também diminua o tempo de corte da máquina.

Por último, a máquina utilizada para os experimentos trata-se de uma máquina antiga, e conforme relatado pelo proprietário da empresa, não realiza as manutenções necessárias para calibração, manutenções preventivas e atualizações. Portanto, pode-se também afirmar que, ao utilizar maquinários mais modernos, e com as devidas manutenções em dia, pode-se

2 horas [120 minutos] + 40 minutos + 22 minutos = 182 minutos x R\$3,00 = R\$543,00

³⁷ 1 chapa = R\$ 183,69 / 3 (um terço da segunda chapa) = R\$61,23 + R\$ 183,69 = R\$ 244,92

³⁸ Apenas como referência de contexto, o salário-mínimo atual (2024) é R\$1412,00.

também obter um resultado um pouco mais satisfatório em relação ao custo final do produto, e também da qualidade das peças cortadas, visto que alguns encaixes não estavam com a precisão perfeita, devido aos problemas advindos da máquina utilizada.

Por outro lado, a montagem das peças até se alcançar o resultado final da estante, mostrou-se muito satisfatório. Em aproximadamente 40 minutos, foi possível realizar a montagem de todas as peças, encaixadas conforme o projeto, de modo a deixar a estante finalizada, e ainda com a facilidade de desmontar e montar novamente de acordo com os usos desejados pelo usuário, sem que seja necessária a utilização de ferramentas utilizadas na marcenaria tradicional, como parafusadeiras, furadeiras, entre outras ferramentas. Além disso, o tempo de montagem das estantes fabricadas por métodos tradicionais de marcenaria tende a ser superior, justamente pela necessidade de se utilizar tais ferramentas, e juntas externas, como parafusos ou colas.

Portanto, pode-se concluir que, mesmo que em um primeiro momento, os custos finais da estante produzida tenham sido similares ao custo apresentado por uma das marcenarias (A), ainda se mostra muito vantajoso em relação ao custo apresentado pela maioria das empresas consultadas. Além disso, é possível identificar os fatores que levaram a esse resultado, e realizar esses testes em pesquisas futuras, assim como utilizar outros maquinários que realizam estes processos, para validar tais afirmações. Por outro lado, o tempo e facilidade de montagem da peça fabricada digitalmente se mostrou mais eficiente do que os métodos tradicionais de marcenaria, e ainda cumprindo o requisito de ser uma peça de fácil montagem e desmontagem pelos próprios usuários, sem a necessidade de envolver os marceneiros responsáveis pela fabricação neste processo.

A peça elaborada na etapa final é considerada um produto do presente estudo, e atende aos objetivos propostos no início da pesquisa. Porém, ao se pensar na peça como um elemento a ser fabricado em larga escala, para ser comercializado, por exemplo, pode-se considerar a peça fabricada em escala real como um último protótipo, antes da versão final do produto, onde poderiam ser otimizados os fatores determinantes no custo final da peça.

Desta forma, ainda que de maneira preliminar, é possível identificar e validar as vantagens encontradas na fabricação digital, como o envolvimento do projetista na determinação dos custos da peça, através de um processo transparente, a minimização dos erros, que é facilitada pelo processo *file-to-factory*, além da facilidade de montagem e

desmontagem das peças pelos próprios usuários, sem a utilização de juntas externas e ferramentas.

3.1.7 Considerações finais sobre o experimento prático

Ao final do processo de fabricação digital da estante, definida para esta pesquisa como objeto de estudo e instrumento para elaboração de diretrizes de experiências para outros interessados neste processo, pode-se validar, mesmo que de maneira prévia, algumas vantagens evidenciadas no processo da fabricação digital em relação aos métodos tradicionais de marcenaria, e também, fazer algumas considerações finais sobre o experimento prático.

O experimento revelou e deixou claro que cada maquinário tem sua especificidade, mesmo quando se trata de máquinas que realizam o mesmo tipo de corte, no mesmo tipo de material, e utilizando o mesmo *software*, cada uma delas apresenta características únicas, que devem ser levadas em conta no momento da fabricação. Assim como a cortadora a *laser* apresenta características distintas, como por exemplo o consumo de 0,02mm de material no momento do corte, e a precisão tão acurada, que possibilita que somente um corte realize a geometria da face de dois objetos, colocados lado a lado, a *router* apresenta a necessidade da inserção das 'orelhas de *Mickey*' na geometria de suas peças, e folga nos encaixes quando o material utilizado é o MDF. Por outro lado, quando se utiliza um material mais maleável, como a madeira amescla, é possível realizar os mesmos encaixes, sem a folga na geometria das peças.

Da mesma maneira, os maquinários mais modernos apresentam menos 'erros'. A máquina utilizada na etapa 2 e 4 trata-se de uma máquina antiga, e que segundo o proprietário da empresa Factor, não realiza as manutenções necessárias para seu bom funcionamento. Portanto, apresenta algumas particularidades que poderiam ser mais facilmente resolvidas em maquinários mais modernos, como por exemplo o corte ainda mais preciso das peças, tão importante para mobiliários feitos com encaixe de madeira com madeira. Do mesmo modo, por se tratar de encaixes que demandam precisão, as próprias chapas de MDF utilizadas para fabricação dos artefatos apresentam alguns milímetros de diferença ao longo do comprimento da chapa (variação de aproximadamente 1mm, estando o lado direito com 14,6mm e o lado direito com 15,4mm, por exemplo). São poucos

milímetros, mas que em peças que demandam ainda mais precisão, demonstram impactos significativos.

Além disso, os materiais, mesmo que similares, apresentam também características próprias que devem ser levadas em conta no momento da fabricação. Na utilização de madeira amescla no corte das peças da *router*, não foi identificada a necessidade de inserção de folgas nos encaixes, além das orelhas de *Mickey*. Em um momento posterior, no corte das peças utilizando o MDF branco de 15mm, o *feedback* gerado pelo corte das peças sem folga indicou a necessidade da inserção das folgas de 1,5mm nos encaixes negativos. Portanto, cada material, mesmo que correspondam ao mesmo grupo (derivado de madeiras, neste caso), deve ter suas particularidades analisadas, principalmente quando se busca fabricar artefatos que utilizem de encaixes do próprio material, sem juntas externas.

Para uma experimentação inicial, apesar das dificuldades encontradas no processo, principalmente em relação à falta de precisão da própria máquina, o resultado atingido se mostrou satisfatório, não somente por apresentar a peça modelada inicialmente em ambiente virtual, mas principalmente pelos *feedbacks* gerados em cada uma das etapas, que se mostraram muito necessários e enriquecedores, embasando dessa maneira a elaboração do Guia de Fabricação Digital para mobiliários.

Além dos *feedbacks* gerados, foi possível confirmar, na prática, o exposto nos objetivos centrais da pesquisa, sobre fomentar discussões ainda maiores sobre as práticas de fabricação digital, visto que a experiência obtida no processo pode ser aplicada tanto para a fabricação de outras peças de mobiliário, quanto para a fabricação de outros artefatos, aplicando os conhecimentos não somente em campos teóricos, mas também em ambientes práticos, de profissionais, professores, alunos e outros interessados em processos digitais de fabricação.

Ao longo dos processos realizados para a fabricação digital da estante, foram coletados os *feedbacks* gerados em cada uma das etapas, que deram origem aos aprimoramentos realizados em etapas posteriores. Todos estes dados estão listados na **Tabela 2**, abaixo, assim como a solução de aprimoramento realizada para otimizar a peça, correlacionadas com a etapa em que foram identificados. As soluções encontradas para otimização do *design* das peças, deram origem ao arquivo final para fabricação da estante em escala 1:1.

Tabela 2 - Síntese dos feedbacks gerados em cada uma das etapas, e os aprimoramentos realizados

ETAPA	FEEDBACK GERADO	APRIMORAMENTO REALIZADO
01 Corte a laser de recortes das peças	Fragilidade da lateral das peças, com 5mm de largura	Redesenho das peças, para que as laterais ficassem com 15mm de largura
02 Corte na router dos mesmos recortes das peças da etapa 01		
02 Corte na router dos mesmos recortes das peças da etapa 01	Impossibilidade de corte dos recortes internos com ângulos de 90° sem perder a geometria desejada, devido ao formato da fresa (circular)	Colocação de círculos de 5mm em cada canto interno dos recortes (orelha de mickey)
02 Corte na router dos mesmos recortes das peças da etapa 01	Encaixe da peça de giro não funcionou com as medidas originais, era necessário descontar os cantos da peça de giro	Desconto dos cantos e de mais 0,05mm na dimensão da peça de giro, para garantir um encaixe com a folga necessária
02 Corte na router dos mesmos recortes das peças da etapa 01	Impossibilidade de fabricação da peça de giro, com desbaste bilateral	Redesenho da peça de giro, de formato reto, para que seja apenas cortada, sem desbaste
03 Corte a laser do protótipo completo	Quantidade de encaixes necessários para travamento da lateral da mesa	Mantido o desenho original, com mais encaixes
03 Corte a laser do protótipo completo	Fragilidade do encaixe da peça de giro	Aumento do tamanho, para que ela transpassasse um pouco o encaixe, ficando mais firme
03 Corte a laser do protótipo completo	Suportes do fundo e da frente da estante abrindo ao se colocar as prateleiras, necessitando de um travamento intermediário e superior	Desenho das peças de travamento, baseada no desenho das peças do miolo do suporte
03 Corte a laser do protótipo completo	Necessidade de travamento da peça lateral da mesa na estrutura central da estante	Inserção de dois recortes na peça lateral da mesa para fixação com as cavilhas, realizado somente na etapa 04
04 Corte na router da estante completa em escala 1:1	Identificado na etapa 03 , mas aprimorado na etapa 04, a fragilidade da parte inferior dos suportes da estante	Aprimoramento no <i>design</i> da parte inferior, com a inserção de um ângulo para melhor distribuição da carga
04 Corte na router da estante completa em escala 1:1	Necessidade de folga de 1,5mm para facilitar e viabilizar o encaixe das peças	Redesenho das peças negativas com aumento de 1,5mm dos limites
04 Corte na router da estante completa em escala 1:1	Peça de giro precisou de ajustes em sua dimensão	Aumento do círculo de encaixe da peça de giro, para melhor funcionamento do movimento de rotação

Fonte: a autora, 2024

A Tabela 2, de acordo com a metodologia DSR, apresenta as classes de problema, demonstradas nos *feedbacks* gerados em cada uma das etapas de prototipagem do objeto de estudo, que auxiliaram no mapeamento de problemas encontrados ao se fabricar digitalmente uma peça de mobiliário. Este mapeamento foi elemento essencial na tanto no aprimoramento da peça final a ser fabricada quanto na elaboração do produto final da pesquisa, que diz respeito ao Guia de Fabricação Digital para mobiliários.

Por fim, ao apresentar os custos gerados pela fabricação digital da estante, e os orçamentos disponibilizados por marcenarias tradicionais, pode-se também afirmar que, mesmo que os custos da fabricação digital tenham se equiparado ao valor apresentado por uma das marcenarias, ainda se mostra muito vantajoso em relação à maioria dos orçamentos apresentados. Além disso, é possível identificar os fatores que podem reduzir o custo final da peça aqui fabricada, para que, em pesquisas e trabalhos futuros, seja possível validar essas hipóteses com soluções simples, como por exemplo, redimensionamento do produto final, além de utilização de maquinários mais modernos e com as manutenções em dia.

Por fim, ainda é válido ressaltar a utilização da parametria como ferramenta de auxílio nesse processo de levantamento de custos da peça final, atuando mais do que somente em caráter exploratório, mas também com a quantificação desses custos já pré configurados e determinados em função das escolhas feitas pelo usuário, como a quantidade de prateleiras ou altura final da peça.

3.2 Proposição do Guia de Fabricação Digital para Mobiliários

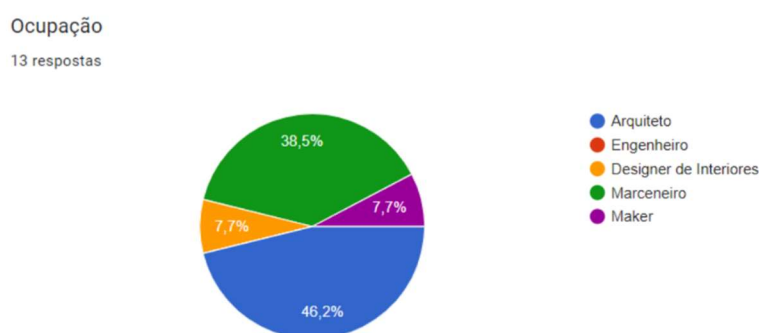
A partir da fabricação digital de uma estante, definida nesta pesquisa como objeto de estudo, e atuando como instrumento, foi possível desenvolver o guia, com diretrizes para futuros pesquisadores e usuários, visando auxiliá-los no processo de fabricação digital de outros artefatos. Além disso, as perguntas contidas no questionário aplicado a um público de arquitetos, *designers*, marceneiros e *makers* embasaram a elaboração dos tópicos, assim como as respostas obtidas, que nortearam o desenvolvimento do guia como um todo.

A seção a seguir apresenta a caracterização e os resultados do questionário aplicado à profissionais da AEC, ligados de alguma maneira com assuntos relacionados a marcenaria. Após a análise destes dados, apresenta-se o conteúdo presente no Guia de Fabricação Digital para Mobiliários, produto final da presente pesquisa.

3.2.1 Questionário

Para validar a necessidade do material proposto ao fim desta pesquisa, foi elaborado um questionário, e enviado a um público composto por arquitetos, engenheiros, *designers* de interiores, *makers* e marceneiros, todos residentes e atuantes na cidade de Campo Grande, MS. Dos 16 profissionais que receberam o questionário, 13 deles participaram da pesquisa, e conforme a **Figura 64**, a maioria dos profissionais eram arquitetos e marceneiros, e alguns eram *designers* de interiores e *makers*. Nenhum engenheiro respondeu ao questionário.

Figura 64 - Perfil dos participantes da pesquisa quanto às suas ocupações



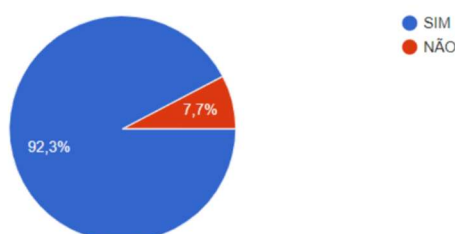
Fonte: a autora, 2024

Ainda de acordo com o perfil dos participantes, foi perguntado se os participantes têm algum contato com serviços de processos de marcenaria, seja como projetista, marceneiro, ou até mesmo como clientes finais. O resultado, conforme a **Figura 65**, mostra que 92,3% dos profissionais têm algum contato direto com serviços e processos de marcenaria, participando ativamente destes processos, ou não.

Figura 65 - Perfil dos participantes da pesquisa quanto ao contato com serviços e processos de marcenaria

Você tem algum contato com a fabricação de mobiliários? Seja como fabricante, cliente, arquiteto, qualquer forma de contato..

13 respostas

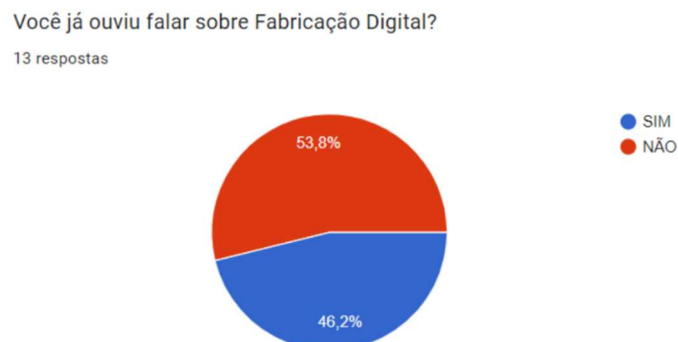


Fonte: a autora, 2024

Na terceira pergunta do questionário elaborado, busca-se entender quão conhecedores da Fabricação Digital eram os entrevistados, e para isso, a pergunta elaborada

foi: ‘Você já ouviu falar sobre fabricação digital?’ De acordo com o evidenciado na **Figura 66**, a maioria dos participantes nunca ouviu falar sobre Fabricação Digital, porém, grande parte dos integrantes já teve algum contato com o assunto.

Figura 66 - Perfil dos participantes quanto ao contato com processos de fabricação digital



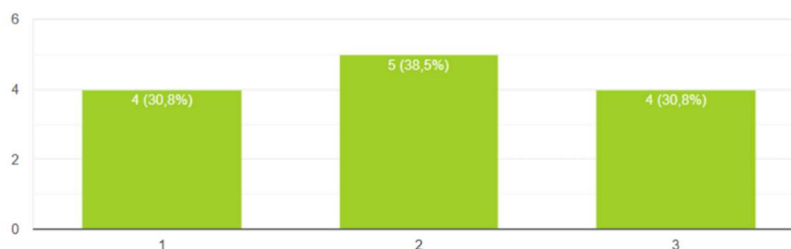
Fonte: a autora, 2024

Mais adiante, buscou-se entender qual era o nível de conhecimento acerca dos processos de fabricação digital dos participantes, para que evidenciasse a necessidade da inserção de um glossário de termos no início do guia, ou não. De acordo com as respostas obtidas, demonstradas na **Figura 67**, a maioria dos participantes demonstrou ter um conhecimento mediano sobre os processos envolvidos na fabricação digital, e desta forma, o glossário de termos não foi elaborado para o produto final da pesquisa.

Figura 67 - Nível de conhecimento dos participantes acerca de processos de fabricação digital

Em uma escala linear, onde 1 corresponde a muito pouco ou nenhum, e 3 corresponde a muito, qual seu nível de conhecimento acerca dos processos envolvidos na fabricação digital de um artefato?

13 respostas



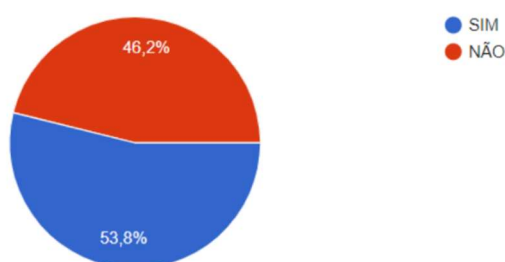
Fonte: a autora, 2024

Por fim, as perguntas finais tinham o objetivo de validar a relevância do material proposto ao término desta pesquisa, buscando entender se os participantes saberiam por onde começar o processo, o que despertaria a necessidade de se elaborar um guia mais focado nos processos iniciais, como a modelagem 3D dos artefatos, e também explorar de maneira

mais aprofundada os maquinários, que encaminham os usuários aos materiais que podem ser utilizados, assim como a materialidade geral das peças. Como a maioria dos participantes demonstrou saber por onde começar o processo de fabricação digital de um mobiliário, conforme a **Figura 68**, foi possível elaborar um material com direcionamentos e reflexões sobre o processo, utilizando as experiências até aqui realizadas para demonstração dos processos.

Figura 68 - Resposta dos participantes sobre saber iniciar os processos de fabricação digital ou não
Se você precisasse fabricar uma peça digitalmente, saberia por onde começar?

13 respostas



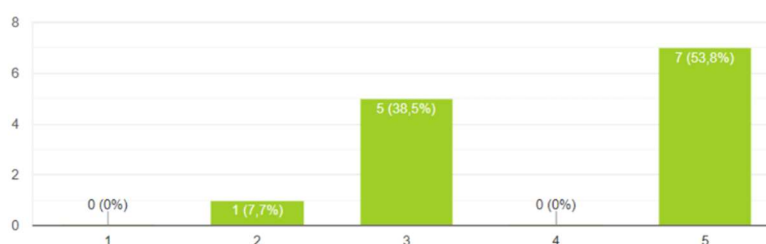
Fonte: a autora, 2024

E para encerrar o questionário aplicado, os participantes foram questionados sobre a necessidade de se elaborar um material que tenha o objetivo de guiar os interessados nos processos de fabricação digital. Apesar da maioria dos integrantes ter conhecimento sobre os passos iniciais deste processo, e apresentar um nível de conhecimento mediano sobre a fabricação digital, a maioria deles afirmou ser 'totalmente necessário' a elaboração deste material, e 5 participantes ainda relataram a necessidade como intermediária, de nível 3, em uma escala de 1 a 5, conforme a **Figura 69**.

Figura 69 - Necessidade de elaboração de um guia para processos digitais, de acordo com os participantes da pesquisa

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 quer dizer 'não tem necessidade' e 5 quer dizer 'totalmente necessário', quão necessário você acha a elaboração de um guia que oriente os interessados no assunto a produzirem um artefato através da fabricação digital?

13 respostas



Fonte: a autora, 2024

Portanto, mostra-se e valida-se a relevância desta pesquisa através da caracterização e do perfil dos participantes, que, trata-se de um público de profissionais envolvidos em muitas ou algumas etapas dos serviços e processos de marcenaria tradicional, e que possuem certo conhecimento e interesse acerca dos processos de fabricação digital, certamente por terem conhecimento das vantagens deste novo modo de produzir. Por isso, consideram necessária a elaboração de um material informativo, para auxiliá-los em seus projetos, e também esclarecer os passos e etapas relevantes e necessários para a elaboração de peças que apresentem qualidade, *design* e um bom resultado final.

A partir da análise dos resultados deste questionário, e também da análise dos processos digitais experimentados na prática, na fabricação digital da estante desta pesquisa, foi possível elaborar o Guia, exposto no tópico a seguir, que reúne um diretório das experiências realizadas, e orienta os futuros interessados neste processo, garantindo a eles um resultado final satisfatório e um processo mais fluído.

3.2.2 Guia de Fabricação Digital para Mobiliários

O *workflow* de alguns processos digitais experimentados na prática, surge com o objetivo de orientar os profissionais interessados no assunto a fabricarem uma peça digitalmente. Sendo assim, o guia foi dividido em sete tópicos, que não necessariamente precisam respeitar a ordem proposta para serem desenvolvidos, mas que devem ser integralmente concluídas e entendidas para o bom funcionamento das diretrizes. A ideia principal foi explicitar o pensamento de que o modo de fazer o objeto precisa ser pensado e definido juntamente com seu design, de acordo com o pensamento de Orcioli e Baquero (2014). Portanto, definiu-se como tópicos centrais do guia os assuntos acerca do *design*, técnicas e maquinário utilizado.

Em relação ao maquinário para fabricação digital, Sass, Michaud e Cardoso apud Barros e Silveira (2015), relatam que a materialização de produtos fabricados através de máquinas por controle numérico computadorizado é feita em quatro passos, que se iniciam com um (I) modelo tridimensional que é traduzido para (II) um conjunto de componentes que são posicionados (III) em forma bidimensional para a produção (CNC) e, posteriormente, (IV) montado à mão.

As máquinas CNC são classificadas em três sistemas de fabricação: o subtrativo, que realiza a subtração ou desbaste, através de corte e usinagem da matéria prima até se alcançar o resultado desejado, o sistema aditivo, que através da sobreposição de camadas de material, dá forma ao produto desejado, e o sistema formativo, que utiliza moldes dinâmicos para materializar os produtos.

Portanto, as técnicas de fabricação digital, assim como o maquinário envolvido em cada uma delas devem ser pensadas de maneira simultânea com o *design* final da peça, visto que cada uma das técnicas e máquinas possuem suas particularidades para executar as tarefas desejadas. Sendo assim, esses foram os tópicos centrais do guia, que buscou resumir e explicitar esse pensamento, destacado por Orcioli e Baquero (2014) quando dizem que o *design* deve evoluir paralelamente com a escolha das ferramentas disponíveis para execução.

Além dos tópicos centrais, supracitados, foram elencados alguns passos importantes neste processo, elaborados através de algumas perguntas, que guiam o processo até a fabricação final da peça de mobiliário. De acordo com Celani e Pupo (2008), o número de dimensões (2D, 2,5D e 3D) do produto final impacta diretamente no seu modo de fabricação, e essa informação já direciona o processo a algumas máquinas específicas, por exemplo cortadoras a *laser* para 2D, *router* para 2,5D e impressoras para o 3D. As mesmas autoras ainda classificam as fabricações de acordo com a sua finalidade, que podem ser para a produção de um protótipo ou da versão final da peça. Baseado nesta classificação, esse foi um tópico considerado dentro do guia, facilitando assim os próximos passos e tomadas de decisões, e descartando possibilidades de acordo com a finalidade desejada.

Um item importante trata sobre os *softwares* que podem ser utilizados, fazendo referência aos passos I, II e III citados anteriormente por Sass, Michaud e Cardoso apud Barros e Silveira (2015), tendo início com a modelagem 3D virtual do objeto, que será traduzido em componentes posicionados em 2D e enviados para a produção, completando dessa maneira, o ciclo *file-to-factory*, presente nos processos da fabricação digital. Existe uma ampla variedade de *softwares* disponíveis para auxiliarem os usuários neste processo, alguns na etapa CAD, outros na etapa CAM, e outros mais completos, que atuam nas duas etapas do processo. O guia busca elencar os cinco *softwares* mais utilizados, com algumas breves características de cada um, e orienta os usuários a utilizarem àquele que tenham mais domínio, buscando facilitar o processo. Caso a máquina que será utilizada utilize um *software* específico para funcionar, como o caso da cortadora a *laser* utilizada na fabricação da estante,

que utilizava o *CorelLaser*, orienta-se que o usuário utilize o *software* que possuir mais familiaridade, e exporte os arquivos o mais desenvolvidos possível para o *software* da máquina, facilitando também o processo.

Deve-se levar em conta, de maneira muito relevante, os materiais que podem ser utilizados neste processo, encaminhando também o usuário a determinados maquinários. O guia elencou quatro tipos de matérias primas mais comumente utilizadas no processo, sendo elas: madeiras, papéis, plásticos e metais. O projetista, já tendo em mente o tipo de material que deseja utilizar, tem informações o suficiente para decidir alguns outros tópicos, como por exemplo o maquinário que será utilizado, baseado nas técnicas de produção, e que impactam diretamente no *design* a ser pensado para aquele determinado produto.

O ponto central deste material é, além de facilitar a experiência do usuário que deseja fabricar uma peça de mobiliário através da fabricação digital, mas não sabe por onde começar, deixar explícito e validado o pensamento de que as decisões de projeto para o mobiliário que se deseja fabricar devem ser tomadas em conjunto, e não isoladamente. Deve-se criar uma maneira de pensar o objeto atrelada ao modo de fazê-lo, para que tanto as técnicas disponíveis como o material escolhido resultem em um *design* inovador, que gere poucos resíduos para ser fabricado, e minimize os erros durante o processo.

Com todas essas decisões acerca da finalidade, e já adotado o *software* que será utilizado, tendo o material definido, e também a técnica, os maquinários e o *design* da peça resolvidos, parte-se para a primeira etapa de produção que é a prototipagem desse mobiliário. Com a prototipagem, é possível coletar uma série de informações acerca da materialidade da peça, do comportamento de seus encaixes, das resistências dos materiais em um ou outro ponto, além de ser possível submeter esse protótipo a alguns esforços, para testes físicos. Pode-se considerar que, no início, quanto à finalidade da produção, aquele usuário que já tomou todas as decisões anteriores a esta etapa, pode iniciar o guia a partir desse tópico, e caminhar a partir dele até atingir o resultado final, com a produção do mobiliário final, em escala real.

A prototipagem, ao assumir que o erro é bem-vindo, revela *feedbacks* importantes acerca do *design* da estrutura, do material utilizado e aplicado com suas dimensões, limitações e potencialidades, assim como a materialidade do objeto em si, que são visualizadas a partir das etapas de prototipagem. A partir da experiência prática, na prototipagem da estante, antes de sua fabricação final, estes *feedbacks* puderam ser coletados, de maneira a aprimorar

4. TÉCNICAS
Sabemos, além de Fabricar? A resposta é sim, porque a fabricação digital é uma tecnologia que se utiliza de computadores para gerar arquivos digitais que serão utilizados para a fabricação de peças e produtos.

4. MAQUINARIOS
As máquinas utilizadas na fabricação digital são chamadas de máquinas de fabricação digital. Elas são capazes de produzir peças e produtos com alta precisão e qualidade.

4. DESIGN
O design de uma peça é fundamental para o sucesso de um projeto. É importante considerar a funcionalidade, a estética e a sustentabilidade da peça.

5. PROTOTIPAGEM
O protótipo é uma versão reduzida de um produto, utilizada para testar e validar o design antes da fabricação em escala.

6. ANÁLISE
A análise de um projeto é fundamental para garantir a qualidade e a segurança do produto. É importante considerar todos os aspectos do projeto, desde o design até a fabricação.

7. FABRICAÇÃO
A fabricação digital é uma tecnologia que permite a produção de peças e produtos com alta precisão e qualidade. É importante considerar todos os aspectos da fabricação, desde o design até a entrega do produto final.

CHECKLIST

- ✓ Definido o finalizado de sua fabricação
- ✓ Definido do mobiliário - tipo e função do seu mobiliário
- ✓ Modelagem 3D em software CAD/CAM
- ✓ Definir a técnica que será utilizada
- ✓ Definir o maquinário e o material
- ✓ Zerar o design inicial
- ✓ P-R-C-T-O-T-I-P-A-R-E
- ✓ Analisar o modelo real (protótipo) quantas vezes forem necessárias
- ✓ FABRICAR O MOBILIÁRIO EM ESCALA 1:1

PARABÉNS!
VOCÊ ACABOU DE CRIAR UMA PEÇA DE MOBILIÁRIO FABRICADA DISTANTEMENTE!

Fonte: a autora, 2024

O guia, demonstrado na **Figura 70**, foi elaborado em tópicos, e buscou utilizar uma linguagem usual, buscando facilitar seu entendimento por todos os usuários. Buscou-se também utilizar elementos didáticos de representação, assim como utilizar o conteúdo produzido ao longo da fabricação da estante como exemplos, para facilitar a compreensão do conteúdo por uma ampla gama de usuários e interessados neste processo. Por fim, ele será disponibilizado aos interessados, juntamente com o conteúdo dessa dissertação e o material produzido durante a pesquisa, como o *script* da estante genérica, a modelagem 3D, os planos de corte, os vídeos da produção e o guia em si, em um endereço eletrônico³⁹ que possa ser acessado por todos os pesquisadores e interessados no processo.

³⁹ <https://sites.google.com/ufms.br/guiafedparamobiliarios>

4 CONCLUSÕES

Antes de apresentar as considerações finais acerca do presente estudo, é importante ressaltar, como descrito nas considerações finais sobre os experimentos práticos, a presença de algumas limitações em função desta pesquisa, que são características próprias de trabalhos de mestrado, por terem variáveis como por exemplo tempo e recursos disponíveis. Salienta-se novamente que, o maquinário disponibilizado para a elaboração da parte prática do trabalho não era o mais moderno e tecnológico, e portanto, é possível identificar os aspectos da pesquisa que seriam mais eficazes, ao se utilizar equipamentos com tecnologia de ponta. Da mesma forma, os outros itens elencados, também nas considerações finais das experimentações práticas, demonstram que futuras prototipagens e experimentos paramétricos podem ser realizados, e não foram inseridos nesta pesquisa em função do tempo disponível para sua realização.

Este trabalho apresentou como objetivo geral a elaboração de um *workflow* de processos, através de um material intuitivo, que pudesse orientar futuros profissionais e interessados em práticas digitais a fabricarem digitalmente seus artefatos. Além disso, buscou se fazer uma análise e um encadeamento entre os processos de fabricação artesanal, industrial e digital, para que fosse possível evidenciar as potencialidades da fabricação digital, e também apresentar uma breve comparação – com recorte em função dos custos e tempo de montagem – entre os métodos tradicionais de marcenaria e os métodos de fabricação digital.

Para que fosse possível cumprir os objetivos propostos, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica acerca dos processos de fabricação ao longo do tempo, apresentando uma trajetória destes momentos, que teve início com a fabricação artesanal, passada de geração em geração, passando pelas mudanças geradas pela Revolução Industrial, com movimentos como Arts and Crafts, Deutscher Werkbund e a escola alemã Bauhaus, até os dias atuais, com as produções contemporâneas.

Essa revisão foi importante para o contexto da pesquisa, não somente para embasar os questionamentos e as dificuldades encontradas nos métodos de marcenaria tradicional, mas também para direcionar a pesquisa para a solução das limitações encontradas nesta prática, que buscou evidenciar as vantagens trazidas pela fabricação digital. Além disso, foi importante também para validar as dificuldades encontradas na fabricação de mobiliários

através dos métodos tradicionais, como o elevado tempo de fabricação e montagem, o alto custo dos produtos, e principalmente a falta de flexibilidade destes mobiliários ao longo da vida, pensando em um contexto em que a marcenaria é feita sob medida para determinados ambientes, tornando difícil ou muitas vezes impossível o aproveitamento dela em outros contextos e formas de morar.

Portanto, foi definido como objeto de estudo desta pesquisa, uma estante, que embasada pela falta de flexibilidade encontrada nos mobiliários fabricados através de métodos tradicionais, buscou apresentar características como a facilidade de montagem e desmontagem, a flexibilidade na disposição de suas prateleiras, e também a flexibilidade de usos, apresentando componentes que podem ser utilizados como armazenamento de calçados e garrafas, e também uma mesa para a realização de diversas tarefas.

Para tornar possível a fabricação digital desta estante, foi realizada mais uma vez, uma revisão bibliográfica, mas agora acerca da fabricação digital em si, buscando entender seus processos, técnicas e avaliar os maquinários disponíveis para a aplicação de cada uma dessas técnicas. Além disso, foram estudados alguns conceitos relevantes, como a prototipagem, o *nesting* e a parametria, e foi elaborado um panorama com os materiais mais comumente utilizados nestes processos. Foram analisadas as técnicas de encaixes, utilizadas em peças de madeira, e por fim, avaliados todos estes processos, que permitem a customização em massa dos produtos, permitindo a personalização dos artefatos em conjunto com a produção em série.

A revisão bibliográfica acerca dos conceitos e processos da fabricação digital guiou a tomada de decisões para a elaboração do *design* da estante, possibilitando a elaboração de um moodboard, com produtos de *design* que permearam a modelagem em 3D da estante deste trabalho. Além disso, este capítulo sobre a fabricação digital em si foi constantemente retroalimentado, como acontece na metodologia da Cibernética de 2ª ordem, a partir de inquietações e necessidades de análise e estudos aprofundados surgidos durante a fase de experimentação prática destas técnicas.

A experimentação prática de desenvolvimento da estante foi amplamente baseada nos conceitos da Cibernética de 2ª Ordem, ao utilizar a prototipagem como método. A prototipagem ocorreu em três etapas, e possibilitou a concretização da quarta etapa, onde a estante foi fabricada em MDF branco, de 15mm, em escala 1:1. Cada uma das quatro etapas que integraram essas experimentações, resultaram em feedbacks, que foram a base para os

aprimoramentos realizados no *design* de cada peça e componente da estante, que puderam ser sintetizados em uma tabela, e interpretados como as classes de problemas, sugeridas pela metodologia DSR, que também foi aplicada no contexto deste estudo. Ao se relacionar a etapa em que foi identificado o problema, (01, 02, 03 ou 04), foi possível também relacioná-las com o aprimoramento realizado, e visualizar a metodologia do feedback looping aplicada, onde cada uma das etapas gerou um feedback dos aprimoramentos que eram necessários, antes de se avançar para a próxima etapa.

Algumas limitações foram encontradas nas experimentações práticas das peças, decorrentes de alguns fatores como as limitações do maquinário utilizado, por não ser um equipamento com tecnologia de ponta, e também, de alguns fatores decorrentes do próprio processo, como a diferença de medida encontrada nas chapas de MDF, a necessidade ou não de folga em determinados encaixes das peças, assim como a quantificação desses valores de folga, que são muito particulares em função de cada máquina utilizada. Após as dificuldades encontradas em cada etapa da experimentação prática, é possível afirmar que cada maquinário apresenta suas especificidades e características peculiares, mesmo quando falamos de duas máquinas CNC Router, e possivelmente, mesmo quando falamos de maquinários da mesma marca. Tais características são possíveis de serem identificadas no uso prático de cada um desses maquinários, que revelam e validam a importância da prototipagem no processo de fabricação digital, que não somente demonstra os aprimoramentos necessários no *design* das peças, mas também nas configurações necessárias para cada tipo de maquinário.

Ao término do processo de experimentações das técnicas digitais empregadas na fabricação da estante, foi possível realizar o levantamento dos valores envolvidos no desenvolvimento deste mobiliário. Para que fosse possível realizar uma comparação, com um recorte em função do valor e do tempo de montagem, foram elencadas quatro marcenarias, atuantes na cidade de Campo Grande, MS, para fornecer orçamentos e estimativas de tempo de montagem para a mesma estante, com as mesmas dimensões, mas utilizando as técnicas mais conveniente para cada uma delas.

Com este material em mãos, foi possível atender ao objetivo de se realizar uma breve comparação entre os dois métodos de fabricação, e identificou-se que, os custos da fabricação digital mostraram-se muito vantajosos em relação à maioria das marcenarias, o que confirma essa potencialidade da fabricação digital. Porém, a comparação mais relevante ficou à cargo

do tempo de montagem, que se mostrou extremamente vantajosa, quando em aproximadamente 40 minutos, é possível montar uma estante fabricada digitalmente, contra as horas necessárias para a montagem das peças fabricadas tradicionalmente.

Por fim, como todo este diretório de experiências aqui realizadas, foi possível organizar o conteúdo elaborado, e ainda através da metodologia DSR, e também com aplicações de conceitos do *metadesign*, foi possível explicar o processo de *design* do *design*, através da elaboração de um *workflow* de todos os processos até aqui realizados, que puderam ser sintetizadas no produto final desta pesquisa, o Guia de Fabricação Digital para Mobiliários.

Antes de sua elaboração final, ainda conforme o exigido pela DSR, através da aplicação de um questionário, enviado para profissionais relacionados de alguma maneira com artefatos de marcenaria, foi possível validar a necessidade da elaboração deste material, pois, conforme demonstrado nas respostas obtidas, mesmo que uma grande parte dos participantes apresentasse algum conhecimento em relação a fabricação digital, muitos deles ainda não são conhecedores deste processo, e, o mais importante é que mesmo aqueles que o são, demonstraram interesse e revelaram a necessidade de um material que possa orientá-los nestes processos, guiando-os nas tomadas de decisão de projeto, e também orientando-os, de acordo com a experiência adquirida na fabricação da estante.

Duas conclusões finais acerca de todo o exposto nesta pesquisa podem ser afirmadas: apesar de ter sido possível elaborar e montar a estante final, em escala 1:1, conforme demonstrado na Figura 63, para este estudo, esta peça se mostrou satisfatória. Porém, pode-se pensar nela como ainda um protótipo, quando se abre o campo de visão, pensando por exemplo na comercialização da estante para possíveis clientes. Para que este passo seja tomado, ainda são identificados alguns aprimoramentos necessários, como por exemplo o refinamento das medidas de folga deixado entre as peças, e talvez a substituição de material dos suportes, que pode ser executado em ferro, e cortado a laser, por exemplo. Assim como podem ser utilizados maquinários com mais tecnologia, para análise do comportamento geral do processo.

A outra conclusão possível é que, mesmo que o guia forneça tópicos, dicas e passos que são importantes de serem cumpridos, antes da fabricação da peça final em escala 1:1, essas regras e diretrizes demonstram a importância de se pensar na fabricação, montagem e projeto de maneira simultânea, método este tão frisado ao longo de toda essa pesquisa. Porém, o conteúdo sintetizado no Guia de Fabricação Digital para Mobiliários não é capaz de

fornecer as informações individuais sobre cada máquina e suas capacidades locais, ficando estas informações ao momento de utilização de cada uma delas, no processo individual de cada usuário.

4.1 Sugestões para trabalhos futuros

Identificados ao longo desta pesquisa, sugere-se como sugestões para futuras etapas desta pesquisa, e também para trabalhos futuros:

- A parametrização da estante desenvolvida, com a elaboração de um script que forneça os custos finais da peça, atrelados às informações de dimensões gerais, utilização ou não dos componentes da mesa e suporte, cores e materiais, entre outros parâmetros que podem ser definidos;
- Continuidade da prototipagem da estante, utilizando-se outros maquinários com tecnologias mais avançadas, e também outros materiais, como ferro para a fabricação dos suportes;

Por fim, identifica-se também a potencialidade na elaboração de uma linha de mobiliários, seguindo o mesmo *design* e conceitos da estante aqui desenvolvida, para uma possível comercialização destes produtos, que será possibilitada pelas próximas etapas de prototipagens, acima sugeridas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, Júlia Souza; NUNES, Viviane Guimarães Alvim. **Design de Projetos Complexos: Implicações Ambientais no Uso das Manufaturas Subtrativas**. MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 5, p. 123-134, dez. 2019. ISSN 24473073. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n5.123-134>

ACE DESIGN INSTITUTE. **Create a parametric model of a basic shelf in grasshopper**. YouTube, 19 ago 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NbEZxTE0ItQ>. Acesso em: 21 out 2023.

ALVES, Gilfranco Medeiros; NOJIMOTO, Cynthia. **Strings Pavilion: o processo de design**. VIRUS, São Carlos, n. 6, dezembro 2011. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus06/?sec=6&item=2&lang=pt>. Acesso em: 15 out 2023.

ALVES, Gilfranco; TRUJILLO, Juliana. **Processos digitais de projeto: mudança de paradigma no ensino da Arquitetura e Urbanismo**. In: SEMINÁRIO PROJETAR, 7., 2015, Recife. Anais [...]. Recife: Grupo Projetar UFRN, 2015.p. 131-142. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282324761_Processos digitais de projeto mudança de paradigma no ensino da Arquitetura e Urbanismo Digital design paradigm change in the teaching of Architecture and Urbanism Procesos digitales de diseno cam bio](https://www.researchgate.net/publication/282324761_Processos_digita%20is_de_projeto_mudanca_de_paradigma_no_ensino_da_Arquitetura_e_Urbanismo_Digital_design_paradigm_change_in_the_teaching_of_Architecture_and_Urbanism_Procesos_digita%20es_de_dise%20no_cam%20bio)

ANDRADE, Max. **Prototipagem Rápida**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 164. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

ARANTES, Taynah Ferreira. **Design Aberto e Fabricação Digital: uma tendência do futuro no design de móveis**. 2021. 70f. Dissertação (Graduação em Design) – Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2021.

ARAÚJO, Cristiane Karyn de Carvalho. **Práticas de economia circular no sistema produtivo de painéis de madeira**. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2020.

ARCHDAILY. **50 juntas digitais para download para marcenaria**. 2016. Acesso em 3 nov. de 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com/797107/50-downloadable-digital-joints-for-woodworking>. ISSN 0719-8884

ARCHIEXPO. 2023. Site oficial. Acesso em: 29 out. 2023. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/thonet/product-63041-1462661.html>

Archipreneur. **9 arquitetos empreendedores que desenvolveram produtos e serviços inovadores. [9 Entrepreneurial Architects Who Developed Innovative Products and Services]**. 15 Set 2015. ArchDaily Brasil. (Trad. Santiago PEDROTTI, Gabriel). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/773464/9-entrepreneurial-architects-who-developed-innovative-products-and-services>. Acesso em: 25 Out 2023.

ARRUDA, Glória Lúcia Rodriguez Correia de. **O Design na Indústria Moveleira Brasileira e seus Aspectos Sustentáveis: estudo de caso no polo moveleiro de Arapongas-PR**. 2009. Dissertação (Mestrado em *Design*) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/89711?show=full>.

ASHBY, Mike. JOHNSON, Kara. **The art of materials selection**. 2003. *Materials Today* 6. (12), p. 24-35. DOI: 10.1016/S1369-7021(03)01223-9.

BARBOSA NETO, Wilson. **Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica**. 2013. 234p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, p. 112, 2013.

BARBOSA NETO, Wilson; ARAÚJO, André; CELANI, Gabriela. **Modelagem paramétrica para o projeto e produção automatizados de uma peça de mobiliário: um exercício de aplicação.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16., 2012, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: SIGRADI, 2012. Disponível em: <http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2012_54.content.pdf.>

BARROS, Alexandre Monteiro de. **Fabricação Digital: Sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental.** 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em *Design*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.

BUENO, Ernesto. **Grasshopper.** In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 118. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

CABRAL FILHO, José dos Santos. **Cibernética.** In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 58. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

CALDAS, Daniel Trindade. **Relações e diferenças no desenvolvimento de mobiliários por intermédio de técnicas digitais e tradicionais de marcenaria.** 2021. 160 f. Dissertação (Mestrado em *Design*) - Programa de Pós-Graduação em *Design*, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2021.

CALDAS, Daniel Trindade; TORRES, Pablo Marcel de Arruda. **Estudo de caso de um mobiliário produzido por meio das técnicas de fabricação digital.** Projética, Londrina, v. 13, n. 2, p. 42-60, 2022. DOI: 10.5433/2236-2207.2022v13n2p42

CAMPOS, Cristiane Inácio de; LAHR, Francisco Antônio Rocco. **MDF - Processo de produção, propriedades e aplicações.** 2002. Anais. Natal: UFRN, 2002. Acesso em: 02 nov. 2023. Disponível em: https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2002/arqs_pdf/pdf_200/tc206-028.pdf

CANUTO, Robson. **Mass Customization**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 134. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

CARDOSO, Rafael. **Uma introdução à história do *design***. São Paulo, Editora Blucher, 2008.

CARVALHO, Anamaria Ribeiro de Lima. **Movelaria e Fabricação Digital: Ressignificando a marcenaria tradicional com ênfase na Inovação Sustentável em *Design***. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2023.

CELANI, Gabriela; LEITE, Raquel Magalhães. **Trajetórias e nuances da personalização em série**. PIXO-Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade, v. 5, n. 17, p. 278-285, 2021.

CELANI, Maria Gabriela Caffarena; PUPO, Regiane Trevisan. **Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção: Definições e Estado da Arte no Brasil**. 2008. Caderno de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, [S. l.], v. 8, n. 1 – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

CHAVES, Liliâne Iten. ***Design* para a Sustentabilidade Ambiental: estratégias, métodos e ferramentas de *design* para o setor de móveis**. Estudos em *Design*, v. 18, n. 1, 2010.

COMELLI, Larissa Abreu. **Arquitetura japonesa: inventário do uso dos encaixes estruturais de madeira**. Dissertação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Universitário de Belas Artes de São Paulo. São Paulo, 2018.

COOPER, Hewitt. ***Design for the other 90%***. National Design Museum, Smithsonian Institution. Catálogo. Nova Iorque. 2007.

CORRÊA, Natália de Andrade; ALVES, Gilfranco Medeiros. **From Parametric *Design* to Contour Crafting Technics: A Lab for Algo+Ritmo, a Brazilian Research Group**. p. 336. In: Congresso

SIGraDi 2020. São Paulo: Blucher, 2020. p.334-341. ISSN 2318-6968. DOI: 10.5151/sigradi2020-46.

CUPANI, A. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2011.

DE ALCÂNTARA FILHO, Jorge Alexandre Salvador; MENDES, Leticia Teixeira. **Um experimento de fabricação digital: parametrização, prototipagem e fabricação de painel**. Revista Geometria Gráfica: RGG, v. 1, n. 1, p. 81-98, 2017.

DE LAURENTIS, Gabriela. **Os valores do trabalho manual: passado e presente**. 2022. 203 f. Dissertação (Mestrado em *Design*) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DI STASI, Mariah Guimarães e PRATSCHKE, Anja. **Cibernética: metodologia para o processo de projeto responsável**. 2018, Anais. Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB, 2018. p. 123-134. Disponível em: <http://ensu2018.paginas.ufsc.br/files/2018/04/ANAIS-ENSUS-2018-Volume-III.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

DOMINGUES, Eduardo Hernandes. **Artesanato Digital na produção pré-fabricada de edificações de alta eficiência energética**. 2014. 117f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JUNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

DROSTE, Magdalena. **Bauhaus, 1919-1933**. Taschen, 2002.

DURANTE, Sílvio. **Enciclopédia Biográfica de Arquitetos Digital – Otto Wagner**. Documento nº: W01. 2015. Disponível em: <http://www.ebad.info/#!wagner-otto/c1b32>. Acesso em: 28 out 2023.

DURATEX. Site Oficial. Disponível em: <https://www.duratexmadeira.com.br/>. Acesso em: 02 nov. 2023

FERRARY, Felipe Rodrigues. **Apoio à tomada de decisão e minimização da perda de matéria prima em processos de manufatura.** 2015. 143f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

FERRO, Fabiane, et al. **Avaliação do ciclo de vida de painéis compósitos à base de madeira: estudo de caso em painéis OSB.** In: International Workshop Advances in Cleaner Production. 20-22 de maio de 2015. São Paulo.

FLORIO, Wilson. **Modelagem Paramétrica.** In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 139. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

FONSECA, Juliane. **File-to-Factory.** In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 100. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

_____ b. **Técnicas Aditivas.** In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 195. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

FREDIANI, Beatriz dos Santos; PIMENTEL, Gabriel Caê Duarte; MEDEIROS, Ceres Luehring. **O design na semana de arte moderna de 1922: do ofício à arte.** Caderno PAIC, v. 23, n. 1, p. 531–550, 2022. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/510>

FREITAS JUNIOR, Vanderlei et al. **Design Science Research Methodology Enquanto Estratégia Metodológica para a Pesquisa Tecnológica.** Revistas Espacios, v. 38, n. 6, p. 25, 2017.

GALVÃO, Arabella. **História do Mobiliário.** Material Didático. Universidade Federal do Paraná–UFPR. v. 2, p.1-24, 2016.

GONÇALVES Franz Brinner. **CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA: Estratégia de Fornecimento de Produtos Customizados na Visão do *Design***. *Arte* 21, [S. l.], v. 20, n. 01, p. 6–25, 2024. DOI: 10.62507/a21.v20i01.447. Disponível em: <https://revistas.belasartes.br/arte21/article/view/447>. Acesso em: 2 jun. 2024.

GUERRA, Raphael Afonso. **Impressão 3D de conectores baseados em modelos matemáticos para aplicação em mobiliário**. 2019. Tese (Mestrado em *Design* Industrial e de Produto) – Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Ikea. Acesso em 02 jul 2024. Disponível em: <https://www.ikea.com>

JÚNIOR, Bonfim Amaro et al. **A HYBRID APPROACH FOR THE NESTING PROBLEM: CASE STUDY ON A TEXTILE INDUSTRY**. XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2013. p.1396-1497. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0316.pdf>. Acesso em: 25 out 2023.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the digital age: *design* and manufacturing**. 2005. New York: Taylor e Francis, 314p.

LACROIX, Igor. **Roteiro de produção digital: processo CAEDM para projeto paramétrico e fabricação digital em arquitetura**. 2020. 279 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília.

LARA, Arthur Hunold. **Desenho Paramétrico**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 78. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4.

LEFTERI, Chris. **Como se faz: 92 técnicas de fabricação para *design* de produtos**. São Paulo: Blucher, 2013.

LEITE, Denivaldo Pereira; MARTINS, Júlia Tenuta. **Processos projetuais emergentes: A utilização de *Design Digital* e Prototipagem Rápida aplicados em Extensão Universitária.** In: Anais do XIX Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital-SiGraDI. Blucher *Design Proceedings*, v. 2, n. 3, p. 558-563, 2015.

LOPES, Gonçalo Teixeira Ferreira. **Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal.

MARÇAL, Ricardo Farinha. **Mobiliário em kit, o *design* embalado.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em *Design* Industrial, Faculdade de Engenharia do Porto, Cidade do Porto, Portugal.

MATOS, Beatriz M. et al. ***Design* de mobiliários com chapas de MDF e aplicação de conceitos de sustentabilidade.** In: Fourth International Conference on Integration of *Design*, Engineering and Management for innovation. Contemporânea, v. 1, p. 4. Florianópolis, 2015.

MATTOS, René Luiz Grion; CHAGAS, Flávia Barros das; GONÇALVES, Roberta Mendes. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MARTINI, Fátima Regina Sans. **História do mobiliário: Egito Antigo.** *Universitas: Arquitetura e Comunicação Social*, v. 13, n. 1, p. 11-24, 2016. DOI: 10.5102/uc. V. 13. i. 1. 4100.

MINEIRO, Érico; MAGALHÃES, Claudio. **Da Fabricação Digital para o *Design*: propriedades emergentes e implicações.** p. 4801-4813. In: Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em *Design* (2018). São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2318-6968. DOI 10.5151/ped2018-6.1_ACO_02

MONTJOY, Valeria. **Mobiliários impressos em 3D: 12 *designs* que exploram a artesanía digital.** 2023. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo) Acesso em 31 Out 2023. Disponível em:

<https://www.archdaily.com.br/br/997708/mobiliarios-impessos-em-3d-12-designs-que-exploram-a-artesania-digital>. ISSN 0719-8906

MORAIS, Vinícius. **CNC – Computer Numering Control**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 66. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

MORANDINI, Moisés Miranda; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. **IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências**. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 2, p. 67-77, 2020.

MOURA, Mônica. **Design coletivo: grupos, movimentos e escolas do moderno ao contemporâneo**. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 164 p. ISBN: 978-65-5714-296-7. DOI: <https://doi.org/10.7476/9786557142967>

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. 3ª edição. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 2008.

NAN, Cristina. **A New Machinecraft: A critical evolution of Architectural Robots**. 16th International Caad Futures Conference, São Paulo: Springer Book, 2015. p. 422-438.

ONU. Nações Unidas do Brasil, c2022. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 23 de jun. 2022.

ORCIUOLI, Affonso. **Marcenaria Digital: design e fabricação sustentável**. 2012. In: SIGraDi 2012 [Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics]. Fortaleza, 13-16 Nov 2012, pp. 653-656. Disponível em: papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_104.content.pdf

_____. **Nest**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 143. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

ORCIUOLI, Affonso; BAQUERO, Pablo. **Teaching strategies for digital fabrication**. p. 345-349. In: Anais do Sigradi 2014. São Paulo: Blucher *Design Proceedings*, 2014, v. 1, n. 8. DOI: <https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/sigradi2014/0069.pdf>

ORCIUOLI, Affonso; PUPO, Regiane Trevisan. **Experiência sem Fronteiras**. p. 641-644. In: Sigradi 2012

ORLANDO, Alex Júnior; FILHO, Ramilio Reis. **Evolução do comando numérico computadorizado**. Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 1, p. 606-617, p.610, 2021.

PAIO, Alexandra. **Técnicas Formativas**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 197. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

PIEKARSKI, Cassiano Moro. **Proposta de melhoria do desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da produção do painel de madeira MDF**. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

PINE, Joseph. **Mass customization: the new frontier in business competition**. Harvard: Harvard Business Press, 1993.

PINTO, Yuri Assis; PUPO, Regiane. **Explorando a ferramenta de programação em *design*: um estudo sobre grasshopper**. In: XIX Congresso Ibero-Americano de *Design* Gráfico Blucher *Design Proceedings*. 2015. p. 686-690.

PUPO, Regiane Trevisan. **Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 1, n. 3, p. 80-98, 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol1/n3/vol1-n3-pupo.pdf> Acesso em 30 Out. 2023.

_____. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. 240 p. Tese (doutorado) -

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=000442574>. Acesso em: 30 out. 2023.

_____. **Técnicas Subtrativas**. In: 101 CONCEITOS DE ARQUITETURA E URBANISMO NA ERA DIGITAL. São Paulo, 2016. p. 199. 1a Edição. Ed. ProBooks. ISBN: 978-85-61453-53-4

RAMOS, Lúcia Flávia Milani Dias. **Uma contribuição ao estudo dos móveis de madeira e seus derivados**. 2013. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, Mato Grosso. Disponível em: <<http://ri.ufmt.br/handle/1/1650>>

RBFD - Rede Brasileira de Fabricação Digital. **AULA 01 - CNC aplicada ao *design* e arquitetura**. YouTube, 22 julho 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ya3qEu0OAs>.

RIBEIRO, Sônia Marques Antunes; LOURENÇO, Carolina Amorim. **Bauhaus: uma pedagogia para o *design***. Estudos em *Design*, v. 20, n. 1, p. 1-24, 2012.

RUGGIERO, Mirella Nass. **Estruturas reticuladas de bambu laminado: uma reflexão sobre o emprego da fabricação digital na arquitetura contemporânea**. 2021. 297p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.11606/T.16.2021.tde-18012022-115321> >

RYBERG, Maria Candelária et al. **A fabricação digital como ferramenta de processo de projeto: conectando *design* e arquitetura**. In: Anais do XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital. 2015. p. 153-160.

SANTOS, Maria Cecilia Loschiavo. **Design, resíduos & dignidade**. São Paulo: Editoria Olhares, 2014

SEELY, Jennifer C. K. **Digital fabrication in the architectural *design* process.** 2004. 77f. Dissertação (Master of Science in Architecture Studies) – MIT, Dept. of Architecture, Massachusetts, 2004.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil.** 207p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2012.

SILVA, Guilherme Cardoso da et al. **Fabricação digital de conectores: uma forma de inovação em *design* imobiliário.** Bernardes, Mauricio Moreira e Silva; Linden, Júlio Carlos de Souza van der (orgs.). *Design em pesquisa: vol 1.* Porto Alegre: Marcavisual, 2017. p. 309-326, 2017.

SOUZA, Eduardo. **Móveis open source: Faça o download e construa sua mobília.** 2020. ArchDaily Brasil. Acesso em: 31 Out 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/911777/moveis-open-source-o-faca-voce-mesmo-elevado-a-outro-nivel>. ISSN 0719-8906

_____. **Painéis de madeira: As diferenças entre MDF, MDP, Compensado e OSB.** 2020b. ArchDaily Brasil. Acesso em: 2 nov. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/926416/paineis-de-madeira-as-diferencas-entre-mdf-mdp-compensado-e-osb>. ISSN 0719-8906.

Tylko. Acesso em 09 mar 2024. Disponível em: tylko.com

VASSÃO, Caio Adorno. **Arquitetura livre: complexidade, *metadesign* e ciência nômade.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VASSÃO, Caio Adorno. ***Metadesign: ferramentas, estratégias e ética para a complexidade.*** Coleção pensando o *design*. São Paulo: Blucher, 2010.

Walter, Aarron. **Designing for Emotion**. A Book Apart. New York, 2011. p.68. ISBN 978-1-937557-00-3. Acesso em: 02 fev 2024. Disponível em: <https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/The%20Actually%20Useful%20Programming%20Library/Design/Designing%20for%20Emotion%20-%20Spool%20-%20A%20Book%20Apart%20%282011%29.pdf>

WILTGEN, Filipe; LOPES, Marcelo. **Manufatura aditiva e subtrativa na construção de moldes mecânicos híbridos para aplicação em manufatura formativa**. RETEC-Revista de Tecnologias, v. 15, n. 1, p. 45-63, 2022.

6 APÊNDICE 01 – QUESTIONÁRIO APLICADO

02/07/2024, 16:06

Vamos falar sobre Fabricação Digital?

Vamos falar sobre Fabricação Digital?

Questionário elaborado como parte de uma pesquisa de mestrado, que tem como título: A Fabricação Digital aplicada no processo de desenvolvimento de Design de Mobiliário.

mariel_selingardi@ufms.br [Mudar de conta](#)



Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

Nome *

Sua resposta

Ocupação *

- Arquiteto
- Engenheiro
- Designer de Interiores
- Marceneiro
- Maker
- Outro:



02/07/2024, 16:06

Vamos falar sobre Fabricação Digital?

Você tem algum contato com a fabricação de mobiliários? Seja como fabricante, *
cliente, arquiteto, qualquer forma de contato..

- SIM
- NÃO
- Outro:

Você já ouviu falar sobre Fabricação Digital? *

- SIM
- NÃO

Em uma escala linear, onde 1 corresponde a muito pouco ou nenhum, e 3 *
corresponde a muito, qual seu nível de conhecimento acerca dos processos
envolvidos na fabricação digital de um artefato?

- 1 2 3
-

Se você precisasse fabricar uma peça digitalmente, saberia por onde começar? *

- SIM
- NÃO



02/07/2024, 16:06

Vamos falar sobre Fabricação Digital?

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 quer dizer 'não tem necessidade' e 5 quer dizer 'totalmente necessário', quão necessário você acha a elaboração de um guia que oriente os interessados no assunto a produzirem um artefato através da fabricação digital? *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Enviar

Limpar formulário

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este formulário foi criado em Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. [Denunciar abuso](#)

Google Formulários



7 APÊNDICE 02 – ORÇAMENTO DAS MARCENARIAS A, B, C E D

7.1 Orçamento Marcenaria A



Rua Guanabara, 576 – Jardim Imá, Campo Grande/MS
 CNPJ: 36.972.781/0001-23
 Whatsapp: (67) 9 9231-3551 / (67) 9 9251-3544
 E-mail: marcoambientesplanejados@gmail.com

ORÇAMENTO PARA MÓVEIS PLANEJADOS

DADOS	
DATA DE ENVIO: 20/06/2024	VÁLIDO ATÉ: 30 DIAS A PARTIR DA DATA DE ENVIO

CLIENTE			
NOME:	MARIEL		
TELEFONE:		E-MAIL:	
CPF:		RG:	
ARQUITETO (A):	SELINGARDI		

DESCRIÇÃO			
ITEM:	PRODUTO/SERVIÇO:	ACABAMENTO:	VALOR:
1	Estante sem fita de borda, nas medidas indicadas no projeto 0,97 x 0,40 x 2,30m	Int: MDF BRANCO COMUM 15MM	R\$800,00

SUBTOTAL:	DESCONTOS:	VALOR TOTAL:
R\$800,00		

1

- PUXADORES CONFORME PROJETO
- CORREDIÇAS TELESCÓPICAS COM AMORTECEDOR
- DOBRADIÇAS COM AMORTECEDOR

- TODOS OS ITENS COM 5 ANOS DE GARANTIA
- FORMA DE PAGAMENTO: A DEFINIR
- PRAZO DE ENTREGA: A DEFINIR

CPF XXXXXXXXXXX

MARCO AMBIENTES PLANEJADOS
CNPJ: 36.972.781/0001-23

7.2 Orçamento Marcenaria B

MARCENARIA GI-TALLY

ORÇAMENTO

Data: 27/06/2024

Cliente: Mariel

01. Especificação dos Materiais

100% MDF; 6mm; 15mm; 18mm;

Mdf Branco tx na parte interna;

Áreas umidas com mdf hidrófugo parte inferior e base em compensado naval para rodapé dos armários; (banheiros, cozinha e lavanderia);

Espessuras dos móveis respeitando o detalhamento do projeto;

Incluso rasgo para receber iluminação embutida nos móveis conforme o projeto;

FERRAGENS: Dobradiças de grau com amortecedor, pistões a gás, corrediças metálicas telescópicas.

Obs.: Neste orçamento não inclui elétricas, espelhos, ferragens especiais, puxadores especiais, hidráulicas, pedras ou gesso.

Somente Mercenária, sem modificações após iniciado o trabalho;

Assistência técnica vitalícia enquanto tiver os móveis; Garantia de 05 anos defeito de fabricação;

(modelo conforme projeto)

SALA

Estante com uma mesinha (2,30 A x 0,40 P x 0,97 L)

Mdf branco

R\$ 3.300,00

Forma de pagamento

Valor para pagamento à vista entrada 50% e restante na entrega dos móveis;

Parcelado 50% em até 10x no cartão de crédito e restante na entrega dos móveis;

Outras formas à combinar.

02. Prazo de Entrega

ENTREGA em até 30 dias úteis após a entrada do valor e da confirmação do projeto.

Orçamento válido por 15 dias

MOVEIS PLANEJADOS GI-TALLY MARCENARIA CNPJ 48.495.085/0001-52

Fone: (67) 991508407 (67) 92612027 - Rua Dr. Zerbini,842, Sala 03 Bairro Chácara Cachoeira

7.3 Orçamento Marcenaria C



PROPOSTA DE ORÇAMENTO

Cliente: Arquiteta Mariel

Endereço: -

Data: 21.06.2024

Projeto de marcenaria de acordo com as medidas do projeto enviado pela arquiteta.

Ambiente	Valor
Estante – MDF Branco Comum	R\$ 1.200,00
TOTAL	R\$ 1.200,00

7.4 Orçamento Marcenaria D



ORÇAMENTO

CLIENTE: Arquiteta Mariel

AMBIENTE	ITENS	MATERIAL
Sala	Estante	MDF Branco comum – 15mm

OBS: A parte interna de todos os armários descritos acima será entregue no MDF branco comum, exceto aqueles que tiverem sido especificados no projeto com algum MDF específico. Serão entregues os puxadores especificados como Fecho Toque, puxador cava, perfil, facetado, ou outro modelo que seja embutido no móvel.

OBS II: Não estão incluídos neste serviço a entrega de espelhos e vidros, além de acessórios decorativos, eletrodomésticos, pedras (mármore e granito), torneiras, iluminação, gesso. Também não estão incluídas as divisórias internas de gaveta de veludo, fechaduras, chaves, e puxadores externos ou com design específico.

VALOR TOTAL:

R\$ 1.600,00

Campo Grande, 25 de junho de 2024.

CONTRATANTE

CONTRATADO