



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Eduardo Benites Cabral

SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO DE MOBILIÁRIO PARAMÉTRICO
APLICADO AO CONTEXTO MAKER

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2021

EDUARDO BENITES CABRAL

**Sistema de Customização de Mobiliário Paramétrico Aplicado ao
Contexto Maker**

Projeto de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof^a. Dr^a Underléa Miotto Bruscato

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Cabral, Eduardo Benites
□ SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO DE MOBILIÁRIO PARAMÉTRICO
APLICADO AO CONTEXTO MAKER / Eduardo Benites Cabral.
-- 2021.
191 f.
Orientadora: Underléa Miotto Bruscato.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Customização de mobiliários. 2. Mobiliário de
fabricação Digital. 3. Configurador de Produto. 4.
Mobiliário Maker. I. Bruscato, Underléa Miotto,
orient. II. Título.

Eduardo Benites Cabral

**SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO DE MOBILIÁRIO PARAMÉTRICO APLICADO AO
CONTEXTO MAKER**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 05 de outubro de 2021.

Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof.^a Dr.^a Underléa Miotto Bruscato**

PGDesign - Departamento de Arquitetura da UFRGS

Prof.^a Dr.^a Andréa Quadrado Mussi

PPGARQ IMED – Examinador Externo

Prof. Dr.^a Angélica Paiva Ponzio

PROPAR UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Júlio Carlos de Souza van der Linden

PGDesign UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha orientadora Léia, Prof^a Dr^a Underléa Miotto Bruscato, por me ajudar a trilhar o caminho e pelo incansável incentivo, dedicação, ensinamentos e amizade.

Às professoras Andrea Quadrado Mussi, Angélica Paiva Ponzio e ao professor Júlio Van der Linden, por avaliarem este trabalho e por fornecer importantes discussões e caminhos na qualificação.

Aos colegas e amigos que conheci na jornada, em especial Rafael Puig, Emílio Bier e Bárbara Lorenzoni pelos risos, apoio, parceria nos trabalhos e incentivo mútuo.

Aos meus amigos, em especial aos queridos Carlos, Cecela, Dani, Dafne e Marja, pelo carinho, amor e força a todos os momentos.

Aos meus pais, Fernando José Cunha Cabral e Vera Edy Benites Cabral, e meus irmãos Felipe Benites Cabral e Marcelo Benites Cabral pelo apoio e amor incondicional.

Ao Samuca e a Vivi, pelos aprendizados, trabalhos, parcerias e pelo mergulho no mundo maker.

Agradeço a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante a realização do mestrado.

RESUMO

CABRAL, E. B. **Sistema De Customização De Mobiliário Paramétrico Aplicado Ao Contexto Maker** 2021. 191 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

O conceito de customização em massa foi introduzido nas décadas de 1970 e 1980, como resposta a mudanças culturais dos consumidores. Embora presente em diferentes segmentos industriais, como o mobiliário, apenas recentemente o conceito pôde ser aplicado de forma mais abrangente, viabilizado pela popularização de tecnologias como a fabricação digital e projetos auxiliados por computador. Valendo-se de transformações no comportamento do consumidor se identificou o uso destas tecnologias pelo movimento *maker*, que se caracteriza entre outros aspectos pela disseminação de projetos digitais, pela produção customizada e/ou distribuída, bem como pelo uso de espaços capacitados para a produção digital de objetos, como o mobiliário. Propõe-se o desenvolvimento de artefatos que compõe um sistema para implementação de ferramentas de projeto paramétrico como facilitador na concepção e produção destes objetos, visto que apresentam novos paradigmas de projeto e execução. Sendo esta pesquisa de caráter qualitativo e prescritivo, como metodologia utiliza-se a *design science research* a partir de uma implementação dos artefatos propostos em contexto real, de empresa de pequeno porte de produção de mobiliários com características *maker* na cidade de Porto Alegre/RS, tendo como produto avaliado um mobiliário tipo mesa de trabalho de projeto flexível e fabricação digital, com interação do consumidor a partir de configurador online. A análise do sistema desenvolvido ocorreu através da análise qualitativa dos resultados alcançados, vantagens e desvantagens em relação aos processos padronizados e nível de customização alcançado. Como resultado, observou-se grande eficácia no que diz respeito à adaptação de projetos e fabricação de mobiliários customizados, com flexibilidade e controle dos limites de projeto. Por fim, foi possível verificar a viabilidade de implementação de processos paramétricos e configuradores como facilitadores na customização de mobiliários no contexto de pequenas empresas e produção de característica *maker*.

Palavras-chave: Customização em massa, movimento *maker*, design paramétrico, mobiliário de fabricação digital.

ABSTRACT

CABRAL, E. B. **Sistema De Customização De Mobiliário Paramétrico Aplicado Ao Contexto Maker** 2022. 191 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

The concept of mass customization was introduced in the 1970s and 1980s in response to consumer cultural changes. Although present in different industrial segments, such as furniture, only recently the concept could be applied in a more comprehensive way, it was made possible by the popularization of technologies such as digital manufacturing and computer-aided projects. Using transformations in consumer behavior, the use of these technologies was identified by the maker movement, which is characterized among other things, by the dissemination of digital projects, by customized and/or distributed production, and by the use of spaces enabled for digital production of objects such as furniture. It is proposed the development of artifacts that make up a system for implementing parametric design tools as a facilitator in the design and production of these objects, as they present new design and execution paradigms. As this research is qualitative and prescriptive, design science research is used as a methodology for an implementation of the proposed artifacts in a real context, of a small furniture production company with maker characteristics in the city of Porto Alegre/RS, having as evaluated product a worktable type furniture with flexible design and digital fabrication with consumer interaction through an online configurator. The analysis of the developed system took place through the qualitative analysis of the results achieved, advantages and disadvantages in relation to the standardized processes and the level of customization reached. As a result, it was observed great effectiveness regarding the adaptation of projects and manufacture of customized furniture, with flexibility and control of project limits. Finally, it was possible to verify the feasibility of implementing parametric processes and configure them as facilitators of automated customization in the context of small companies with maker characteristics.

Keywords: Mass customization, maker movement, parametric design, digitally fabricated furniture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do tema	17
Figura 2 – Mudanças de paradigma na produção	19
Figura 3 – Elementos funcionais, físicos e interfaces de uma cadeira	24
Figura 4 – Arquitetura de produto e flexibilidade	25
Figura 5 – Tipos de modularidade	26
Figura 6 – Graus de customização	27
Figura 7 – Estratégias de CM	28
Figura 8 – Modularidade e graus de CM	30
Figura 9 – Visão Tradicional de Design	31
Figura 10 – Novas visões de design	31
Figura 11 – Abordagens de negócios <i>maker</i>	33
Figura 12 – Configurador Tylko	36
Figura 13 – Configurador <i>Shape Diver</i>	37
Figura 14 – <i>Sketchchair</i>	38
Figura 15 – Cadeira Valoví	39
Figura 16 – Cenário da produção virtual	41
Figura 17 – Escopo de design para customização em massa	43
Figura 18 – Framework de design de família de produtos	44
Figura 19 – Exemplo de parâmetros dimensionais de um projeto customizável	45
Figura 20 – Processo de design de artefatos customizáveis	46
Figura 21 – Modelos CAD e CAE	50
Figura 22 – Modelos de Formação Digital	51
Figura 23 – Modelos Generativos	52
Figura 24 – Processo Generativo	53
Figura 25 – Diagrama <i>flow</i>	58
Figura 26 – Diagrama de nós no Grasshopper	59
Figura 27 – Grasshopper® e Rhinoceros®	59
Figura 28 – Componentes do Grasshopper®	60
Figura 29 – Layer Chair – Modelo Paramétrico	61
Figura 30 – Layer Chair – Variações	61
Figura 31 – Esquema Paramétrico	62
Figura 32 – Métodos de Produção Automatizada	65

Figura 33 – Parâmetros de usinagem CNC	68
Figura 34 – Fresadora CNC	68
Figura 35 – Classificação de espaços de prototipagem e produção	71
Figura 36 – Mobiliários Opendesk	73
Figura 37 – Conectores para FD em chapas de madeira	74
Figura 38 – Produtos AtFab	75
Figura 39 – Configurador AtFab	75
Figura 40 – Estratégia de Pesquisa	78
Figura 41 – Delineamento da Pesquisa	82
Figura 42 – Projeto dos Artefatos	88
Figura 43 – Mapa de avaliação: grau de customização	90
Figura 44 – Método de avaliação do espaço de solução	91
Figura 45 – Método de projeto customizável	93
Figura 46 – Condicionantes de estilo	94
Figura 47 – Método de Projeto Paramétrico de Produto Customizável	97
Figura 48 – Estratégias de projeto dos módulos	99
Figura 49 – Método de Configurador <i>Online</i>	101
Figura 50 – Projeto dos Artefatos e Relações	104
Figura 51 – Área de produção da empresa contexto	105
Figura 52 – Produtos desenvolvidos pela empresa contexto	106
Figura 53 – Características do equipamento de FD utilizado	107
Figura 54 – Arranjo dos elementos funcionais	109
Figura 55 – Arranjo dos Elementos Físicos do Produto e Interfaces	110
Figura 56 – Exemplos de Croquis de Hipóteses de Design do Produto	111
Figura 57 – Croqui: Protótipo 01 e Planificação	112
Figura 58 – Seleção de Design	112
Figura 59 – Planificação dos módulos do modelo	113
Figura 60 – Tipos de Interface do Projeto Básico	114
Figura 61 – Protótipo 02	115
Figura 62 – Protótipo 03	115
Figura 63 – Estratégia de decomposição dos subproblemas	117
Figura 64 – Number Slider <i>Etam=Emat</i>	119
Figura 65 – Valores mínimos e máximos para mesas de trabalho	120

Figura 66 – Dimensões mínimas e máximas por atividade	120
Figura 67 – Sistema de coordenadas em relação às variáveis	122
Figura 68 – Mapeamento dos Pontos do Módulo Pés	123
Figura 69 – Componente <i>Expression</i>	125
Figura 70 – Ampliação do Esquema Paramétrico - Módulo Pés	125
Figura 71 – Visualização do Teste Incremental das Regras Compositivas	126
Figura 72 – <i>Cluster</i> Pés	126
Figura 73 – Intervenção no cluster pés	127
Figura 74 – Esquema Paramétrico de Representação da Formal	127
Figura 75 – Decomposição formal das interfaces Tipo 01	128
Figura 76 – Componente de Interface Tampo-Pés	129
Figura 77 – Componente de Interface Trave-Tampo	130
Figura 78 – Organização dos dados em componentes <i>geometry</i>	131
Figura 79 – Condicionante de forma dos pés	132
Figura 80 – Adição e extração de informação de <i>layers</i> nas geometrias	133
Figura 81 – Planificação das geometrias	134
Figura 82 – Solução de design (exemplo simplificado)	135
Figura 83 – Processo de compra e produção de produto customizável	136
Figura 84 – Projeto dos Elementos Funcionais do Configurador	141
Figura 85 – Elementos Gráficos do Configurador	142
Figura 86 – Layout do configurador	143
Figura 87 – Estratégia de <i>scripting</i> do configurador	145
Figura 88 – Esquema simplificado do algoritmo definido em <i>script</i>	146
Figura 89 – Exemplos de protótipos virtuais do configurador	147
Figura 90 – Configuração de Exemplar Customizado	148
Figura 91 – Exemplar customizado fabricado	149
Figura 92 – QRCode – Configurador	149
Figura 93 – Mapeamento do artefato quanto ao grau de customização	151
Figura 94 – Avaliação do espaço de solução	153
Figura 95 – Alguns dos exemplares comercializados	155
Figura 96 – Edith com painel	

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Aspectos dos paradigmas de produção	21
Quadro 02 – Termos utilizados para CM	28
Quadro 03 – Abordagens de negócios maker	33
Quadro 04 – Atributos da Fábricas	64
Quadro 05 – Métodos de FD subtrativos	67
Quadro 06 – Requisitos gerais	89
Quadro 07 – Variáveis básicas	118
Quadro 08 – Valores das variáveis básicas	121
Quadro 09 – Regras compositivas do módulo Pés	124
Quadro 10 – Aspectos de customização do configurador	139
Quadro 11 – Tipos de Interação	142

LISTA DE ABREVIATURAS

2.5D	Duas dimensões e meia
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacture
CM	Customização em massa
CNC	Computer Numeric Control
DD	Design Digital
DFMC	Design for Mass Customization
DIY	Do-It-Yourself, ou faça-você-mesmo.
DSR	Design Science Research
FD	Fabricação digital
FDM	Fused Deposition Modeling
FMS	Flexible Manufacture Systems
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MIT	Massachussetts Institute os Technology
MM	Movimento maker

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
1.2	RELEVÂNCIA	15
1.3	DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.4	OBJETIVOS	17
1.4.1	Objetivo geral	17
1.4.2	Objetivos específicos	18
1.5	ESTRUTURA DO PROJETO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA	19
2.1.1	Plataforma e arquitetura de produto	22
2.1.2	Modularidade	26
2.1.3	<i>Co-design</i> e novas relações de consumo: Movimento <i>Maker</i>	30
2.1.4	Configurador de produto	34
2.1.5	Sistemas de produção de produtos customizados	40
2.1.6	Consequências para a atividade de design	45
2.2	DESIGN DIGITAL	47
2.2.1	<i>Parametric Design Thinking</i>	49
2.2.2	Design paramétrico	55
2.2.3	Grasshopper® como ferramenta de projeto	58
2.3	FABRICAÇÃO DIGITAL	63
2.3.1	Métodos de fabricação digital	65
2.3.2	Espaços <i>Maker</i> : o fazer digital	69
2.3.3	Fabricação digital de mobiliários	72
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DA FUNDAMENTAÇÃO	76
3	METODOLOGIA	78
3.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA	78
3.1.1	<i>Design Science</i>	79
3.1.2	<i>Design Science Research</i>	80
3.2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	83

3.3	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	84
3.4	CLASSES DE PROBLEMAS	85
3.5	PROPOSIÇÃO DOS ARTEFATOS	86
3.6	AVALIAÇÃO	89
4	DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO	92
4.1	FASE CONCEITUAL	92
4.1.1	Artefato A: Método de projeto customizável	92
4.1.2	Artefato B: Projeto paramétrico de produto customizável	96
4.1.3	Artefato C: Configurador online	101
4.1.4	Artefato D: Instância: Sistema integrado de customização	103
4.1.5	Contexto da instância	105
4.3	FASE PRÁTICA	108
4.3.1	Subsistema de projeto de produto customizável	108
4.3.2	Subsistema de projeto paramétrico de produto customizável	116
4.3.3	Subsistema de configuração <i>online</i> do produto	136
4.4	AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS	150
4.4.1	Avaliação do grau de customização alcançado	150
4.4.2	Avaliação do espaço de solução do configurador	152
4.4.3	Avaliação da instância	154
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
5.1	REFLEXÃO E GENERALIZAÇÃO	158
5.1.1	Discussão: Projeto customizável	158
5.1.2	Discussão: Customização e design paramétrico	160
5.1.3	Discussão: Customização e contexto <i>maker</i>	162
5.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	164
	REFERÊNCIAS	165
	APÊNDICES	173

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a contextualização da pesquisa, abordando sua justificativa, sua relevância e a delimitação do tema. Em seguida, são apresentados os objetivos pretendidos. Por último, é apresentada a estrutura da pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A atividade maker está intimamente ligada ao fazer, estendendo-se às mais diversas atividades, da gastronomia ao design de artefatos (DOUGHERTY, 2012) e seus atores apresentam grande heterogeneidade, com graus variados de experiência, sendo o fio condutor a possibilidade dos consumidores poderem se tornar produtores (DA ROSA, 2018; MOTA, 2011).

As raízes do movimento podem ser identificadas em mudanças culturais e sociais que datam dos anos 1940 e 1950 com o surgimento das cultura do DIY (*Do It Yourself*) (MOTA, 2011; TOFFLER, 1989), e visam uma produção mais personalizável e inclusiva, porém sua denominação ganha notoriedade a partir da criação da *Make Magazine* por Dale Dougherty no ano de 2005 e da *Maker Faire* no ano seguinte, sendo estes considerados marcos por permitir a troca de experiências, informações e produtos dos *makers* (DOUGHERTY, 2012). Embora os *makers* utilizem-se das mais variadas ferramentas, das tradicionais às mais modernas, sua aproximação com a tecnologia e a fabricação digital é notável (GERSHENFELD, 2012), sendo reconhecidos como entusiastas dos novos paradigmas de produção tanto como produtores, quanto consumidores (MOTA, 2011).

De acordo com MAGRI (2015), assim como em outros períodos históricos como no modernismo, o uso de novas tecnologias pode traduzir-se em ferramenta indispensável para a inovação. O design de produto pode ser entendido como uma atividade projetual interdisciplinar, que pode apresentar alto grau de complexidade de possibilidades e configurações (BAXTER, 2011). Esta atividade pode se dar a partir de variadas metodologias desenvolvidas ao longo do tempo, tendo como um dos paradigmas mais recentes o uso de ferramentas digitais como meio ou facilitador de projeto e materialização.

Dentre estas tecnologias destacam-se prototipagem rápida, utilizada como forma de materialização veloz de arquivos digitais na fase de concepção e avaliação das soluções adotadas e a fabricação digital, utilizada para manufatura automatizada de artefatos completos ou suas partes (SAAS, 2006). Anteriormente limitadas aos grandes centros urbanos mundiais e ao alto custo dos equipamentos envolvidos, estas técnicas de materialização têm encontrado a disseminação através dos *Fablabs* e dos *Makerspaces* (GERSHENFELD, 2012; MAGRI, 2015), traduzindo-se em novas ferramentas e possibilidades ao alcance do designer. A fabricação digital permite a prototipagem e fabricação com baixos custos em relação às técnicas tradicionais, além de fomentar transformações no sistema produtivo com o surgimento cada vez maior de espaços coletivos de fabricação digital e de empresas que fabricam seus produtos de forma descentralizada, ou mesmo consumidores que produzem seus próprios produtos adquiridos em formato digital.

A democratização destas tecnologias (GERSHENFELD, 2012; MAGRI, 2015) através da redução de custos tem como reflexo social o surgimento de novos conceitos e movimentos, como o movimento *maker*. Neste, tem-se uma aproximação do uso da tecnologia com o objetivo, dentre outros, de customizar produtos. Arquivos digitais de projeto são concebidos, modificados, e então produzidos pelos *makers*. Alguns destes *makers* projetam e vendem seus produtos, frequentemente com a possibilidade da customização ou personalização facilitada pelo maior contato com o usuário final e o uso de projetos digitais (DA ROSA, 2018). Esta customização de produtos busca atender mudanças culturais em andamento, com maior interesse de envolvimento do consumidor na concepção de seus produtos. Uma das formas de viabilizar esta customização é através dos processos paramétricos de projeto, de forma a possibilitar ao usuário a interação com o projeto de maneira livre, porém dentro de parâmetros pré-estabelecidos a fim de manter aspectos de usabilidade ou outros relacionados ao produto fim.

A customização em massa ou personalização “requer uma redefinição da atividade de design” (BARROS, 2015, p. 5). Em um projeto customizável, é necessário definir o alcance (ou parâmetros) da customização, as limitações do equipamento de fabricação, e a coerência do produto final que deve atender as necessidades de uso inicialmente projetadas. Além disso, é preciso conceber uma interface de

configuração do produto pelo usuário. Para tanto, nesta pesquisa é investigado o uso do design paramétrico e da fabricação digital, aliados à programação como meio de atender a estes aspectos.

1.2 RELEVÂNCIA

A digitalização dos processos de projeto e produção de objetos a partir das técnicas CAD/CAM (*Computer Aided Manufacture*) e o uso do design paramétrico como reflexo do avanço tecnológico e das próprias técnicas de projeção nas áreas de engenharia, arquitetura e design de artefatos atingem também a concepção e produção de mobiliários (BARROS, 2015; BARROS e SILVEIRA, 2015; MAGRI, 2015). Identifica-se a oportunidade de utilização de ferramentas de modelagem paramétrica como forma auxiliar na solução de múltiplos problemas de projeto, a disposição de novos produtos e serviços com variações customizáveis definidas por parâmetros, e a facilitação na concepção de produtos customizáveis através da fabricação digital, a fim de viabilizar novas possibilidades e o aumento da competitividade de mobiliários produzidos por *makers* e pequenas empresas.

Da Rosa (2018) argumenta em sua pesquisa sobre empreendedores do movimento *maker* que a produção de mobiliário é uma das principais atividades que se utilizam nestes espaços, e pode valer-se da customização para atingir nichos não explorados pela indústria. Além disso, uma das tendências no mercado de mobiliários nacional é a personalização ou customização dos produtos (MAGRI, 2015).

O design paramétrico aliado à fabricação digital é definido por CELANI, VAZ e PUPO (2013, p.35) como “métodos de produção que se baseiam em modelos geométricos digitais e envolvem diversos tipos de equipamentos CNC”. Estes possibilitam também a produção personalizada, em que no lugar da produção em massa onde o mesmo objeto é produzido diversas vezes, criam-se diferenciações na fabricação de produtos únicos ou famílias de produtos. Isto é possível graças a maior facilidade de operação das ferramentas de projeto generativo com fins de adaptação de projeto (dentre elas o modelo paramétrico) quanto à popularização das máquinas CNC (GERSHENFELD, 2012), abrindo novas possibilidades mercadológicas na produção de produtos (BARROS, 2015; BARROS e SILVEIRA,

2015) além de constituir uma poderosa ferramenta de projeto. Segundo Ryberg et al. (2015, p.153), “a fabricação digital completa o entendimento, pois, de forma precisa e diversificada, tem capacidade de materializar o projeto, causando maior compreensão espacial, formal e compositiva do que está se propondo”. Há de se destacar também as possibilidades formais trazidas pela técnica de projeto paramétrico, sendo ela também uma forma de sistema generativo, permitindo a exploração de formas complexas a partir de regramentos matemáticos, morfológicos, programáticos ou geométricos (TEDESCHI, 2014). A partir da definição de tais regras obtém-se uma forma que seria muito difícil de alcançar através de outros métodos por exigir grande complexidade de cálculo e relacionamento de condicionantes. Este controle formal pode também ser utilizado como meio de controle do espaço de solução, ou seja, a variabilidade possível de um projeto flexível.

O uso de processos paramétricos e da fabricação digital na concepção e produção exige uma mudança do próprio processo de projeto. “Sendo o centro da parametrização a performance, focando no comportamento do que pretende ser projetado, são necessárias revisões nas referências e métodos [...]” PRATSCHKE, DI STASI (2015, p.02). A relevância desta pesquisa se dá a partir da exploração e proposição de inserção destas mudanças no contexto *maker* ou de pequenas empresas a fim de facilitar ou inserir a customização automatizada de produtos nos processos produtivos, facilitando a atividade de personalização de produtos característica do movimento.

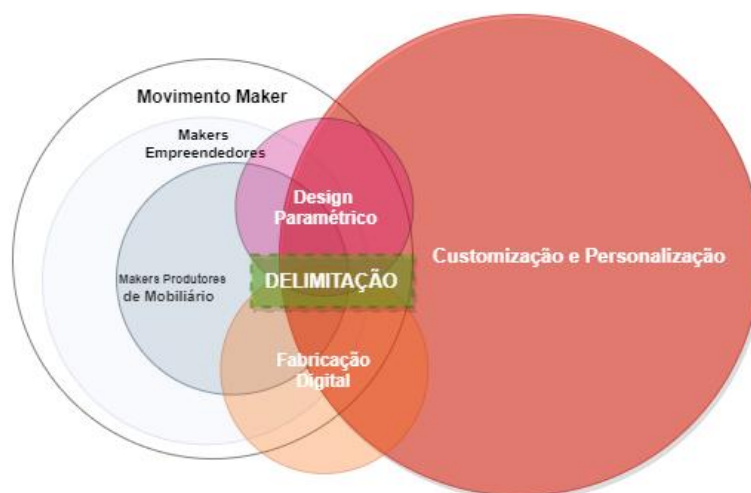
1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O design paramétrico possui diversas potencialidades e aplicações, dentre estas a possibilidade de utilizar-se de parâmetros dinâmicos a fim de realizar modificações no modelo que alteram características do produto, preservando sua coerência. Esta capacidade pode ser aliada à fabricação digital para obter-se uma forma de customização. Junto a estes aspectos, emergem mudanças culturais como o movimento *maker*. Um dos pontos em comum entre estes termos trata da produção de artefatos para uso próprio ou comercialização com auxílio tecnológico e equipamentos de fabricação digital. Esta pesquisa debruça-se sobre a averiguação

das dificuldades, potencialidades e métodos a se seguir para criação de um mobiliário com fins de customização, utilizando-se da modelagem paramétrica, abrangendo as necessidades projetuais, de fabricação e processos, além da interface de customização do produto pelo consumidor.

Sendo as referidas técnicas já utilizadas pela indústria, delimita-se a investigação ao contexto do movimento *maker*, a partir da proposição de inserção destas por empreendedores do setor de mobiliários. A delimitação ocorre no encontro dos temas da customização em massa e personalização abrangendo a fabricação digital e design paramétrico como meio, no contexto do movimento *maker*, por este possuir afinidade com a inovação e tecnologia, com foco em nichos de mercado específicos não explorados pela indústria, beneficiando-se da customização e personalização de produtos (Figura 01).

Figura 1 – Delimitação do tema



Fonte: Do autor.

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa são divididos em objetivos gerais e específicos, os quais são descritos a seguir.

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um **sistema de customização de mobiliários** com fins de comercialização, a partir da incorporação de métodos paramétricos no projeto e produção através de fabricação digital no contexto produtivo *maker*.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Estruturar** teórica e metodologicamente a construção do sistema de customização, a partir das ferramentas e práticas que são adotadas para a customização e personalização de produtos em espaços maker e pequenas empresas.
- b) Propor** artefatos que compõe o sistema de customização, com objetivo de melhorar os processos, visando maior agilidade e menor custo a partir da utilização do projeto paramétrico e da fabricação digital.
- c) Avaliar** as práticas propostas para a customização quanto a flexibilidade de projeto, facilidade de implementação e viabilidade, através dos artefatos concebidos com fins de customização e fabricação digital em empresa de pequeno porte na cidade de Porto Alegre/RS, compreendendo as etapas de projeto, fabricação e interface de comercialização.

1.5 ESTRUTURA DO PROJETO

Esta pesquisa está segmentada em cinco capítulos. No primeiro é apresentada a introdução, justificativa, delimitação do tema, objetivos gerais e específicos, e a estrutura do projeto. No segundo, é apresentada a contextualização por meio de referencial teórico, abordando os principais aspectos da pesquisa: a customização e personalização, o design digital, a fabricação digital e as relações destes temas com o projeto e fabricação de mobiliários e o movimento *maker*. No terceiro, são apresentados os procedimentos metodológicos com base no método *Design Science Research*, compreendendo as estratégias de pesquisa, seu delineamento e as ferramentas a se utilizar, além do projeto dos artefatos. No quarto, é apresentado o desenvolvimento da pesquisa compreendendo as fases conceitual e prática, em que há a operacionalização dos artefatos propostos e sua avaliação. No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões, a discussão e recomendações para futuros trabalhos.

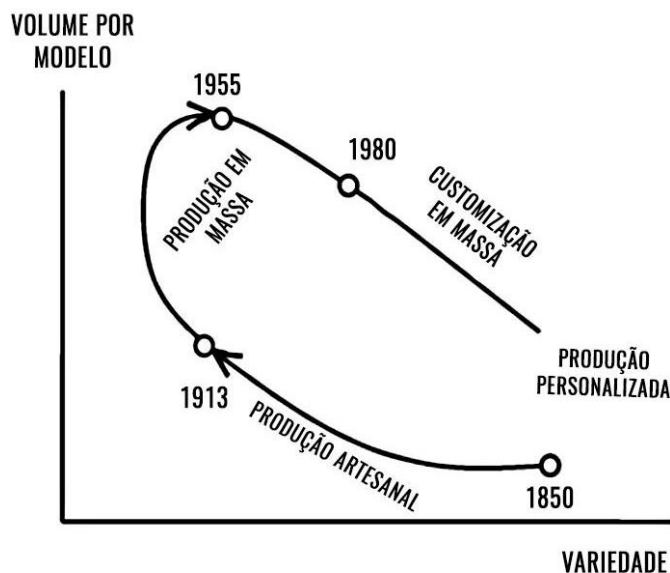
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo se caracterizam os conteúdos relevantes para a contextualização e desenvolvimento da pesquisa. São abordados os temas Customização em Massa, Design Digital, Fabricação Digital, e Mobiliário *Maker*. Por fim, são identificadas as relações pertinentes entre os temas e uma síntese do capítulo.

2.1 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

A manufatura é um importante aspecto da sociedade. Através dela são produzidos os bens de consumo, gera-se crescimento econômico e se contribui para a cultura e bem estar social (HU, 2013). Desde a industrialização, houve três grandes mudanças de paradigma (Figura 2). A primeira tratava da produção artesanal, em que eram criados produtos únicos que atendiam às necessidades do consumidor a um alto custo sem que a produção em escala fosse possível (BARROS, 2015). O advento das linhas de produção fez emergir o segundo paradigma: a produção em massa, que revolucionou mercados ao oferecer produtos em escala a um baixo custo, entretanto, com pouca ou nenhuma possibilidade de customização. O terceiro paradigma emergiu através da configuração e modulação de produtos, inaugurando o conceito da customização em massa (HU, 2013).

Figura 2 - Mudanças de paradigma na produção



Fonte: Adaptado de HU, 2013

A Customização em Massa (CM) é uma estratégia de produção focada na larga provisão de produtos e serviços personalizados (DAVIS, 1987). O conceito emergiu no início dos anos 1980 com o aumento da demanda por variedades nos produtos (HU, 2013). Apesar de aparentarem união de opostos, os termos “customização”, referido normalmente a manufatura sob medida, e “em massa” geralmente utilizada para designar a produção seriada de produtos, seu significado foi sistematizado por Joseph Pine (1993), que define o termo como uma ruptura com os métodos tradicionais de produção estabelecendo-se como um novo paradigma de produção industrial em que se busca atingir segmentos cada vez menores de mercado, ao mesmo tempo em que se preserva o custo da produção seriada. Na customização em massa de produtos ou serviços busca-se oferecer ao consumidor a possibilidade de customizar o produto sem que isto represente um aumento significativo no custo. A CM consiste em uma estratégia para atender a crescente fragmentação do comportamento do mercado mantendo as vantagens de escala de produção. Para isto, os consumidores devem ser pensados como únicos, sendo indispensável a sua integração ao processo a fim de poder interpretar suas reais necessidades (FETTERMAN, 2017).

A pesquisa em CM evoluiu muito significativamente nas últimas décadas (FOGLIATTO; DA SILVEIRA; BORENSTEIN, 2012). Se desenvolveu o intenso uso de configuradores de produtos, emergiu a manufatura avançada ou rápida, e a implementação de forma mais estruturada de métodos de interação com o consumidor abriram novas questões (VAN STRALEN, 2018; MOTA, 2011). Hu (2013) vê na mudança de hábitos do consumidor, com influência do amplo acesso à internet e a emergência de tecnologias de fabricação digital um novo paradigma: a personalização.

A personalização está ligada ao conceito de *co-design*, processo em que o consumidor cria ou colabora na criação de produtos junto ao fabricante e/ou projetista. Alguns outros aspectos emergentes que habilitam este tipo de produção é a produção sob demanda, novas cadeias de produção e distribuição, além de sistemas digitais que envolvem participação do consumidor (Quadro 1). Este conceito também é reconhecido por alguns autores como “*design democratization*”,

ou seja, a democratização do processo de design ao permitir a participação do usuário na concepção projetual do artefato a ser adquirido (VAN STRALEN, 2018).

Quadro 1 - Aspectos dos paradigmas de produção

	Produção em Massa	Customização em Massa	Produção Personalizada
Objetivo de produção	Escala	Escala	Escala
		Escopo	Escopo
			Valor
Características desejáveis	Qualidade	Qualidade	Qualidade
	Custo	Custo	Custo
		Variedade	Variedade
			Eficácia
Papel do consumidor	Comprar	Escolher	Projetar
		Comprar	Escolher
			Comprar
Sistema de produção	Sistemas dedicados de produção em massa	Sistemas reconfiguráveis de produção	Sistemas de produção sob demanda

Fonte: Adaptado de HU, 2013 p.07

Embora não haja consenso, há na academia distinção entre os termos customização e personalização em massa. Nesta pesquisa é utilizado o entendimento de Kumar (2007), que descreve a personalização em massa como o limite da CM. Na personalização em massa é fabricado um item diferente para cada usuário, na CM é fabricado um item para alguns, mesmo que poucos usuários. A semelhança é a flexibilidade de produção necessária, a importância do usuário na concepção de design, a necessidade de um projeto adaptável e o custo, que deve ser próximo ao da produção em massa. Neste sentido, ao referir-se nesta pesquisa ao termo personalização, refere-se a customização máxima de produtos, ainda inserido no conceito de CM.

A tendência em direção à personalização de produtos já era identificada por Kotler (1989), que via a customização em massa evoluindo para a criação individual de produtos, expandindo o conceito de segmentação de mercado até o indivíduo. Tecnologias como a *web 2.0*, através do uso de configuradores online e a

automatização de processos de produção permitem a realização deste conceito (KUMAR, 2007). Para atingir-se esta personalização é preciso também conceber o projeto de forma customizável.

2.1.1 Plataforma e arquitetura de produto

Khalili-Araghi e Kolarevic (2020) argumentam que a customização em massa está intimamente ligada à forma de projetar o produto, e envolve dois aspectos chave: a plataforma de produto e a família de produto. Timothy Simpson (2004) descreve família de produto como um grupo de produtos relacionados que derivam de uma plataforma de produto para satisfazer nichos de mercado. Já a plataforma de produtos pode ser descrita como o conjunto de elementos básicos comuns a uma classe de produtos, e pode trazer diversos benefícios ao reduzir tempo e custos de produção visto que os elementos e/ou sistema produtivo podem ser utilizados em diversos artefatos (SIMPSON, 2004). A família de produtos é entendida como os produtos derivados da plataforma. O autor classifica duas formas de famílias de produtos: Baseada em módulos, em que as propriedades do produto são alteradas adicionando ou subtraindo funcionalidades ou características, cujo conceito está conectado ao tipo de arquitetura do produto que pode ser modular ou integral, e a baseada em escala, em que variáveis dimensionais são utilizadas para reduzir ou engrandecer características dimensionais.

Em seu estudo que trata sobre a flexibilidade e validação do design de casas customizáveis, Khalili-Aragui e Kolarevic (2020) apontam que um argumento utilizado pelas empresas ao não oferecer serviços de customização é o não conhecimento suficiente dos consumidores para participar da atividade de design, o que torna difícil a validação das opções, sendo então oferecida no mercado normalmente a seleção de produtos pré-projetados. Esta ótica pode ser transportada para o projeto de mobiliários, visto que é muito comum haver opções de acabamentos ou seleções pré-configuradas pelos fabricantes para escolha como no caso de mobiliários modulados. Para os autores, entretanto, o fato das opções serem completamente pré-concebidas por designers, dificilmente atenderão por completo as necessidades dos usuários.

Tendo em vista que é possível estabelecer limitações nos parâmetros projetados de um artefato customizável através do design paramétrico, cabe então ao designer através do conhecimento técnico desenvolver formas de validação das customizações executadas pelo consumidor, garantindo ainda liberdade de participação no processo de *co-design*. Em se tratando de mobiliários, estas limitações podem acontecer no material empregado, no sistema produtivo utilizado, em aspectos funcionais e formais, ou ainda na usabilidade e ergonomia do produto.

Visto que uma plataforma de produto pode ser entendida como o conjunto de especificações ou elementos básicos de uma família de produtos que traz diversos benefícios como a redução de custos e complexidade (SIMPSON, 2004), é possível estabelecer que o algoritmo e parâmetros do projeto paramétrico, bem como as características do sistema produtivo e dos materiais e acabamentos podem ser entendidos como a plataforma de produto de uma família de mobiliários customizáveis. Esta família deve possuir características comuns definidas pela plataforma e arquitetura do produto (SIMPSON, 2004).

Karl Ulrich (1995) define arquitetura do produto como "um esquema em que a função do produto é mapeada em componentes físicos" (p. 03, tradução nossa). O autor descreve 3 aspectos, sendo o arranjo de elementos funcionais, o mapeamento em elementos físicos, e a especificação da interface entre estes. Este conceito é útil ao projeto para customização em massa, no sentido de facilitar o entendimento de cada elemento componente do produto. Para tanto, detalha-se a seguir cada um:

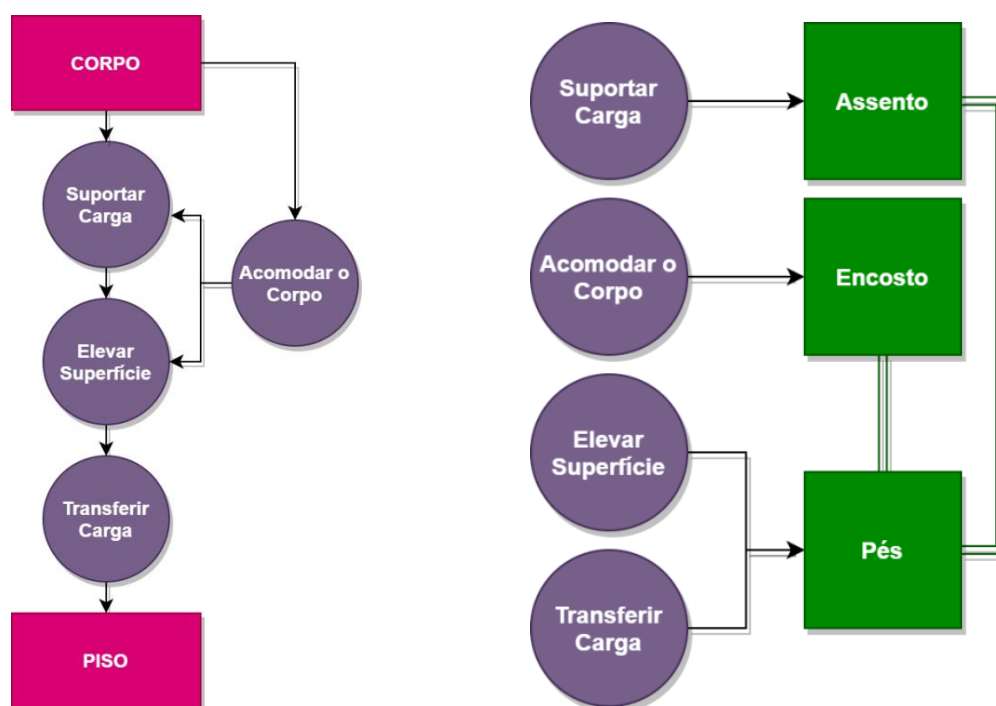
- a) Arranjo dos elementos funcionais:** Se refere à função, e não aos aspectos físicos. Como forma de organizar estes elementos estabelece um esquema de interconexões denominado estrutura funcional. A estrutura funcional pode ter menor ou maior grau de detalhamento, e estabelece também a relação entre cada elemento funcional (ULRICH, 1995).

- b) Mapeamento de elementos funcionais para elementos físicos:** Pode ser descrito como a estratégia de implementação física dos elementos funcionais. Um produto pode ter apenas um elemento físico que supre todas as funções desejadas, ou vários elementos que cumprem cada parte das funções (ULRICH, 1995).

c) Especificação de interfaces entre os elementos físicos: Elementos físicos que interagem precisam de uma interface, como por exemplo, tipos de conexões. A interface de conexão estabelece como ocorre a interação entre os elementos físicos do produto. Estas interfaces podem ser existentes no mercado e padronizadas (por exemplo, uma dobradiça) ou ainda criadas pelo projetista (por exemplo, um encaixe). O autor descreve ainda dois tipos de interfaces possíveis, sendo acoplada ou não acoplada (ULRICH, 1995).

A vantagem em utilizar a não acoplada é que a modificação de uma peça não requer adaptações em outra. Entretanto, utilizando-se dos métodos de fabricação digital e automatização de projeto as desvantagens de uma interface acoplada podem ser reduzidas ou mesmo eliminadas. Como forma de elucidar estes conceitos, exemplifica-se de forma simplificada uma cadeira. É possível estabelecer primeiro os elementos funcionais do objeto. Ele deve suportar o peso do corpo, deve acomodar as costas de um indivíduo sentado, e a carga deste indivíduo precisa ser suportada a determinada altura, e então transferido ao solo. Estas características funcionais podem então ser transferidas para elementos físicos a fim de satisfazer estas funções, e finalmente a interação entre estas partes é planejada (Figura 3).

Figura 3 - Elementos Funcionais (esquerda) e Físicos (direita) de uma cadeira

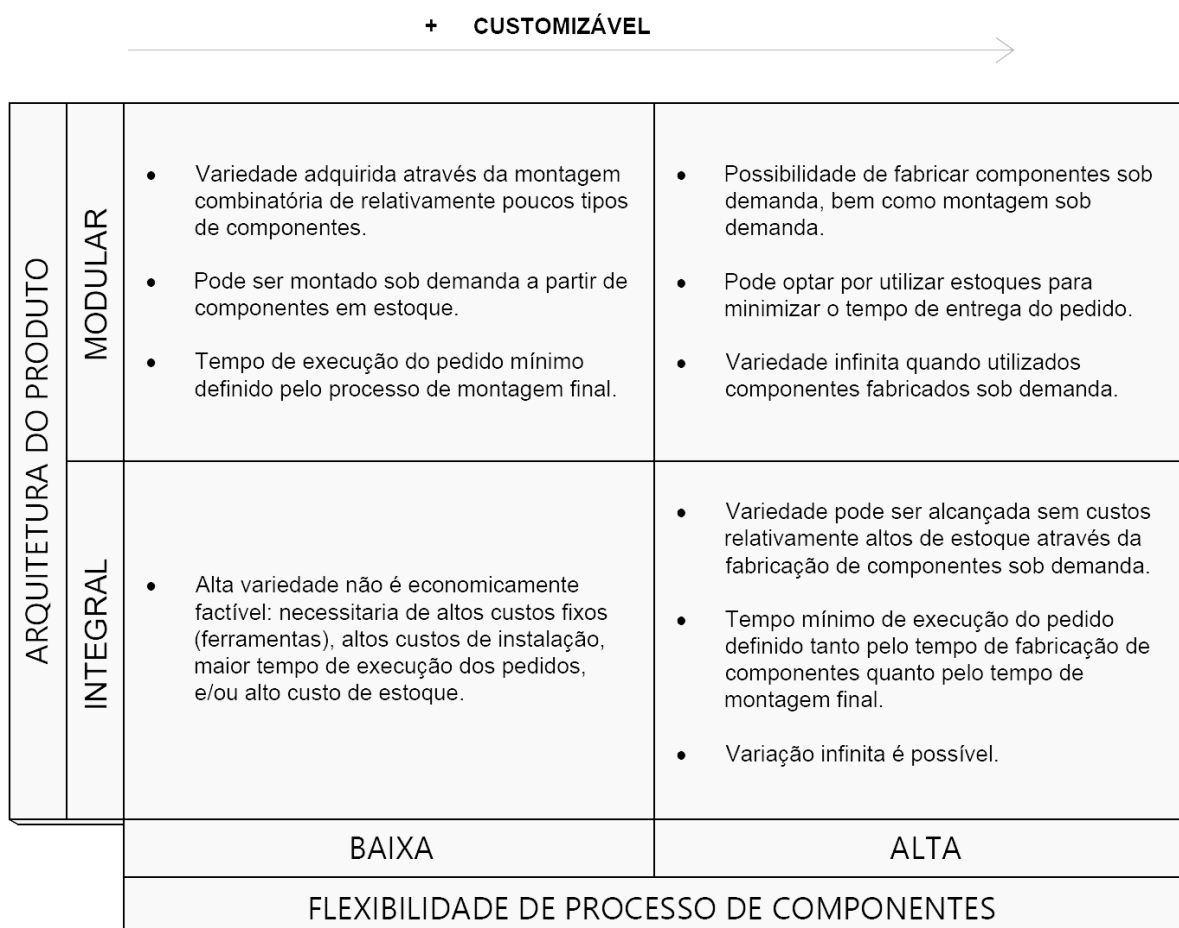


Fonte:Do autor.

O tipo de arquitetura do produto pode ainda ser integral ou modular (ULRICH, 1995). Na integral, as partes do produto relacionam-se a diversas funções. Na modular, as partes são projetadas como módulos que independem das funções, e estes interagem com os demais módulos que compõem o produto (Figura 5). Sendo assim, tratando-se de customização em massa, o tipo modular traz a vantagem de tornar possível realizar modificações em partes do objeto sem necessariamente realizar um redesenho do produto como um todo, ao mesmo tempo em que simplifica o processo produtivo (BARROS, 2018).

Segundo Ulrich (1995), um produto customizável de arquitetura integral só é possível a partir de equipamentos de fabricação flexível. O emprego de novas tecnologias de automatização de projeto e manufatura aditiva possibilitam atualmente explorar a customização de produtos de característica integral de forma facilitada.

Figura 5 - Arquitetura de Produto e Flexibilidade

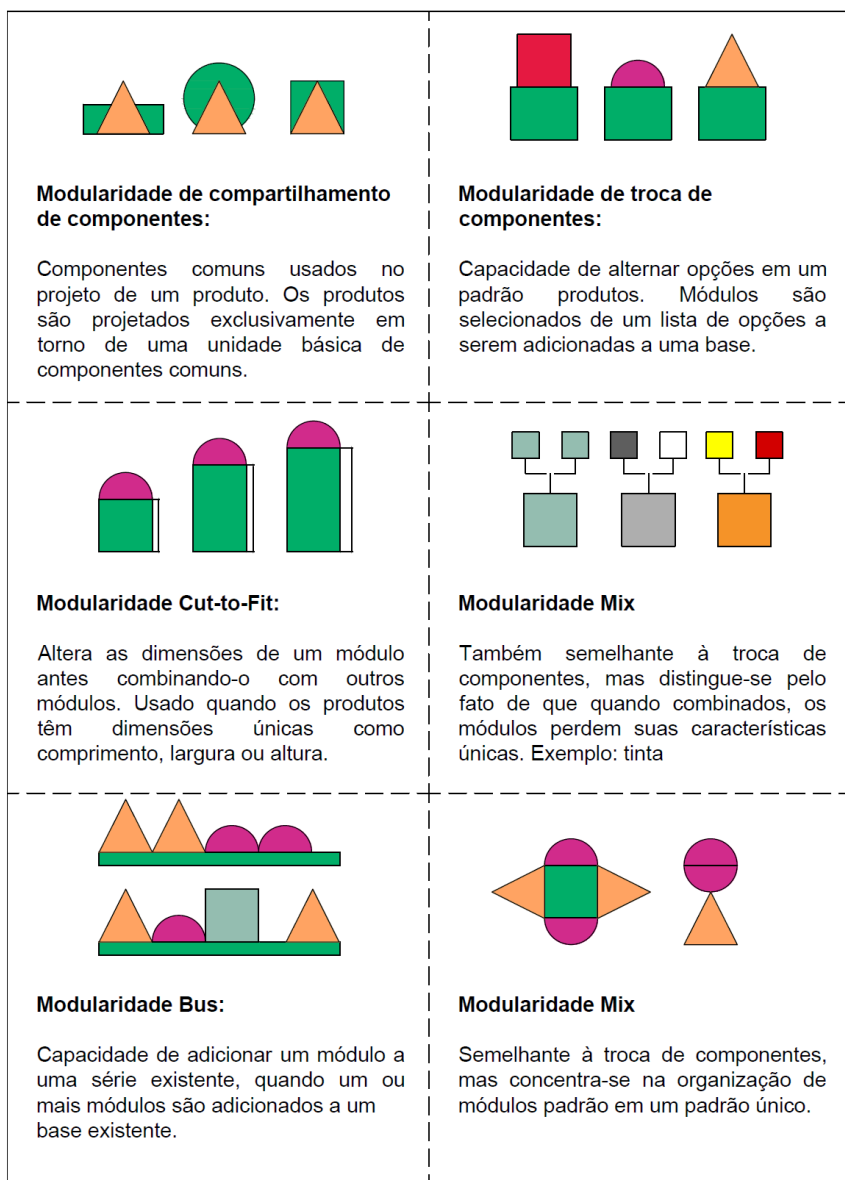


Fonte: Adaptado de Ulrich (1995)

2.1.2 Modularidade

Em se tratando de arquitetura modular, Ulrich e Tung (1995) classificam diferentes possibilidades de arranjos. São estes *slot*, em que os elementos possuem interfaces diferentes e se arranjam em torno de um único elemento, *bus*, em que os elementos possuem o mesmo tipo de interface e se arranjam também em torno de um único módulo, mas com possibilidades de diferentes arranjos ao trocar a posição dos módulos, e seccional no qual os elementos possuem interfaces entre si, sem exigência de um módulo central (Figura 6).

Figura 6 - Tipos de Modularidade



Fonte: Adaptado de Ulrich e Tung (1995)

Para Rebecca Duray (2000) o tipo de modularidade utilizada no produto está ligado ao nível de customização alcançado. Esta relação tem a ver com a fase do ciclo de produto em que a interação consumidor-empresa é realizada, sendo os tipos de modularidade as possíveis em cada etapa (Figura 7).



Fonte: Adaptado de Duray et al. (2000)

Estratégias que permitem a modificação de componentes como a fabricação sob medida e de componentes compartilhados permitem que o consumidor interaja já na etapa de design, na medida em que é possível modificar as partes modulares que compõem o produto resultando num maior grau de customização possível. Estratégias que utilizam componentes intercambiáveis apresentam menor grau de customização possível, visto que o consumidor precisa se ater às soluções pré-fabricadas, ocorrendo o processo de customização apenas nas etapas de montagem e uso dos produtos.

Formas de classificar os níveis de customização possíveis ou alcançáveis na manufatura de produtos foram propostas por diversos autores. Nesta pesquisa são utilizados os termos definidos por Joseph Lampel e Henry Mitzberg (1996), por serem amplamente utilizados em pesquisas posteriores a sua publicação. Entretanto, é possível estabelecer relações entre os termos utilizados pelos autores (TIEN; KRISHNAMURTHY; YASAR, 2006), como demonstrado no Quadro 2.

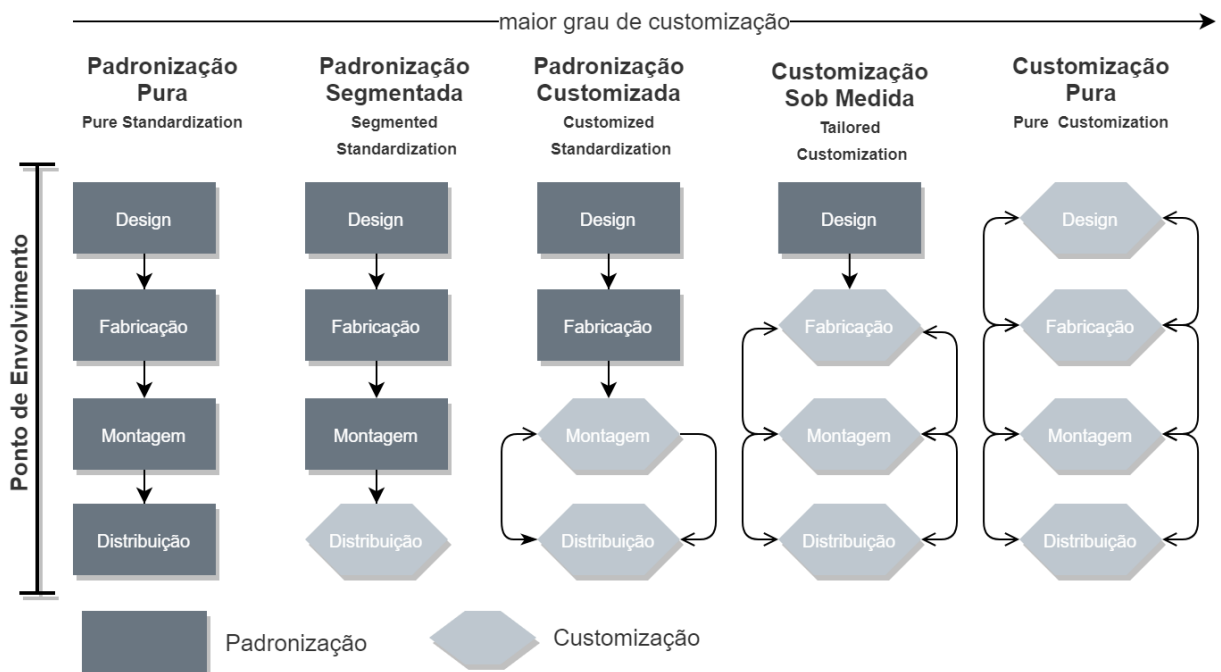
Quadro 2 - Termos utilizados para CM

Ponto de Contato	Lampbel e Minzberg (1996)	Ross (1996)	Pine e Gilmore (1997)	TIEN; KRISHNAMURTHY;
Consumidor	<i>Pure Standardization</i>	<i>Self Customization</i>	<i>Adaptive Customization</i>	<i>Mass Production</i>
Varejo	<i>Customized Standardization</i>	<i>Post-Product Customization</i>	<i>Cosmetic Customization</i>	<i>Minor Customization</i>
Montagem	<i>Tailored Customization</i>	<i>High-Variety Customization</i>	<i>Transparent Customization</i>	<i>Partial Mass Customization</i>
Fabricante	<i>Pure Customization</i>	<i>Core Customization</i>	<i>Collaborative Customization</i>	<i>Mass Customization</i>
Fornecedor	-	-	-	<i>Real-Time Mass Customization</i>

Fonte: Adaptado de Tien; Krishnamurthy; Yasar (2006)

Lampel e Mitzberg (1996) propõem classificações conforme o estágio do ciclo do produto em que estratégias de customização são inseridas, sendo o principal fator de influência para a classificação da estratégia o ponto da cadeia de valor em que ocorre o processo de customização, visto que para os autores é possível adotar estratégias mistas (Figura 8). São essas:

Figura 8: Estratégias de CM



Fonte: Lampel e Mintzberg (1996)

Pure Standardization (padronização pura): Estratégia em que não há segmentação de consumidores. Um único design é oferecido e produzido em massa. O consumidor opta pelo produto com suas características inerentes, sem ação de influência nas fases de design, produção ou distribuição.

Segmented Standardization (padronização segmentada): Nesta estratégia há segmentação de consumidores com a definição de público-alvo de diferentes produtos, adaptados a partir de um design inicial. Oferece maior variedade de produtos, com influência do consumidor apenas na fase de distribuição. É possível relacionar esta segmentação com variações na arquitetura do produto.

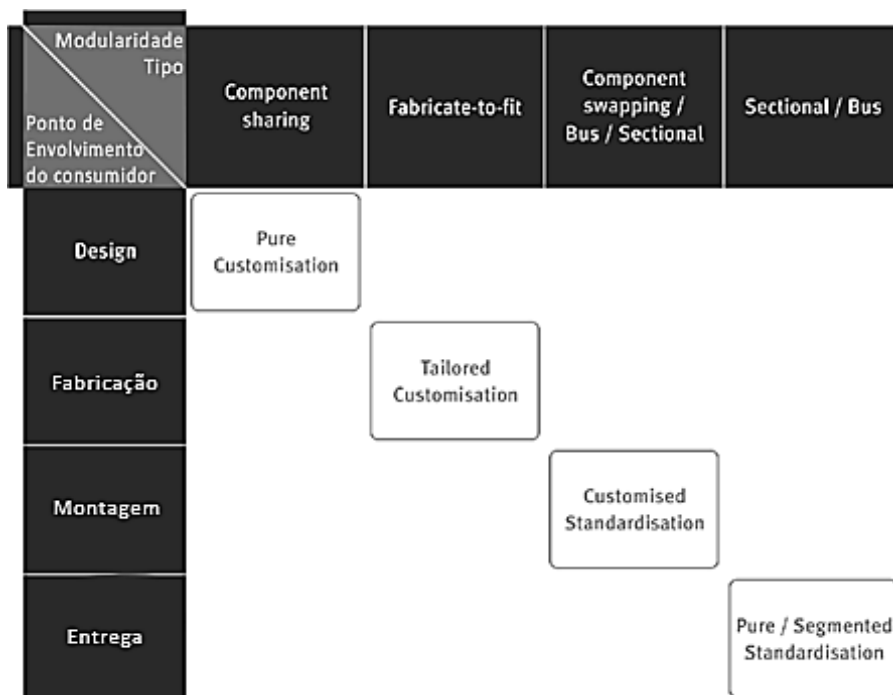
Customized Standardization (padronização customizada): Há variação possível no produto na etapa de montagem, mas não na fabricação. O consumidor pode optar por itens opcionais ou mesmo a troca de características, que podem ser módulos. Não há, entretanto, variações no design dos componentes, que são produzidos em massa. É o caso das estratégias modulares *bus*, *mix*, *seccional*, e componentes intercambiáveis tratadas anteriormente neste capítulo.

Tailored Customization (customização sob medida): É apresentado um design base ou protótipo para o consumidor, que então sofre modificações conforme necessidades específicas. É o caso de serviços artesanais como empresas de marcenaria que produzem móveis sob medida.

Pure Customization (customização pura): Há intensa interação entre empresa e consumidor já na etapa de design, resultando em produtos altamente customizados a fim de atender necessidades específicas. Este tipo de customização só é possível de ser realizada em alto volume com equipamentos de manufatura aditiva.

Rebecca Duray (1997) relaciona as estratégias de customização apontadas por Lampel e Mintzberg (1996) com as de modularidade de Ulrich e Tung (1995), de forma que é possível identificar as relações existentes entre as características das estratégias de produção adotadas e a etapa de envolvimento do consumidor no ciclo do produto. Desta forma, é possível planejar através da estratégia de modularidade do produto o grau de customização que será possível alcançar, em relação ao ponto de contato do consumidor com a configuração do produto (Figura 9).

Figura 9: Modularidade e graus de CM



Fonte: adaptado Barros (2015) com base em Duray (1997)

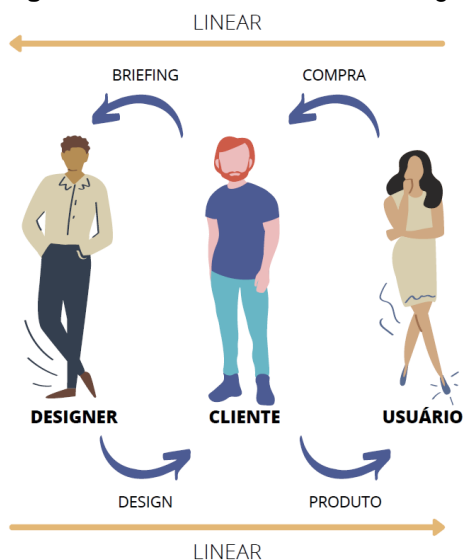
As relações identificadas por Duray podem contribuir nas etapas de planejamento das estratégias a adotar para produção utilizando conceitos de customização em massa, na medida em que é possível optar por soluções na fase inicial de planejamento do produto com base na etapa pretendida de envolvimento do consumidor.

2.1.3 Co-Design e novas relações de consumo: Movimento *Maker*

Da Silveira, Borenstein, Fofliatto (2001) apresentam duas visões possíveis para a customização em massa: a prática e a visionária. Andreas M. Kaplan e Michael Haelin (2006) detalham estas visões, sendo a customização em massa prática, a estratégia que cria valor através da interação entre o consumidor e empresa nas etapas de fabricação ou montagem, com o objetivo de oferecer objetos customizados a um valor compatível com itens de produção seriada não customizada. Já a customização visionária tem como diferença principal o momento de interação entre consumidor e empresa, ocorrendo nas etapas de design do produto.

A visão tradicional do design possui três papéis (Figura 10): o usuário, que compra e usará o produto, o designer, que concebe o produto, e o cliente, que produz e distribui o produto. Esta visão linear pode ser visualizada em inúmeras bibliografias usadas na educação tradicional em design (STAPPERS; VISSER e KISTEMAKER, 2011).

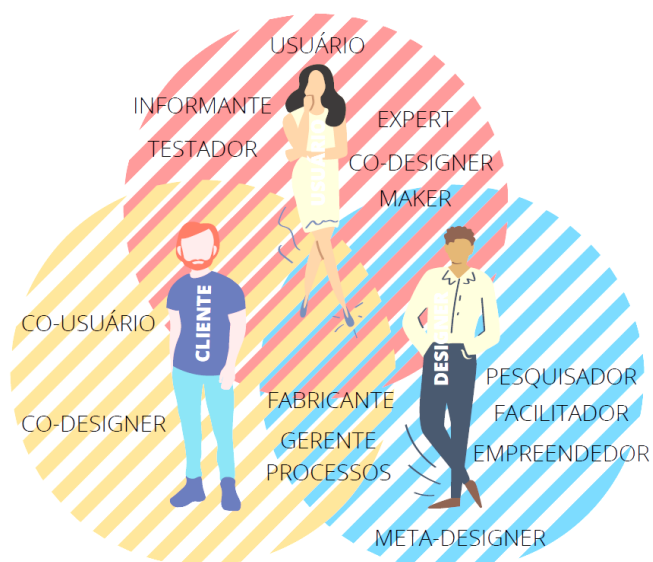
Figura 10 - Visão tradicional do design



Fonte: Adaptado de Atkinson (2011)

Entretanto, novas visões de design (Figura 11) apontam para uma relação não linear destes papéis (TROXLER, 2011), em que o consumidor é identificado como *co-criador*, alterando as dinâmicas entre projetistas, fabricantes e usuários.

Figura 11 - Novas visões de design



Fonte: Adaptado de Troxler (2011)

Nessa visão, a interação entre consumidor e empresa no processo de concepção ou customização do produto é chamado de *co-design* (KOLAREVIC, 2020) e pode ser interpretado como a figura do *prosumer* descrita por Toffler (1980), indivíduos que desejam inserir-se na concepção e execução dos produtos que adquirem. Esta visão pode ser estendida para o movimento *maker*.

O movimento *maker* nasce da necessidade das pessoas de envolver-se emocionalmente com os objetos de forma que as faça ser mais do que consumidores (CAMPBELL, 2005), além de outras influências como o alinhamento com novas tecnologias e ferramentas digitais (DOUGHERTY, 2012). Anderson (2004) descreve três características principais do movimento *maker*: uma digitalização da atividade DIY através da fabricação pessoal (FOX, 2013), o compartilhamento de projetos através da internet, e a possibilidade de fabricar em pequenas séries ou grandes volumes utilizando fábricas. Esta forma de relacionar-se com o consumo se aproxima com o conceito de *prosumer* (TOFFLER, 1989). Para Gershenfeld (2012) esta relação não se esgota somente no ato de fabricação de um objeto, mas também de elaboração de sistemas e aprendizados que possibilitem ao indivíduo construir algo que anteriormente só poderia ser executado pela indústria.

Apesar de *makers* não necessariamente produzirem seus artefatos para a venda (FOX, 2013), é crescente a criação de pequenas empresas e startups com características do movimento. O *maker* empreendedor utiliza-se das premissas do movimento, criando objetos únicos e atendendo a nichos de mercado geralmente local, com alta possibilidade de customização a partir de projetos que se utilizam da fabricação digital. “[...] o *maker* empreendedor pode adotar estratégias de customização [...] e, através de uma estrutura mais enxuta, atingir esse mercado exigente por exclusividade” (DA ROSA, 2018, p. 53).

Makers empreendedores contam com alto potencial de influência no mercado devido a sua capacidade de atingir pequenos nichos. Embora em um primeiro momento o atendimento a estes nichos ocorra de forma pequena, em pouco tempo pode haver um aumento de procura pelos produtos desenvolvidos (DOUGHERTY, 2012). Dougherty (2012) compara a capacidade de indivíduos *makers* possuírem capacidade de criar produtos comparáveis a grandes indústrias. Esta capacidade

está ligada ao potencial inovador de *makers* devido a democratização de tecnologias como a fabricação digital (MORTARA; PARISOT, 2016).

Devido a heterogeneidade dos empreendimentos *maker*, Da Rosa (2018) organiza os tipos de negócios que podem ser realizados por membros do movimento a partir de sua abordagem (Figura 12), baseando-se na obra de Manzini (2017), mas estendendo seus conceitos.

Figura 12 – Abordagens de negócio *maker*



Fonte: Da Rosa (2008)

Da Rosa (2018) classifica duas formas de envolvimento dos indivíduos (Quadro 03), baseando-se nas obras de Manzini (2017) e Eychenne e Neves (2013). São estes o tipo de envolvimento, que varia de passivo a ativo quanto ao projeto e produção, e o grau de colaboração dos indivíduos no processo.

Figura 03 – Abordagens de negócios *maker*

	Maker Autoral	Maker Colaborativo	Maker - Projetos Online ou Kits	Não Maker
Caractrísticas quanto ao envolvimento do indivíduo	Atividades conduzidas de forma individual, ainda que valendo-se da conexão com a rede	Atividades conduzidas por meio da colaboração	Alta colaboração mas pouco interesse de participar de forma prática	Sem interesse de envolvimento do indivíduo
Tipo de Produção	Fabricação Pessoal Protótipos Pequenas Lotes Projeto Únicos	Projetos conduzidos por 2 ou mais <i>maker</i> . Produtos entregues finalizados	Projetos realizados pelo <i>maker</i> , produção realizada pelo usuário; Projetos disponíveis online	Projeto e execução sem envolvimento do usuário

Fonte: Do autor, baseado em Da Rosa (2008)

A partir da observação destas características e dos tipos de produção empregados, é possível concluir que há grande variedade possível de negócios, sendo que o envolvimento do usuário, seja este o fabricante ou não, é o aspecto chave que define negócios *maker*, relacionando-se ao conceito de *co-design* apresentado.

Para Salman Khalili-Araghi e Branco Kolarevic (2020) há desafios no processo de integração do consumidor como *co-designer*, entre eles a tomada de decisão. Segundo os autores, ao oferecer um maior número de possibilidades aumenta a chance de atender necessidades cada vez mais específicas do usuário. Porém o excesso de informação envolvida na escolha de opções pode aumentar a complexidade do processo de customização, ao exigir grande esforço cognitivo ou mesmo dificuldade de navegar entre os parâmetros envolvidos. Esta situação pode fazer com que o consumidor não confie na sua capacidade de participar da concepção. Uma das formas de realização do *co-design* é através do uso de configuradores.

2.1.4 Configurador de Produto

Segundo Nikolaus Franke e Frank T. Piller (2002), o termo configurador é também conhecido como *boards*, *design systems*, *toolkits*, ou *co-design platforms* na literatura que trata de CM. Nestes sistemas interativos, o usuário é guiado no processo de escolha e configuração do produto customizável enquanto visualiza as informações e geralmente uma representação gráfica do produto. Porém segundo os autores estes sistemas devem ser muito mais do que apenas o cumprimento de necessidades técnicas, devendo também compreender a possibilidade de aprendizado do usuário, apresentar boa usabilidade e conexão com a marca.

Os configuradores podem apresentar grande variação, mas no geral apresentam três elementos básicos: Um *software* central de configuração (1), que guia o usuário através do processo de configuração e oferece as possibilidades. Uma ferramenta de retorno (2), que atualiza informações do produto em termos de visualização, preço e outros, e uma ferramenta de análise (3), que transpõe o pedido do cliente para as informações necessárias para a fabricação (FRANKE e PILLER, 2002). Sendo o configurador o ponto de contato com o usuário, utilizando-se do framework

de Jiao, Simpson e Siddique (2007) apresentado no próximo capítulo, é possível considerar seu planejamento como parte integrante da atividade de design de um produto customizável.

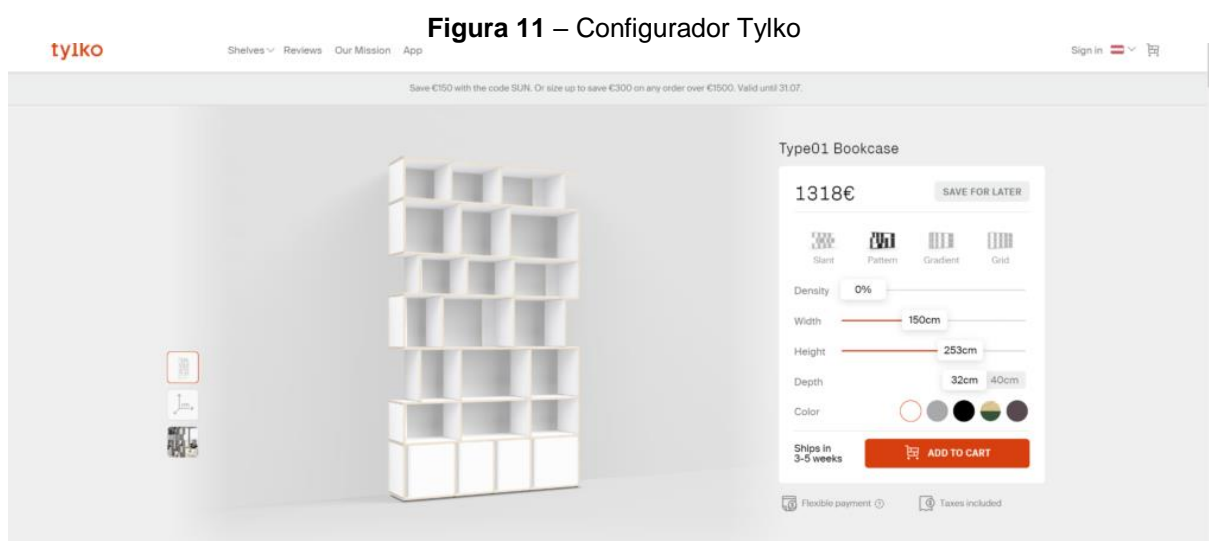
Franke e Schreider (2015) diferenciam três aspectos dos configuradores: fidelidade, que é a capacidade do configurador apresentar respostas às iterações requisitadas pelo usuário com qualidade e rapidez; possibilidades de design, ou seja a capacidade do configurador atender os requisitos específicos do usuário na configuração do produto, aspecto este que engloba o espaço possível de design a partir da arquitetura de produto (BARROS, 2015); e o “custo de uso”, ou seja, o esforço necessário para utilização do configurador e chegar a solução desejada.

Barros (2015) descreve os aspectos *frontend* e *backend* de configuradores. *Frontend* trata-se da interface gráfica, em que ocorre a interface de customização com o usuário, a atividade de *co-design*, além de compreender os níveis de customização configuráveis. Piller (2004) propõe três níveis possíveis relacionados a estes aspectos, sendo o primeiro estilo, “modificações com objetivo sensorial ou ótico, por exemplo, escolha de cores, estilos, aplicações, cortes, sabores” (PILLER, 2004, p.320). Trata-se da forma mais simples de implementação de customização em massa. O segundo nível trata-se de medidas e conforto: Refere-se à possibilidade de adequação de medidas do objeto para que atenda necessidades específicas de espaço, conforto ou ergonomia. O autor ressalta que é o tipo de customização mais difícil de atingir e realizar pois requer uma arquitetura de produto altamente flexível, que precisa ser transportada para a interface ou ainda requerer equipamentos específicos como *scanner* 3D. Por fim, o último nível descrito pelo autor é funcionalidade: Envolve a interação de escolha entre elementos funcionais e técnicos do produto. Pode ser modular e empregada antes ou depois do momento de compra.

Barros (2015) relaciona estes níveis com os níveis de customização apontados por Duray et al. (2000). Estilo relaciona-se com modificações na etapa de montagem do produto, um dos últimos possíveis de envolvimento do consumidor. Medidas e conforto relacionam-se com as etapas de design e fabricação, aproximando-se ou atingindo o conceito de *full customisation*. A funcionalidade pode atingir diferentes níveis, a depender da estratégia adotada.

Para Piller (2004) produtos de customização em massa que ofereçam todos os três aspectos no ambiente de configuração possuem maiores chances de sucesso. Por fim, a incorporação de configuradores integrados à cadeia de produção e/ou logística permite a facilitação da produção sob demanda (BARROS, 2015). Esta integração pode ocorrer de forma automática no software do configurador ou não.

O *backend* é descrito por Barros (2015) como as funcionalidades do configurador relacionadas a setores da empresa como design, manufatura, marketing e vendas. Para além da possibilidade já apontada de integração de sistemas, o autor ressalta a possibilidade de coleta de dados do consumidor a fim de refinar a experiência ou mesmo fornecer dados para a criação de novos produtos.

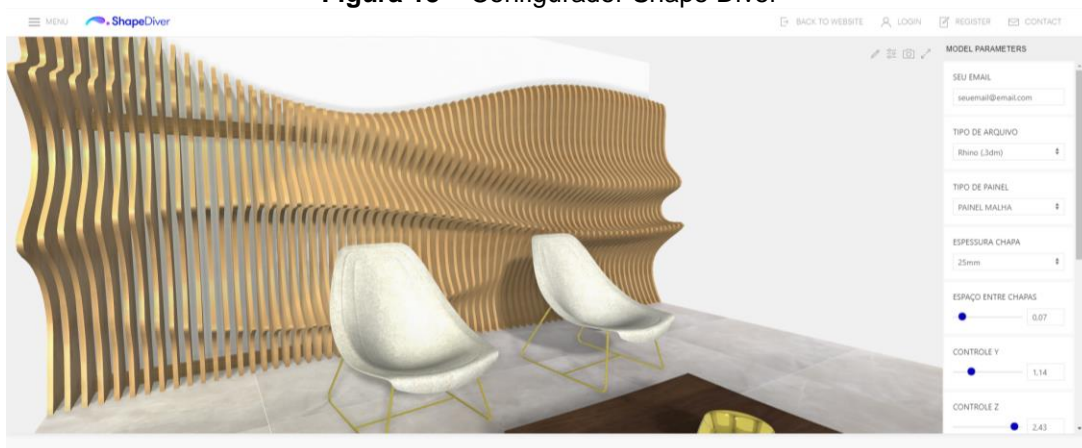


Fonte: <http://www.Tylko.com>

Um exemplo do estado da arte de configuradores online de produtos é o criado pela empresa polonesa Tylko® (Figura 12), que oferece prateleiras e mobiliários customizados com interface de modificação em tempo real, precificação e *feedback* tridimensional. Neste exemplo, ao efetuar a compra o pedido do cliente é automaticamente enviado a fábrica, que conta com produção flexível do produto e embalagens. Outro exemplo a destacar é a empresa norueguesa ShapeDiver®, uma *startup* que comercializa o serviço de configurador online, além de um ambiente de disponibilização de modelos gratuito. Utilizando o serviço da empresa é possível projetar um modelo utilizando os *softwares* Grasshopper® e Rhinoceros®, e então transportá-lo para a web mantendo as características paramétricas de edição. Na versão completa, o serviço torna disponível o acompanhamento de estatísticas dos

usuário (*backend*) e possibilita o envio de arquivos de fabricação, bem como modificações na interface padrão (Figura 13). Em ambos os exemplos é possível atingir os três níveis apontados por Piller (2004).

Figura 13 – Configurador Shape Diver



Fonte: ShapeDiver® (2021)

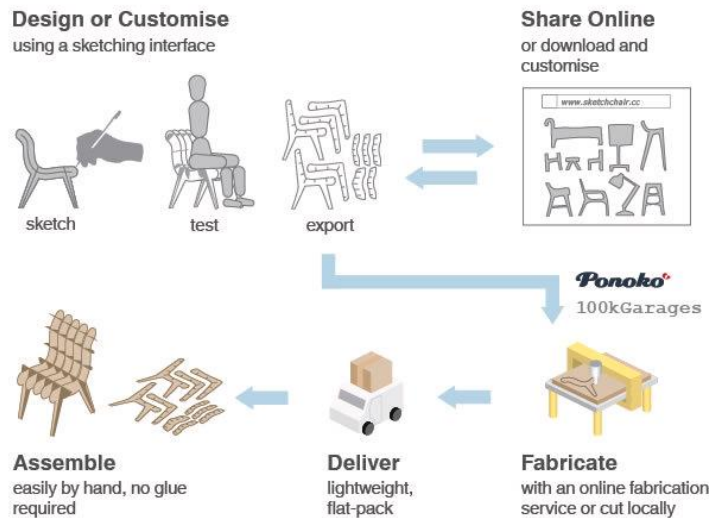
O uso de configuradores possibilita a integração do usuário no processo de projeto, e pode integrar o uso de projetos paramétricos (VAN STRALEN, 2018) para a visualização e personalização. Estas interfaces podem atingir quatro níveis de interação do usuário e possibilidade de variação do produto:

a) Configuradores com parâmetros: Permite a alteração de parâmetros para fabricação, ou download do arquivo para fabricação local. Pode permitir diferentes níveis de customização, a depender dos parâmetros disponíveis no modelo base presente no configurador (VAN STRALEN, 2018). É o caso do configurador *ShapeDiver®*.

b) Configuradores com feedback técnico: Além de permitir a customização do produto, a interface informa quanto a usabilidade, auxiliando o designer do item personalizado (VAN STRALEN, 2018). Os produtos são concebidos com suficiente adaptabilidade para personalização (STAPPERS; VISSER e KISTEMAKER, 2011). Já a relação designer-usuário se dá de forma mais direta, e o usuário é considerado já nas primeiras fases de concepção. Um exemplo deste tipo de configurador é o projeto *sketchchair*. O usuário customiza uma cadeira através do desenho de uma vista lateral em linha simples e modifica parâmetros que por fim geram uma cadeira através de processo generativo. O projeto pode então ser testado quanto a estabilidade através do feedback de simulação com um calunga virtual. Caso o

usuário esteja satisfeito, pode exportar os arquivos necessários para fabricação (Figura 14).

Figura 14 - Sketchchair



Fonte: Archdaily. Disponível em <<https://www.archdaily.com/177752/digital-fabrication-sketchchair/digital-fabrication-sketchchair-001>> (2019).

c) Meta-designs: Este tipo de interface utiliza plataformas de projeto abertas em que o projeto pode ser customizado sem a dependência de se ater aos parâmetros pré-definidos. Permite maior nível de investigação e customização (VAN STRALEN, 2018).

d) Toolkits: Conjunto de ferramentas associado a uma comunidade, ao sistema produtivo e ao compartilhamento de informações e projetos. Este conceito ultrapassa o termo “configurador”, ao integrar ao usuário na comunidade e fornecer informações para a produção local ou não (VAN STRALEN, 2018). Um exemplo deste tipo de sistema é a *wikihaus*, que consiste em um conjunto de informações e ferramentas para construções de fabricação digital.

Outras formas de interação no design podem ser destacadas, além do conceito de *co-design* com uso de configuradores. A emergência do DIY - *Do It Yourself* - e do movimento *maker* revela uma mudança cultural no consumidor, que busca produzir os próprios itens estabelecendo uma relação de proximidade com o produto, além de viabilizar a customização (DA ROSA, 2008). Esta mudança cultural, causada pela tecnologia da informação foi antecipada por Alvin Toffler (1980) na figura do

prosumer, definição esta que abrange o desfoque gradual dos papéis de produtor e consumidor. Os produtores deliberadamente dão algum controle aos consumidores, envolvendo estes em atividades que o primeiro costumava realizar (BARROS, 2015).

Neste modelo, o consumidor não se satisfaz em apenas adquirir produtos, mas almeja participar do processo de concepção e criação de objetos únicos que reforcem sua individualidade e atendam suas necessidades (TOFFLER, 1980). Esta participação do consumidor é facilitada e viabilizada pela internet, por permitir a comunicação direta entre o fornecedor de produtos e quem os adquire, além de permitir que os consumidores tenham maiores informações e criando oportunidades de intervenção no que adquirem (STAPPERS; VISSER e KISTEMAKER, 2011).

No que tange ao processo de design, esta mudança nas relações entre designer e cliente provoca a adoção de novos conceitos como o design aberto (também conhecido como *open design*), em que os projetos são disponibilizados para modificação e fabricação. Um exemplo de mobiliário que se insere neste conceito é a cadeira Valoví, criada pelo arquiteto brasileiro Denis Fuzzi para a empresa *Opendesk*®. O projeto digital planejado em formato CAD foi disponibilizado *online* para a comunidade *maker* sob licença *creative commons*. Designers e *makers* podem realizar o *download* do projeto e modifica-lo livremente para fins não comerciais, adaptando seu uso e fabricando, utilizando fresadoras CNC. A cadeira Valoví é atualmente a cadeira de projeto digital mais fabricada do mundo, e está presente também na coleção permanente de design contemporâneo do Vitra Museum na Alemanha, devido a sua representatividade (Figura 15).

Figura 15 - Cadeira Valoví



Fonte: Fabhub. Disponível em <<https://www.fabhub.io/super-now-workshop>>

2.1.5 Sistemas de produção de produtos customizados

Para viabilizar a customização em massa é necessário o emprego de tecnologias que abrangem desde o uso de interfaces com o objetivo *de co-design* a técnicas de fabricação ou montagem flexíveis. Da Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001) descrevem as tecnologias necessárias no sistema produtivo de itens customizáveis: sistemas digitais de fabricação, como CNC e sistemas flexíveis de manufatura (FMS), bem como o emprego de desenho auxiliado por computador (CAD) e manufatura auxiliada por computador (CAM), dentre outros. O emprego destas tecnologias tem como objetivo atender aos requisitos da customização em massa, principalmente flexibilidade e um valor próximo ao de itens seriados e um prazo curto de execução.

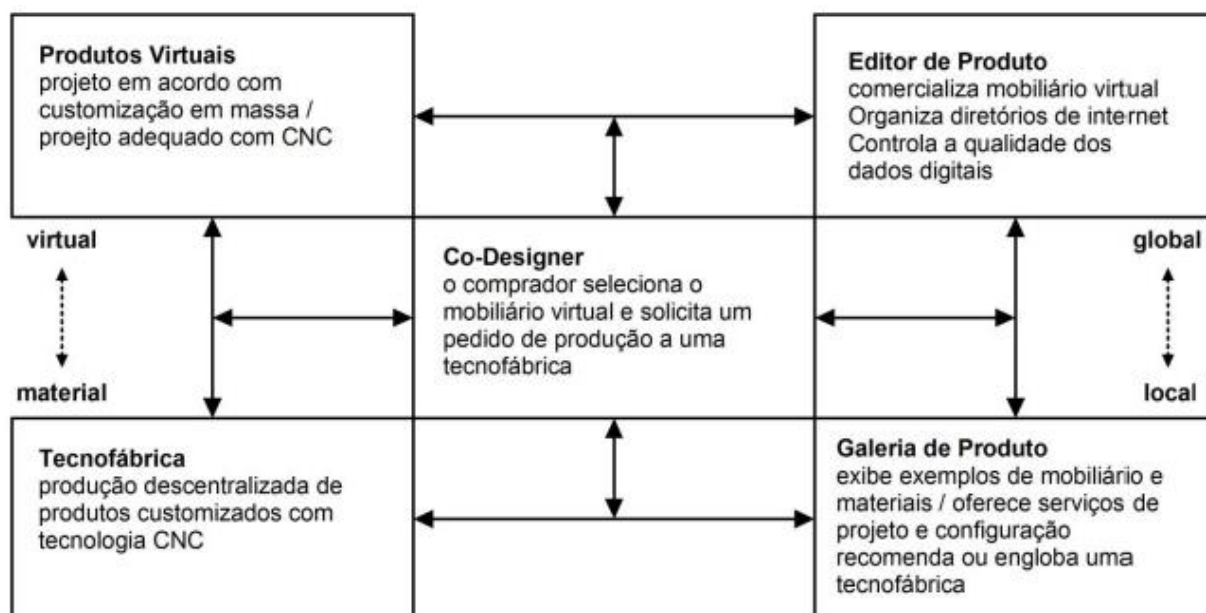
As mudanças recentes nos sistemas produtivos caracterizam-se pela grande mecanização e principalmente automatização da produção através da digitalização e comunicação de processos. No contexto nacional (MAGRI, 2015) e global (BARROS, 2015) a mecanização e automatização do sistema produtivo de mobiliários já é uma realidade. No entanto, o mercado é majoritariamente ocupado por grandes indústrias, que fazem o uso destas ferramentas com o objetivo de aumento de produção seriada a baixo custo (MAGRI, 2015), embora signifique também uma maior distância do consumidor dos grandes parques fabris necessários neste modelo, afetando o custo de transporte dos produtos, além do espaço de estoque e armazenamento exigido (BARROS, 2015; STEFFEN e GROSS, 2003).

Já em fábricas de pequeno e médio porte, a introdução de ferramentas de FD permite a flexibilização da produção, na medida em que equipamentos CNC podem fabricar itens sob demanda com diferenciações a partir de arquivos digitais (GERSHENFELD, 2012; STEFFEN e GROS, 2003). A introdução de chapas aglomeradas ou multilaminadas industrializadas como o MDF, MDP e compensados predominantes na produção de móveis (BARROS, 2015; MAGRI, 2015) acabaram por padronizar as dimensões e características da matéria prima utilizada pela maioria dos produtores, possibilitando a fabricação de itens com características semelhantes com alta precisão em locais diferentes.

O uso de configuradores *on-line* e modelos paramétricos que geram automaticamente arquivos de corte para equipamentos CNC permitem a comercialização de produtos de forma totalmente digital para produção local ou distribuída. (GERSHENFELD, 2012; MOTA, 2011; STEFFEN e GROS, 2003). Neste modelo, o consumidor adquire o produto digital, no caso de comercialização, ou realiza o *download* no caso de projetos *open source*, e pode produzir em casa, possuindo os equipamentos necessários, buscar *FabLabs* ou espaços *makers* para fabricação, ou ainda receber o produto finalizado, fabricado em pequenas fábricas locais ou regionais (BARROS, 2014). Este contexto torna possível novos paradigmas na produção de produtos customizáveis.

Dagmar Steffen e Jochen Gros (2003) propõem o cenário (Figura 16) de produção virtual através do seu estudo C-MOEBEL, como novo paradigma de comercialização e produção no mercado de mobiliários.

Figura 16 - Cenário da produção virtual



Fonte: Adaptado de Steffen e Gros (2003)

O cenário projetado por Steffen e Gros (2003) prevê que o processo de digitalização da informação, comunicação e produção possibilita uma maior regionalização da produção, provocando também uma modificação nas relações empresa-consumidor. São descritas cinco características deste sistema:

Produtos virtuais: Com o uso crescente de fresadoras CNC e cortadoras a laser principalmente difundidas entre produtores de mobiliários, é possível utilizar-se destas tecnologias para comercializar produtos digitais, sendo estes planos de corte para mobiliários, que podem então ser produzidos com exatidão em diversas localidades. Como o valor da transferência de dados é muito inferior ao de frete de produtos, este é um fator determinante para o processo de regionalização da produção.

Editor de produto: Tendo em vista que a criação de designs para comercialização digital poderia ser global, estes produtos podem ser reunidos em repositórios. Um exemplo existente deste papel é site *sketchfab.com*, que comercializa modelos 3D para impressão.

Tecnofábrica: Espaços de produção equipados tecnologicamente para produção de produtos de forma digital, com diferentes materiais. A produção se dá de forma descentralizada e customizada.

Galeria de produto: Espaços que podem substituir as lojas físicas, contendo materiais, amostras e protótipos de produtos. Podem trabalhar em parceria com as tecnofábricas.

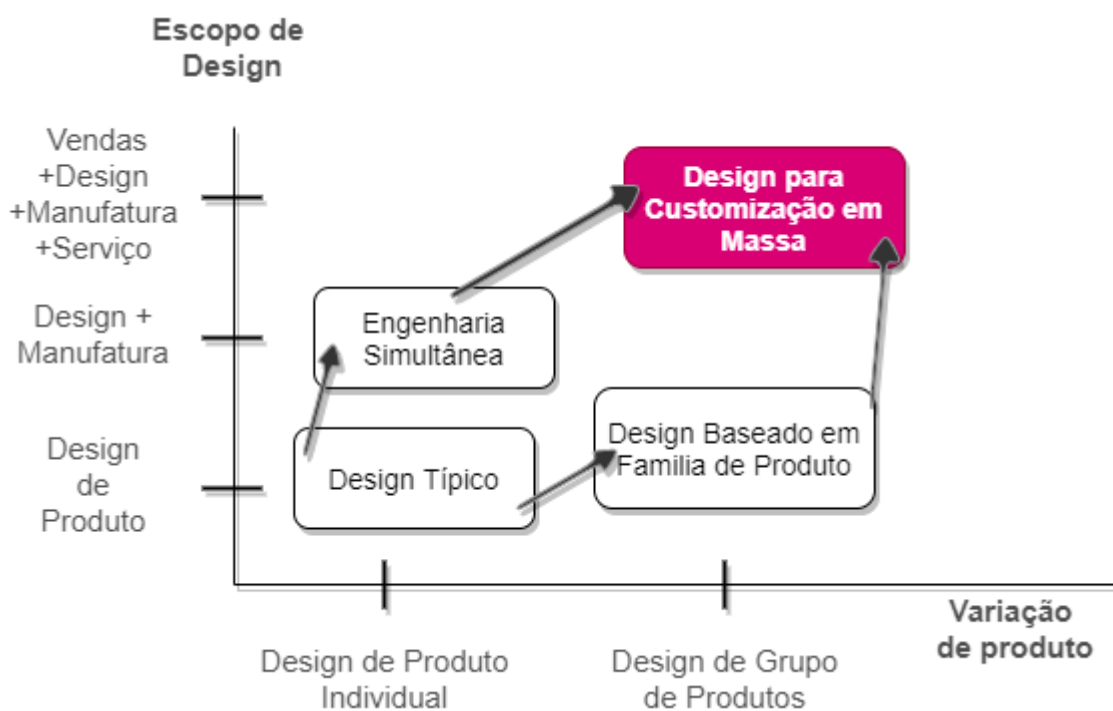
Co-designer: De encontro com os conceitos já descritos nesta pesquisa, o consumidor assume um papel de influência nas etapas de concepção ou fabricação do produto.

O estudo foi finalizado no ano de 2006, sem ter sua realização de forma completa. Entretanto, a partir do estudo é possível estabelecer paralelos com as mudanças vigentes no mercado de mobiliários, principalmente no que tange o emprego de arquivos digitais, o consumidor como *co-designer* e na emergência das galerias de produto. Aspectos relativos à fabricação digital serão detalhados em maior profundidade no capítulo 2.4.

A atividade de design com fins de customização em massa requer um amplo esforço em diferentes fases e disciplinas, sendo necessário levar em conta decisões de marketing, negócios, logística e sistema produtivo (TSENG e JIAO, 2001). Tseng e Jiao (2010) propõe o conceito *design for mass customization* (DFMC), ou design

para customização em massa. Segundo os autores, ao projetar um produto customizável é necessário incluir as necessidades do consumidor no ciclo do produto conectando consumidor e empresa, além do foco do processo ser direcionado ao projeto de famílias de produto, no lugar de produtos individuais. As necessidades do consumidor devem ser mapeadas e então atendidas através de blocos (ou módulos) cuidadosamente projetados. Para tanto é necessário estender as funções do designer no processo de criação do produto em relação à atividade tradicional (Figura 17), abrangendo áreas como comercialização, fabricação e serviço.

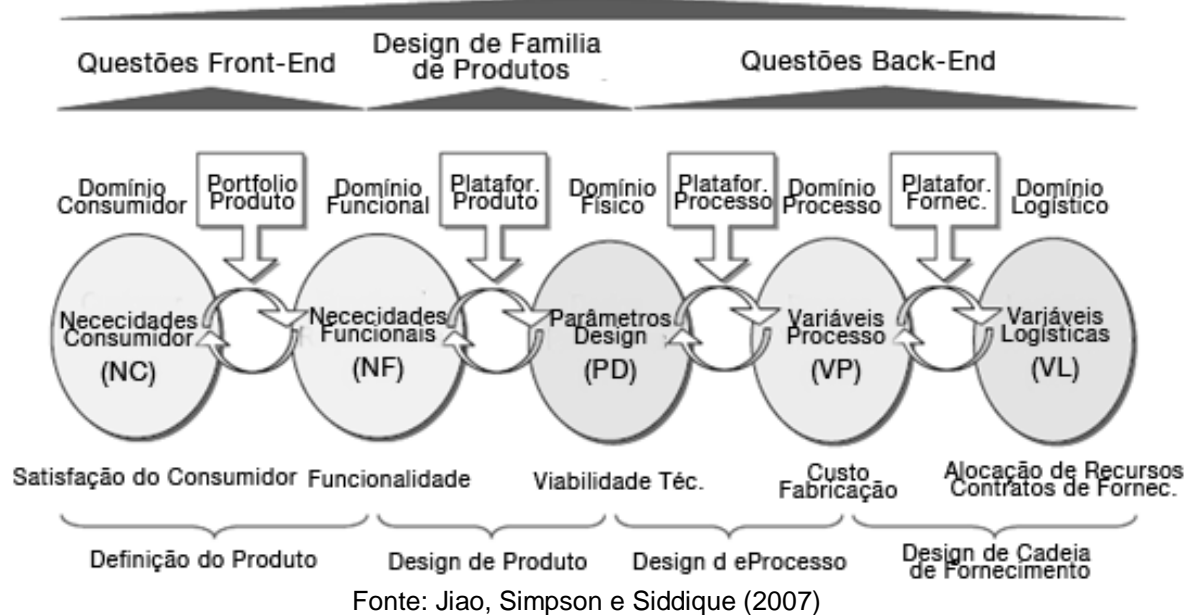
Figura 17 - Escopo de design para Customização em Massa



Fonte: Adaptado de Tseng e Jiao (2010)

Jiao, Simpson e Siddique (2007) propõem um framework para o desenvolvimento de produtos customizados a partir do design de família de produtos (Figura 18). O design de família de produtos é descrito pelos autores como “uma estrutura conceitual e organizacional lógica geral de geração de uma família de produtos, fornecendo um guarda-chuva genérico para capturar e utilizar elementos comuns[...]”. O objetivo é criar não somente diferentes soluções para um produto, mas sim modelar um processo de design para a diferenciação de produtos de modo coerente.

Figura 18 - Framework de Design de Família de Produtos
Questões Fundamentais



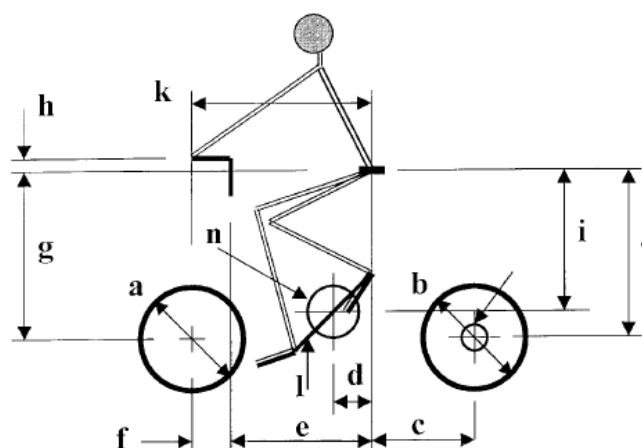
O *framework* desenvolvido pelos autores divide-se em cinco domínios, sendo o consumidor, caracterizado pelas necessidades que nortearão o desenvolvimento dos requerimentos funcionais do produto, sendo este o segundo domínio. O terceiro domínio são os parâmetros de design, que devem considerar as capacidades técnicas de execução, e são desenvolvidas a partir dos requisitos funcionais e devem basear-se na plataforma de produto. A partir dos parâmetros de design é possível detalhar os processos de produção e planejar a logística, quarto e quinto domínios respectivamente.

Considerando o conceito de plataforma de produto de Ulrich (1995) abordado anteriormente nesta pesquisa, Jiao e Tseng (2010) propõe o mapeamento desta através da arquitetura de família de produtos, “uma arquitetura genérica para capturar e utilizar a reusabilidade, da qual cada novo produto se utiliza e estende-se como âncora para futuros designs[...]” (JIAO e TSENG, 2010, tradução nossa). Sendo assim, a arquitetura da família de produtos atua como base para o desenvolvimento das famílias de produtos. Em comparação ao conceito de plataforma de produto, expande-se além do arranjo dos elementos funcionais, seu mapeamento e especificação de interfaces de Ulrich (1995), contemplando diferentes domínios que possibilitam a implementação da customização em massa em empresas (BARROS, 2015).

2.1.6 Consequências para a atividade de design

A customização em massa requer uma redefinição da atividade de design (BARROS, 2015). Num projeto customizável é necessário definir o alcance (ou parâmetros e limites) da customização, as limitações do equipamento de fabricação, e a coerência do produto final que deve atender as necessidades de uso inicialmente projetadas. Sendo assim, o projeto precisa levar em conta as regras e restrições que nortearão a forma final do produto. Medland e Mullineux (2000) exemplificam a complexidade de um projeto customizável com uma bicicleta (Figura 19), onde é necessário estabelecer as dependências entre as dimensões a fim de garantir a usabilidade, ao mesmo tempo em que se permite a alteração de variáveis.

Figura 19 - Exemplo de parâmetros dimensionais de um projeto customizável



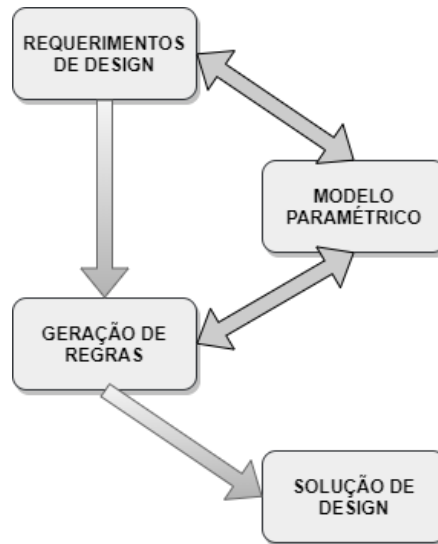
Fonte: Medland e Mullineux (2000)

Segundo Barros (2015), a customização se diferencia da produção em massa em quatro aspectos: O primeiro é a de concepção do design, a segunda emerge durante a criação de um layout preliminar de customização do produto, a terceira de criação do layout definitivo, considerando os requerimentos de fabricação, e a quarta se refere a necessidade de colaboração entre diferentes disciplinas.

O projeto de produto voltado à customização exige uma revisão dos métodos (RYBERG et. al, 2015; MEDLAND e MULLINEUX, 2000), a fim de se controlar os resultados possíveis, abrangendo a relação existente entre as técnicas de fabricação, as limitações dimensionais e a usabilidade do produto configurado. Uma das formas de atingir este objetivo é a decomposição do problema (MEDLAND e

MULLINEUX, 2000), identificado como também uma técnica para a programação procedural do design paramétrico por Woodbury (2010), como “dividir para conquistar”. Esta estratégia passa pela seleção dos requerimentos de design, geração de modelo com variáveis, parâmetros e regras, de forma cíclica, resultando na solução de design final (Figura 20).

Figura 20 - Processo de design de artefatos customizáveis



Fonte: Adaptado de Medland e Mullineux (2000)

Medland e Mullineux (2000) sugerem estratégias de projeto para objetos customizáveis:

- a) **Redução de variáveis de projeto:** Sendo o projeto um problema complexo, deve-se analisar as variáveis que resultam em diferenciação do produto final e quais podem influenciar em resultados falhos ou insignificantes, removendo-as. Isto viabiliza simplificar o problema, resolvendo primeiramente os parâmetros principais, para após re-introduzir os demais.
- b) **Redução de complexidade:** Consiste na simplificação do problema ao organizar uma ordem preferencial de resolução. Partindo-se das necessidades principais e estabelecendo suas relações, os subproblemas revelam-se mais facilmente.
- c) **Variáveis incrementais, variadas e controladas:** Como em qualquer projeto, o designer pode partir da seleção de um material ou equipamento base,

estabelecendo parâmetros limitados a partir destes fatores, limitando a variação geométrica possível. Deve-se então buscar os objetivos de design de forma incremental, utilizando técnicas conhecidas, aos poucos, buscando não interferir demasiadamente nos parâmetros iniciais.

d) **Relações fundamentais:** Após a redução de variáveis e complexidade, é possível estabelecer relações de influência entre os subproblemas, organizando-os e formando uma estratégia de resolução ordenada. Neste estágio, em projetos muito complexos pode ser necessário organizar de forma mais profunda os dados.

e) **Análise de sensibilidade:** A análise de sensibilidade é utilizada para introduzir primeiramente os parâmetros e sub-problemas fundamentais, analisando gradativamente as alterações no modelo. Ao atingir a funcionalidade, a hierarquia de subproblemas pode ser re-introduzida de forma organizada.

Estas estratégias podem ser facilitadas com o uso de modelos paramétricos com interface gráfica, ao permitir a visualização do esquema de relações, sua edição e revisão. Estas propriedades serão detalhadas em maior profundidade a seguir.

2.2 DESIGN DIGITAL

O design digital refere-se às técnicas que se utilizam do computador como ferramenta de auxílio ao projeto, e é tema abrangente que apresenta rápida evolução nos âmbitos acadêmicos e de mercado, além de novos paradigmas relacionados à evolução tecnológica que possibilitaram novos instrumentos e métodos. Neste capítulo serão apresentados os avanços na área, limitando-se ao tema de estudo. Como forma de contextualizar o design paramétrico no campo do design digital no qual este se insere, é necessário compreender o desenvolvimento das técnicas até o panorama atual.

O primeiro software de auxílio ao desenho com uso de computadores foi criado por Ivan Sutherland, em sua tese de pós-doutorado realizada no ano de 1963. O sistema de Sutherland já utilizava a parametria no cerne do seu sistema *Sketchpad*, embora a limitação dos equipamentos existentes na época não permitisse a total exploração da técnica. Desenvolvido no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), o

sketchpad é considerado um dos programas de computador de maior influência já criados. Foi concebido como forma de testar a interação entre usuário humano e o meio digital, “permitindo o desenho de primitivos básicos como o ponto, linha e arcos, utilizando uma caneta e um monitor, além de permitir a lógica associativa de relações entre objetos” (TEDESCHI, 2014). Mais do que apenas desenhar, o usuário do *Sketchpad* comunica ao computador relações geométricas, de forma que mudanças se propagam através de funções explícitas, alterando o resultado final (DAVIS, 2013).

A implementação de softwares de auxílio ao desenho, conhecidos como CAD - *Computer Aided Design* - a partir dos anos 1960, fruto da tese de Sutherland, focaram primeiramente nas técnicas de representação (MONEDERO, 2000). As qualidades associativas do *Sketchpad* de Sutherland não foram implementadas imediatamente pelos softwares comerciais, como o AutoCAD® de 1982, mesmo este tendo alcançado o mercado quase 30 anos depois. O objetivo geral destes softwares era acelerar o processo de desenho ao digitalizar a prancheta, mantendo a lógica de desenho tradicional (CELANI, 2002; OXMAN, 2006; TEDESCHI, 2014).

Acompanhando a evolução tecnológica que propiciou maior adoção e desenvolvimento de novos sistemas menores, de menor custo e com menos limitações, houve grande evolução dos softwares CAD (CELANI, 2002). Do fim dos anos 80 em diante aprofundou-se a pesquisa acadêmica e o desenvolvimento de novos softwares e tecnologias, como o BIM (*Building Information Modeling*) (EASTMAN, 2011), e emergiram as técnicas baseadas em programação e uso de algoritmos (AID - *Algorithmic Aided Design*), viabilizando complexidade além das capacidades humanas, através da estruturação de rotinas e procedimentos (TEDESCHI, 2014; MONEDERO, 2000).

A primeira mudança em direção ao uso do design paramétrico como ferramenta de projeto ocorreu em 1987, com a introdução do *software Pro/ENGINEER*, desenvolvido por Samuel Geisberg. Sua interface permitiu aos usuários associar e criar relações entre objetos tridimensionais, controlados por parâmetros. Sendo assim, era possível em um projeto, por exemplo, associar um parafuso ao seu local de inserção. “Ao modificar o parafuso, automaticamente o local de inserção é também modificado, indicando uma propagação de dados e propriedades”

(TEDESCHI, 2014). Este novo tipo de interação do designer com o projeto ocasionou uma mudança de paradigma.

2.2.1 Parametric Design Thinking

Para Rivka Oxman (2006) esta evolução tecnológica além de proporcionar o uso de ferramentas digitais nos processos de projeto e concepção de produtos, também foi acompanhada da evolução nas teorias do design suportadas pelas formas de interação, uso de diferentes ferramentas e técnicas, além de estratégias para concepção da forma. Sendo assim, o uso de processos digitais pode influenciar de grande forma o desenvolvimento e formas de cognição do designer durante a criação, sendo mais do que uma mera nova ferramenta a disposição.

Devido aos significativos avanços tecnológicos relacionados ao design, teorias e processos de design estão passando por uma reformulação e mudança epistemológica (OXMAN; GU, 2015). O design paramétrico pode ser entendido como uma forma de projetar e criar que vai além da simples utilização de recursos de representação tridimensional, sendo também uma forma de relação cognitiva com os processos computacionais (OXMAN, 2017), visto que no design paramétrico se projeta um processo que resultará em um objeto, e não diretamente o objeto (TEDESCHI, 2014). Esta relação representa o *parametric design thinking*, sendo este o estudo da intersecção entre a cognição criativa do designer, os modelos paramétricos como ferramenta e os processos digitais de design (OXMAN, 2017).

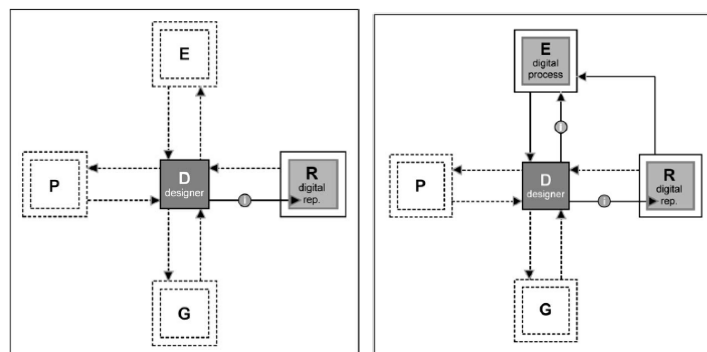
Nos modelos tradicionais do design o papel do designer não é explicitado de forma sistemática, entretanto no design digital essa explicitação é necessária devido à alta significância da natureza dos processos de interação e tipo de controle que há sobre o projeto. Para tanto Oxman (2006) formulou diferentes modelos que explicitam esse papel sistematicamente, representando suas relações.

Os modelos de Oxman (2006) se utilizam de quatro componentes básicos, sendo a representação (R) relativa à mídia que representa o projeto, a geração (G) que se refere a processos generativos digitais, a avaliação (E) que envolve processos avaliativos de julgamento e a performance (P), que inclui questões de desempenho.

Para Barros (2015) os componentes representação e geração estão mais ligados a área de design e os componentes avaliação e performance as áreas ligadas à engenharia. Os componentes básicos relacionam-se com o designer, que assim como nos processos tradicionais é figura central dos modelos, ou entre si através de ligações que representam relações de interação, ligação explícita ou implícita. A seguir são apresentados alguns dos modelos desenvolvidos por Oxman (2006) a fim de elucidar as modificações ocorridas no ato de projetar utilizando-se do design digital.

Os modelos CAD e CAE – Engenharia Auxiliada por Computador (Figura 21) baseiam-se na representação digital do desenho. Segundo Charles M. Eastman (2011) os primeiros softwares comerciais que permitiram este tipo de interação surgiram nos anos 1970, utilizando-se de primitivas gráficas, a introdução de símbolos, células e camadas. A evolução e adoção deste tipo de software revolucionou a indústria da arquitetura e design (TEDESCHI, 2014).

Figura 21 - Modelos CAD e CAE



Fonte: Oxman (2006)

Apesar desta revolução, Monedero (2000) cita diversas limitações deste sistema do ponto de vista da interatividade: A falta de possibilidades de edição de superfícies, principalmente as complexas como terrenos em modelos arquitetônicos, a falta de possibilidades de edição de volumes de forma interativa, a falta de possibilidade de estabelecer relações durante as partes durante as modificações volumétricas, e a falta de integração entre os sólidos e superfícies. Tesdeschi (2014) corrobora:

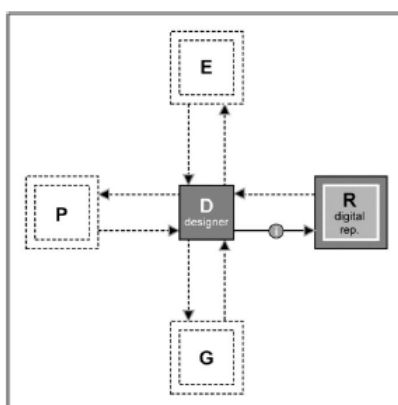
O software CAD simplesmente melhorou a capacidade de executar tarefas repetitivas sem afetar o método de design. Semelhante ao desenho tradicional, o CAD encarregou o designer de determinar a consistência geral adicionando sinais digitais ou primitivas geométricas em uma folha / espaço

digital e controlando as camadas CAD; esse método pode ser visto como a tradução da lógica aditiva dentro do domínio digital.(p.16, tradução do autor)

Entretanto, Inicialmente limitados às operações de transposição do desenho tradicional para o meio digital, estes softwares mais tarde ganharam linguagens próprias de *script*, permitindo algum nível de customização e programação procedural para automatização de processos e aplicação de regras (Eastman, 2011). Com isto, houve a implementação dos sistemas CAE, abrangendo um novo nível de interação com o modelo. O projetista além de interagir diretamente com a representação gráfica, interage também com seu processo digital de avaliação e propriedades, permitindo diversos ciclos de projeto, embora o tipo de interação ainda ocorra no âmbito direto da representação.

Já no modelo de formação digital (Figura 22), ocorre uma mudança de paradigma: o designer interage com o meio digital indiretamente, estabelecendo regras, procedimentos e propriedades do objeto que será representado digitalmente, no lugar da interação explícita com o modelo, baseada na lógica de desenho tradicional. O processo de representação então ocorre de forma implícita através do uso de técnicas como o *scripting* e uso de geometria com alto nível de controle. “[...] com a libertação da lógica tradicional de representação, a teoria emergente de design transformou o conceito de forma no conceito de formação” (OXMAN, 2006, p. 249). Nos modelos de formação, o software é empregado como método auxiliar de exploração e geração das formas (BARROS, 2015), introduzindo novas formas de pensamento como o *parametric design thinking*.

Figura 22 -Modelos de Formação Digital

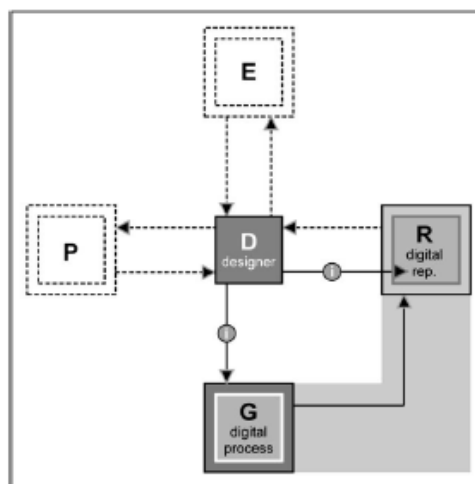


Fonte: Oxman (2006)

Oxman (2006) classifica os modelos de formação digital em três categorias: o topológico, associativo e baseado em movimento. Nos modelos topológicos, o foco é a transformação formal do objeto através dos seus elementos geométricos de construção ou através de sua topologia, referindo-se às propriedades do objeto. Interações com curvas NURBS (*non-uniform rational b-splines*) ou operações como *loft*, comuns nos softwares de modelagem tridimensional atuais, estão nesta categoria (OXMAN, 2006).

O modelo associativo baseia-se nos modelos paramétricos, em que há associações geométricas. No design paramétrico as relações entre os objetos se dá de forma explícita - são descritas, planejadas e com relações de interdependência estabelecidas. O modelo é indiretamente controlado através de parâmetros, em um *esquema paramétrico*. Os primeiros softwares a empregar o modelo de formação associativo foram o CATIA®, o Digital Project® e o Generative Components®. Atualmente o Grasshopper® e o Autodesk® Dynamo® estão entre os softwares mais utilizados. O modelo associativo permite a exploração de múltiplas soluções de design, mantendo condições de relações topológicas entre as partes. Os softwares de design paramétrico oferecem uma representação sofisticada e em tempo real dos modelos, o que possibilita ao designer maior controle e resposta automática à medida que mudam os parâmetros (HERNANDEZ, 2006; WOODBURY, 2010). Já o modelo baseado em movimento trata de técnicas utilizadas na animação, transportadas para a exploração de design.

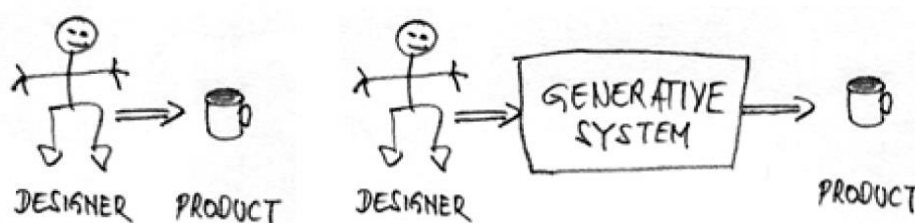
Figura 24 -Modelos Generativos



Fonte: Oxman (2006)

Nos modelos generativos a interação ocorre com mecanismos digitais de geração da forma. Diferentemente dos modelos CAD, em que o designer interage diretamente com a estrutura geométrica, e dos modelos de formação digital, em que o designer interage com as relações geométricas e topológicas dos objetos, neste modelo a interação ocorre com a criação de um mecanismo digital que constrói ou deriva formas a partir de regras generativas, relações e princípios (OXMAN, 2006). Thomas Fischer e Christiane M. Herr (2001) diferenciam o design generativo das técnicas tradicionais a partir da interação não direta com materiais e produtos, mas sim via um sistema generativo (Figura 24).

Figura 24 – Processo Generativo



Fonte: Fischer e Herr (2001)

Um sistema generativo pode ser descrito como definições abstratas de possibilidades de variações de design de produtos ou suas partes. Estes sistemas não necessariamente precisam ser digitais, entretanto o uso de meios digitais aumenta sua aplicabilidade e possibilidades (FISCHER e HERR, 2001). Segundo os autores, o uso de sistemas generativos propicia a geração de “famílias” de design, ou gerações. Isto se dá a partir da abstração, que garante capacidades genéricas de solução para um espaço de problema delimitado. Sendo assim, é possível argumentar que os sistemas generativos são de grande valia para a implementação de sistemas com o objetivo de customização em massa quando o objetivo é atingir o nível máximo de personalização possível.

Gabriela Celani, Carlos Vaz e Regiane Pupo (2013) completam o entendimento, ao afirmar que:

“um sistema generativo é um método indireto de projeto, no qual o projetista não se preocupa com a solução de um problema particular em um contexto específico, mas sim com a definição de um método que possibilite resolver problemas semelhantes em diferentes contextos e com características ligeiramente distintas”. (p. 24)

Celani, Vaz e Pupo (2013) descrevem ainda as situações em que se pode empregar o sistema generativo, relacionando-as com o objetivo e grau de definição do problema e do espaço de solução:

- a)** Otimização de soluções de problemas: Quando o problema possui critérios, mas não existe método direto para encontrar a solução. Neste caso, é possível gerar e testar muitas possibilidades a fim de selecionar a melhor solução.
- b)** Geração de famílias de objetos: Quando se busca um grande número de soluções similares, mas que apresentam diferenças.
- c)** Exploração: Quando os critérios do problema não são bem definidos, e é necessário avaliar diferentes soluções possíveis.

Apesar de Oxman (2006) classificar o design paramétrico como modelo de formação digital, Ipek Gürsel Dino (2012) argumenta que este pode ser interpretado como uma classe dos sistemas generativos, devido a sua fundação algorítmica e sua capacidade de expansão do espaço de exploração de soluções através de parâmetros. Celani, Vaz e Pupo (2013) também classificam o design paramétrico como sistema generativo em seu artigo “Sistemas Generativos de Projeto: Classificação e Reflexão sob o Ponto de Vista da Representação e dos Meios de Produção”, ao apontar que descrições paramétricas podem ser utilizadas para obtenção de múltiplas soluções, delimitando o espaço do problema através de limitações nos parâmetros com visualização em tempo real, permitindo a exploração. Por adotar o design paramétrico como ferramenta de construção de múltiplas soluções dentro de um espaço específico de problema, tendo como objetivo a geração de família de produtos, além de utilizar a definição paramétrica como instrumento de exploração, neste trabalho é portanto utilizado o entendimento do design paramétrico como elemento pertencente a classe de modelos generativos, ainda que de forma limitada.

Oxman (2006) ainda demonstra os modelos baseados em performance, modelos estes que englobam análise analítica de fatores de performance como ambiental, custos ou outros. Estes modelos podem ser baseados em formação ou geração.

2.2.3 Design paramétrico

Segundo Leach (2014), Paramétrico é um termo usado em uma variedade de disciplinas, da matemática ao design. Literalmente o termo significa trabalhar com parâmetros de alcance definido. Dentro especificamente do campo do design contemporâneo, entretanto, refere-se amplamente ao uso de software de desenho paramétrico. Nestes softwares, o design paramétrico é realizado a partir de modelos paramétricos. “Estes modelos são a representação do projeto através de entidades geométricas que possuem atributos ou propriedades que podem ser fixos ou variáveis, sendo estes últimos chamados parâmetros” (HERNANDEZ, 2006, p. 310).

O design paramétrico é “um processo dinâmico, baseado em regras, controlado por variantes e parâmetros, no qual múltiplas soluções de design podem ser desenvolvidas em paralelo” (YU; GERO; GU, 2015 p.85). Rivka Oxman (2017) descreve o design paramétrico como algo além de apenas uma ferramenta para projeto, compreendendo também uma forma diferente de pensar e produzir design.

O processo paramétrico aplicado ao desenho e forma não é uma ideia nova. Celani, Vaz e Pupo (2013) identificam a lógica generativa já nos tratados de Palladio (1570) e de Durand (1809), visto que se utilizavam de relações matemáticas, variáveis e regras de composição, sendo assim um processo paramétrico “analógico”, visto que não se utilizam de ferramentas digitais para concepção.

O design paramétrico possibilita a criação e modulação da diferenciação dos elementos de design (OXMAN, 2017), possibilitando a criação de modelos complexos com características personalizáveis ou customizáveis. Woodbury (2010) difere a modelagem paramétrica do desenho tradicional comparando as ferramentas utilizadas: no desenho tradicional, são utilizados métodos para construção do desenho de adição e subtração, como por exemplo, um lápis e uma borracha. Na modelagem paramétrica, as partes do desenho se relacionam e alteram umas às outras de maneira coordenada. Sendo assim, é possível além de adicionar e apagar, relacionar e corrigir, introduzindo mudanças fundamentais nos sistemas de desenho, e na própria forma de projetar. As mudanças destacadas por Woodbury podem ser

relacionadas aos modelos de Oxman (2006), que tratam da interação no processo digital sobre a ótica do *parametric design thinking*.

A lógica aditiva do desenho tradicional implica em dois limites: primeiro, o ato de desenhar difere de mecanismos cognitivos durante o processo criativo (OXMAN, 2017), visto que este processo funciona estabelecendo relações em vez de apenas adicionar informação. Segundo, que o desenho exclui aspectos relevantes que influenciam a geração da forma no mundo real (TEDESCHI, 2014).

Com o advento dos softwares CAD, esta lógica presente no desenho tradicional se manteve, em que a transposição do desenho para uma prancheta virtual é feita a partir da construção do desenho em camadas, sendo esta uma tradução da lógica aditiva no meio digital (TEDESCHI, 2014; OXMAN, 2017). O uso destes softwares foi de grande valia para processos de replicabilidade e digitalização do processo de projeto, atuando ainda como um viabilizador da fabricação digital de artefatos, entretanto suas limitações não compreendem a mudança de paradigma ao trabalhar um modelo adaptável. Com adoção de características paramétricas por softwares de uso comercial e educacional este quadro mudou. Estes novos softwares possibilitaram ao designer interagir com o projeto através de linguagens de programação e sequencias de passo-a-passo contendo regras, variáveis e condicionantes. Esta sequencia pode ser chamada de algoritmo.

Segundo a definição de Berlinski (1999), um algoritmo é:

“Um procedimento finito, escrito em um vocabulário simbólico fixo, governado por instruções precisas, que se move em passos descritos (1,2,3...), cuja execução não exige discernimento, sabedoria, intuição, inteligência ou perspicácia, e que, cedo ou tarde, chega a um fim.”

Woodbury (2010) vê nesta descrição dois aspectos fundamentais de relação com o design: O processo, que deve ser especificado passo-a-passo, pois no design é mais comum descrever objetos do que processos, e a precisão da informação, já que a representação no design é normalmente repleta de imprecisão, contando com a interpretação humana. O passo-a-passo expresso em um algoritmo pode ser definido como uma sequência de instruções entendidas como *input* e *output*. O *input* é a entrada de dados para execução de determinada função, e o *output*, seu

resultado. É importante que o planejamento dessas etapas seja bem definido, evitando dados ambíguos que podem levar ao erro (TEDESCHI, 2014; WOODBURY, 2010).

Um algoritmo pode levar a construção de geometrias (TEDESCHI, 2014). No design paramétrico, a matemática envolvida, o gráfico da relação entre suas partes, e os limites geométricos precisam ser definidos como forma de produzir a estrutura das soluções (OXMAN, 2014). Esta estrutura pode estar expressa em algoritmos, na forma de códigos, denominadas linguagens de programação. A linguagem provê as funções para adicionar, modificar ou apagar objetos do modelo (WOODBURY, 2010).

O uso de algoritmos possibilita estabelecer um conjunto de regras a serem seguidas pelo computador para a geração de linhas, formas e características. Embora tenham caráter abstrato, estas sequências estabelecidas no projeto podem ser traduzidas com o uso de editores. Estes editores podem ter caráter textual, e a atividade de programação utilizando-se este tipo de técnica é conhecida como *scripting* (WOODBURY, 2010).

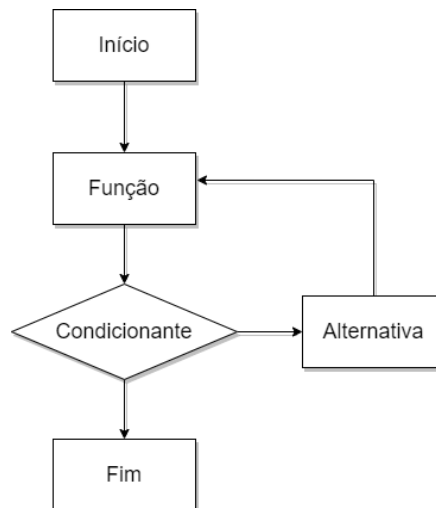
Celani e Vaz (2012) descrevem as linguagens de script como linguagens de programação que permitem o controle de um programa, não necessitando de compilação para funcionar como as linguagens tradicionais. Sua estrutura e sintaxe podem apresentar grande variação, o que pode acarretar dificuldade de ensino e aprendizagem. Ainda assim, o uso de *scripting* pode estender de sobremaneira as funções de um programa, como por exemplo a linguagem AutoLISP para AutoCAD®, que possibilita a automatização de processos e estabelecimento de condicionantes *if/then/else* (se, então, se não), inclusive com propriedades paramétricas. Entretanto, no uso de linguagem script é necessário seguir a sintaxe de forma exata, ou o código resultará em erros inesperados difíceis de detectar.

A evolução das linguagens de programação e interfaces possibilitou a criação de novos softwares a fim de melhor explorar as possibilidades dos métodos generativos, dentre eles o paramétrico. Entretanto, o uso da linguagem de programação demonstrou ser uma forte barreira ao emprego da técnica, ficando limitada a utilização por grandes empresas e escritórios de arquitetura. Uma forma

de reduzir esta dificuldade é através do uso de linguagens de programação visual, em que o algoritmo é estabelecido com diagramas gráficos. Além da facilidade de compreensão do esquema, este tipo de programação geralmente dispensa atividades como declaração de variáveis (CELANI; VAZ, 2012).

O software *Grasshopper*®, um *plug-in* para o software *Rhinoceros*®, busca solucionar este problema ao entregar uma interface gráfica de fácil compreensão, onde os algoritmos são ligados de forma a estabelecer uma relação paramétrica entre os componentes. Um algoritmo pode ser expressado como um gráfico de interdependências, passos e resoluções possíveis. Este gráfico é conhecido como diagrama de nós ou *flow* (TEDESCHI, 2014). Em um diagrama *flow* a sequência de passos se dá a partir de flechas direcionais, que indicam o caminho de resolução. Retângulos representam blocos de resolução e losangos representam condicionantes, que podem gerar ramificações no processo de resolução (Figura 25).

Figura 25 – Diagrama *flow*



Fonte: Do autor

2.2.3 *Grasshopper*® como ferramenta de projeto

Como forma de simplificar a construção de algoritmos, diversos desenvolvedores criaram ferramentas visuais a fim de tornar a programação (atividade de *scripting*) mais acessível aos usuários comuns. Essa representação se dá a partir de um diagrama de nós (CELANI; VAZ, 2012, TEDESCHI, 2014). “Esta interface gráfica

representa objetos como nós em um gráfico e as relações como ligações entre estes nós” (WOODBURY, 2010, p.12). Dessa maneira, “a programação visual criou uma interface dinâmica e mais amigável para a utilização e controle de informações pelo usuário” (VELOSO; CHEEREN; VASCONCELOS, 2017, p.90). Apesar de facilitar a criação de algoritmos sem conhecimento dos códigos simbólicos de programação por usuários inexperientes, suas capacidades podem ser estendidas por meio do uso de *scripts*. Uma representação do diagrama de nós para representação de uma linha através de dois pontos pode ser observado na Figura 26.

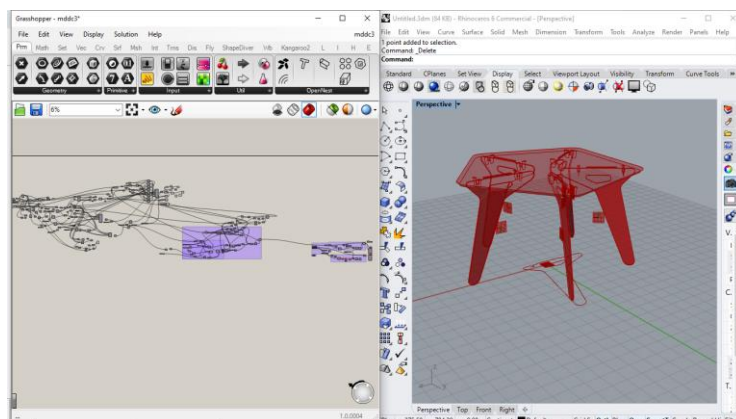
Fig. 26 - Diagrama de nós no *Grasshopper*



Fonte: Tedeschi (2014)

No *Grasshopper*® há duas janelas de visualização (Figura 27): em uma é descrito o algoritmo, utilizando o gráfico de nós e relacionando componentes, em outra, há a interface do software *Rhino*®, em que é possível acompanhar a execução do algoritmo em tempo real, possibilitando correções quando necessário. A atividade de ação-observação-correção pode ser entendida como a própria atividade projetual, utilizando-se de conceitos do *parametric design thinking*, visto que a interação do designer ocorre com o esquema paramétrico de geração da forma, e não diretamente esta. Celani e Vaz (2012) descrevem a importância do *feedback* visual em tempo real como auxiliar na exploração de design através de variações paramétricas.

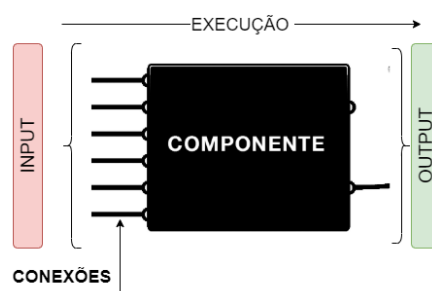
Figura 27 - *Grasshopper*® e *Rhino*®



Fonte: Do autor

A janela que comporta o esquema paramétrico é chamada *canvas*, e nela ocorre a interação do usuário com o esquema paramétrico através de componentes. Estes componentes podem ser ligados uns aos outros de forma a estabelecer as relações paramétricas e geométricas de formação do modelo (CELANI; VAZ, 2012; TEDESCHI, 2014). Assim como nos diagramas *flow*, os componentes possuem propriedade de *input* para entrada de dados e *output* para a saída. Sua organização se dá na forma de leitura da esquerda para direita (Figura 28).

Fig. 28 – Componentes do Grasshopper®



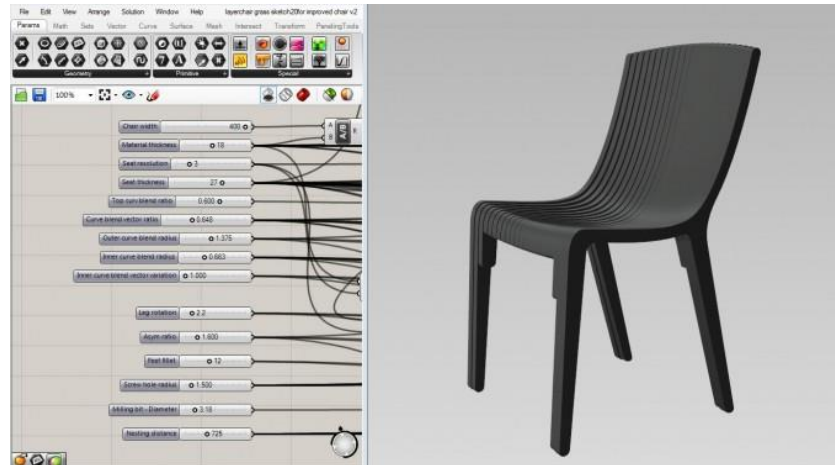
Fonte: Do autor

A utilização de ferramentas paramétricas de fácil aprendizado em comparação às linguagens tradicionais de programação a partir de interface gráfica, como é o caso do programa *Grasshopper®*, tem potencial de impactar o processo de projeto de produtos, na medida em que permite a rápida investigação da forma e a correlação de parâmetros. O processo de projeto no design está intimamente relacionado à investigação de um ou vários problemas, abrangendo diversos condicionantes. Baxter (2011) afirma que o desenvolvimento de novos produtos é um problema de difícil solução, tendo seu sucesso ou fracasso, dependência de múltiplos fatores. A introdução de uma ferramenta de projeto paramétrica pode contribuir para a análise preliminar destes múltiplos fatores, além de facilitar a rápida correção em caso de necessidade, economizando tempo e recursos. Em se tratando do *Grasshopper®*, além do *feedback* visual do projeto, há também um acompanhamento visual quanto à execução do código, em que os componentes mudam de cor, facilitando a localização de erros e sua detecção durante o ato de programação (CELANI; VAZ, 2012).

No caso de mobiliários, a utilidade da aplicação do design paramétrico pode se exemplificar a partir do projeto *Layer Chair – Amsterdam Edition*, projeto realizado

em 2011 pelo designer Jens Dyvik. O projeto é concebido baseando-se numa curva geradora do formato do assento, e a geração do objeto ocorre a partir de regras estabelecidas controladas por variáveis numéricas. A estratégia de fabricação se dá pela técnica *slicing*, em que há um “fatiamento” do modelo a fim de possibilitar sua construção utilizando apenas elementos planos fabricados por fresadora CNC (Figura 29).

Figura 29 – Layer Chair – Modelo Paramétrico



Fonte: DyvikDesign (2021)

A partir do esquema paramétrico é possível intervir com grande liberdade na forma (Figura 30), explicitando a atividade de projeto possibilitada pelo uso do *software* Grasshopper®, observando as modificações e intervindo no esquema conforme necessário. A interação ocorre de forma indireta, visto que a forma é gerada pelo conjunto de regras estabelecido, o algoritmo.

Figura 30 – Layer Chair – Variações

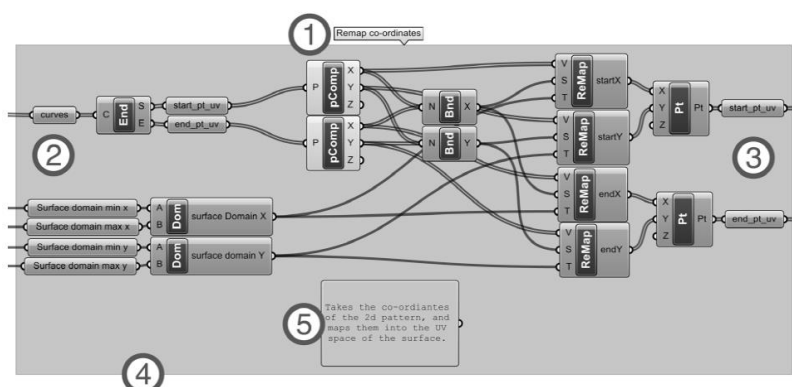


Fonte: DyvikDesign (2021)

Acerca da edição de esquemas paramétricos, é importante atentar-se a sua organização devido a grande complexidade que pode ser alcançada nos modelos. Daniel Davis, Jane Burry e Mark Burry (2011) descrevem as dificuldades de edição e leitura que podem ocorrer em esquemas paramétricos em decorrência da falta de cuidado na sua construção. O esquema paramétrico é "a coleção de relações entre funções e parâmetros, com o próprio modelo sendo o modelo geométrico onde a forma é função desses parâmetros finitos" (DAVIS; BURRY; BURRY, 2011 p. 55, tradução nossa). A geometria resultante de um esquema paramétrico geralmente pode ser modificada ao se alterar os parâmetros presentes no esquema. No entanto, quando é necessário intervir na lógica inicial que define a geometria no processo que Woodbury (2010) chama de "apagar, editar, relacionar e reparar", há necessidade de localizar e interpretar os componentes e funções de cada nodo ou parte do script. Como forma de facilitar este processo e permitir a colaboração da equipe de projeto ou mesmo composição de códigos a partir de partes de diversos autores, os autores propõe a utilização de conceitos provenientes da computação, como a programação modular.

Um módulo no esquema paramétrico pode representar um conjunto de componentes que tem determinado fim. O módulo deve conter algumas características básicas (Figura 31) ressaltadas por Davis, Burry e Burry (2011), como título conciso (1) e que explicita a função do módulo (4), inputs agrupados sempre a direita (2), outputs agrupados sempre a esquerda (3), além de uma descrição (5). Alguns ambientes de modelagem paramétrica permitem ainda a organização em grupos e uso de cores, como no caso do Grasshopper® .

Figura 31 – Esquema Paramétrico



Fonte: Davis, Burry e Burry (2011)

2.3 FABRICAÇÃO DIGITAL

Gershenfeld (2012) descreve a fabricação digital como um conjunto de capacidades em evolução de transformar dados em coisas e coisas em dados. O termo fabricação digital (FD) refere-se a métodos de produção auxiliados por computador, compreendendo conceitos como a prototipagem rápida, manufatura aditiva e mais expressivamente refere-se às técnicas CNC - *Computer Numeric Control* - em que a materialização acontece a partir da transposição de dados do meio digital para o físico através de máquinas controladas por computador. O uso da fabricação digital está presente na indústria há décadas. As primeiras máquinas de fabricação digital datam de 1952, quando foi criada no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) a primeira fresadora CNC (GERSHENFELD, 2012). Sua invenção levou a criação de equipamentos que revolucionaram os sistemas de produção ao permitir maior controle e versatilidade na fabricação de produtos (GERSHENFELD, 2012; VAN STRALEN, 2018).

Junto às técnicas CAD, o método de produção digital (CAM - *computer aided manufacture*) e a robótica transformaram a produção em massa, e a proliferação gradual das tecnologias da informação e comunicação levaram a uma democratização do acesso a estas tecnologias (MALAKUKCZI, 2017). Hoje em dia a fabricação digital é amplamente utilizada pela indústria (MAGRI, 2015), e está presente de forma direta ou indireta na maioria dos produtos que consumimos, e seu acesso difundido tem como potencial desafiar os métodos tradicionais de negócios e educação (GERSHENFELD, 2012).

Tradicionalmente utilizada no design para a prototipagem rápida na concepção, para posterior produção em massa, a FD vêm “através desta democratização sendo utilizada por pequenas e micro empresas, estúdios de design ou designer individuais para a produção de produto final” (MALAKUCKZI, 2017, p. 582). Espaços como *FabLabs* e *Makerspaces* estão presentes em cada vez mais cidades, viabilizando e fomentando seu uso por pequenos produtores, *makers* e comunidades. Como efeito, ocorre um movimento de “disrupção nos âmbitos tecnológico, cultural e econômico, que promete transformar a produção de produtos” (MOTA, 2011, p. 2).

Existem indicadores que a fabricação digital possibilitará a emergência de pequenas fábricas e a expansão da micro produção, em conjunto com a fabricação em massa de artefatos (MOTA, 2011; GERSHENFELD, 2012), visto que uma das vantagens trazidas pela FD é a viabilização de produção flexível de objetos físicos, seja em pequena ou grande quantidade e com custo parecido a itens fabricados em massa. (MOTA, 2011). No Quadro 04 são demonstradas as diferenças entre os métodos produtivos com e sem o uso de fabricação digital, e suas características e futuros cenários possíveis propostos por Barros (2015) com base na literatura.

Quadro 04 - Atributos das Fábricas.

Atributo	Passado	Presente	Alternativa para o Futuro
Tamanho da fábrica	Micro e pequenas empresas (1 a 20 funcionários)	Médias e grandes (50 até mais de 500 funcionários)	Micro, pequenas e médias (1 até 200 funcionários)
Volume de Produção	Baixo (produção sob encomenda)	Alto (produção em massa)	Baixo ou Médio (produção sob encomenda ou séries limitadas)
Mercado consumidor	Local	Regional e Global	Local e Regional
Projeto do produto em relação ao consumidor	Customizado	Seriado	Customizado
Flexibilidade da linha de produção	Média	Muito baixa	Alta
Integração entre projeto e produção	Sem integração (desenhos bidimensionais)	Limitada (controle de processos específicos)	Alta (diferentes processos em um mesmo equipamento)
Matéria-prima	Madeira sólida	Compósito de madeira e resina Metal	Madeira sólida Compósito de madeira e resina Polímero
Manipulação da matéria-prima	Manual	Mecânica (controle manual e controle computacional)	Mecânica (controle computacional)

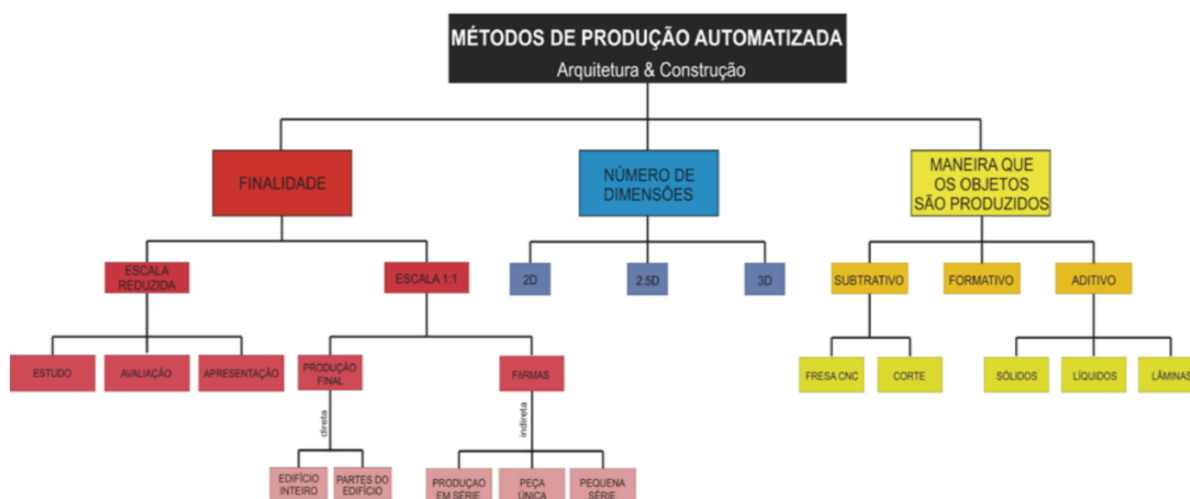
Fonte: Barros e Silveira (2015)

O uso de equipamentos de fabricação digital facilita a customização de produtos, e seu uso em espaços coletivos aumenta seu alcance. As possibilidades da fabricação digital estão também ligadas aos diferentes métodos e equipamentos existentes. Estes serão tratados a seguir.

2.3.1 Métodos de fabricação digital

Os equipamentos e técnicas de fabricação digital podem ser classificados de diversas formas, compreendendo a sua finalidade e maneira de produção (CELANI, VAZ, PUPO, 2008; KOLAREVIC, 2001). Nesta pesquisa serão tratadas as classificações apresentadas por Celani, Vaz e Pupo (2008) quanto à finalidade, número de dimensões e maneira que os objetos são produzidos (Figura 32). Embora a classificação dos autores seja focada nas áreas de arquitetura e construção, é possível estabelecer paralelos com a produção de objetos.

Figura 32 – Métodos de Produção Automatizada



Fonte: Celani, Vaz e Pupo (2008)

Quanto à finalidade, a produção automatizada pode ser destinada a produção de protótipos em escala reduzida, quando o objetivo é estudar, avaliar ou apresentar um objeto. Pode também destinada a produção em escala real do objeto, seja suas partes ou por completo, quando o objetivo é obter o produto final seja para uso próprio ou comercialização.

Quanto às dimensões, pode ser classificadas como método 2D, 2.5D ou 3D. Esta classificação está também relacionada à maneira como o objeto é produzido, levando em consideração as limitações do material e equipamento (CELANI, VAZ, PUPO, 2008). O método 2D, ou bidimensional, conforme classificado por Kolarevic (2001), é um dos mais utilizados (MAGRI, 2015), por exigir o uso de equipamentos de 2 ou 3 eixos, representando menor custo e complexidade. Consiste na utilização de uma “cabeça” móvel ou fixa, que age sobre o material, e uma “cama”, também móvel ou fixa, onde é depositado o material. Este tipo de fabricação se dá geralmente por máquinas tipo CNC, onde os equipamentos controlados por computador removem material como técnica de transformação. Estas estratégias envolvem uma etapa no processo de projeto e criação do artefato a se fabricar, e objetivam viabilizar a produção e montagem deste, visto a transformação ocorrer em material pré-existente geralmente constituído de chapas planas. A fabricação através do método 2D se dá a partir de estratégias de projeto como:

- a) **Contornos:** O objeto é dividido em uma sequência planar de seções, normalmente paralelas e de intervalo definido, produzidos automaticamente via software. Esta estratégia é também conhecida como *waffle* (KOLAREVIC, 2001).
- b) **Triangulação** (*tessellation*): Consiste na planificação de formas tridimensionais complexas em triângulos ou polígonos de forma que sua posterior montagem se aproxime da forma geradora (KOLAREVIC, 2001).
- c) **Ruled Surfaces:** Interpolação linear entre duas curvas. Utilizado para construção de superfícies de dupla curvatura (KOLAREVIC, 2001).
- d) **Unfolding:** Consiste na divisão do objeto em superfícies planares otimizadas para montagem (KOLAREVIC, 2001).

O método 2.5D refere-se a transformações tridimensionais no material, porém limitadas ao uso de 3 eixos e formas de complexidade limitada a relevos. É o caso, por exemplo, das fresadoras CNC. Já o método 3D refere-se principalmente aos métodos de prototipagem rápida, conhecidos como impressão 3D. Nestes métodos, a fabricação dos objetos se dá pelo depósito de material (tratado a seguir como

método aditivo). Sua limitação está diretamente relacionada às dimensões da máquina utilizada para fabricação, bem como o material utilizado (KOLAREVIC, 2001). A principal vantagem deste método é a possibilidade de criar objetos sólidos sem interferir na forma, bem como produzir objetos com características que afetam seu interior (GERSHENFELD, 2012).

Quanto a maneira que os objetos são produzidos, a produção automatizada pode ser classificada como método aditivo, formativo ou subtrativo. A FD pelo método subtrativo compreende as técnicas que envolvem a remoção de determinada quantidade de material de algum sólido (como chapas de madeira, blocos de materiais diversos) (KOLAREVIC, 2001). Esta remoção de material se dá a partir de uma ferramenta controlada por eixos numéricos, e compreende equipamentos como a fresadora CNC, a gravadora/cortadora a laser, cortadoras a plasma e jato de água, e cortadora de vinil. As características de cada processo estão demonstradas no Quadro 05, abaixo.

Quadro 05 - Métodos de FD subtrativos

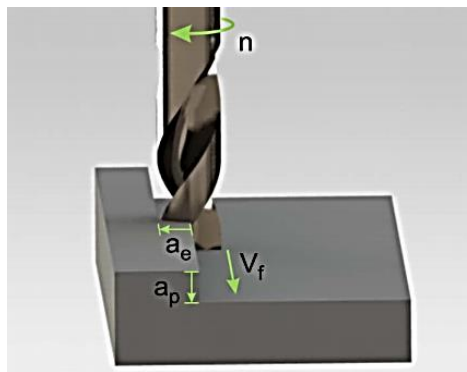
Tecnologia	Matéria Prima	Formato	Dimensões das Peças	Características	Técnica
Cnc Milling	Madeira, Metais e Polímeros	Bloco de material rígido	tridimensional	Possibilita produção de matrizes e peças piloto de alto desempenho	Desbaste de material através da rotação da ferramenta
Cnc Router	Madeira, Metais e Polímeros	Chapas e Painéis rígidos	Bidimensional com relevo (2.5D)	Utilização de equipamento de valor acessível	Corte ou desbaste através de fresa
Corte a Laser	Madeira, Metais, Polímeros e cerâmicos	Chapas e Painéis rígidos	Chapas e Painéis rígidos	Não há desgaste da ferramenta elevado calor na gra pode gerar compostos químicos nocivos,	Corte ou gravação através de laser focalizado com radiação ajustável
Corte Jato de Água	Elastômeros, Metais, Polímeros e cerâmicos	Chapas e painéis	Bidimensional	Corte de materiais flexíveis. Não há desgaste da ferramenta	Corte através de jato de água e alta velocidade
Corte de Vinil	Vinil	Lâminas	Bidimensional	Corte preciso de baixo custo	Corte com lamina ou laser de lâminas

Fonte: Werlang et al (2017)

Dentre os métodos subtrativos, no que tange a produção de mobiliário, se destaca o uso de CNC *router* (Figura 19) - fresadora CNC - por sua versatilidade, baixo custo em relação aos demais equipamentos de FD com dimensão suficiente para fabricação de produto final, e possibilidade de trabalhar com as chapas mais comumente utilizadas: MDF, MDP, aglomerados e compensados. Deve ser considerado no projeto digital com uso deste equipamento parâmetros de usinagem como a velocidade de rotação, a velocidade de avanço, a profundidade do corte e a

penetração do trabalho, além do diâmetro da ferramenta utilizada (PINTO, 2011). Alguns destes parâmetros devem também ser considerados no momento do projeto, bem como as características do material utilizado, como por exemplo sua espessura. (Figura 33). Particularidades acerca da fabricação digital de mobiliários utilizando fresadora CNC serão tratadas nos próximos capítulos.

Figura 33 - Parâmetros de usinagem com uso de CNC router: Velocidade de rotação (n), velocidade de avanço (V_f), profundidade de corte (a_p) e penetração de trabalho (a_e)



Fonte: Pinto, 2011

A transformação ocorre com o uso de um cabeçote que se movimenta em 3 ou mais eixos, onde está instalado um *spindle*, equipamento de alta rotação, onde são alocadas fresas, elementos semelhantes a brocas, porém com o elemento cortante localizado nas laterais, e não na ponta da ferramenta. A movimentação da fresa desbasta o material depositado sobre uma mesa, e seus movimentos são controlados por computador. Uma fresadora CNC é ilustrada na Figura 34.

Figura 34 - Fresadora CNC



Fonte: Do autor.

Junto a fresadora CNC se destaca na produção de mobiliários ou elementos decorativos a cortadora a laser. Seu funcionamento é semelhante a máquina fresadora, porém no lugar do *spindle* e ferramenta há uma ponteira laser que queima o material. A limitação deste equipamento em relação à fresadora é o fato de quando utilizado em alguns materiais o acabamento do corte é carbonizado, afetando a estética do produto final. Outra limitação é quanto à espessura possível do corte, sendo este menor na cortadora laser, além da impossibilidade de fabricação 2.5D. Devido a estas limitações, e levando em consideração a adoção do método por *makers*, nesta pesquisa será considerado principalmente o uso da CNC *router*.

2.3.2 Espaços *Maker*: o fazer digital

Os *makers* são em parte utilizadores dos *FabLabs*, *Techshops* e *Hackerspaces*, além dos *Makerspaces*. Produzem e utilizam impressoras 3D e outras tecnologias de fabricação digital DIY. São distribuidores, projetistas e editores de projetos digitais de artefatos físicos, compradores e produtores de itens sob demanda customizáveis (MOTA, 2011), democratizado o acesso a novas formas de materializar objetos (GERSHENFELD, 2012).

Makers não necessariamente precisam possuir os equipamentos necessários a FD, recorrendo a espaços coletivos de produção para sua utilização diminuindo em grande parte o investimento necessário para a produção de artefatos com ferramentas digitais. Este ferramental é utilizado por permitir inovação e experimentação, além de adaptação de produtos com versatilidade e velocidade, sendo estas características inerentes ao movimento. O meio digital, através da internet, possibilita também a distribuição e comercialização de projetos para produção e alteração remota (IGOE e MOTA, 2011). Os espaços *maker* fomentam um ecossistema de produção descentralizada e altamente customizável (TROXLER, 2011).

Dentre os equipamentos de FD mais utilizados por *makers*, destacam-se as tecnologias de impressão 3D, com destaque para a FDM, as cortadoras a laser e fresadora CNC (MOTA, 2011).

Os espaços utilizados por *makers* para realização de atividade de produção e ensino possuem diversas nomenclaturas e características, embora não haja consenso na academia sobre os limites de distinção entre os espaços (DA ROSA, 2018). Estes espaços estão descritos a seguir:

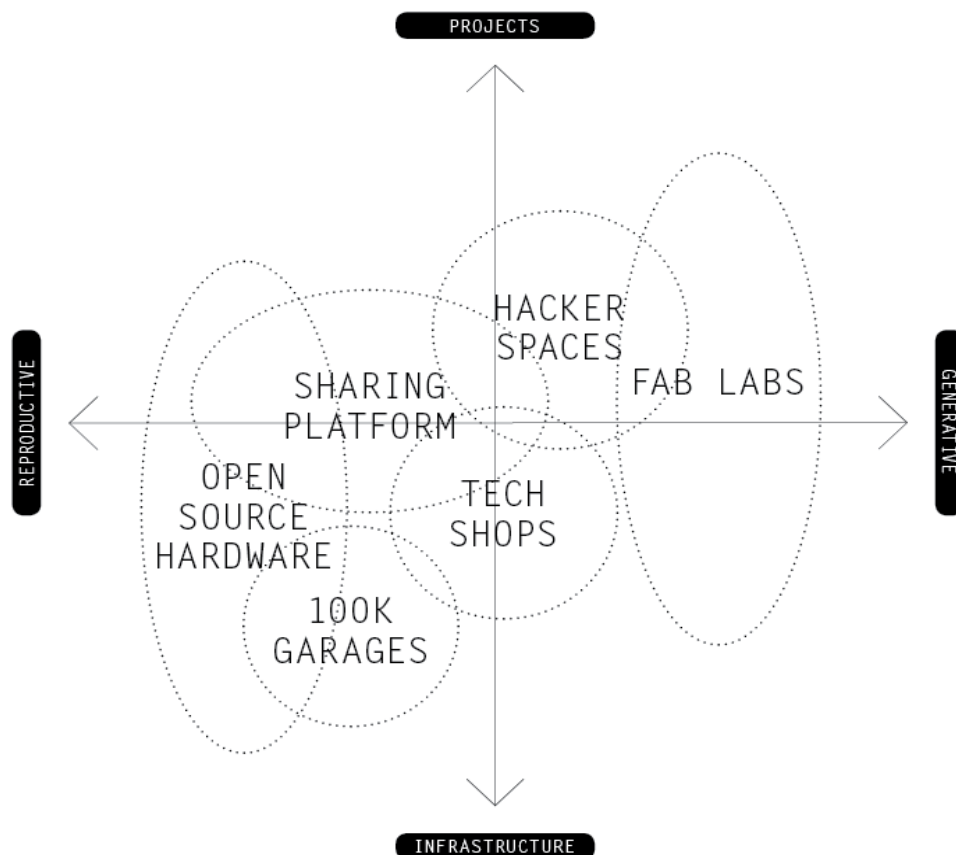
- a) **100k-Garages:** é uma comunidade de oficinas que oferece ferramentas de fabricação digital que oferece serviços como corte, fresamento, usinagem, entre outros. Apesar de possuir os equipamentos necessários à fabricação digital - geralmente com uso de equipamentos CNC router, estes espaços se diferem dos demais por manter uma dinâmica tradicional de cliente/consumidor e fabricante (ATKINSON, 2011).
- b) **Techshops:** São espaços que oferecem equipamentos tradicionais de fabricação, como solda, lixa, etc, vêm como equipamentos de fabricação digital e seus softwares de operação CAD/CAM para utilização por seus membros, que pagam uma mensalidade para acesso ao espaço. São geralmente oferecidos cursos de operação das ferramentas (DA ROSA, 2018; TROXLER, 2011).
- c) **Hackerspaces:** Espaços comunitários oriundos de movimentos de contra-cultura. Voltados ao aprendizado e uso de tecnologia fora dos espaços de ensino tradicionais. Há grande colaboração entre os usuários dos espaços, que os utilizam para lidar com eletrônica, arte digital e softwares (DA ROSA, 2018; TROXLER, 2011).
- d) **Fablabs:** Termo que faz referência a *fabrication laboratory*, ou laboratório de fabricação. O conceito do espaço *FabLab* concebido em 1998 no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) por Neil Gershefeld, professor da instituição, para o seu curso “Como fabricar (quase) qualquer coisa”. Tendo aceitação e procura de alunos muito maior que o esperado, o espaço busca oferecer as ferramentas digitais para projeto e construção dos mais diversos objetos, unindo a tecnologia ao “DIY”. Devido a seu grande sucesso, o conceito foi expandido para a replicação do tipo de espaço em outras localidades, tendo sido estabelecido um conjunto de características que devem ser atendidas, que vão desde os equipamentos disponíveis, ao envolvimento da comunidade, através

do *open day*, dia da semana reservado para abertura do espaço a visitantes para utilização. (DA ROSA, 2018; TROXLER, 2011).

- e) **Makerspaces:** Tidos como parte importante do chamado movimento maker, são espaços informais para a produção de produtos e aprendizado, de uso pela comunidade local. Sem características claras ou definidas, podem ter características de produção manual ou digital, e ter foco em produções específicas, como moda, mobiliário ou arte. (DA ROSA, 2018)

Troxler (2011) classifica os espaços maker em dois eixos: quanto a reprodução de artefatos ou geração de produtos novos, e quanto a característica de criação de projetos no próprio espaço ou apenas fabricação (Figura 35).

Figura 35 - Classificação de espaços de prototipagem e produção



Fonte: Troxler (2011)

Dentre os produtos produzidos nestes espaços e comercializados por makers destaca-se o mobiliário, por tratar-se de um produto de baixa complexidade que pode ser produzido com ferramentas flexíveis e universais (MAKER MEDIA, 2013).

O design de mobiliário tem raízes profundas na cultura humana, sendo um campo de estudo interdisciplinar (POSTELL, 2012). Apesar de tratar-se de objetos que podem adquirir complexidade projetual, os mobiliários são alguns dos itens mais produzidos por *makers* (DA ROSA, 2018), e podem utilizar-se de técnicas digitais de projeto e produção.

2.3.3 Fabricação digital de mobiliários

A incorporação do uso de dados de maneira automatizada permite propor novas lógicas para a produção de mobiliários (BARROS, 2015). Entretanto seu uso não significa necessariamente uma ruptura, podendo funcionar como um complemento às tecnologia anteriores (MAGRI, 2015). Ressurgem os ateliês de produção de mobiliário atualizados, com uso de ferramentas de FD, conectados a internet, com produção distribuída (MAGRI, 2015). A fabricação digital resulta em eficiência tanto na produção em massa quando na produção customizada de mobiliários (POSTELL, 2012). Além disto, possibilita outras vantagens, como a redução de estoques, produção descentralizada, e economia de material no processo produtivo (BARROS, 2015).

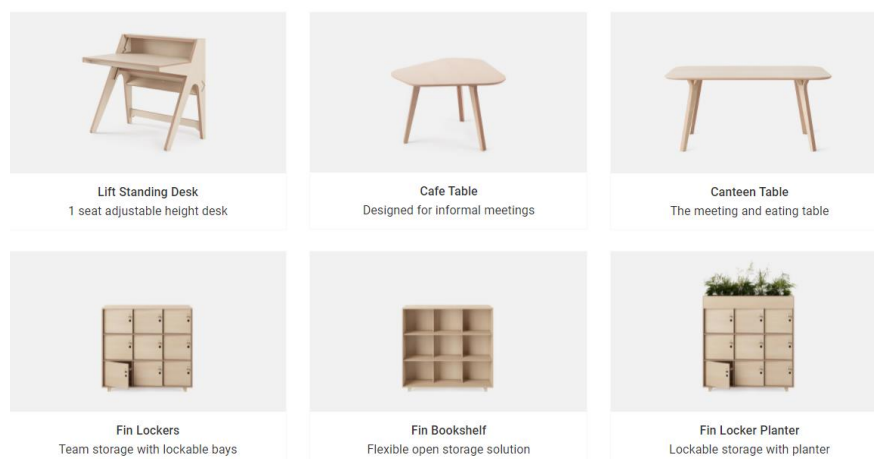
A produção de mobiliários gradativamente passou de artesanal para majoritariamente industrial durante o século XX, devido ao baixo custo apresentado pela produção industrial (MAGRI, 2015, STEPHEN; GROSS, 2003). Reduziu-se a importância do artesão, que produzia itens customizados sob demanda, e em contrapartida aumentou-se a oferta e se reduziu o custo dos produtos. Entretanto, conforme tratado anteriormente nesta pesquisa, verifica-se o desejo do consumidor por itens adaptados a suas necessidades (HU, 2013; CAMPBELL, 2010; KUMAR, 2007). Este desejo por personalização verifica-se nas características atuais do mercado nacional: existe um grande número de empresas de produção seriada, no método de produção em massa tradicional, mas também cresce o número de empresas que utilizam o sistema modular, conhecidas como empresas de mobiliário planejado (MAGRI, 2015). Neste sistema de produção existe a utilização de módulos pré-fabricados e ajustados com algum grau de customização. No entanto, a produção serial de módulos não permite um alto grau de envolvimento do

consumidor na produção do mobiliário, visto que a fabricação está limitada aos módulos previamente projetados, sem participação do consumidor como *co-designer*. Devido a esta limitação, o grau de customização alcançado por este tipo de solução não é alto (DURAY et al, 2000).

As tecnologias de produção, sobretudo a FD, tem potencial de diminuir em grande parte o descompasso entre a produção seriada em massa, e a produção de itens customizados de mobiliário (BARROS, 2015; MAGRI, 2015). A popularização e diminuição de custos de máquinas CNC possibilitam a pequenas médias empresas produtoras de móveis explorar novos sistemas produtivos (BARROS, 2015), além da viabilidade da fabricação pelo próprio consumidor a partir de arquivos digitais (MOTA, 2011; GERSHENFELD, 2012).

Quanto ao método de produção digital de mobiliários é predominante o uso de fresadoras CNC e cortadoras laser, devido ao menor custo do material e limitações dimensionais dos equipamentos (MAGRI, 2015). Neste tipo de mobiliário é comum o emprego de encaixes concebidos para recorte em CNC, a fim de facilitar a montagem ou mesmo permitir a customização de produtos, simplificando a montagem e transporte.

Figura 36 – Mobiliários Opendesk

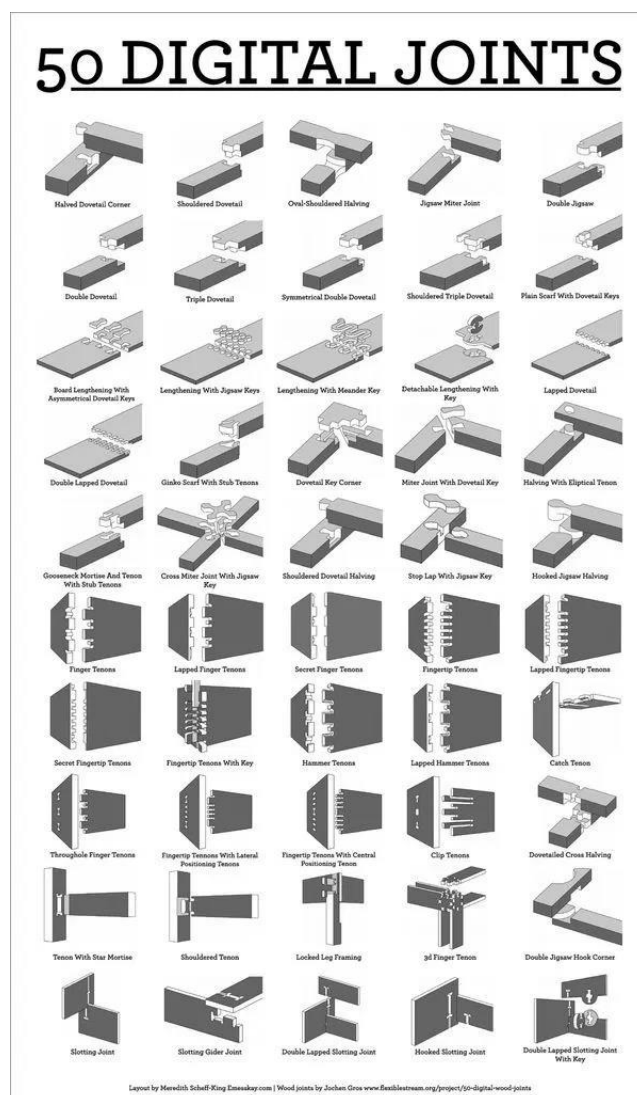


Fonte: Opendesk (2020)

Um exemplo de estado da arte deste tipo de mobiliário é a empresa *Opendesk®* (Figura 36), que comercializa seus produtos globalmente, mas conta com a FD e o

uso de encaixes como forma de padronizar e simplificar a materialização de seus mobiliários comercializados de forma digital. Além da comercialização, alguns dos mobiliários da empresa possuem design aberto, podendo ser realizado o *download* em formato CAD para posterior fabricação digital com uso de fresadora CNC. O uso de encaixes facilita de sobremaneira o processo, tornando possível adaptações do projeto original e fabricação sem limitação de disponibilidade de materiais específicos. Alguns exemplos de encaixes possíveis foram elaborados pelo professor Jochen Gros e o designer Friedrich Sulzer, membros do “C.Lab” da Escola de Design *Offenbach*, na Alemanha, e disponibilizados para uso livre para projetistas (Figura 37).

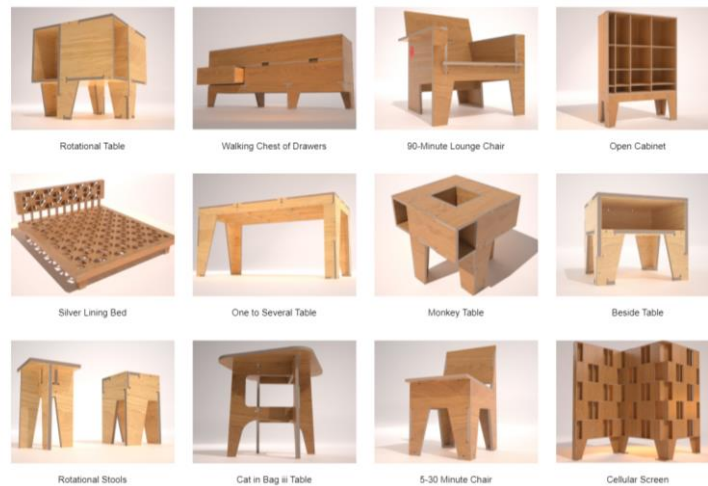
Figura 37 - Conectores para FD em chapas de madeira



Fonte: <https://makezine.com/2014/12/04/50-digital-wood-joints-poster/>

Por fim, a fim de exemplificar as possibilidades trazidas pelo uso da FD, o mobiliário de encaixes, uma plataforma de produto com uso de projeto paramétrico e um configurador *online*, demonstra-se na Figura 38 parte do portfolio da empresa AtFab®. Os projetos da empresa são comercializados de forma digital para fabricação em chapas de compensado multilaminado utilizando fresadora CNC.

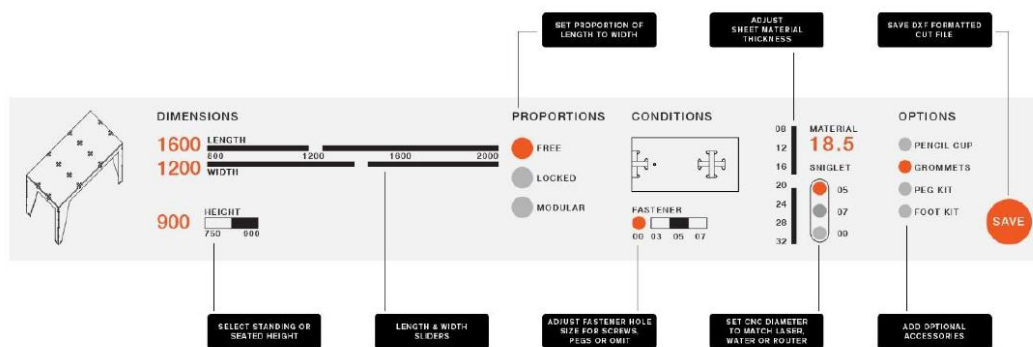
Figura 38 – Produtos AtFab



Fonte: AtFAB (2021)

O processo de *co-design* na configuração de produtos da AtFab® ocorre de diferentes formas: O usuário pode optar por características e comprar o objeto fabricado para montagem, realizar o download do arquivo para customização utilizando softwares CAD (alternativa que requer domínio das ferramentas e conhecimento acerca da fabricação CNC de mobiliários), ou ainda realizar customização através de configurador (Figura 39). Este último caso não encontra-se disponível de forma comercial, tendo sido submetido ao concurso *Autoprojetazione* em 2012.

Figura 39 – Configurador AtFab



Fonte: Magri (2015)

A partir do exemplo, percebe-se que a FD de mobiliários apresenta grande potencial de customização e atividade *maker*, podendo envolver o usuário em diferentes partes das etapas de projeto e produção.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA FUNDAMENTAÇÃO

A fundamentação teórica dividiu-se em três temas principais: Customização em Massa, Design Digital, Fabricação Digital, relacionando-os com o contexto *maker* e produção de mobiliários. Estes temas interseccionam-se, evidenciando suas correlações e aspectos a considerar na etapa de desenvolvimento da pesquisa.

A customização em massa, já utilizada há anos pela indústria (HU, 2013), vêm expandindo seus conceitos e alcançando possibilidades de utilização por produtores de médio e pequeno porte, apoiando-se nos métodos digitais de projeto e produção, seja para customização em grande volume, pequenas séries, ou personalização de produtos com objetivo de fabricação pessoal (GERSHENFELD, 2012). As mudanças culturais que acarretam no surgimento de conceitos como o *co-design* e o movimento *maker* corroboram com a importância de permitir novos meios de interação com o consumidor (TROXLER, 2011), já nas primeiras etapas do processo produtivo. Essa interação pode dar-se através de diferentes tipos de configuradores, utilizando-se da internet e comunidades. Conceitos como a plataforma, família e arquitetura de produto possibilitam considerar a diferenciação dos itens nas etapas iniciais do processo de projeto, bem como o tipo de modularidade utilizado pode ajudar a prever o grau de customização possível (DURAY et al., 2010; TSENG; JIAO, 2017; ULRICH; TUNG, 1995). Entretanto, a implantação de uma plataforma de customização de produtos requer uma revisão das atividades de fabricação e projeto habituais, considerando a flexibilidade do produto e outros fatores.

O uso do design paramétrico e de sistemas generativos possibilita a criação de um projeto flexível através do estabelecimento de regras e manipulação de variáveis (OXMAN, 2017). O esquema pode basear-se num projeto voltado a customização a partir da organização de uma arquitetura de produto e modularidade (ULRICH, 1995), característica necessária para atingir-se os graus mais altos de customização (DURAY et al., 2000). O uso do design paramétrico no processo de projeto permite ao projetista explorar formas complexas e que por vezes fogem do tradicional

desenho euclidiano, dando lugar a formas orgânicas até então muito difíceis de produzir (MAGRI, 2015; POSTELL, 2012). Devido as limitações dos meios de fabricação digital, junto a estas formas plásticas, geralmente se utiliza de alguma das estratégias de planificação como forma de viabilizar sua fabricação. A maioria, senão todos, elementos de um modelo 3D podem ser parametrizados: dimensões, tolerâncias, relações entre eles, peças de base ou divididas, produto configurações, materiais, cores ou o número, posição e existência de componentes si mesmos. Com o uso de algoritmos, o desenhos técnicos são modificados automaticamente em conformidade e os novos produtos podem ser fabricados imediatamente (ZSOLT, 2015), possibilitando a customização ou personalização automatizada.

A fabricação digital é utilizada como forma de materializar rapidamente objetos projetados com auxílio do computador (KOLAREVIC, 2001; SAAS, 2006), sejam estes protótipos em escala ou produtos finais para uso próprio ou comercialização. A popularização crescente de espaços coletivos de produção e ensino como os *makerspaces*, que contam com equipamentos de fabricação digital possibilita a produção de produtos semelhantes em diversas partes do mundo (GERSHENFELD, 2012), fomenta comunidades de troca ou venda de projetos digitais e ocasiona mudanças culturais quanto as relações de produção e consumo. Além disso, a produção digital também possibilita atingir-se mais facilmente a customização de produtos, na medida em que os projetos digitais flexíveis, que podem possuir características paramétricas podem ser fabricados com diferenciação.

Por fim, conclui-se que *makers* podem valer-se das referidas técnicas para concepção de produtos customizáveis, visto sua afinidade com as tecnologias de projeto e produção digital, e a característica de atingir nichos de mercado cada vez menores, afastando-se das soluções industriais seriadas.

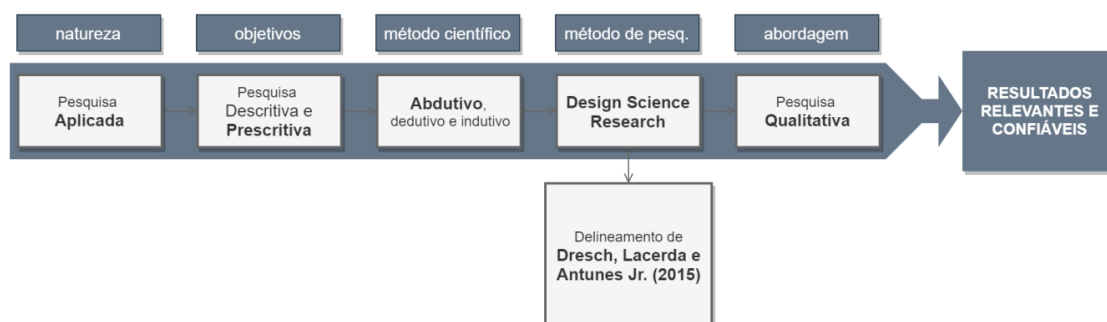
3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão tratados os procedimentos metodológicos utilizados para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, a fim de propor um sistema de customização a ser utilizado para o projeto de mobiliários com uso do design paramétrico e fabricação digital, no âmbito de pequenas empresas e *makers*. A seguir são evidenciados tais procedimentos.

3.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A presente pesquisa quanto à sua natureza apresenta-se como aplicada, visto que “seu principal interesse é que os resultados auxiliem os profissionais na solução de problemas do dia a dia” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015), sendo orientada para questões práticas (GIL, 2008). A abordagem é qualitativa, pois considera o ambiente como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento chave, o processo é o foco principal de abordagem e não o resultado ou o produto; a análise dos dados foi realizada de forma intuitiva e indutivamente pelo pesquisador; não requer uso de técnicas e métodos estatísticos; e tem como preocupação maior a interpretação de fenômenos e a atribuição de resultados (GODOY, 1995). Quanto aos objetivos, é de caráter prescritivo pois tem intenção de aprofundar conhecimentos através de referencial teórico e observações sobre o problema (PRODANOV e FREITAS, 2013). Quanto aos procedimentos metodológicos, utiliza-se da *design science research*. De forma a assegurar a relevância dos resultados da pesquisa, utiliza-se a formulação da estratégia de pesquisa (Figura 40) apontada por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

Figura 40 – Estratégia da Pesquisa



Fonte: Do autor

3.1.1 Design Science

A *design science research* alicerça-se no paradigma da *design science*, que trata do estudo do que é artificial (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Simon (1996) descreve o que é artificial e o que é natural a partir da diferenciação do que é produzido ou inventado pelo homem, ou que sofre sua intervenção. O paradigma emergiu a partir da necessidade de uma ciência que se dedique a propor formas de criar e avaliar artefatos. Enquanto nas ciências naturais e artificiais o foco é gerar conhecimento através da compreensão de fenômenos, na *design science* esta geração se dá a partir de sistemas artificiais, que podem ou não existir, e tem por objetivo a solução de um problema ou a melhoria da performance de uma solução, sendo uma abordagem científica prescritiva (MARCH; SMITH, 1995).

Visto que o projeto é algo artificial, seu estudo através da *design science* possibilita a averiguação de propriedades e proposição de artefatos, que podem ser caracterizados em objetivos, funções ou adaptações (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). A proposição, prescrição ou avaliação destes artefatos pode ser entendida também como uma forma de conhecimento (SIMON, 1996) e visa preencher lacunas em que a observação de fenômenos não é suficiente, sendo necessário pensar como determinados aspectos deveriam ou poderiam ser, sendo o produto da pesquisa no âmbito da *design science* a própria proposição ou avaliação destes artefatos. *Design science* diferencia-se também das ciências tradicionais quanto ao posicionamento do pesquisador, que não apenas explica e prediz fenômenos (VAN AKEN, 2004), mas também propõe cenários e intervenções, assumindo um papel propositivo ativo na produção do conhecimento (SIMON, 1996). Sendo assim, o pesquisador no âmbito da *design science* atua como um desenvolvedor ou agente principal das mudanças no meio em que se insere a pesquisa. Este posicionamento também ocasiona o diferente caráter da pesquisa, que pode ter caráter prático, reduzindo a lacuna existente entre teoria e prática.

Ainda que se ocupe da solução de problemas, com foco na geração de conhecimento em serviço a uma ação, é importante salientar que a *design science* não procura necessariamente soluções ótimas, mas sim satisfatórias (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Uma solução ótima em um modelo simplificado raramente será ótima num contexto real (SIMON, 1996), sendo assim o pesquisador

deve buscar por soluções adequadas a solução de problemas específicos que permitam sua generalização, através das classes de problemas (VAN AKEN, 2004). Esta visão vai de encontro ao conceito de validade pragmática da *design science*, em que a pesquisa além de atender ao rigor necessário para sua validade, deve também ser útil (VAN AKEN, 2011), o que não significa que o conhecimento gerado não possa ser puramente teórico, visto que teorias podem ser úteis ao avanço do conhecimento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). A questão da validade pragmática no âmbito da *design science* busca certificar-se que determinada solução de fato funcione, através da avaliação, além de considerar aspectos como o custo/benefício, as particularidades do contexto a que se aplica e as necessidades dos interessados na solução.

Quanto aos métodos científicos, a *design science* utiliza-se principalmente do pensamento abduutivo, em que há busca de hipóteses para explicar determinado fenômeno estudado, sendo o único método científico que possibilita a introdução de uma nova ideia (FISCHER; GREGOR, 2011), e portando o método mais adequado para a proposição. Os métodos científicos indutivo e dedutivo podem também ser utilizados em etapas específicas da pesquisa.

Por fim, *design science* pode ser entendido como um método para conceber, avaliar, propor melhorias ou adaptar sistemas que ainda não existem ou que serão objeto de intervenção, a fim de conseguir melhores resultados (ROMME, 2003).

3.1.2 Design Science Research

Design science research (DSR) é a forma de operacionalizar as pesquisas no âmbito da *design science* quando o objetivo da pesquisa é uma prescrição, buscando através da análise do problema propor melhorias ou transformações através de artefatos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). A pesquisa em DSR tem como característica fundamental ser orientada a solução de problemas específicos através de soluções satisfatórias e não necessariamente ótimas. Entretanto, o rigor da pesquisa deve ser observado, observando as classes de problemas, a fim de permitir a generalização e continuidade da pesquisa.

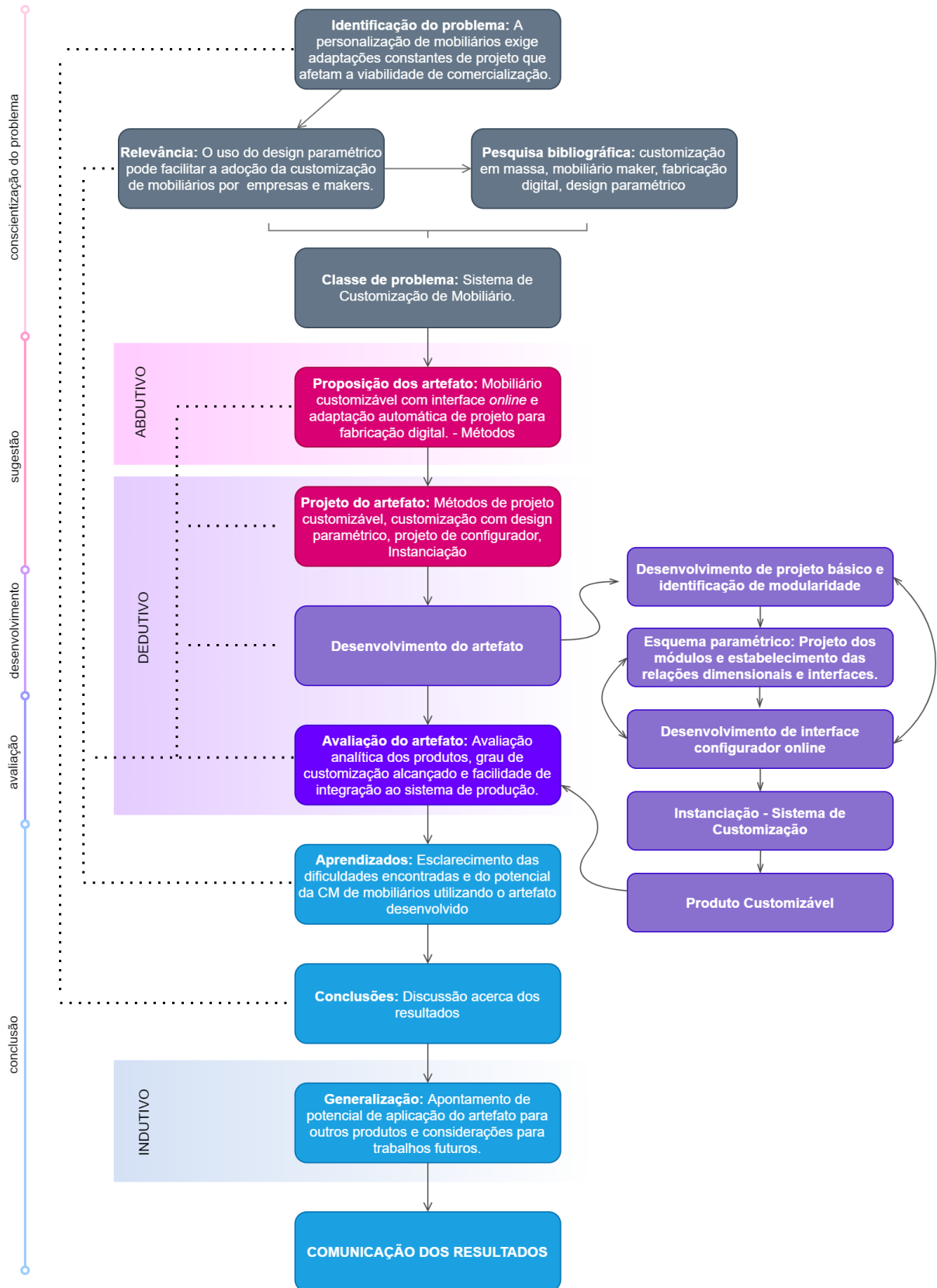
Como critérios fundamentais na condução de uma pesquisa no âmbito da DSR, Alan Hevner et al. (2004) propõe os seguintes: (1) criação de um artefato; (2) busca de solução de um problema específico; (3) avaliação adequada; (4) as contribuições devem ser esclarecidas, com fim de avanço do conhecimento; (5) rigor de pesquisa; (6) pesquisa de soluções e (7) comunicação dos resultados. Tais critérios podem ser utilizados como auxiliares na condução de pesquisas.

Quanto aos elementos necessários para contribuição teórica e prática de pesquisas que utilizam a DSR como método, são apontados por Salvatore March e Veda Storey (2008) os seguintes: (1) A formalização de um problema de pesquisa relevante; (2) Demonstrar que soluções para o problema não existem ou podem ser objeto de melhorias; (3) Desenvolvimento de artefato para solução do problema e (4) a avaliação do artefato, a fim de validá-lo quanto a usabilidade e viabilidade. É importante destacar que a validação não se dá a respeito de uma hipótese, dado o caráter cíclico de formulação do conhecimento da DSR, gerando conhecimento para refinar hipóteses e guiar novos questionamentos ou melhorias (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007).

A partir das características fundamentais e elementos necessários a condução de pesquisas no âmbito da DSR é possível concluir que apesar da característica pragmática quanto a aplicabilidade prática das soluções a DSR deve buscar o rigor necessário para garantir a confiabilidade dos resultados (DRESH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Visto as características da DSR quanto à criação de um artefato para resolução de um problema específico, seu caráter prático e possibilidade de contribuir para o conhecimento científico através de proposições com rigor e relevância, a metodologia mostra-se adequada para condução da presente pesquisa.

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa seguem a proposição de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), por estas sintetizarem e ampliarem os procedimentos definidos por outros autores. Estes procedimentos subdividem-se em cinco etapas, denominadas conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Cada etapa possui procedimentos próprios, demonstrados na Figura 41, que constitui o delineamento da pesquisa.

Figura 41 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Do autor

3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Acerca das etapas da DSR delineadas, a primeira se dá pela identificação do problema, apresentando sua delimitação e relevância. O resultado desta etapa é a elaboração da questão de pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Como abordado anteriormente nesta pesquisa, as relações de consumo e produção vêm passando por mudanças de paradigmas ocasionados pela evolução tecnológica que afeta as possibilidades projetuais e de fabricação, bem como a busca por maior integração do consumidor no processo a fim de satisfazer necessidades de nicho ou necessidades específicas. No caso do mercado de mobiliários, a oportunidade se dá na configuração de diferentes soluções que atendam a diferentes espaços e usos específicos que podem não ser plenamente atendidos por itens produzidos em série.

Entre estes serviços que atendem a nichos e necessidades específicos, encontra-se o uso cada vez maior de espaços *maker* para a concepção e produção (DOUGHERTY, 2012) com uso de tecnologias de fabricação digital existentes nestes espaços a fim de aumentar a flexibilidade produtiva e agilidade dos processos, além da redução de custos. Entretanto, por atender a nichos e necessidades específicas, os projetos realizados por *makers* para comercialização precisam ser com frequência editados e customizados, significando um aumento de tempo, custo e pessoal necessário.

Na DSR, o problema a ser investigado surge principalmente do interesse do pesquisador, e deve ser identificado claramente, apresentando sua relevância e impactos práticos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). O interesse surgiu de experiências do autor ao conviver em espaços *maker* da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, verificando o modo de operação de produtores de mobiliário. Por meio de observação, foi possível verificar a grande customização de produtos para comercialização, porém realizada de forma artesanal ou com apoio de *softwares* CAD para fabricação digital de forma não automatizada, visto que os projetos são concebidos de forma a gerar apenas um produto final, definindo assim a identificação do problema e a questão de pesquisa:

Como o design paramétrico e a fabricação digital podem contribuir para a customização de produtos, no âmbito de pequenas empresas e makers produtores de mobiliário?

3.3 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

A etapa de conscientização do problema consiste na busca da compreensão do mesmo, suas relações, causas e efeitos. Nesta etapa também devem surgir as características e limitações do artefato a ser proposto. Para tanto, foi realizada nas etapas iniciais desta pesquisa um levantamento abrangente acerca dos temas que tangenciam a questão de pesquisa formulada, a fim de identificar os conceitos que basearam um aprofundamento a partir da revisão bibliográfica sistemática. A revisão sistemática de literatura realizada pode ser consultada quanto aos seus procedimentos e resultados no APÊNDICE A desta pesquisa. A RSL oportunizou um aprofundamento no entendimento do problema e a identificação de direções a seguir na pesquisa. Entre estes destacaram-se:

Generative Customization (GC): Um sistema de conceituação e concepção de produtos que permite a personalização por meio de um processo de design generativo de ponta, em vez de um envolvimento ativo ou passivo do consumidor no processo, e um sistema de cadeia de fornecimento que possibilite essa inovação. Portanto, propõe-se que a personalização generativa ofereça maior inovação e personalização no design do produto, em comparação com a produção em massa, e o cumprimento superior da cadeia de suprimentos para a customização em massa (BUFFINGTON, 2011).

Design for Mass Customization (DFMC): DFMC busca considerar as questões de economia de escopo e escala desde as fases iniciais do desenvolvimento de produto. Para atingir estes objetivos, o escopo de desenvolvimento de produto é ampliado desde um produto único para incorporar o projeto simultâneo de uma família de produtos, incorporando o processo de venda, marketing, distribuição e serviços. (FETTERMAN, 2017).

Modularidade: O conceito de modularidade é definido como a estratégia para organizar produtos e processos complexos de forma a economizar recursos (Baldwin; Clark, 2000). Enquanto que a plataforma de produto é definida como a utilização de um conjunto de componentes, módulos ou partes comuns que compõem uma quantidade maior de produtos que podem ser rapidamente desenvolvidos e lançados, além de facilitar a customização.

Meta-Design: Interfaces de projeto desenvolvidas para permitir a criação de outras interfaces de projeto (Stralen, 2018). Estas interfaces funcionam como ambientes de criação paramétricos, em que o usuário propõe novos produtos livremente.

Foi também identificada a relevância da pesquisa, ao se verificar a falta de exemplos práticos de implementação de técnicas integradas de customização de produtos nos contextos *maker* e de pequenas empresas, constituindo uma lacuna de pesquisa. A partir da identificação dos conceitos e estado da pesquisa foi realizado um aprofundamento dos temas, dando origem aos conceitos, métodos e ferramentas apresentados no Capítulo 2. A etapa de conscientização por fim, permitiu a identificação das classes de problemas, descritas a seguir.

3.4 CLASSES DE PROBLEMAS

A revisão sistemática de literatura propiciou a identificação dos artefatos existentes, etapa importante para “identificar artefatos desenvolvidos para resolver problemas similares permite que o pesquisador faça uso das boas práticas adquiridas e construídas por outros estudiosos” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015, p. 128) bem como a configuração das classes de problemas. Para os autores, embora não explicada claramente por autores da DSR, a definição da classe de problemas pode ser entendida como “a organização de um conjunto de problemas práticos ou teóricos que contenha artefatos úteis para ação nas organizações” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015, p. 104), e possibilita que a solução proposta possa ser generalizada, definindo as fronteiras da pesquisa.

Dentre os artefatos identificados, destaca-se: Sistemas de customização paramétricos (NORDIN et al., 2013; KHALILI; KOLAREVIC, 2016); Produção distribuída e design paramétrico como meio de customização (BANRNI, 2017;

STEFFEN; GROSS, 2003); Meios de customização em massa em pequenas e médias empresas (STOJANOVA; SUZIC; ORCIK, 2012); Projeto de arquitetura modular (TSENG; JIAO, 2001; ULRICH, 1995; DURAY et al., 2000).

Conforme elucidado durante a revisão de literatura, embora as classes de problemas identificadas abordem a customização em massa e fabricação flexível de mobiliários, carecem exemplos práticos que descrevem os aspectos de projeto, produção e interface como sistema completo para aplicação em pequenas empresas ou sua adoção por *makers*. Identifica-se então a oportunidade de contribuição desta pesquisa ao preencher esta lacuna, apontando, de forma prática, formas de inserção deste sistema de projeto e produção em pequenos espaços e empresas que contam com a fabricação flexível utilizando maquinário de controle digital. Sendo assim, a classe de problemas a qual se relaciona esta pesquisa é descrita como “**sistema de customização de mobiliários**” com o recorte, pequenas empresas e *makers*.

Sendo a Customização em Massa objeto de larga pesquisa, carecem exemplos de aplicação ao contexto real de pequenas empresas, bem como formas de implementação em sistemas de produção flexível pré-existentes em espaços e empresas de características *maker*, principalmente no que tange a fase de projeto e concepção do configurador. Esta lacuna evidencia a relevância da pesquisa, a fim de propor melhorias nas formas de projeto e produção deste tipo de objeto com características de customização ou personalização.

A partir da identificação das classes de problemas descritas, passa-se a fase de sugestão da pesquisa, de caráter abduutivo, em que este pesquisador propõe soluções para melhorias nas classes de problemas identificadas.

3.5 PROPOSIÇÃO DOS ARTEFATOS

A etapa de proposição do artefato é essencialmente criativa e busca planejar o artefato a ser construído e avaliado nas etapas seguintes, e deve buscar resolver o problema de forma satisfatória (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Nesta pesquisa é utilizada a visão de March e Smith (1995), em que artefatos podem ser classificados em diferentes tipos, sendo eles: (1) Constructos, elementos conceituais sobre um problema e suas soluções; (2) Modelos, que tratam das relações, proposições ou afirmações entre os constructos. (3) Métodos, definidos por um conjunto de passos para desempenhar uma tarefa; (4) Instanciações, a execução de um artefato (dos tipos constructo, método, modelo ou suas partes) em um ambiente. Outros autores, como Van Aken (2004) propõem ainda artefatos relacionados à construção de teorias. Dresch, Lacerda e Júnior (2015) descrevem este tipo de artefato como *Design Propositions*, uma generalização para solução de uma classe de problemas.

Dentre os tipos de artefatos apontados, é proposta a instância de aplicação dos constructos, modelos e métodos relacionados ao problema e suas classes definidos nas etapas de introdução e referencial teórico desta pesquisa. A utilização destes artefatos constitui a construção de um método a ser aplicado, sendo este subdividido em três etapas, que constituem a fase conceitual do desenvolvimento:

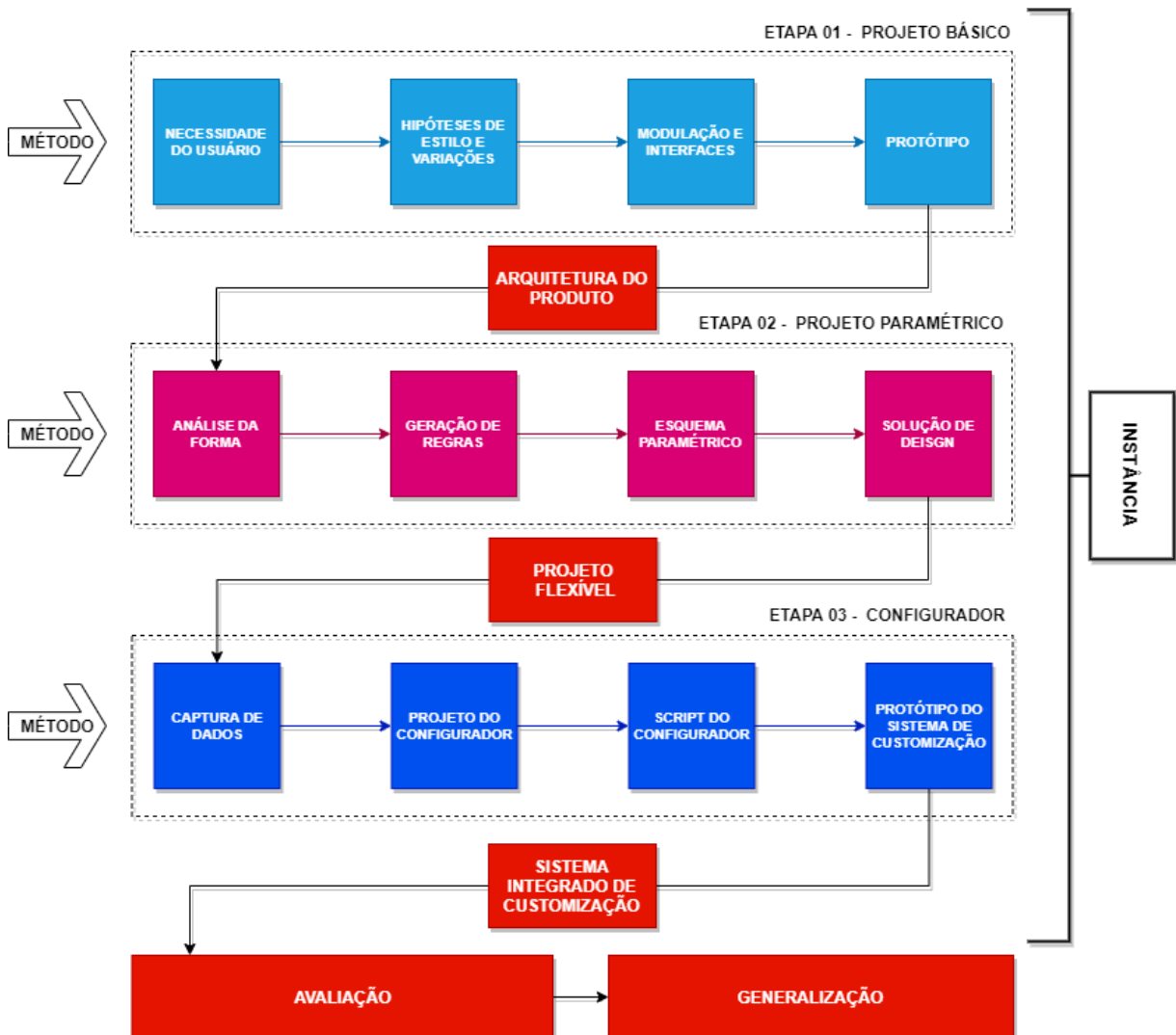
- **Artefato A (Método): Método de Projeto Customizável;**
- **Artefato B (Método): Projeto Paramétrico de Produto Customizável;**
- **Artefato C (Método): Configurador Online de Produto Customizável.**

A elaboração de métodos para posterior aplicação se demonstrou necessária como forma de planejar a aplicação da instância de forma coerente, permitindo a avaliação criteriosa e revisão dos próprios métodos propostos inicialmente, que tem como produto o sistema integrado de customização aplicado ao contexto de pequena empresa com características *maker*, objetivo fim da pesquisa. A aplicação da instância ocorre concomitante à proposição dos métodos, subdividindo-se também em três etapas que têm como produto os itens necessários para realização da etapa seguinte.

A aplicação destes métodos em um contexto real constitui o **Artefato D (Instanciação) - Sistema Integrado de Customização**, a fim de demonstrar a viabilidade e eficácia dos métodos propostos nas etapas anteriores (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015), a partir da operacionalização em forma de passo a passo. O artefato constitui a fase prática do desenvolvimento, e por fim é avaliado

quanto aos requisitos apontados, e é realizada a generalização. A fim de atender aos requisitos definidos para o artefato, é proposto uma aplicação em contexto real a partir da elaboração de um projeto utilizando conceitos de design para customização em massa, tratado na forma de modelo a partir da obra de ULRICH (1995) e DURAY (2000) e uma implementação na forma de projeto paramétrico digital com fins de produção flexível de protótipos e produto final, além de um configurador online como interface de customização com o consumidor. Estas implementações são então avaliadas quanto ao atendimento dos requisitos aos quais se relacionam. As relações entre os métodos e etapas da instância de aplicação são demonstradas na Figura 42.

Figura 42 - Projeto dos Artefatos



Fonte: Do autor

Como forma de operacionalizar a proposição dos artefatos, são identificados os requisitos a atender para o cumprimento dos objetivos. Esta pesquisa propõe a concepção de uma solução para implementação de conceitos de customização em massa em pequena empresa de características *maker* em que há alta demanda de adaptação de projetos pelos consumidores, ao mesmo tempo que não há demanda suficiente ou mesmo interesse na produção seriada em alto volume de variações. A solução proposta busca atender aos requisitos identificados na revisão de literatura para conquistar a customização em massa ou personalização, sendo estes o projeto flexível, a produção automatizada de documentos para a fabricação digital, e a interface com o consumidor por meio de configurador online. Os requisitos e sua descrição, bem como a qual problema se relacionam são descritos no Quadro 06.

Quadro 06 - Requisitos gerais

Requisito	Descrição	Problema a que se relaciona
Adaptação automática de projeto	Projeto paramétrico adaptável a diferentes dimensões e usos	Tempo de adaptação de projeto, oferta de variedade.
Fabricação digital	Arquivo para fabricação em fresadora CNC	Tempo de adaptação de projeto, redução de custos.
Interface de Usuário	Configurador Online	Atividade de co-design

Fonte: Do autor

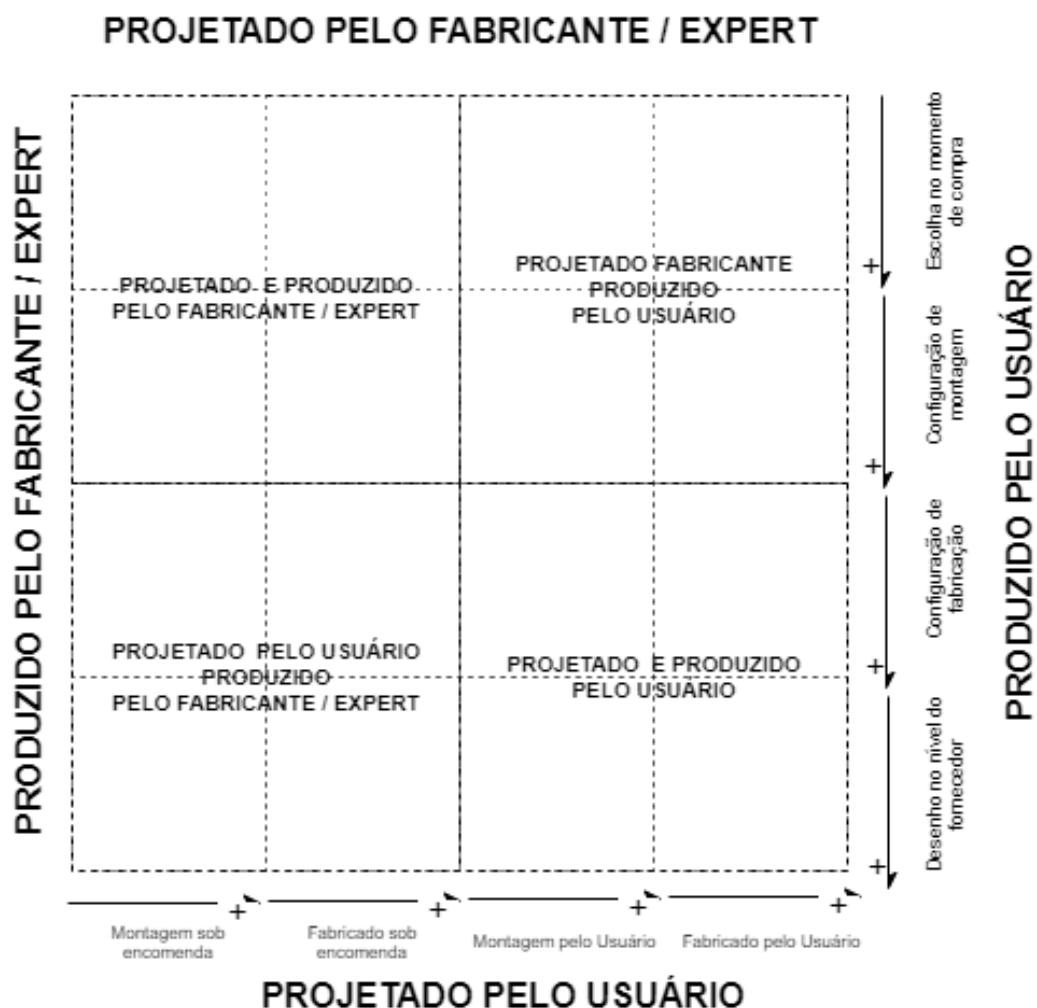
3.6 AVALIAÇÃO

Os artefatos desenvolvidos em pesquisas que utilizam a *design science research* como método precisam provar que atingem os objetivos desejados e cumprem plenamente sua função (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

A etapa de avaliação dos artefatos ocorre após sua instância de aplicação ao contexto real, de forma qualitativa, relacionando os resultados obtidos com os requisitos propostos. A observação do comportamento das características internas dos artefatos será discutida e avaliada quanto ao atendimento a solução satisfatória dos problemas, ressaltando o desempenho dos métodos propostos. A fim de pautar a discussão e relacioná-la com a classe de problemas, serão também utilizados métodos de caracterização do desempenho dos artefatos, descritos a seguir.

O desempenho geral do sistema composto pelos artefatos é avaliado a partir da comparação com as práticas vigentes no contexto da instanciação, utilizando-se do método de mapeamento proposto por Brandão, Paio e Whitelaw (2017), por este relacionar conceitos de customização em massa abordados na etapa de referencial teórico desta pesquisa com exemplos do mercado e literatura. Embora o método desenvolvido pelos autores seja focado na área da arquitetura, é possível utilizá-lo com fins de avaliação. Este método trata-se do mapeamento em um gráfico de eixos, definindo a posição da solução em relação à fabricação, projeto, fabricante e usuário (Figura 43). Os quadrantes formados pelos eixos delimitam as formas de customização. É possível estabelecer um paralelo dos quadrantes apresentados com os presentes na obra de Manzini (2017).

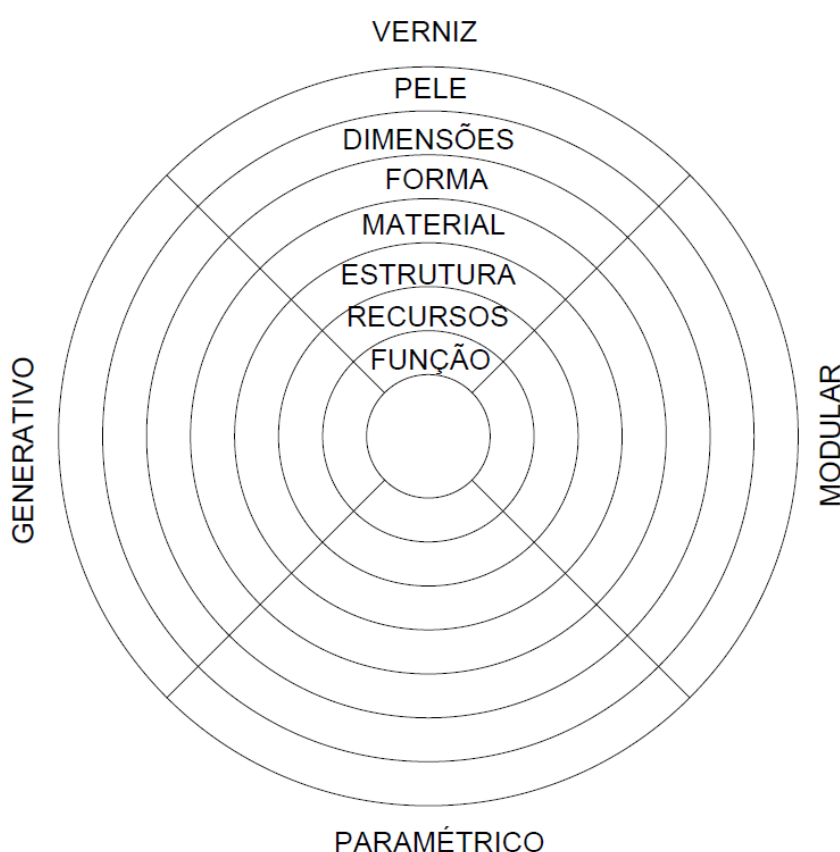
Figura 43 - Mapa de avaliação: grau de customização



Fonte: Adaptado de Brandão, Paio e Whitelaw (2017)

Para avaliação do espaço de solução atingido pelo configurador online é utilizado o método proposto por Guido Hermans (2012), através de um gráfico dividido em quatro quadrantes que definem métodos utilizados para a customização: Verniz (1); Modularidade (2); Paramétrico (3) e Generativo (4). Estes quadrantes relacionam-se a eixos circulares definidos pelo tipo de customização alcançado: Pele, dimensões, forma, material, estrutura, recursos e função. A abordagem do método é qualitativa e busca caracterizar o espaço de solução disponível ao usuário para configuração do produto (Figura 44).

Figura 44 - Método de avaliação do espaço de solução



Fonte: Adaptado de Hermans (2012)

Junto aos critérios de avaliação devem ser demonstrados produtos adquiridos e comercializados utilizando o sistema, a fim de verificar os resultados tangíveis alcançados pelas soluções propostas. Por último, realiza-se uma avaliação analítica dinâmica do artefato, descrevendo o comportamento de suas características internas, bem como sua interação com o ambiente externo (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

4 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

Neste capítulo são detalhadas as fases de desenvolvimento dos artefatos propostos e então avaliados a partir dos requisitos sugeridos. As fases de desenvolvimento são divididas em fase conceitual, prática e avaliação, conforme proposto por DRESCH, LACERDA e ANTUNES JR (2015), e alinham-se ao projeto dos artefatos demonstrados anteriormente.

4.1 FASE CONCEITUAL

O objetivo desta etapa é operacionalizar os conhecimentos obtidos durante a fase de conscientização para implementação da instância. Para tanto, foram identificados os principais conceitos que norteiam o projeto para customização em massa, adaptando-os para a realidade dos objetivos da pesquisa e tendo como produto os métodos e etapas a seguir para a etapa seguinte, fase prática, em que ocorre a instância de aplicação de tais métodos em um contexto real para posterior avaliação.

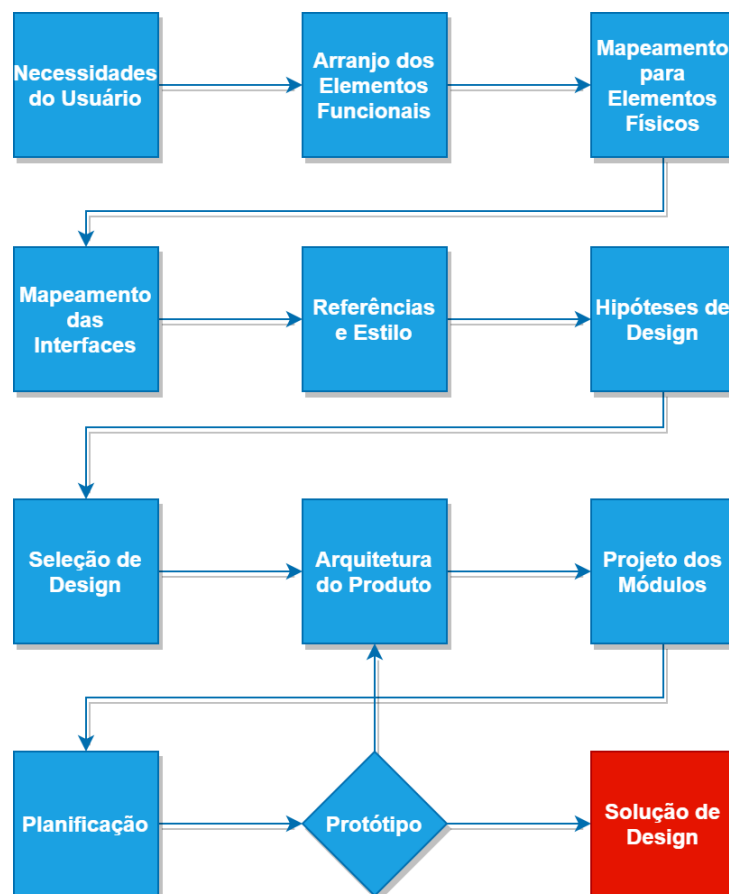
Nesta etapa foi também necessário optar pelo tipo de objeto que a instância irá operacionalizar. Conforme elucidado anteriormente, durante a realização desta pesquisa eclodiu a pandemia de Covid-19 no mundo. Dentre os diversos desafios trazidos por esta realidade, houve a migração de postos de trabalho não essenciais para o tele trabalho, também conhecido como *home office*. Isto ocasionou um aumento de demanda por mobiliários que adaptem os espaços residenciais ao trabalho, revelando uma possível contribuição através de um produto customizável que se adapta a diferentes espaços não previamente pensados para conter este tipo de produto. Dentre as possibilidades investigadas foi selecionado o mobiliário tipo escrivaninha, por apresentar um bom nível de complexidade e possibilidades de variação, necessários para a execução da fase prática da pesquisa.

4.1.1 Artefato A: Método de Projeto Customizável

A fim de organizar o método a ser aplicado foi proposto um esquema passo-a-passo na forma de algoritmo gráfico, que norteia as etapas que devem ser seguidas durante o desenvolvimento com o objetivo de obter como produto uma solução de

design na forma de arquitetura de produto baseando-se nas estratégias descritas por Ulrich (1995) e Durand (2000). Estas etapas também consideram as informações elementares para a concepção de design, utilizando técnicas descritas por Mike Baxter (2011) relacionando-as com os procedimentos normalmente utilizados no contexto de aplicação da instância. O organograma metodológico da etapa está disposto na Figura 45, e tem seus passos descritos a seguir.

Figura 45 - Método de Projeto Customizável



Fonte: Do autor

Passo 01 - Necessidades do Usuário: Elaboração de pesquisa *survey* a fim de identificar funções básicas e desejáveis do produto pelo consumidor, que deverão nortear a tomada de decisão sobre quais elementos e variações serão consideradas para o projeto customizável de mobiliário.

Passo 02 - Arranjo dos Elementos Funcionais: Análise das funções que o produto deve desempenhar e a relação destas funções com o meio externo (ULRICH, 1995). Baster (2011, p. 308) define como elementos funcionais “aqueles que executam

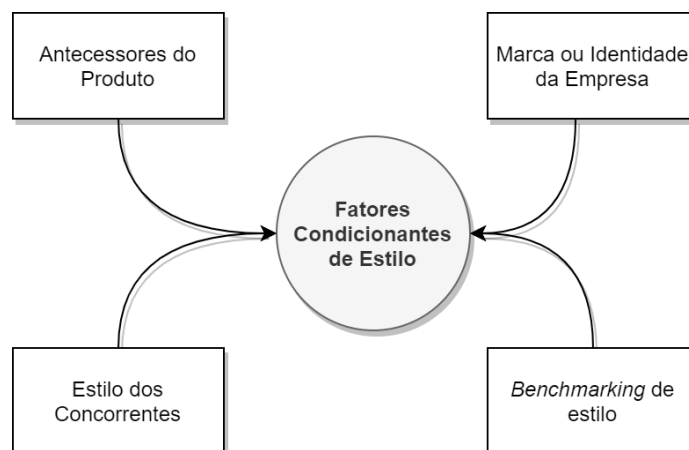
operações ou transformações”. Nesta etapa também devem ser identificadas as funções básicas do produto e as desejáveis ou opcionais, relacionando-as. As relações entre as partes dão origem à estrutura funcional do produto a ser projetado. A análise funcional do produto pode ser realizada utilizando a ferramenta análise das funções do produto descrita por Baxter (2011) através de perguntas analíticas “como?” e “por quê?”.

Passo 03 - Mapeamento para elementos físicos: Elementos físicos podem ser entendidos com as partes do produto que executam as funções (BAXTER, 2011; ULRICH, 1995). Nesta etapa relaciona-se às funções aos elementos que devem compor o produto de forma esquemática, sendo possível verificar o tipo de modularidade.

Passo 04 - Mapeamento das interfaces: Estabelecimento das conexões entre os elementos. Esta etapa pode ser realizada em conjunto à etapa 03, relacionando os elementos físicos agrupados por funções que desempenham (ULRICH, 1995).

Passo 05 - Referências e Estilo: Levantamento de referencial de estilo e tecnológico de exemplares disponíveis no mercado. Estabelecimento de características de estilo pertinentes ao produto, levando em consideração a semântica do produto, seu simbolismo (BAXTER, 2011) bem como a linguagem do contexto de produtos existentes na marca, quando disponíveis. Além disso, o estilo deve estar relacionado a fatores condicionantes (Figura 46).

Figura 46 - Condicionantes de Estilo



Fonte: Adaptado de Baxter (2011)

Passo 06 - Hipóteses de Design: Etapa criativa de geração de ideias de configuração geral do produto através de croquis. Podem ser utilizadas diversas metodologias presentes na literatura. Deve-se produzir livremente opções de design levando em consideração as informações de configuração previamente elencadas, porém sem rigor de detalhamento.

Passo 07 - Seleção de Design: Seleção através de critérios, votação, ou outro fator da proposta entre as hipóteses produzidas para posterior detalhamento, protótipo e avaliação.

Passo 08 - Arquitetura do Produto: Definidos os requisitos funcionais, suas relações, interfaces e características de estilo é possível integrar todas as informações em uma arquitetura de produto, que baseará a execução do projeto detalhado. Nesta etapa também deve-se decidir as variações possíveis do produto, relacionando-as aos módulos (DURAY, 2000). Embora a base da arquitetura já tenha sido definida nas etapas 02, 03 e 04, é necessário revisita-la a fim de definir os critérios de customização.

Passo 09 - Projeto dos Módulos: Projeto detalhado dos módulos e suas interfaces, prevendo um refinamento do desenho e o cumprimento dos requisitos funcionais. Nesta etapa é necessário atentar-se ao método produtivo empregado.

Passo 10 - Planificação: Planificação dos elementos modulares, quando necessário, para prototipagem rápida através de equipamentos de fabricação digital. Tratando-se de um produto customizável, deve-se selecionar um ou mais exemplares para o teste funcional, estrutural e de estilo.

Passo 11 - Protótipo: Execução física de modelo em escala reduzida ou real do projeto detalhado. Deve-se avaliar se foram atendidas as expectativas esperadas para o produto, e, se necessário, retornar aos passos 08, 09 e 10 para execução de novo protótipo.

Passo 12 - Solução de Design: Produto final da etapa de concepção do projeto customizável, que contém:

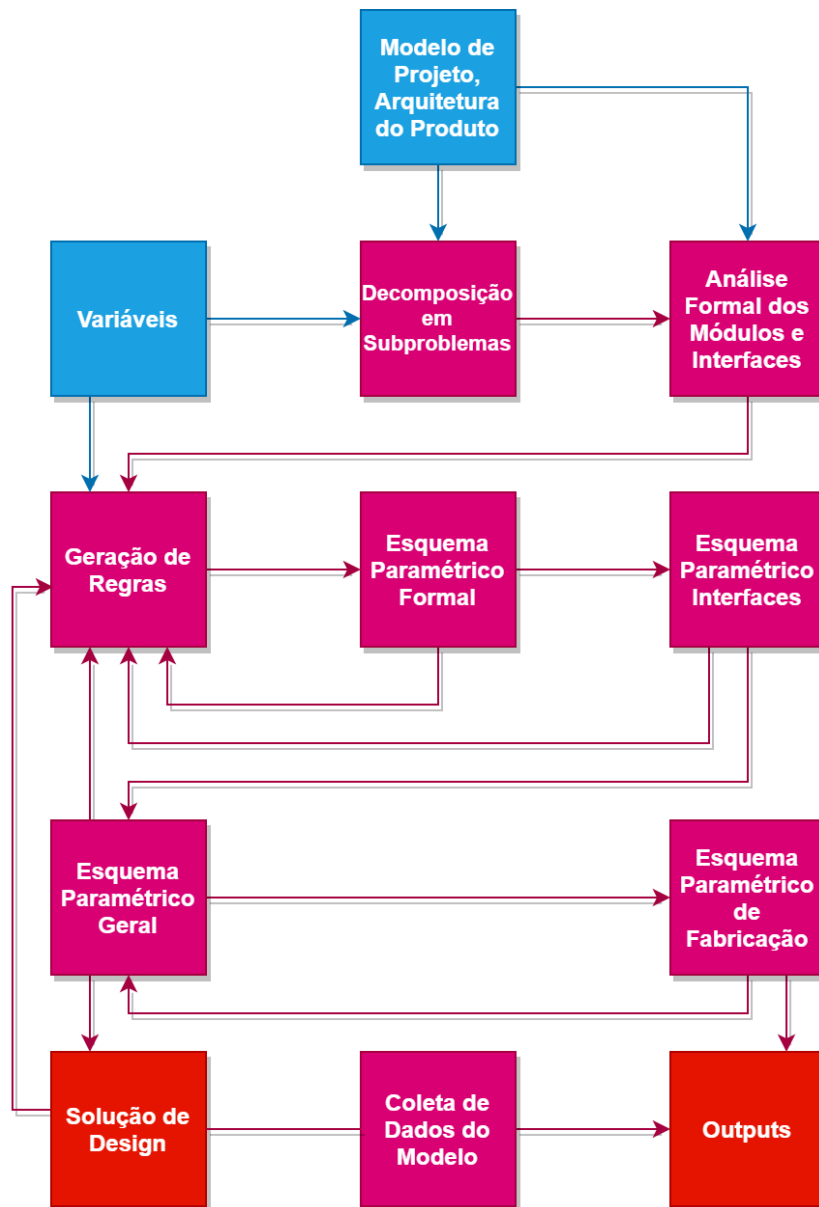
- Arquitetura do Produto, especificando sua modularidade, funções, elementos opcionais ou secundários, as interfaces entre os elementos e as variações esperadas para customização;
- Modelo de projeto detalhado de ao menos uma variação, para posterior análise e especificação das relações dimensionais considerando coerência de estilo, função e estrutura do produto nas suas variações;
- Especificação detalhada dos elementos de conexão dos módulos (interfaces). Estes elementos podem ser padronizados em diferentes tipos a fim de utilizar-se uma plataforma para futuros produtos.

4.1.2 Artefato B: Projeto Paramétrico de Produto Customizável

Neste método o projeto para customização concebido através das etapas anteriores é transposto para um esquema paramétrico, tendo como produto final da etapa um projeto digital flexível, que permite intervenções e tem as variações do produto integradas a partir de regramentos que constituem a configuração do produto para visualização, precificação e fabricação. Assim como no método anterior, é proposto um passo-a-passo no formato de algoritmo que orienta o desenvolvimento das etapas.

Estas etapas baseiam-se nos processos descritos por Medland e Molineux (2000) acerca da organização dos problemas e subproblemas, bem como a geração de regras. O processo utilizado para implantação das regras é o projeto paramétrico, que é utilizado em interface de construção de algoritmo (esquema paramétrico) com visualização em tempo real para avaliação e modificação, e ocorrem de forma associativa (OXMAN 2006). O processo de geração é cíclico, até obter-se um resultado funcional satisfatório. Os passos estão descritos na Figura 47 e são detalhados a seguir. Ao fim, obtém-se a solução de design, compreendendo um projeto flexível que sofre alteração através da modificação de variáveis definidas. Obtém-se também os dados do modelo para posterior operacionalização do configurador *online* de produto.

Figura 47 - Método de Projeto Paramétrico de Produto Customizável



Fonte: Do autor.

Passo 01 - Estabelecimento de variáveis: Etapa que define o espaço de design das variações possíveis do produto customizável. Esta definição é importante de forma a limitar os resultados possíveis, descartando variações que não devem pertencer ao produto final. As variáveis podem ser de diferentes tipos, e podem ser definidas todas no início do processo ou conforme for verificada sua necessidade:

Variáveis dimensionais: São as variáveis que definem a variação dimensional do produto como um todo e seus módulos. Estas variáveis devem ser estabelecidas

observando as características gerais do produto e mercado a que se destina, o equipamento e material empregado no processo de fabricação e, tratando-se de mobiliários, a ergonomia;

Variáveis de Estilo: Variáveis que afetam o estilo do produto, e estão relacionadas principalmente ao acabamento do produto, como por exemplo cores ou material de fabricação;

a) Variáveis de Forma: As que afetam a configuração formal do produto, seja pelo posicionamento, troca ou intervenção de módulos.

b) Variáveis de Fabricação: São as variáveis que recebem interferência das ferramentas e processos de fabricação, como por exemplo diâmetro de fresa ou filamento e espessuras de material.

c) Variáveis de Precificação: Variáveis que importam à composição de preço do produto para cálculo pelo esquema paramétrico, como por exemplo valores de material, horas de trabalho necessárias de acabamento e outros.

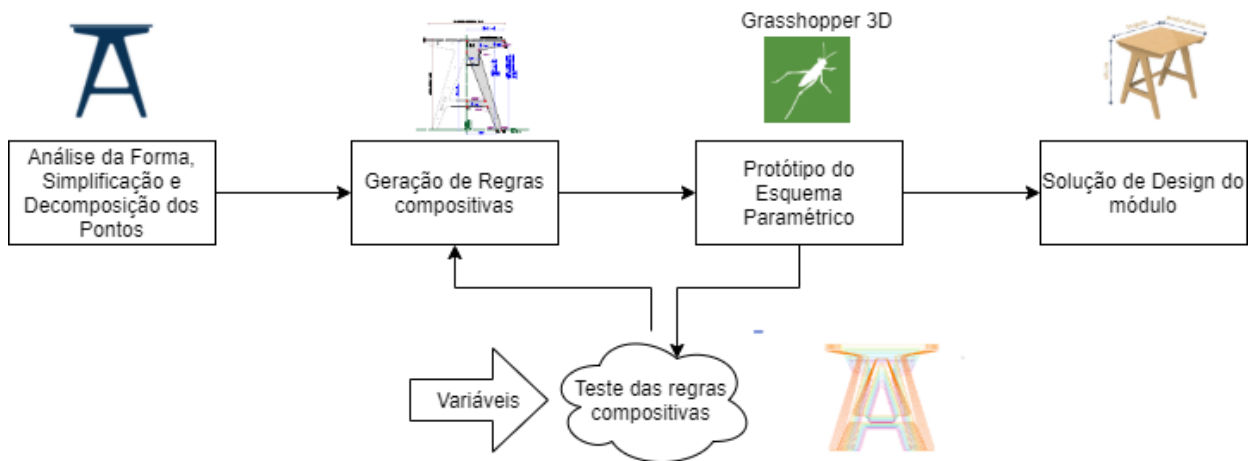
Passo 02 - Decomposição de subproblemas: Esta etapa baseia-se no método de Medland e Mullineux (2000) e busca reduzir a complexidade de projeto através de adições incrementais ao esquema paramétrico. O produto da etapa deve ser um algoritmo base que estabelece as etapas de composição do esquema completo.

Passo 03 - Análise formal dos módulos e Interfaces: Para transposição do modelo e módulos projetados na etapa anterior para o esquema paramétrico é necessário analisar a construção da forma e decomposição em seus elementos fundamentais, que serão então controlados pelas variáveis para atingir a modificação desejada. A análise deve buscar identificar pontos e linhas que compõem o objeto de forma simplificada.

Passo 04 - Geração de regras: A geração de regras é um dos passos mais importantes do processo e deve ser construída de forma incremental, observando as relações formais identificadas na análise da forma, ancorando os elementos fundamentais de geração da forma nos demais pontos ou em planos que compõem o espaço do modelo. As regras devem ser observadas, implementadas e testadas

continuamente para possíveis alterações, até obter-se um resultado satisfatório sem erros ou resultados inesperados (Figura 48).

Figura 48 - Estratégia de Projeto dos Módulos



Fonte: Do autor.

Passo 05 - Esquema paramétrico formal: A partir das regras geradas deve-se construir o modelo paramétrico funcional, a fim de avaliar o correto funcionamento das variações. Esta etapa deve ser realizada de forma concomitante à geração de regras de forma incremental, constituindo primeiramente a forma básica e depois a adição dos elementos que compõem a forma total. A fim de manter a organização, leitura e compreensão do esquema paramétrico, os módulos do produto devem ser agrupados. Nesta etapa deve-se primeiramente desconsiderar a interface entre os módulos, garantindo a intervenção nos módulos de forma independente sem que isto represente modificação nos demais.

Passo 06 - Esquema paramétrico das interfaces: Findada a construção das regras e esquema paramétrico dos módulos de forma independente, passa-se a construção do esquema paramétrico das interfaces. As interfaces podem ser constituídas como modelos independentes, para adição de informação posterior aos módulos, permitindo sua reutilização no modelo ou mesmo para outros produtos que utilizem a mesma plataforma de produtos.

Passo 07 - Esquema paramétrico Geral: Organização geral dos elementos criados anteriormente, a fim de averiguar o funcionamento de variações do conjunto como um todo. Os elementos devem ser agrupados e nomeados de acordo às etapas do

processo, facilitando a intervenção futura e leitura do esquema por terceiros. Nesta etapa são realizados os processos de organização geral do modelo, que deve ter sua correta e completa representação tridimensional como produto.

Passo 08 - Esquema paramétrico de fabricação: A partir do modelo completo do produto avaliado quanto ao correto funcionamento das variações, passa-se a construção das transformações necessárias para a fabricação ou prototipagem rápida através da planificação dos elementos, no caso de FD 2D, ou preparação do arquivo para exportação no caso de FD 3D. No contexto desta pesquisa, será abordado somente a planificação para fabricação digital com equipamento tipo fresadora CNC. Caso não tenham sido consideradas anteriormente, nesta etapa é necessário intervir no produto dos módulos anteriores para transformação de elementos conforme as variáveis de fabricação.

Passo 09 - Solução de design: Produto final da etapa de construção do esquema paramétrico, este contém as informações necessárias para prototipagem e avaliação. Nesta etapa deve-se, em caso de falhas ou ajustes realizar o processo cíclico de intervenção nas regras e demais etapas anteriores, até conquistar-se o resultado considerado satisfatório perante os requisitos definidos.

Passo 10 - Coleta de dados do modelo: A partir da solução de design avaliada e modificada caso necessário, é necessário coletar os dados do modelo que influenciarão na comercialização do produto. Estes dados podem tratar-se de modelos tridimensionais digitais, modelos de fabricação, precificação e outros.

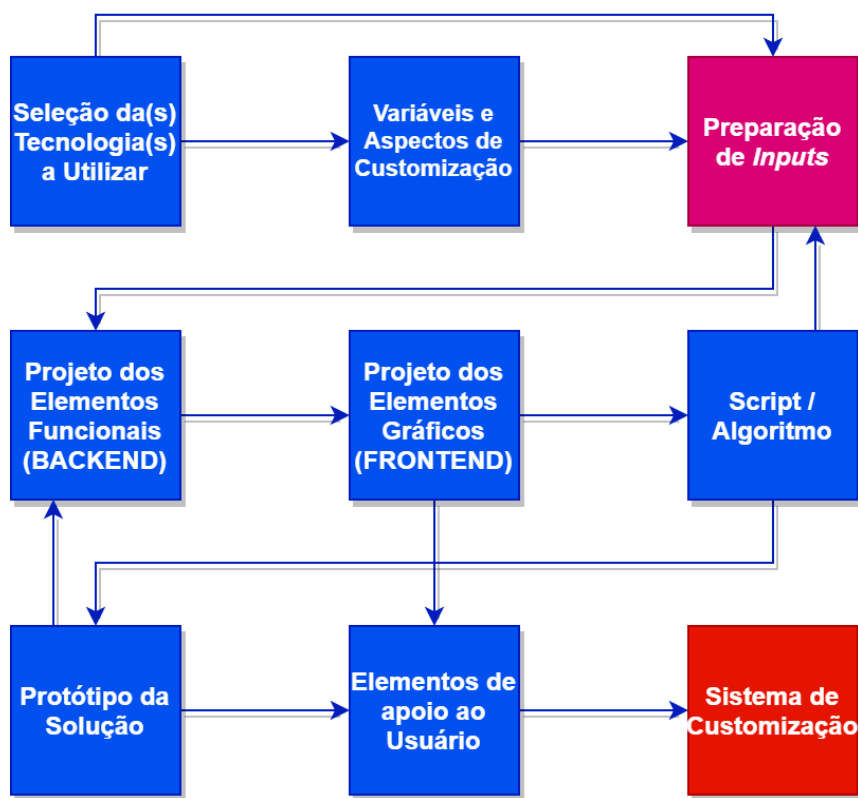
Passo 11 - Outputs do modelo: Organização dos dados coletados no passo anterior para utilização, adequando-os a formatos de arquivos digitais ou outras mídias.

Ao término dos passos elencados neste método obtém-se os dados necessários para utilização do sistema de customização. Entretanto, como o objetivo desta pesquisa é construir um sistema que integre também a interação do consumidor na configuração do produto, passa-se a construção do configurador a partir do método definido a seguir.

4.1.3 Artefato C: Configurador Online

O método de construção do configurador online deve atender às necessidades específicas do projeto, abrangendo as variáveis elencadas, complexidade do produto e nível de interação do usuário desejado. Como nos demais métodos, é proposto um algoritmo que define as etapas a seguir para obtenção do produto final, um sistema de customização. Tais passos são demonstrados na Figura 49, e detalhados a seguir.

Figura 49 - Método de Configurador Online



Fonte: Do autor

Passo 01 - Seleção da(s) tecnologias: O primeiro passo para construção do configurador é definir a tecnologia a utilizar. Existem no mercado serviços que fornecem um configurador online com interação e cálculo em tempo real das variações geométricas a partir de alteração de variáveis, como o *ShapeDiver*®. Este serviço conta com um *plugin* que permite a obtenção dos dados do esquema paramétrico e ajustes do configurador de forma facilitada. Entretanto, a utilização deste tipo de sistema com fins comerciais representa um alto custo para a realidade de pequenas empresas ou *makers* no contexto brasileiro. Como forma de contribuir

para a aplicação dos conceitos dessa pesquisa em contextos reais, é tratado o segundo tipo de configurador possível: um sistema online baseado em bibliotecas JavaScript e HTML (linguagens de programação voltadas a web) e o pré cálculo das variações utilizando os softwares Rhino e Grasshopper®. Dito isto, as demais etapas devem ser seguidas quaisquer sejam as tecnologias utilizadas, adaptando-as quanto às necessidades verificadas.

Passo 02 - Variáveis e aspectos de customização: As variáveis e aspectos customizados definidos anteriormente devem ser filtrados e segmentados conforme os nichos de produto à atingir quando aplicável. Variáveis que importam a fabricação, por exemplo, não importam ao consumidor. Deve-se incluir no configurador apenas as modificações de produto necessárias, que afetem estilo ou funções do produto, a fim de reduzir a complexidade de configuração percebida pelo usuário.

Passo 03 - Preparação de inputs: Este passo deve responder a pergunta: “O que os elementos do configurador precisam para funcionar?”, de forma a preparar a organização de dados necessários e adaptação do esquema paramétrico inicial se necessário. Por exemplo, se o configurador possui visualização tridimensional, um *input* contendo a superfície ou malha 3D é necessária.

Passo 04 - Projeto dos elementos funcionais (*backend*) : Após definidas as tecnologias básicas, variáveis de interação e os *inputs* do configurador é possível planejar sua estrutura geral de funcionamento. Este funcionamento deve ser demonstrado de forma esquemática de forma a apresentar as relações entre as tecnologias, *inputs*, *outputs* e demais subsistemas que venham a fazer parte do projeto de configurador. Deve ser apontados também os sistemas dos quais o configurador tem dependência para seu funcionamento, e a etapa que ocorre a interação do usuário e requisições de atualização ao sistema.

Passo 05 - Projeto dos elementos gráficos (*frontend*): Neste passo devem ser preparados elementos gráficos de apoio à construção do configurador. Planejamento na forma de croquis, *grids*, botões, elementos de visualização e formas de interação devem ser considerados.

Passo 06 - Algoritmo/Script: Tomando como base os elementos construídos nas etapas anteriores, passa-se a construção do sistema funcional. Esta construção deve dar-se de forma incremental, avançando à etapa seguinte, avaliando e retornando a intervir no processo de programação ou definição do algoritmo.

Passo 07 - Protótipo da Solução: Verificação do artefato em seu nível funcional. Esta etapa corresponde a avaliações preliminares dos subproblemas que compõe o projeto do configurador, testando-os até obter-se o resultado esperado ou satisfatório.

Passo 08 - Elementos de apoio ao usuário: Inclusão de elementos gráficos, textuais ou de mídia que auxiliem o usuário no processo de customização. Deve-se fornecer informações que auxiliem no processo decisório, além da forma de utilização correta do próprio configurador.

Passo 09 - Sistema de customização: O sistema de customização consiste na operacionalização do configurador em conjunto ao esquema paramétrico de forma funcional. Nesta etapa, deve ser possível utilizar todos os recursos projetados, compreendendo as atividades de configuração do produto através do configurador, efetuar pedidos e captação de informações que permitam a materialização do produto.

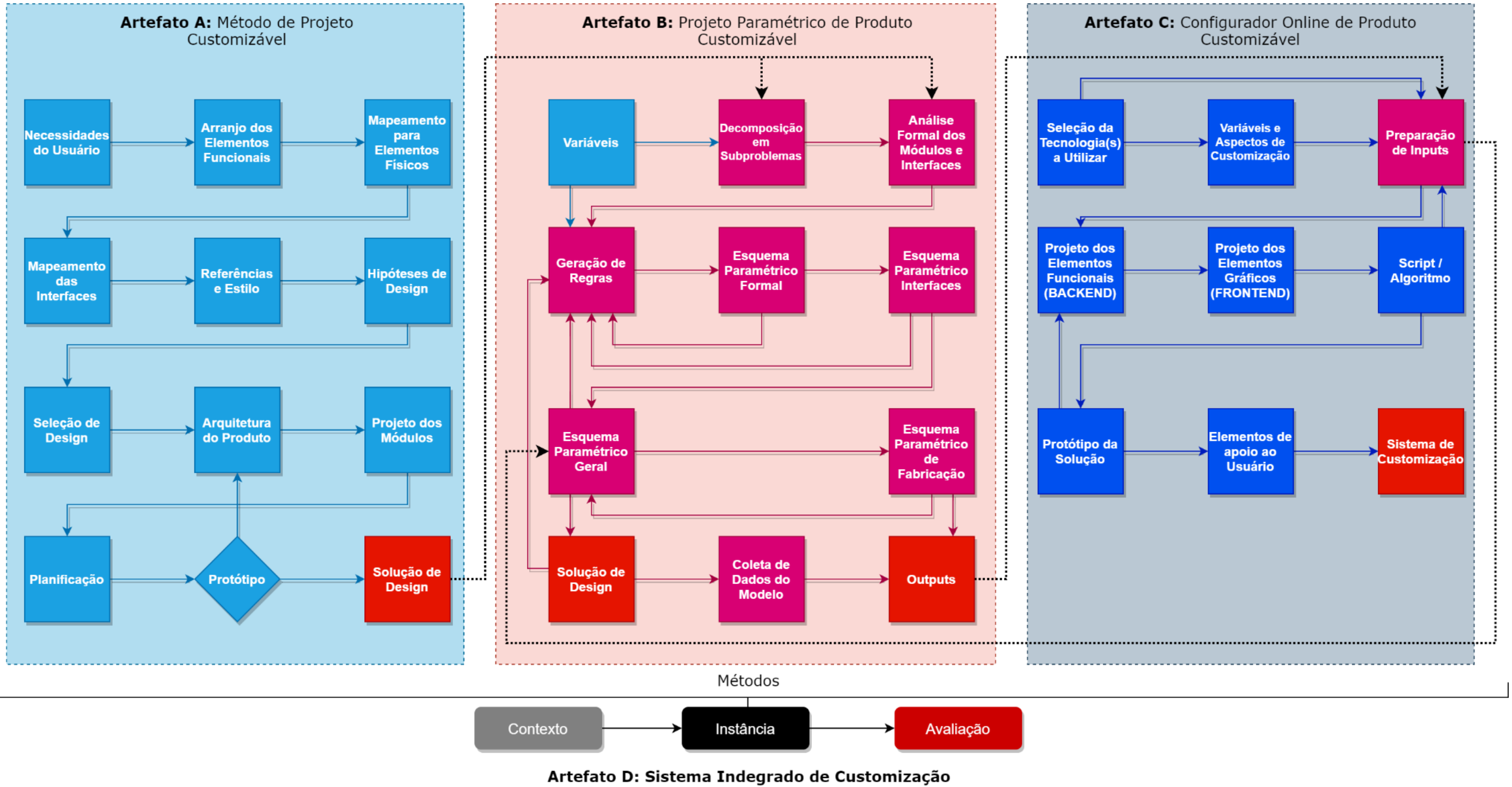
Ao fim desta etapa, organiza-se a instanciação dos métodos.

4.1.4 Artefato D (Instância): Sistema integrado de customização

A fim de planejar a instanciação dos métodos propostos, organizam-se suas interdependências e relações (Figura 50). A execução da instância deve ocorrer na ordem prevista, e sua realização deve fornecer dados quanto ao desempenho dos métodos individualmente e também na forma de um único sistema, visto a necessidade de utilização de sua integração como forma de viabilizar a customização do produto.

Para caracterização da instanciação é necessário definir seu contexto de aplicação, apresentado a seguir.

Figura 50 – Projeto dos Artefatos e Relações



Fonte: Do autor

4.1.5 Contexto da Instância

Os artefatos foram concebidos, aplicados e avaliados em contexto real, uma microempresa localizada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, no Bairro São Geraldo - situando-se na área da cidade conhecida como Quarto Distrito - área que antigamente abrigava indústrias tradicionais e atualmente passa por processo de transformação por novos negócios e indústrias criativas.

Fundada por um casal formado por uma farmacêutica e um arquiteto e urbanista no ano de 2018, a partir das experiências de criação *do-it-yourself* de seus fundadores de mobiliários para o próprio apartamento de moradia, a empresa possui características *maker* como um de seus pilares. Com estratégia de produção em pequenas séries de mobiliários em madeira compensada multilaminada, a empresa se utiliza principalmente da fabricação digital no processo produtivo, contando com uma fresadora CNC em suas instalações (Figura 51). Atende também o setor de arquitetura, projetos, elementos de comunicação visual e arquitetura de interiores. Contando com dois funcionários em seu quadro fixo e dois sócios, é classificada como microempresa, e utiliza de mão de obra *freelancer* em picos de necessidade produtiva. Sendo também um espaço *maker*, é possível alugar o espaço por tempo determinado para a auto-produção, utilizando os equipamentos e materiais existentes.

Figura 51 - Área de Produção da empresa contexto



Fonte: Do autor

Como ferramentas de projeto a empresa emprega técnicas tradicionais CAD/CAM, com lançamento de propostas auxiliado por softwares de desenho 2D e 3D, que então são “prototipados” em fresadora CNC em escala real e avaliados. O processo é cíclico até atingir-se os resultados esperados para a peça de mobiliário quanto a funcionalidade e estética. Destaca-se a utilização de sistema de encaixes (Figura 52), característica empregada a partir do sistema produtivo digital utilizado que adiciona flexibilidade e agilidade na execução dos produtos e protótipos. A produção de produtos para comercialização se dá a partir do mesmo processo de fabricação digital, com as etapas de finalização e acabamento manuais. São utilizados principalmente como matéria prima o compensado naval multilaminado de amescla de 15mm e 18mm de espessura. O acabamento é realizado em etapas de lixa, pintura com pistola de ar pressurizado e instalação de ferragens quando aplicável. A empresa emprega majoritariamente a produção sob demanda, em que o produto é encaminhado para produção somente após efetuada a compra pelo cliente.

Figura 52 - Produtos desenvolvidos pela empresa contexto



Fonte: Do autor

Houve a associação deste pesquisador no quadro diretor da empresa, compreendendo o período de julho de 2019 a janeiro de 2021, recorte temporal que compreende também a realização desta pesquisa. A convivência no dia-a-dia da

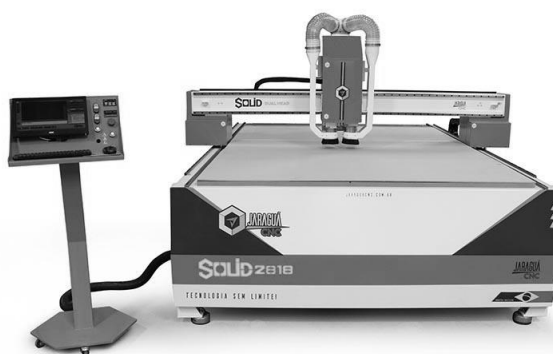
empresa permitiu um maior aprofundamento e conhecimento geral do funcionamento da empresa, o mercado que atende, as metodologias de projeto e produção empregadas bem como as oportunidades de intervenção. Importante salientar também que neste recorte temporal houve o surgimento e agravamento da pandemia ocasionada pelo vírus SARS-Cov-2, causador da doença Covid-19, tendo reflexos diretos na realização desta pesquisa.

Quanto ao espaço físico, a empresa ocupa um galpão de aproximadamente 400m², divididos em área de produção (correspondente a aproximadamente metade da área total), escritório, loja, cozinha, pátio e banheiros/vestiários. A área de produção conta com espaços definidos para a guarda de materiais e ferramentas, estoque de chapas e insumos, cabine de pintura com exaustor, área de secagem de pintura, área dedicada ao uso da fresadora CNC e áreas de lixa e acabamento. Há também um espaço utilizado para recepção e expedição de produtos e materiais.

Os equipamentos disponíveis incluem lixadeiras orbitais, lixadeira de cinta, parafusadeiras e furadeiras sem fio, furadeira de bancada, serra disco, serra rápida, pincéis, ar pressurizado, entre outros. Estes equipamentos não se diferenciam da variedade normalmente disponível em espaços *maker*. O equipamento de fabricação digital utilizado para produção, do tipo fresadora CNC, é do modelo SOLID da empresa brasileira Jaraguá CNC®. Suas características são demonstradas na Figura 53.

Figura 53 - Características do equipamento de FD utilizado

Características técnicas	Solid Dual Head 2818 / 5018
Vel. de deslocamento	15m/min
Área útil de trabalho (X,Y,Z)	2800x1850x200mm / 5000x1850x200mm
Motor Spindle	2x Spindle 4.7CV - 18.000RPM
Esquadro	Cilindro de esquadro para encosto da chapa
Motor de movimentação	Easy servo motor 4NM
Sistema de redução	Redutor Planetário com engrenagem helicoidal
Tração eixo X,Y	Cremalheira helicoidal com precisão H7
Tração eixo Z	Fuso de esf. precisão C7
Guia Linear	20mm de alta precisão
Estrutura	Monobloco
Comando Operacional	Eding CNC Plataforma Windows Original
Massa Operacional	1300kg



Fonte: Do autor

4.3 FASE PRÁTICA

A fase conceitual definiu os métodos através de artefatos e suas características internas que devem ser operacionalizados na instância de aplicação em contexto real. Nesta fase os métodos são definidos como subsistemas que integram o sistema de customização. Como fora definido no projeto dos artefatos, a instância se dará em etapas: A primeira, subsistema de projeto de produto customizável, deve ter como produto um projeto básico. Este projeto deve então ser transformado em uma solução de design composta por um esquema paramétrico, denominado aqui subsistema de projeto paramétrico de produto customizável, e um projeto digital flexível, além de execução de protótipos de validação. Por fim, passa-se a construção do subsistema de configurador online, que viabiliza a interação do consumidor com o projeto flexível definido e sua customização.

4.3.1 Subsistema de Projeto de Produto Customizável

A instância do subsistema de projeto de produto customizável refere-se a implementação prática do Artefato A, sendo este um método desenvolvido para este fim. Devido às limitações impostas pela pandemia de Covid-19 em curso durante a realização da etapa, parte dos trabalhos foi realizada de forma remota, em reuniões virtuais com a equipe da empresa contexto de aplicação.

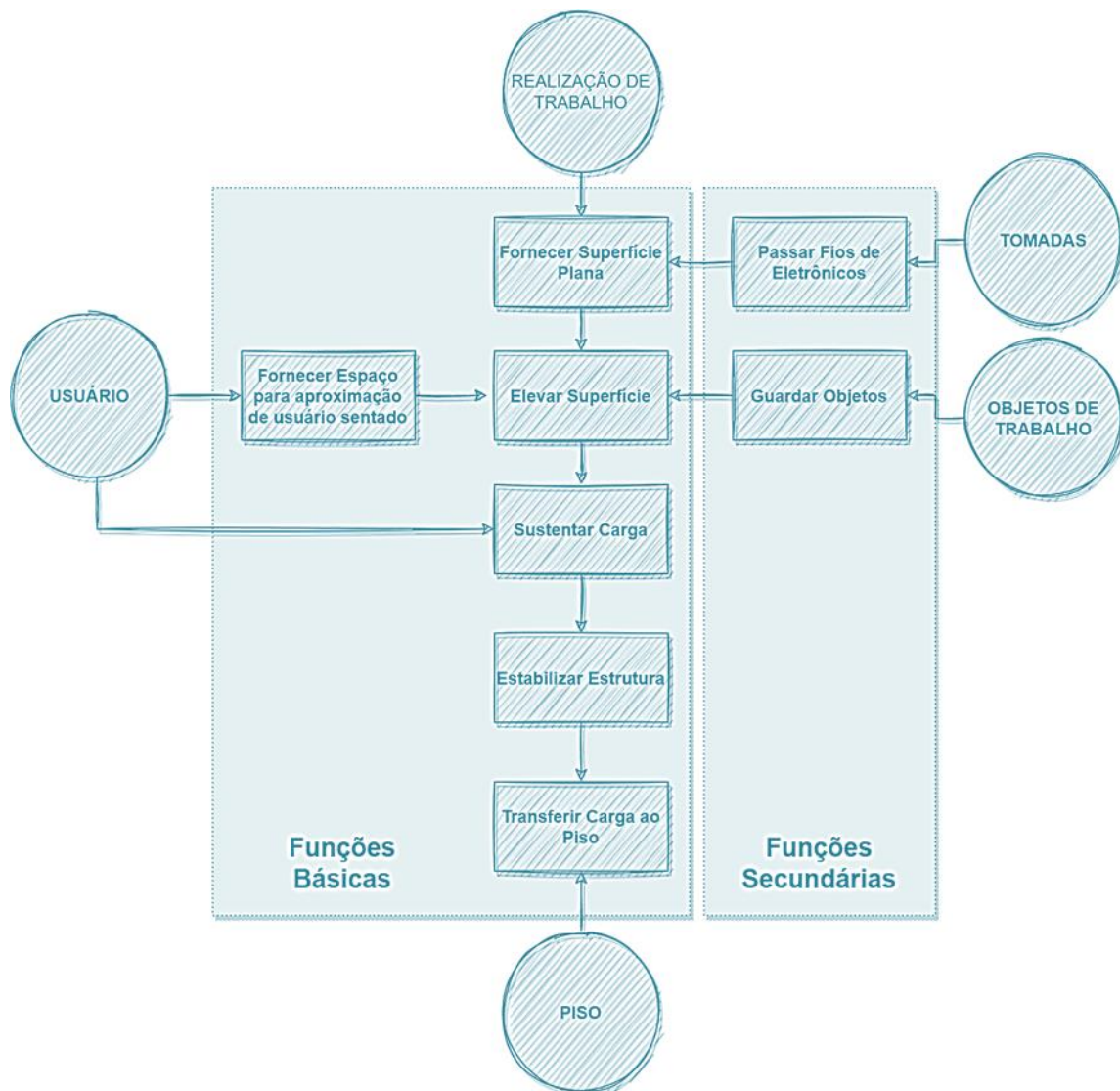
Necessidades do Usuário: A pesquisa de necessidades do usuário deve definir os aspectos funcionais fundamentais e desejáveis do produto, de forma a reduzir os riscos de insucesso e fornecer informações para as etapas de projeto. Embora haja diversas ferramentas na literatura para este fim (BAXTER, 2011) no contexto da pesquisa optou-se pela realização de uma pesquisa tipo *survey* utilizando a plataforma Google Forms com clientes da empresa e profissionais do ramo de design e arquitetura, sendo contabilizados ao total 12 respondentes. As opções presentes no questionário foram produzidas com base em pesquisa de produtos existentes no mercado.

A partir das respostas coletadas, foram definidos os atributos desejáveis: prateleira e/ou gaveta abaixo do tampo e passa-fios. Outros atributos que foram considerados

são: variação dimensional (aspecto inerente à proposta do produto customizável) e impermeabilidade, que deve ser considerada para as etapas de acabamento.

Arranjo dos Elementos Funcionais: A partir das respostas coletadas, foram definidas as funções desejáveis do produto (Figura 54), que somam-se às funções básicas, passando-se então às etapas seguintes de configuração da arquitetura do produto de forma esquemática (ULRICH, 1995).

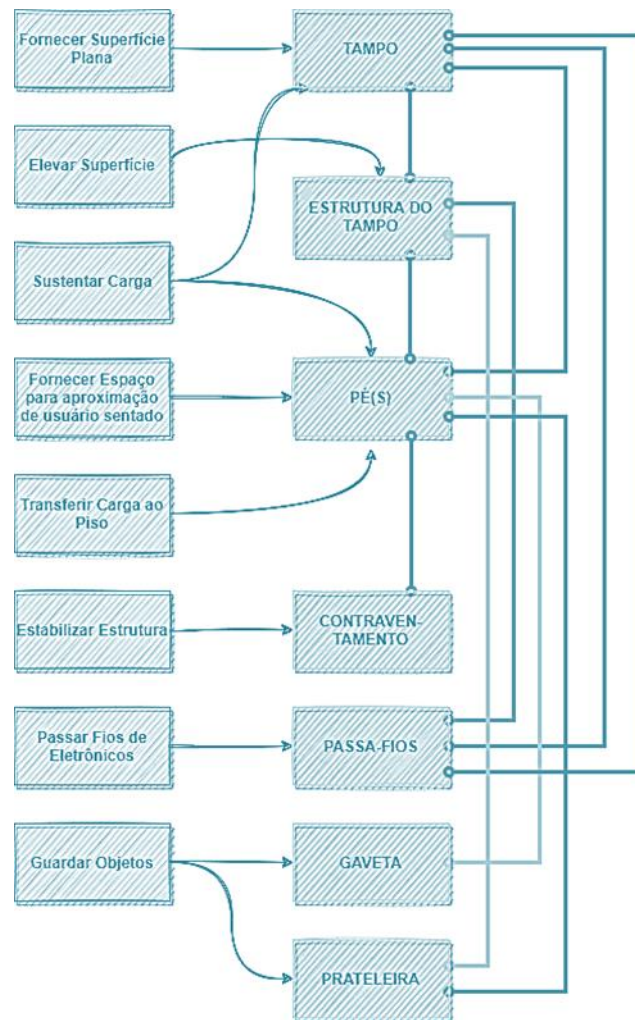
Figura 54 - Arranjo dos Elementos Funcionais do Produto



Fonte: Do autor

Mapeamento para elementos físicos e interfaces: Definidos os elementos funcionais, passa-se a composição dos elementos físicos, relacionando às funções (Figura 55).

Figura 55 - Arranjo dos Elementos Físicos do Produto e Interfaces



Fonte: Do autor

O mapeamento dos elementos físicos revela a estrutura modular do produto. O tipo de modularidade definida para o produto, de acordo com os apontados por Ulrich (1995) é o compartilhamento de componentes, em que as diferentes soluções possíveis compartilham dos mesmos módulos e *cut-to-fit*, variação dimensional dos componentes possível através da fabricação digital. Estes tipos de modularidades permitem alto grau de customização (Duray et al., 2000) e relacionam-se a variação no design do produto.

Referências e estilo: A partir das referências pesquisadas na literatura e mercado, são elencados os fatores condicionantes de estilo. Quanto aos antecessores do produto, considerou-se o portfólio da empresa como ponto de partida da linguagem. Quanto ao aspecto de marca e identidade da empresa, são definidos os

acabamentos utilizados majoritariamente nos produtos: madeira compensada multilaminada com aspecto natural, ou em seis opções de cores. Além disso, foi definido como aspecto de identificação os cantos arredondados com raio de 1cm a 2cm em diversos produtos, o aspecto modular com encaixes aparentes e as formas simples, de fácil leitura. A análise de estilo dos concorrentes foi utilizada como elemento de inspiração a partir da identificação de formas características de mesas, escrivaninhas e estações de trabalho de fabricação digital. Estes pontos estabeleceram o benchmarking de estilo.

Hipóteses de design: Definidos os aspectos gerais de configuração e estilo do produto, passa-se a proposição. Foi realizado *brainstorm* junto à equipe da empresa contexto com proposições na forma de croquis e uso de softwares CAD, com livre proposição. A definição dos aspectos gerais do produto conduziu para o afunilamento de ideias através de discussão dos aspectos do produto (Figura 56).

Figura 56 - Exemplos de Croquis de Hipóteses de Design do Produto



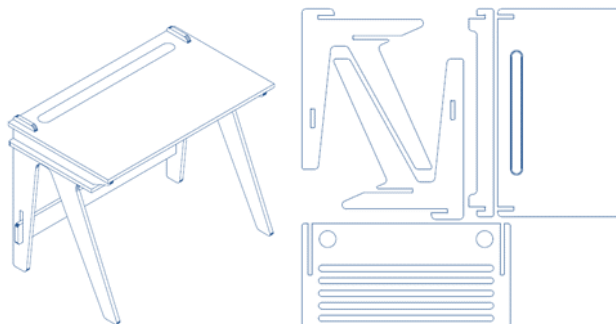
Fonte: Do autor

Devido a cultura e práticas existentes na empresa contexto os passos de seleção de design e protótipo foram executadas de forma concomitante, a fim de avaliar o desempenho real das propostas iniciais. Para tanto, foram executados protótipos em escala real a partir de fabricação com fresadora CNC do projeto planificado com software CAD.

Protótipo preliminar: Dentre as propostas produzidas, foi necessário avaliar a forma de estruturação do móvel e sua estabilidade. Uma característica do movimento *maker* é o “mão na massa”, ou seja, executar as propostas a fim de obter respostas para eventuais correções, e a prototipagem rápida por meio da fabricação digital facilita este processo. O protótipo preliminar foi então detalhado sem o rigor

necessário ao produto final, fazendo uma concepção inicial dos módulos e suas interfaces e planificação para execução (Figura 57).

Figura 57 – Croqui: Protótipo 01 e Planificação



Fonte: Do autor

Seleção de design: A avaliação do protótipo preliminar gerou questões quanto aos elementos físicos do produto: A estratégia de utilizar o elemento prateleira como elemento de contraventamento foi insuficiente, apresentando flambagem. Os pés na angulação proposta apresentaram também o mesmo aspecto, afetando a estabilidade geral da escrivaninha. Tais observações foram de grande relevância para conclusão da etapa de seleção de design, optando-se então pelo modelo com pés com união inferior integrada divididos em dois módulos iguais, e múltiplas traves de contraventamento/sustentação do tampo. Nesta proposta, prateleira e gaveta são tratadas como opcionais, evidenciando seu caráter de função secundária, bem como o passa-fios. Estes opcionais devem gerar por consequência variações nos módulos com os quais fazem interface (Figura 58).

Figura 58 - Seleção de design



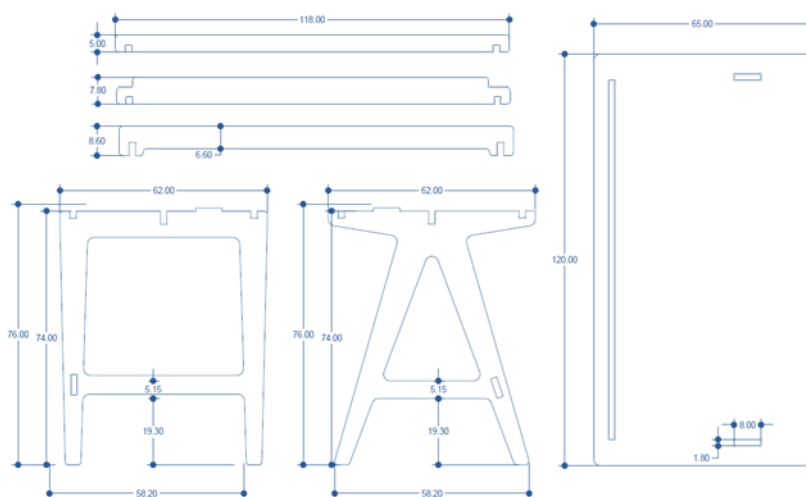
Fonte: Do autor

Arquitetura do produto: A partir do design preliminar é possível concluir a arquitetura do produto e a definição dos módulos. Tratando-se de um produto customizável, nesta etapa também deve-se apontar as variações existentes na arquitetura que caracterizam as famílias de produto, caracterizando o sistema como uma plataforma de produto: em que as famílias de produto utilizam a mesma base de módulos, sistemas produtivo e características gerais.

O mobiliário pode ser segmentado para diferentes usos, de modo a orientar a proposição e o próprio consumidor. Esta segmentação foi definida em duas propostas de produto: escrivaninha para uso pessoal, e estação de trabalho de uso coletivo, caracterizadas nas arquiteturas de produtos.

Projeto dos módulos: Esta etapa é essencialmente criativa, e tem por objetivo refinar o desenho e interfaces entre os módulos de forma detalhada (Figura 59). O desenho leva em consideração as especificações do produto e sua arquitetura definida anteriormente e os módulos devem ser definidos de forma independente, respeitando suas relações e os requisitos de design, sejam de usabilidade, fabricação ou outros. Para o estabelecimento de um projeto base para customização posterior, foram definidas medidas básicas para o projeto: Altura 76 cm, profundidade 65 cm e largura 120 cm. A definição de medidas básicas é importante para o posterior estabelecimento de relações compositivas das formas, mantendo a coerência do projeto original.

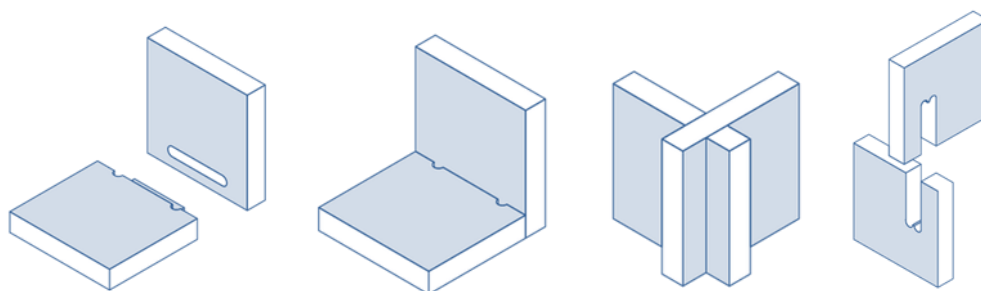
Figura 59 - Planificação dos módulos do modelo



Fonte: Do autor.

Os projetos foram realizados de acordo com as técnicas normalmente utilizadas no contexto da instanciação, a partir do desenho planificado utilizando o software AutoCAD® 2018, e construção tridimensional em 3D a partir do desenho planificado para avaliação, de forma cíclica até obter-se resultado satisfatório. As interfaces se dão de duas formas: do tipo tipo “caixa e espiga”, em que se realiza o desbaste na peça que recebe o encaixe e o recorte do mesmo na peça o contém, e do tipo “meia madeira”, no qual há recorte nas peças que realizam o encaixe para sobreposição das peças. Estes tipos de interface foram selecionados por serem dos mais utilizados em mobiliários executados com fabricação digital e madeira por *makers* e apresentarem grande versatilidade para eventuais adaptações (Figura 60).

Figura 60 - Tipos de Interface do Projeto Básico



Fonte: adaptado de Opendesk (2021)

O detalhamento do projeto e suas interfaces nesta etapa teve-se aos módulos principais do produto, com o objetivo de avaliação por meio de protótipo da solução adotada, ainda que preservando a variação formal possível no módulo pés. A mesma medida foi adotada quanto ao tipo de produto, detalhando-se primeiramente a escrivaninha de uso individual. Após a avaliação do protótipo, deve-se retornar a etapa para conclusão de projeto dos demais módulos e variações. Deve-se evitar a variação excessiva de tipos de interface de modo a facilitar a intercambialidade de módulos no produto ou mesmo a utilização destes em outras famílias de produto que se utilizem da mesma plataforma.

Protótipo: Diferentemente do protótipo preliminar, nesta etapa a avaliação deve ser criteriosa a fim de validar a solução de design adotada. Para avaliação foram definidos os requisitos: (1) Estabilidade estrutural; (2) Estilo satisfatório; (3) Facilidade de execução e montagem e (4) Usabilidade. O modelo avaliado consta na Figura 61.

Figura 61 - Protótipo 02



Fonte: Do autor

A avaliação de estabilidade do protótipo revelou a necessidade de incorporar mais espessura aos pés, de modo a garantir maior estabilidade à estrutura quando aplicada carga lateral ao conjunto (como por exemplo, apoiar-se). Para tanto, utilizou-se pés compostos por 2 elementos cada, que são conectados por cavilhas e colados. Esta revisão causou também por consequência um redesenho das interfaces, a fim de limitar o movimento e possibilitar um refinamento de estilo, ocultando parte das conexões (Figura 62).

Figura 62 - Protótipo 03



Fonte: Do autor

4.3.2 Subsistema de Projeto Paramétrico de Produto Customizável

O subsistema de projeto paramétrico de produto customizável corresponde a construção de um projeto digital flexível (REF) em que a alteração de variáveis ocasionam a propagação de informação, que por fim altera as propriedades do produto (REF) mantendo sua coerência formal, seja de estilo, usabilidade ou estrutural. Deve-se ao fim obter uma visualização do projeto completo e avaliado quanto a estes quesitos, além de processos automatizados para a posterior fabricação, precificação e interação.

A implementação do esquema paramétrico foi realizada em um computador tipo desktop com sistema operacional Windows 10, com a seguinte configuração de *hardware*:

- **Processador:** AMD Ryzen 7 2700 8Cores/16Theads 3.2Ghz a 4.1Ghz;
- **Memória:** 16gb DDR4 3200mhz (2x8gb)
- **Placa de vídeo:** Nvidia Geforce GTX980 4gb GDDR5 256bits;
- **SSD** Nvme 256gb.

Os softwares utilizados foram:

- **Rhinoceros® 6** 64-bit SR13;
- **Grasshopper®** 1.0.0007 (27/02/2019).

Além disso, foram utilizados os *plug-ins* para Grasshopper®:

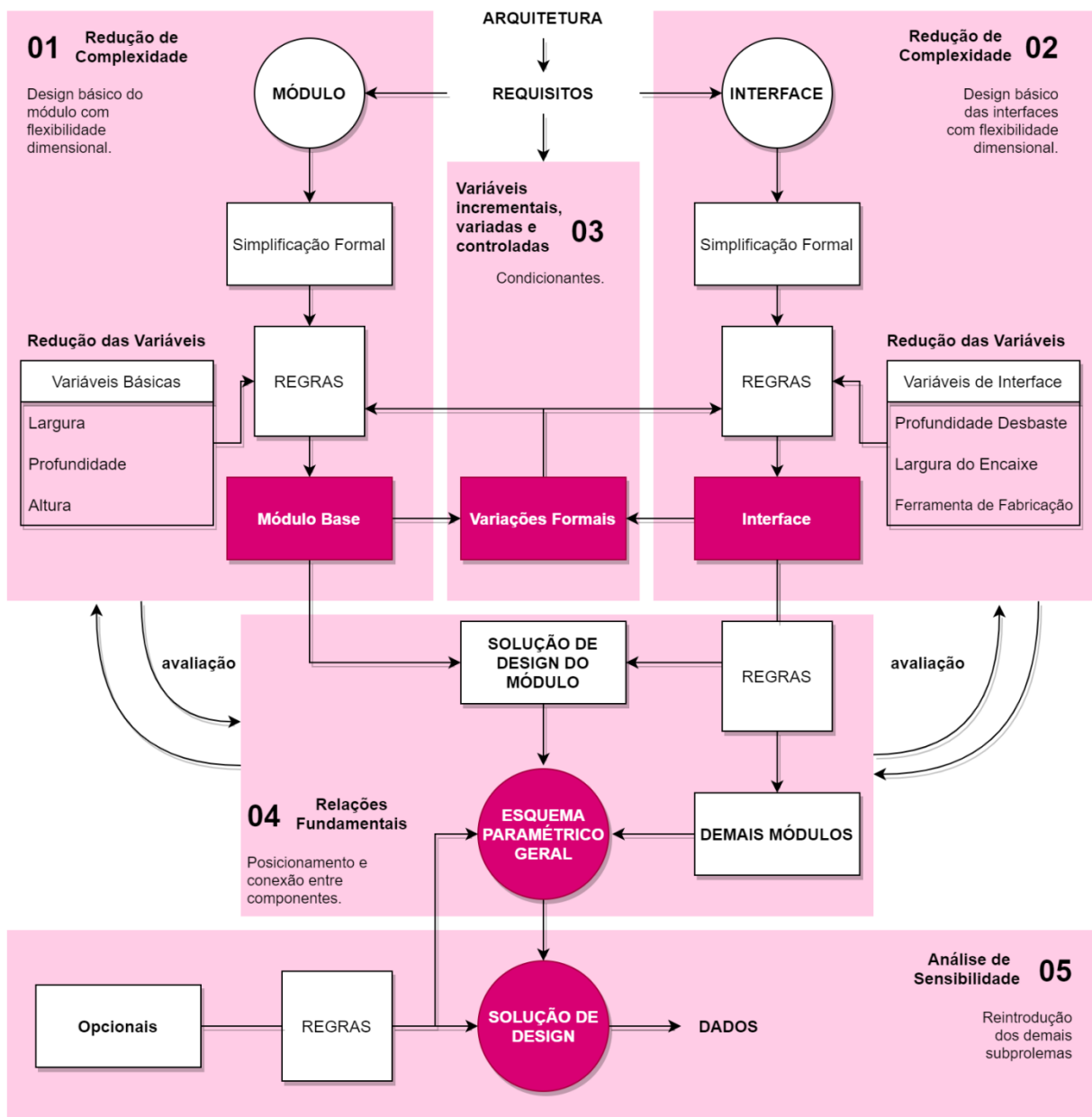
- **OpenNest** – *Plugin* voltado a planificação para fabricação digital;
- **Pufferfish** – Kit de ferramentas para extensão de operações geométricas.

A instanciação ocorreu com base no método proposto anteriormente nesta pesquisa, e tem seus passos operacionalizados a seguir:

Decomposição em subproblemas: O primeiro passo definido pelo método é a decomposição de subproblemas, baseando-se nas estratégias descritas por Medland e Mullineux (2000). A decomposição ocorre a partir da análise da organização dos módulos, descrita na arquitetura de produto e solução de design definidos como produto do subsistema de projeto customizável. Define-se como

subproblemas: (1) Construção da forma do módulo de forma independente; (2) Construção dos tipos de interface de forma independente; (3) Introdução das variações formais dos módulos em relação aos condicionantes; (4) Posicionamento e conexão dos módulos e (5) Módulos opcionais, relacionados às funções secundárias do produto. A partir da decomposição básica dos subproblemas é possível planejar de forma esquemática a construção da solução (Figura 63), tratando a construção de forma incremental utilizando-se dos processos descritos por Medland e Mullineux (2000).

Figura 63 - Estratégia de decomposição em subproblemas



Fonte: Do autor.

A estratégia projetada evidencia a concomitância de operacionalização dos passos de construção do esquema paramétrico, com atividade constante de avaliação e revisão destes a fim atingir a solução satisfatória de design. Ainda, partir da solução de design obtém-se os dados para conclusão do esquema paramétrico com a adição dos elementos de fabricação digital, precificação e preparação de dados para o configurador. Estes subproblemas serão tratados como etapas posteriores.

Variáveis: Utilizando-se dos métodos de projeto de Peter e Molineux (2000) para artefatos customizáveis a fim de simplificar o processo e reduzir a complexidade, os primeiros passos consistem em reduzir as variáveis de projeto, removendo as insignificantes ou que não afetam a totalidade do produto final, para posteriormente reintroduzi-las.

Tratando-se de um produto cujas principais relações estão relacionadas à dimensão total do objeto final, foram definidas como variáveis a altura, largura e profundidade totais. A estas variáveis foram adicionadas relações decorrentes do material utilizado para fabricação, bem como aspectos de usabilidade, estilo e ergonomia para manter a coerência do produto final. Estes aspectos relacionam-se às variáveis incrementais e controladas (Peter e Molineux, 2000). No Quadro 07 são demonstradas as variáveis selecionadas e a que se relacionam.

Quadro 07 - Variáveis básicas

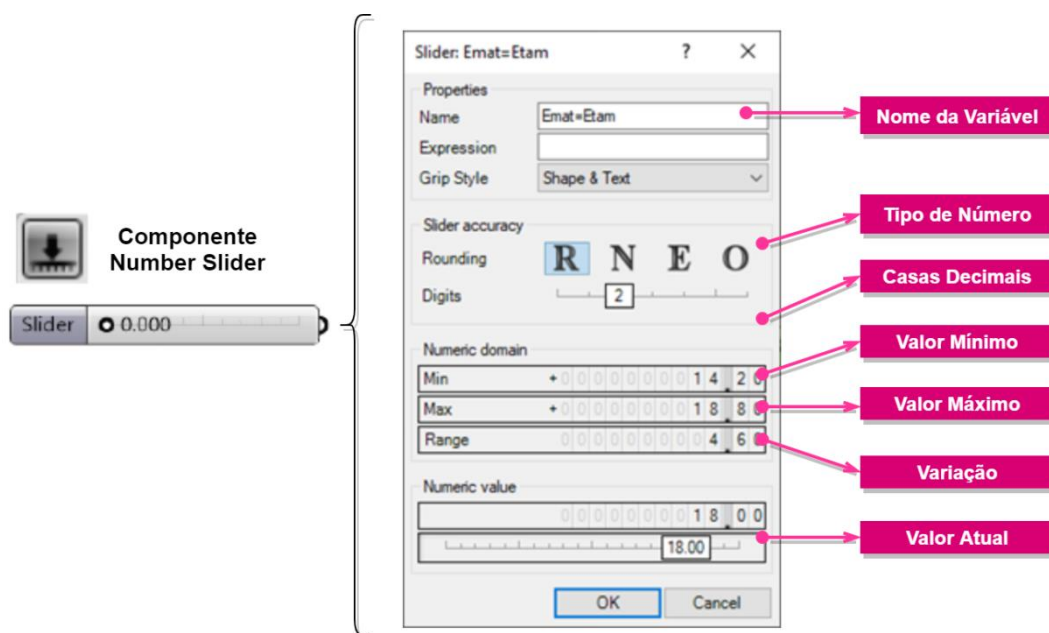
Váriável	Descrição	Relação
<i>E_{tam}</i>	Espessura Tampo	Espessura do material
<i>A_{tot}</i>	Altura Total da mesa	Ergonomia/Uso/Material
<i>P_{tot}</i>	Profundidade Total da mesa	Ergonomia/Uso/Material
<i>L_{tot}</i>	Largura Total da mesa	Ergonomia/Uso/Material

Fonte: Do autor

Na definição de variáveis são definidos os intervalos de valores a utilizar no esquema paramétrico a ser constituído, e podem ser transcritos para diferentes tipos de componentes do *Grasshopper*®. Tratando-se de variáveis numéricas em que se tem o objetivo de avaliação e configuração incremental e multivariada, foi utilizado o componente *number slider*, que possui as propriedades *Min*, referente ao número mínimo, *Max*, referente ao número máximo, *Range*, referente ao intervalo, *Rounding*,

referente ao tipo de número e *digits*, referente ao número de casas decimais (Figura 64). A seguir são descritas as propriedades adotadas.

Figura 64 - Number Slider $E_{tam}=E_{mat}$

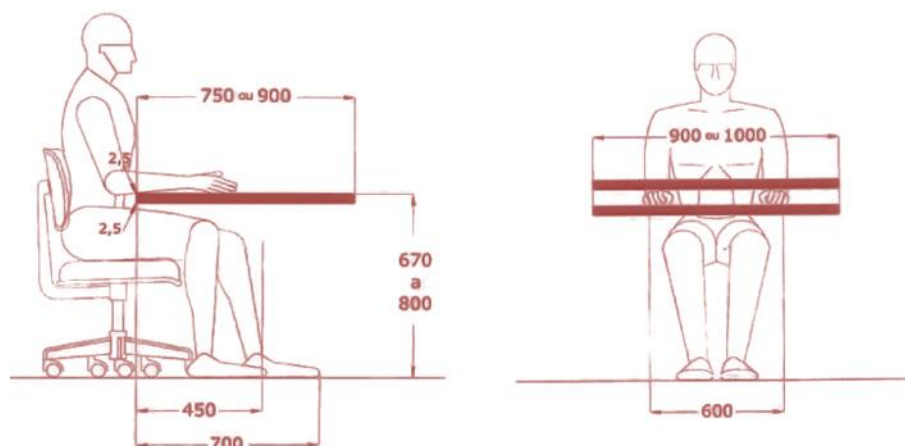


Fonte: Do autor

A espessura do material (variável $E_{tam}=E_{mat}$) relaciona-se a todos os módulos do produto, visto que possui relação dimensional direta com as partes, além de definir também a espessura do tampo. Embora seja uma variável aparentemente fixa, em que não há mudança por motivo de customização, é preciso considerar que há variação nas espessuras de chapas disponíveis no mercado, e tratando-se de um mobiliário de encaixes uma variação de fração de milímetro é capaz de inviabilizar a montagem do produto. Portanto, para as variáveis $E_{tam}=E_{mat}$, é definido o intervalo em números racionais de 14.2mm, referente a chapas de compensado multi laminado de 15mm nominais, utilizadas nas mesas de menor dimensão, a 18.8mm (referente a chapas de compensado multi laminado de 18mm nominais).

As demais variáveis básicas relacionam-se, entre demais fatores, à ergonomia e usabilidade. Foram considerados os valores mínimo e máximo dados pela norma brasileira NBR 15786:2010 que especifica as características físicas, dimensionais e ergonômicas dos móveis para escritório, tele atendimento, *call center* e telemarketing, assim como os métodos de ensaio para a determinação de estabilidade, resistência e durabilidade dos móveis. Para esta pesquisa foram consideradas as variáveis dimensionais principais (Figura 65).

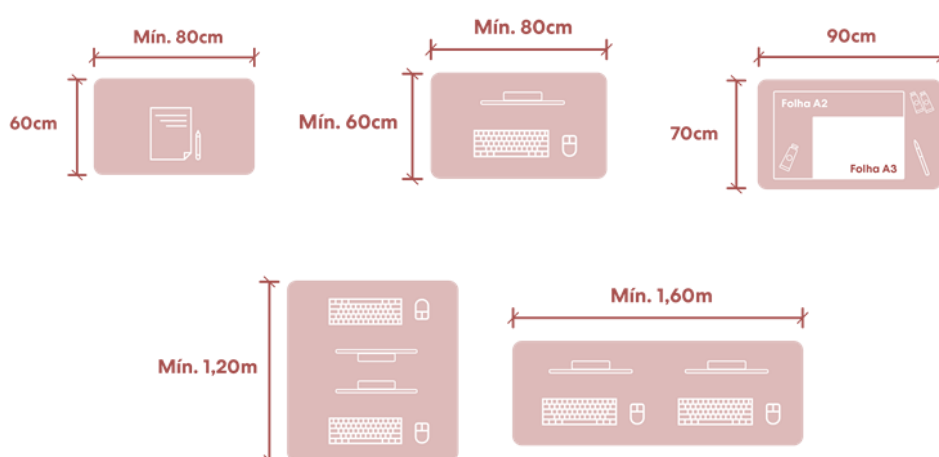
Figura 65 - Valores mínimos e máximos para mesas de trabalho



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15876:2010

Além das dimensões gerais, utiliza-se como limitante de projeto os valores presentes na norma para as variáveis de largura mínima para as penas, definida em 60cm, e altura livre sob o tempo, definida por um poliedro com altura variável entre 12 e 61cm. Por tratar-se de um mobiliário com objetivo de alto grau de customização e adaptação a diferentes atividades e características físicas do usuário, algumas variáveis tiveram seus valores ampliados em virtude do tipo de uso (Figura 66).

Figura 66 - Dimensões mínimas de uso por atividade



Fonte: Do autor.

Como valores máximos são consideradas as dimensões das chapas de compensado multilaminado disponíveis no mercado brasileiro, a fim de assegurar a viabilidade econômica e de fabricação do mobiliário. A partir destas adequações, é

possível definir as variáveis e suas características referentes ao modelo de uso individual (Quadro 08):

Quadro 08 - Valores das variáveis básicas

Variável	Mínimo	Máximo
<i>E_{tam}</i>	14.2 mm	18.8 mm
<i>A_{tot}</i>	670 mm	800 mm
<i>P_{tot}</i>	600 mm	1200 mm
<i>L_{tot}</i>	800 mm	1800 mm

Fonte: Do autor

Além das variáveis básicas definidas, novas variáveis devem ser criadas e introduzidas conforme necessário na construção do esquema paramétrico.

Análise formal dos módulos e Interfaces: A partir das variáveis selecionadas, passa-se a análise e decomposição formal para geração de regras. Essas regras são relacionadas ao processo de resolução geométrica do objeto, e para tanto foram estabelecidas a partir das relações fundamentais de desenho, partindo-se dos pontos ordenados constituídos de posicionamento a partir da écura (X, Y, Z) que então geram linhas e polilinhas, e posteriormente passarão por outros processos para criação da geometria final. A fim de manter a simplificação e organização do processo, as regras serão geradas a partir dos módulos da arquitetura de produto. Desta forma, alterações, revisões ou mesmo integração de módulos em novas famílias de produtos se dá mais facilmente, ao mesmo tempo que a organização dos dados da etapa de construção do esquema paramétrico também é facilitada. Neste contexto, módulos podem ser definidos como subproblemas.

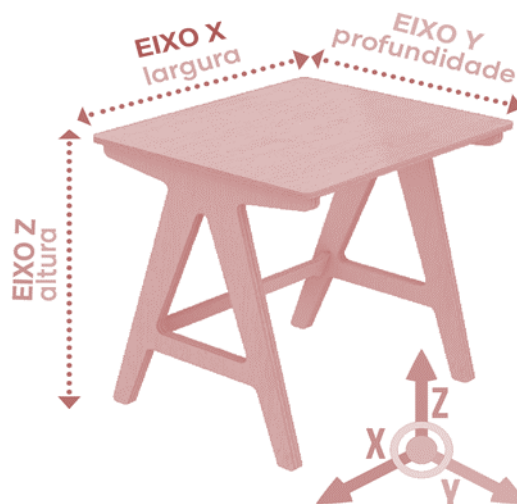
Durante a geração de regras também foram definidas relações dimensionais entre os módulos, o processo produtivo e o material empregado. Estas regras funcionam como limitantes de projeto e são expressas na forma de valores mínimos e máximos dos elementos, estabelecendo novas variáveis. Ainda, como ponto de partida para definição das relações foi utilizado o projeto protótipo desenvolvido anteriormente. A partir deste, foi possível decompor a forma e formular as relações entre pontos a partir de porcentagens, mantendo a coerência formal e de estilo definida. Dado o processo cíclico existente entre a observância dos requerimentos de design, a geração de regras e o estabelecimento do modelo paramétrico (Medland e

Mullineux, 2000), a etapa de geração de regras foi realizada em conjunto a criação de um protótipo digital utilizando o software Rhinoceros® e Grasshopper®. Isto permitiu o teste constante das regras compositivas, bem como a criação incremental dos elementos com a utilização de elementos geradores de geometria existentes nos componentes do ambiente de construção do esquema a partir de seus subproblemas.

Na etapa de composição formal dos módulos é realizada primeiramente uma análise detalhada das relações existentes entre as dimensões dos componentes da forma, estabelecendo as proporcionalidades dimensionais e a decomposição do problema (MEDLAND e MULLINEUX, 2000). Esta decomposição é tratada primeiramente pela geração da forma individual de cada módulo básico, para em seguida inserção das interfaces entre estes. Por fim, são compostas as regras de composição do produto final conforme as variáveis de *input*. Como resultado obtém-se um protótipo do esquema paramétrico, que deve ser continuamente testado de forma incremental e corrigido durante a sua construção (TEDESCHI, 2014; WOODBURY, 2010), utilizando-se da visualização do modelo paramétrico em tempo real propiciado pelo *Grasshopper*® (CELANI, 2006; OXMANN, 2017). Este processo contínuo prossegue até a satisfação dos requisitos de design, para então obter-se um protótipo físico de avaliação.

As variáveis básicas são relacionadas aos eixos que possibilitam a transcrição de vértices, linhas e planos para coordenadas cartesianas, conforme a Figura 67.

Figura 67 – Sistema de coordenadas em relação às variáveis

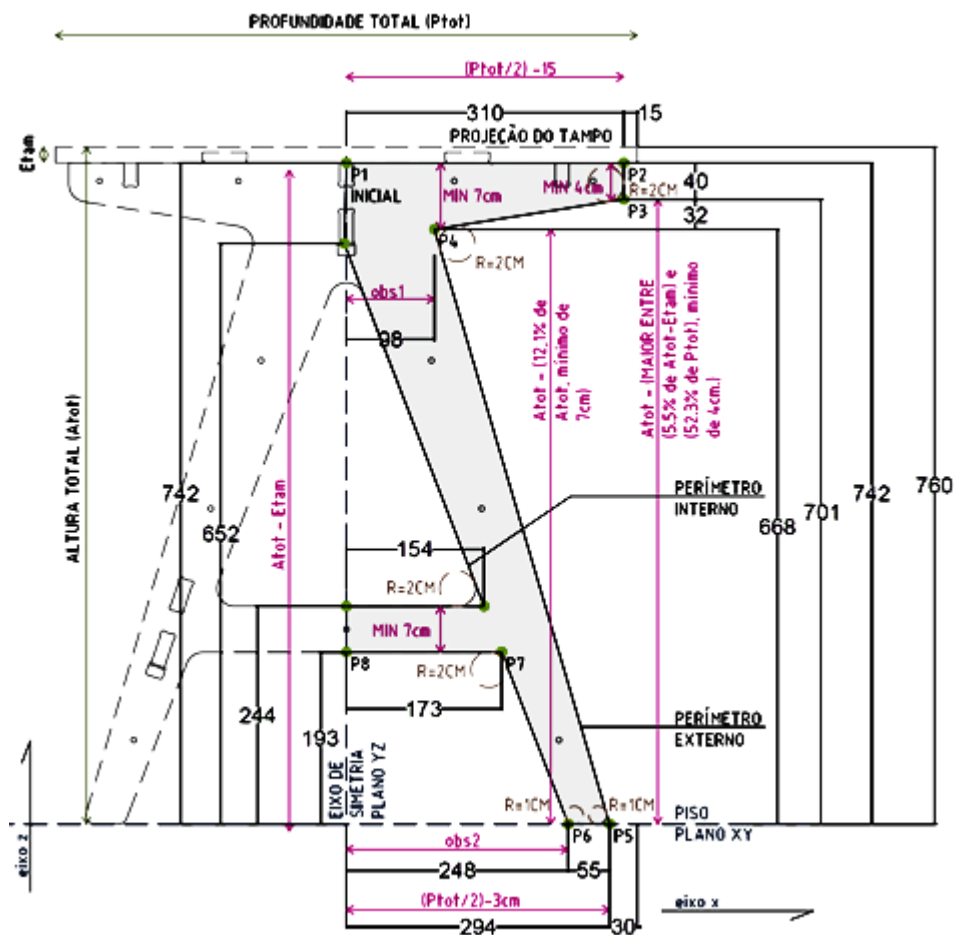


Fonte: Do autor.

Como forma de elucidar os passos a seguir para construção do esquema paramétrico será detalhado a seguir os passos de construção do módulo pés. Os demais módulos podem ser consultados quanto a sua decomposição formal, quadro de regras e esquema paramétrico no APÊNDICE B desta pesquisa.

Conforme definida na arquitetura de produto, há variação formal relacionada à estilo do mobiliário no módulo pés. Decompondo os elementos constitutivos da forma em pontos e linhas, foi possível verificar que a lógica construtiva se mantém, havendo variação de posicionamento de alguns pontos. Esta variação é expressada em funções de algoritmo “se”, “então”, “se não”, representando escolha a partir do input de dados. Também nesta etapa de decomposição foi verificada a simetria do objeto. Esta simetria permitiu a simplificação, para espelhamento posterior. Os pontos identificados e linhas resultantes estão expressos na Figura 68.

Figura 68 - Mapeamento dos Pontos do Módulo Pés



Fonte: Do autor

Importante destacar a separação dos processos construtivos a fim de simplificação do processo. Tratando-se da construção dos módulos, no primeiro momento de geração de regras a interface entre módulos foi excluída, e será reintroduzida nas etapas posteriores. As regras compositivas identificadas são demonstradas no Quadro 09, sendo que as siglas correspondem as variáveis estabelecidas anteriormente.

Quadro 09 - Regras compositivas do módulo Pés

Ponto	Regra Compositiva		
	Profundidade (X)	Largura (Y)	Altura (Z)
P1	Recuo do tampo (1.5cm)	EPer	ATot – Etam
P2	$(P_{tot}/2) - 1.5$	Eper	ATot – Etam
P3	Se $PT \leq 65\text{cm}$, 30,25% de $PT/2$. Se $PT > 65\text{cm}$, 30,25% de $PT/2 + 5\%$ de PT	EPer	> Entre (5.5% de A_{tot}) ou (4% de L_{tot}), mínimo = $AT - 4$
P4	30,15% de $(P_{tot}/2)$	EPer	87,89% de A_{Tot}
P5	Recuo do tampo (1.5cm)	EPer	0 (piso)
P6	$X = ((P_{tot}/2) - 3)$; $Y = (X - 8.5\%$ de $P_{tot})$; Se $X - Y < 5.5$, utilizar $X - 5.5$; Se não, utilizar Y	EPer	0 (piso)
P7	Operação geométrica	Operação geométrica	Operação geométrica
P8	0	EPer	25,39% de A_{tot}
P9	0	EPer	$X = 25.39\%$ de A_{tot} ; $Y = 32\%$ de A_{tot} ; Se $(X - 5) < 5$, utilizar $y + 5$, se não utilizar X
P10	Operação geométrica	Operação geométrica	Operação geométrica
P11	0	EPer	85.78% de A_{tot}

Fonte: Do autor

No esquema paramétrico gerado a partir da construção de regras, as expressões são realizadas utilizando o componente *expression* (Figura 69), e utilizam formulações matemáticas a fim de relacionar as variáveis e condicionantes que determinam a posição dos pontos. Como inputs são utilizadas as variáveis determinantes, como altura, largura e profundidade totais, além da inter-relação entre os módulos quando necessário. O output resultante é a posição final do ponto nos eixos X, Y e Z, que estão relacionados a altura, largura e profundidade do objeto. A transposição das regras deve seguir o formato de processamento do componente, em que a ordem de execução se dá por fórmulas dentro de

parênteses. As fórmulas são então ligadas ao componente *Construct Point*, em que os valores numéricos resultantes dos cálculos são transpostos para coordenadas cartesianas que formam os pontos.

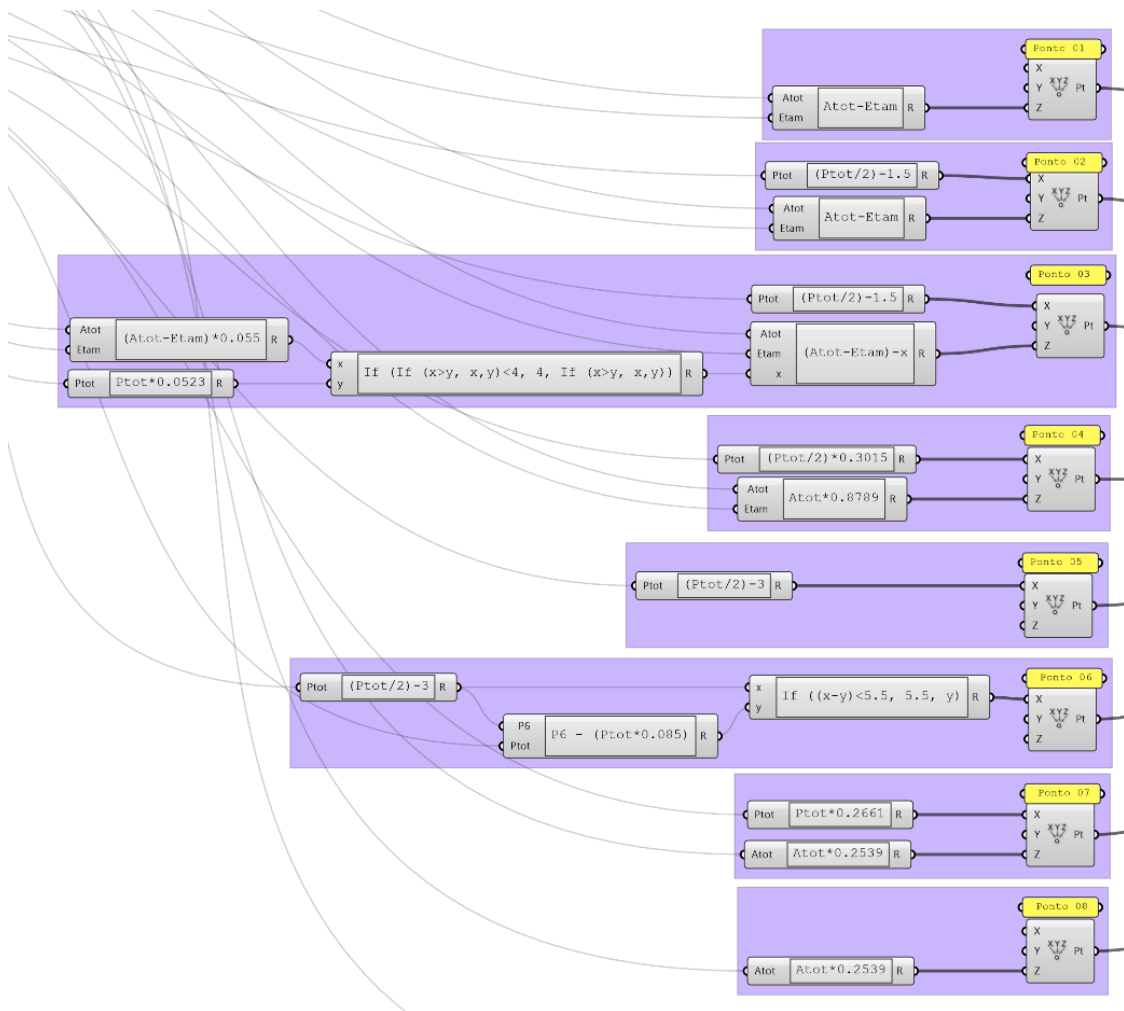
Figura 69 - Componente *Expression*

```

LT
PT {If (PT≤65, (PT/2*0.3025), ((PT/2*0.3025)+(PT*0.05))}, 3, AT-If ((LT*0.068181)≥7, (LT*0.068181), 7)} R
AT
  
```

Fonte: Do autor

Figura 70 - Ampliação do Esquema Paramétrico - Módulo Pés

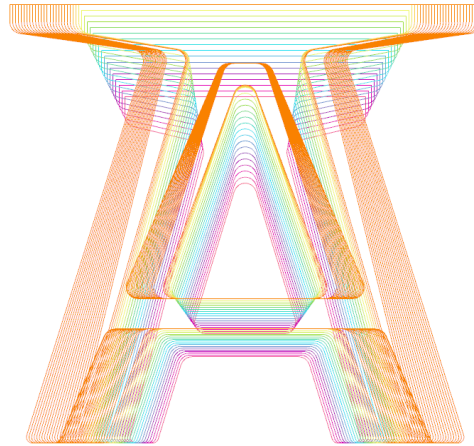


Fonte: Do autor

A partir do esquema paramétrico inicial (Figura 70) passa-se a alterar de forma incremental os valores das variáveis a fim de testar as regras, adaptando-as quando necessário a fim de manter a coerência formal, estrutural e de uso do mobiliário. No

caso deste módulo, foi necessário intervir nos pontos 7 e 10, gerando-os a partir da intersecção entre a linha definida pelos pontos 6 e 11, e os planos xy definidos pelos pontos 8 e 9. Após, passa-se às fases seguintes de construção da forma: aplicação dos raios a partir do componente *fillet*, o rebatimento das linhas e a definição da polilinha e superfície finais (Figura 71).

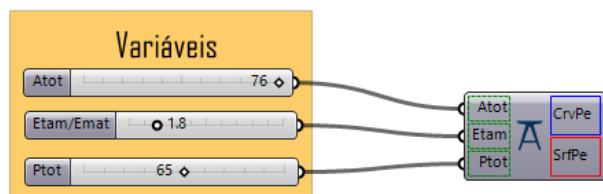
Figura 71 - Visualização do Teste Incremental das Regras Compositivas



Fonte: Do autor

A fim de facilitar a leitura, intervenção e manter a coerência do esquema (BURRY, 2011), os módulos são agrupados em componentes do tipo *cluster*, utilizando como *inputs* as variáveis que o alteram e como *outputs* os elementos que serão utilizados nas etapas seguintes: as superfícies tridimensionais e as curvas que delimitam a forma, que serão utilizadas para composição dos elementos de interface e planificação (Figura 72). O uso deste tipo de componente facilita o entendimento geral das conexões, visto que cada função comporta-se como um componente. Além disso, esta organização permite a utilização dos componentes projetados em outras arquiteturas de produto (ULRICH, 1995) que se utilizem da mesma plataforma.

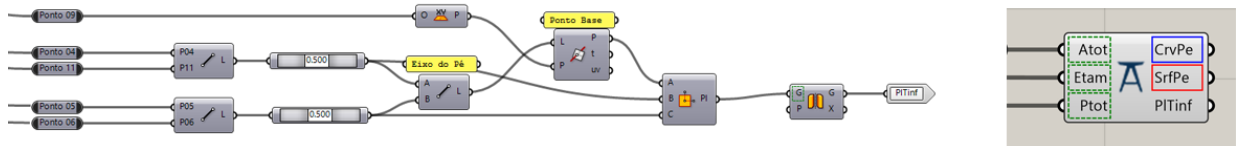
Figura 72 - Cluster Pés



Fonte: Do autor

Por ser tratado de forma incremental, o projeto dos módulos deve posteriormente ser alterado em virtude das relações entre estes, evitando que peças tenham características incompatíveis, como por exemplo, a altura da trave superior central, que afeta a distância entre o ponto P1 e o ponto P11 dos pés (Figura 73).

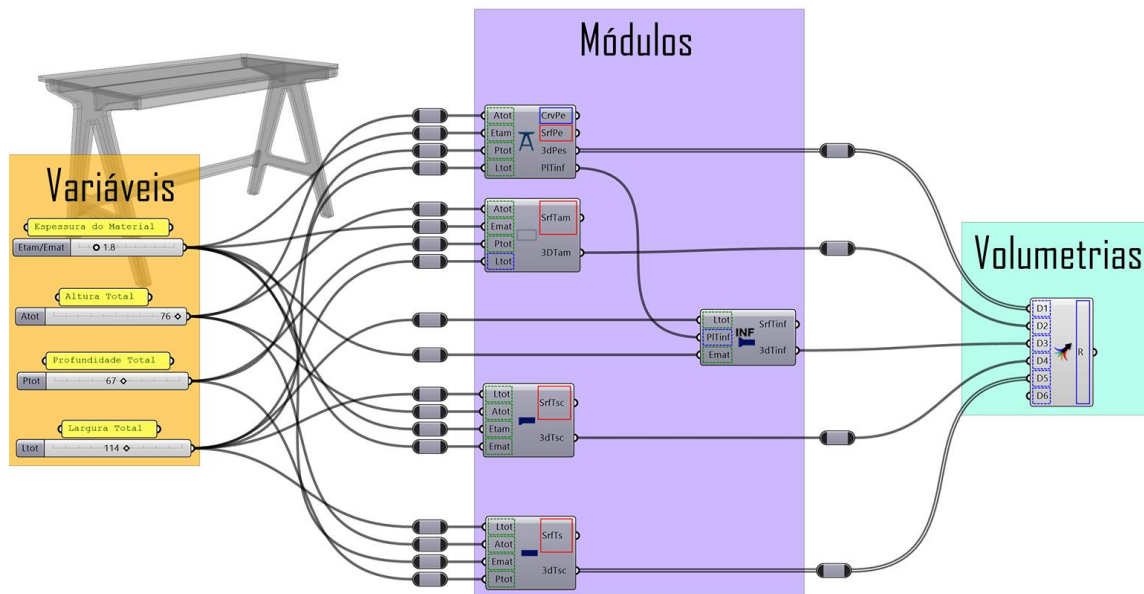
Figura 73 – Intervenção no *cluster* pés



Fonte: Do autor.

Passa-se então ao posicionamento das peças a partir da definição de planos base e planos alvo, que definem a orientação dos elementos no conjunto através do componente *orient*. Este componente transfere a geometria de um sistema cartesiano definido por um plano para outro. A construção dos módulos em posicionamento a ser definido possibilita a sua utilização em outros produtos, bem como a intervenção futura em seu desenho. Por fim, se obtém a representação formal tridimensional do produto (Figura 74).

Figura 74 - Esquema Paramétrico de Representação Formal



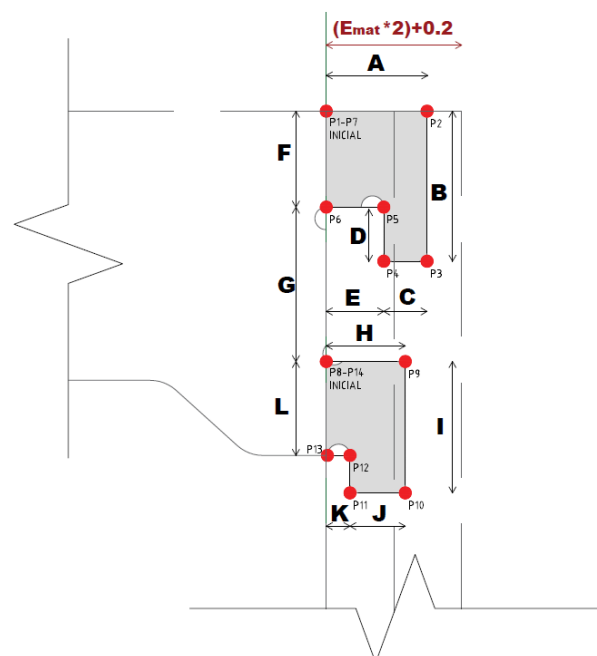
Fonte: Do autor.

Esquema paramétrico das interfaces: Nesta etapa são especificadas as interfaces entre os módulos (ULRICH, 1995), detalhando as conexões físicas e posicionamento dos elementos. Passa-se a aumentar a complexidade, prevendo novas variáveis

relativas à fabricação e posicionamento relativo de cada módulo quanto a suas interfaces. É preciso também definir neste momento as folgas entre os encaixes para seu correto funcionamento. Para tanto, são adicionadas as variáveis de espessura do material e ferramentas de corte que definirão as dimensões dos encaixes, bem como um *input* de controle de profundidade dos elementos tipo *pocket*, sendo esse o desbaste de material sem atingir sua espessura total, gerando depressões controladas. Um novo *output* é definido a partir da edição dos módulos originais adicionando seus elementos de interface. Este resultado deve posteriormente ser utilizado para preparação para fabricação digital dos elementos, bem como precificação a partir da coleta de dados de área de material a ser utilizado para fabricação.

A fim de facilitar a manipulação do esquema e o aproveitamento dos componentes de encaixe em futuros produtos que se utilizem da mesma plataforma ou arquitetura de produto, tratam-se os elementos de interface em componentes independentes, que são então adicionados aos módulos definidos anteriormente. Para tanto, conforme identificado na arquitetura do produto são utilizados três tipos básicos de encaixe, que podem ser desenvolvidos de forma generalista e adaptados conforme necessidade aos módulos. Exemplifica-se a seguir a construção de interfaces de um dos tipos estabelecidos (Figura 75):

Figura 75 - Decomposição formal das interfaces Tipo 01



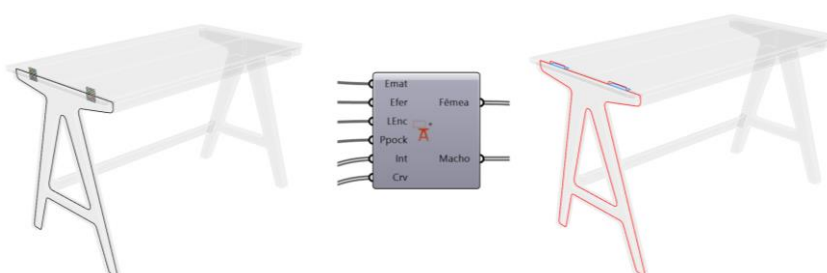
Fonte: Do autor.

O esquema paramétrico das interfaces constitui-se da mesma forma que se deu a construção dos módulos básicos, a partir da análise e decomposição formal dos elementos, com a diferença da utilização de processos para união da forma básica com a solução de interface definida utilizando os componentes *trim with region*, em que polilinhas planares fechadas são utilizadas para cortar as linhas, e posteriormente unidas com o componente *join curve* estabelecendo a geometria final do módulo com a interface. Neste processo é importante manter os elementos diferenciados a fim de possibilitar a identificação das etapas de corte, desbaste ou outros possivelmente necessários na fabricação, para tanto são diferenciados os outputs conforme o tipo de transformação necessário no material.

A seguir exemplifica-se a aplicação dos tipos de interface em dois módulos distintos:

Interface tampo e pés: A interface do tampo com os pés se dá a partir de um encaixe tipo *pocket*, em que há o desbaste do encaixe no módulo tampo até a profundidade de 12mm e a adição de material que irá executar o encaixe na peça interna dos pés. Na etapa de composição do esquema paramétrico é necessário intervir na forma dos pés gerada anteriormente, a fim de obter um *input* planar de localização do encaixe (*Int*). Para composição adaptável do encaixe e preparação para posterior planificação e fabricação digital, são utilizados também as variáveis de fabricação definidas anteriormente. O esquema completo pode ser consultado no APÊNDICE B desta pesquisa. A fim de contribuir com a organização geral do esquema, assim como na etapa anterior, os componentes são agrupados em módulos através do componente *cluster* (Figura 76)

Figura 76 - Componente de Interface Tampo-Pés



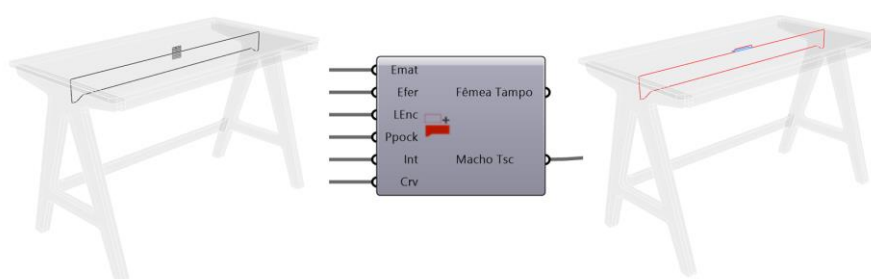
Fonte: Do autor.

Como output do componente obtém-se as curvas originais com a adição de encaixes, no caso do módulo pés, e as curvas que definem os encaixes tipo pocket

para posterior agrupamento dos componentes do módulo tampo. Estes *outputs* são definidos com a nomenclatura macho e fêmea, que definem o sistema de encaixe conforme adição ou remoção de material. Esta diferenciação é importante para a etapa de planificação da forma com objetivo de fabricação.

Interface trave superior central e tampo: Assim como na interface tratada anteriormente, o encaixe se dá pelo encaixe tipo *pocket*. A adição de material se dá no ponto central da barra, a fim de contribuir com o travamento de movimentos do tampo em duas direções. Este ponto é obtido através de um plano criando um novo *output* no componente da geração da forma básica, definido pelo centro da linha superior.

Figura 77 - Componente de Interface Trave-Tampo



Fonte: Do autor.

O módulo trave superior central possui mais de uma interface, portando a forma gerada como *output* deverá passar ainda por outro componente de interface, que irá agregar novas modificações à forma geral de forma procedural. Na Figura 77 observa-se esta construção.

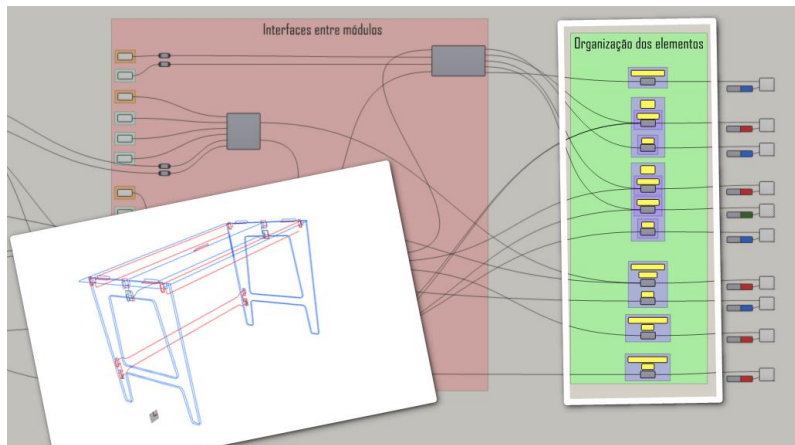
A partir das interfaces exemplificadas se percebe o caráter procedural de construção da geometria, sendo esta uma característica do design paramétrico. Além disso, se evidencia a necessidade de controle e organização constante dos dados do modelo, de forma a não prejudicar necessidades futuras. Alguns resultados inesperados foram obtidos durante a construção, em que foi necessário intervir para correção nos módulos definidos anteriormente.

Esquema paramétrico geral: O esquema paramétrico geral trata-se da organização, avaliação e configuração final dos subproblemas. Nesta etapa devem

ser introduzidas todas as variáveis e componentes do objeto final, constituindo um protótipo do esquema paramétrico. Este esquema deve então ser avaliado quanto ao correto funcionamento a partir de mudanças incrementais dos valores das variáveis, corrigindo eventuais falhas. Este esquema pode ser observado ao fim do capítulo.

O primeiro passo para obtenção do esquema paramétrico geral se dá pela organização dos dados estabelecidos nas etapas anteriores. É necessário separar e organizar as partes do produto com suas respectivas interfaces, abrangendo tanto o modelo tridimensional simplificado utilizado para representação quanto as curvas contendo as interfaces para fabricação. Esta organização foi realizada unindo os outputs que compõe os módulos através de componentes *geometry* (Figura 78). No caso das curvas necessárias à fabricação, é importante manter a diferenciação quanto ao tipo de transformação necessário.

Figura 78 – Organização dos dados em componentes *geometry*

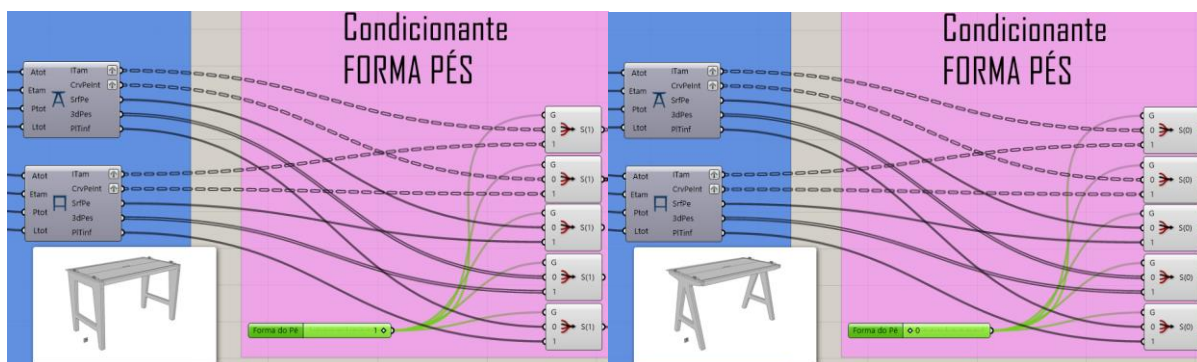


Fonte: Do autor.

Para construção do esquema geral é necessário inserir os demais módulos do produto, considerando inclusive a variação formal ou modular estabelecida. Este processo é realizado a partir da criação de “caminhos” a seguir no algoritmo a partir de declarações de condicionais (CELANI; VAZ, 2012), se utilizando de argumentos *true* e *false* (verdadeiro ou falso) para estabelecimento das soluções. Diferentemente dos argumentos utilizados no componente *expression* durante a construção dos módulos, a fim de manter a coerência de leitura do esquema é utilizada uma estratégia diferente. No Grasshopper® estes argumentos podem ser definidos de forma binária, em que o número 0 tem o significado de falso, e o número 1 tem o

significado de verdadeiro. Utilizando-se do componente *filter* é possível realizar este processo, aqui exemplificado pela variação formal dos pés, definido por uma variável binária 0 e 1 a partir de um *number slider* (Figura 79).

Figura 79 – Condicionante de forma dos pés



Fonte: Do autor.

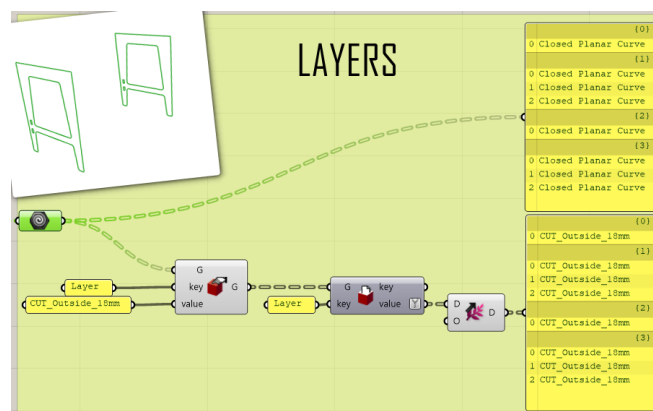
Como resultado do esquema paramétrico geral obtém-se um protótipo da solução de design. A partir deste protótipo podem ser realizados testes incrementais a fim de verificar eventuais necessidades de intervenção.

Esquema paramétrico de fabricação: Nesta etapa foram realizadas duas atividades principais: A verificação de eventual necessidade de adição de informações ao modelo que sejam necessárias a fabricação e sua organização, e a planificação do projeto em chapas para posterior exportação em formato CAD bidimensional.

A organização das curvas dedicadas a fabricação dos módulos possui diferentes processos de fabricação conforme comentado anteriormente. Podem haver intervenções de furo até determinada profundidade, quando a dimensão da cavilha é igual a fresa utilizada, desbaste de diferentes profundidades a fim de conformar os encaixes e também o corte do material em profundidade total do material. Pode ser necessário ainda delimitar um indicativo do caminho que a fresa deve percorrer: se por dentro da linha, por fora da linha ou em cima desta. Uma forma de delimitar as propriedades referentes a cada linha é o estabelecimento de camadas (*layers*) que serão interpretadas pelo *software* utilizado para fabricação digital. Sugere-se a utilização de nomenclatura padronizada, favorecendo o entendimento dos arquivos de fabricação por terceiros.

Devido a necessidade de transformação das geometrias em função das atividades de planificação e *nesting*, a informação referente ao layer de cada curva foi inserida na forma de meta dado, que é mantido mesmo após transformações. Estes meta dados foram aplicados utilizando o componente *AddUserData* presente no *plugin Fabtools* para Grasshopper®. O componente conta com três inputs: *key*, referente ao identificador do dado; *value*, referente ao valor do dado e *geometry*, referente a geometria na qual os dados devem ser adicionados. O *output* do componente é a geometria com os dados inseridos. O posterior resgate dos dados pode ser realizado utilizando o componente *GetUserData* do mesmo *plugin*, em que há entrada da geometria da qual devem ser extraídos dados e os *outputs key* e *value*, contendo as informações (Figura 80).

Figura 80 – Adição e extração de informação de *layers* nas geometrias

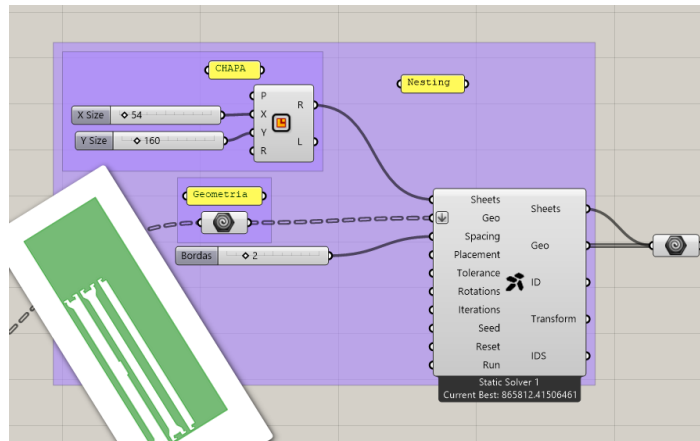


Fonte: Do autor.

A partir da organização das curvas e suas respectivas informações de camada, passa-se ao processo de planificação. Esta planificação ocorre em duas etapas: Primeiro, projeta-se o objeto no eixo XY, a fim de obter sua verdadeira grandeza bidimensional em vista superior. A seguir, é utilizado o *plugin OpenNest* para Grasshopper® a fim de organizar as peças no espaço de fabricação disponível, definido pelo material e/ou equipamento. O equipamento utilizado para fabricação nesta pesquisa não possui mesa com vácuo para fixação do material, portanto foi especificada uma distância mínima de 2cm das bordas do material dedicados a fixação de parafusos, utilizados para evitar o movimento da chapa durante o processo de fresamento. Além dos *inputs* da geometria a ser alocada e do retângulo que define o espaço de fabricação disponível, o componente possui diversos tipo de controle, como número de iterações que devem ser realizadas em busca da melhor

solução de ocupação do material, número de giros possíveis, tolerância do posicionamento, entre outros (Figura 81).

Figura 81 – Planificação das Geometrias



Fonte: Do autor.

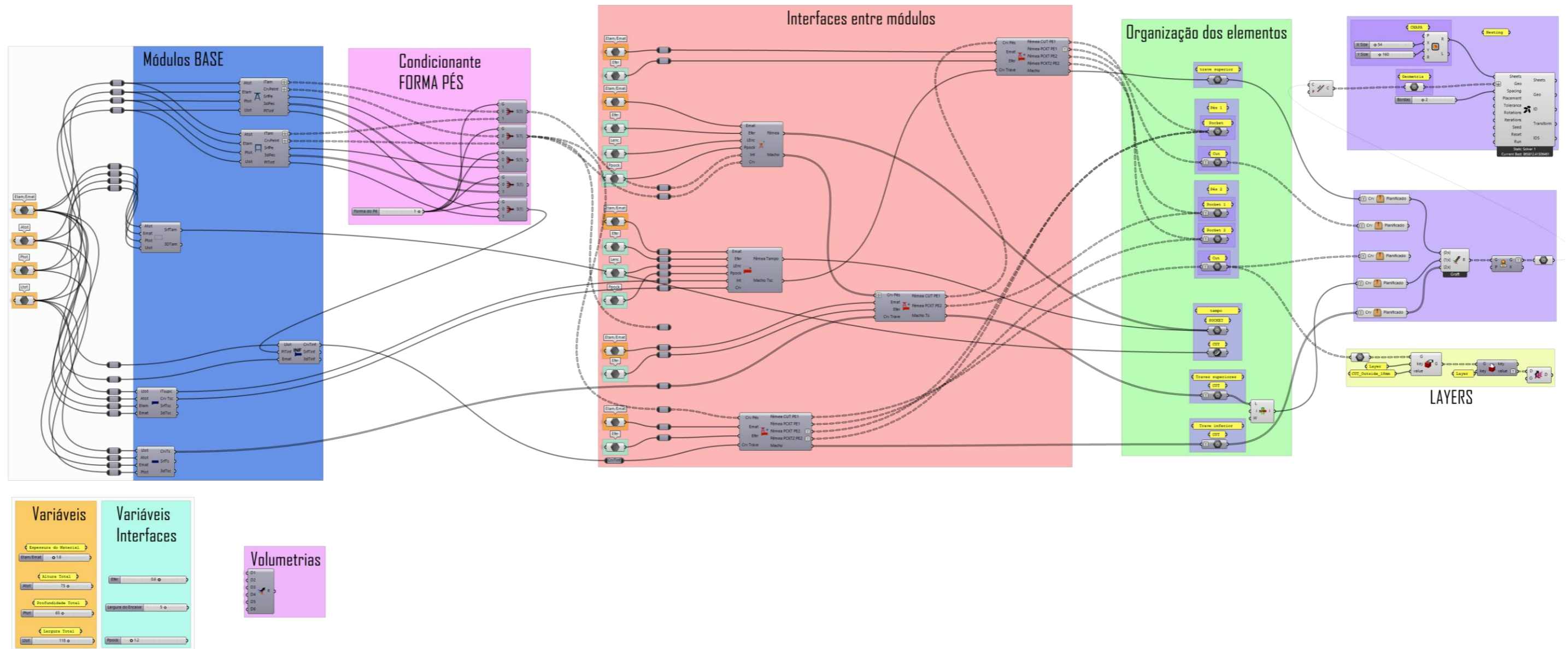
Por fim, são resgatadas as camadas que definem os processos de fabricação a executar definidos anteriormente.

Solução de design: A etapa de solução de design consiste no teste incremental a partir da alteração das variáveis. Foi verificado o funcionamento consistente do projeto, sua representação tridimensional e aspectos de fabricação, não necessitando de revisões nos módulos e suas conexões.

Entretanto, é importante salientar que esta etapa não deve ser ignorada. O teste exaustivo da solução pode prever problemas a corrigir ainda nesta etapa, evitando a perda de tempo e erros inesperados durante o uso do projeto com o configurador, bem como erros decorrentes de problemas na geração de arquivos de fabricação digital, que podem ocasionar perdas financeiras, de material e tempo. Considerada satisfatória a solução de design, prossegue-se para as etapas finais do esquema paramétrico, que tratam dos dados e saídas gerais do algoritmo. Estes passos foram executados junto ao projeto do configurador, e serão tratados no próximo capítulo.

Na Figura 82, a seguir demonstra-se uma versão simplificada do esquema paramétrico desenvolvido até esta etapa. Uma versão mais completa e sem o uso de *clusters*, a fim de demonstrar a grande interdependência entre os componentes pode ser verificada no APÊNDICE B.

Figura 82 – Solução de design (exemplo simplificado)

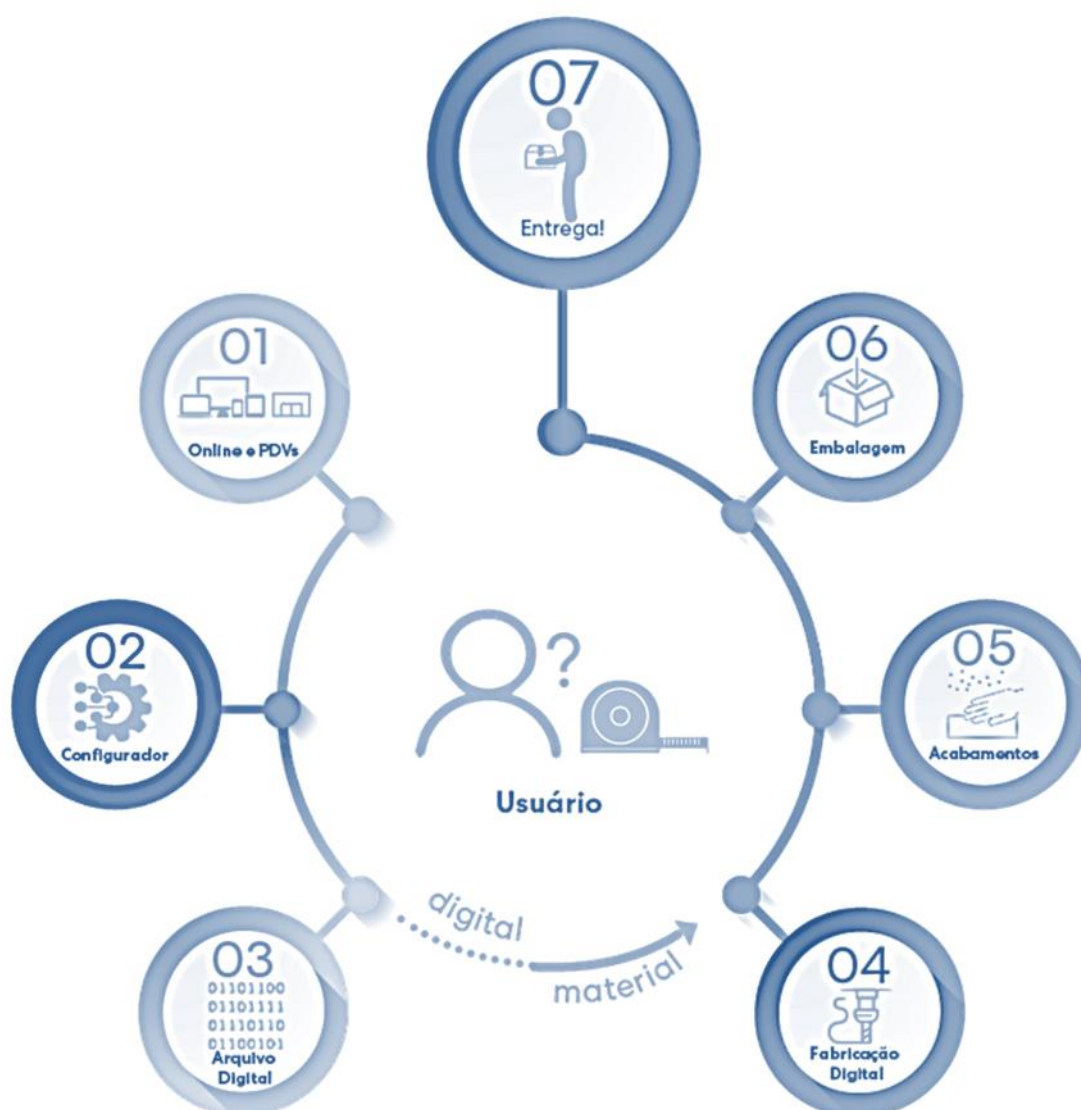


Fonte: Do autor.

4.3.3 Subsistema de Configuração *Online* do Produto

Conforme visto na etapa de referencial teórico, um configurador pode ser utilizado como elemento de interface do usuário com o produto customizável. Esta interação pode acontecer em diferentes níveis, que estão relacionados com a capacidade de customização do produto. O configurador é a forma de o usuário interagir com o produto estabelecendo a relação de *co-design*, e está localizado no ponto de contato mais próximo do cliente no processo de compra e produção (Figura 83).

Figura 83 – Processo de compra e produção de produto customizável



Fonte: Do autor.

Passo 1 - Projeto dos Elementos Funcionais: O primeiro passo definido pelo método é a solução de tecnologias a utilizar. Visto que o projeto em questão tem sua customização em um espaço de design pré-definido, em que há previsibilidade do resultado de alterações das variáveis, é possível utilizar soluções que funcionam a partir do uso de *cache* de soluções, isto é, as soluções podem estar pré-calculadas e armazenadas em memória para operação. O uso deste tipo de solução geralmente significa um custo de operação menor do sistema, visto que não é necessário o uso de computação em tempo real para a geração de soluções, além de resultar em menos erros por conta da maior previsibilidade e possibilidade de avaliação. Por outro lado, este tipo de sistema não se adequa a soluções de design aberto, em que o consumidor tem maior liberdade propositiva.

Além do tipo de sistema, na seleção de tecnologias é necessário optar por métodos de construir o *site* onde estará hospedado o configurador, optando por *frameworks* ou construtores de sites, que embora tenham maior facilidade de uso podem apresentar incompatibilidade com as demais ferramentas necessárias ao desenvolvimento, além de oferecer menor liberdade propositiva, ou linguagens de programação voltadas a internet. No segundo caso, é preciso investir mais tempo na construção da solução, porém a um menor custo financeiro e com maior liberdade propositiva.

Ainda, é preciso verificar como as informações serão extraídas do esquema paramétrico que contém a solução de design, e então como esta informação será operacionalizada e demonstrada pelo configurador. Estas informações no caso desta pesquisa correspondem a matriz de interações, a representação geométrica tridimensional do esquema, e o preço final do produto.

Embora existam soluções na forma de *plug-ins* para *Grasshopper*® que compreendem boa parte destes processos, no recorte temporal de realização desta pesquisa as referidas soluções representam um alto custo financeiro capaz de inviabilizar sua utilização comercial por *makers* ou pequenas empresas no contexto brasileiro. Também é necessário destacar que este tipo de solução pode ainda requerer atividades de programação para adequação do configurador a necessidades específicas e de estilo ou linguagem desejada. Entretanto, o uso deste tipo de solução não deve ser descartado, devendo-se analisar as necessidades e

viabilidade de cada projeto. Nesta pesquisa são utilizadas preferencialmente tecnologias e *softwares open-source*, a fim de garantir a replicabilidade da solução e demonstrar o processo de construção do configurador de forma ampla. Para o desenvolvimento do configurador são selecionadas as tecnologias a seguir descritas:

- **HTML:** Linguagem de programação utilizada para construção e operação de páginas na internet.
- **Javascript:** Linguagem de programação em *script* utilizada para o desenvolvimento de programas, soluções e funções em sites na internet. Possui a vantagem de ser compatível com todos os *browsers* e dispositivos de forma nativa. Além disso, possui extensa comunidade de criadores de bibliotecas que expandem suas funções.
- **THREE.js:** Biblioteca *open source* baseada em javascript para renderização e interação de elementos tridimensionais em página da internet. É uma das soluções mais utilizadas para este fim.
- **Bootstrap 4.0:** *Framework open source* para o desenvolvimento de componentes de interface e *front end* de sites na internet.
- **PHP:** Linguagem de programação normalmente utilizada para realização de tarefas no servidor.

A seleção destas soluções nesta etapa é de caráter preliminar, podendo haver adição conforme necessidade nas etapas seguintes. Para programação e organização dos dados é utilizado o software Atom versão 1.58 para Microsoft® Windows 10 x64, um editor de texto *open source* voltado à programação e *script*. Além das tecnologias, *softwares*, bibliotecas e *frameworks* mencionados, é preciso selecionar um método para extração de dados do modelo paramétrico a partir do Grasshopper® no caso de uso da metodologia de *cache*:

- **Colibri:** Responsável pela organização dos parâmetros em uma lista de variações, e a matriz de iterações do esquema paramétrico.
- **Spectacles:** Utilizado para exportar as soluções de design em formato compatível com a biblioteca THREE.js.

Passo 2 - Variáveis e Aspectos de Customização: O segundo passo do método trata da seleção das variáveis e aspectos de customização. Apesar das variáveis terem sido previamente definidas para formulação do esquema paramétrico e solução de design, para o projeto do configurador é preciso definir quais destas variáveis estarão ao alcance do usuário. Variáveis que não representem mudanças significativas no produto, ou mesmo variáveis que não interessem a usabilidade ou noção de valor devem ser descartadas, reduzindo a percepção de complexidade do processo de configuração.

Nesta etapa também devem ser inseridas variáveis que porventura não estejam presentes nas etapas anteriores, como as correspondentes a acabamentos e diferenciação do produto para nichos específicos. Foram introduzidas portanto as variáveis de cor (em seis opções, presentes no portfólio de uso geral da empresa contexto) e a diferenciação do produto em mesa individual e mesa coletiva. A seguir no Quadro 10, apresentam-se as demais variáveis definidas, relacionando-as com o nível de customização (PILLER, 2004), diferenciando-os conforme a família de produtos. Esta diferenciação ocorre por eventuais diferenças entre as possibilidades de customização, pois ainda que os objetos pertençam à mesma plataforma de produtos, podem apresentar diferentes limitações ou características.

Quadro 10 – Aspectos de customização do configurador

FAMILIA 01: INDIVIDUAL			FAMILIA 02: COLETIVA		
Estilo	Medidas e Conforto	Funcionalidade	Estilo	Medidas e Conforto	Funcionalidade
Cores Tipo de Pés	Altura Largura Profundidade	Passa-Fios Gaveta Prateleira Duas Gavetas Gaveta e Prateleira	Cores Tipo de Pés	Altura Largura Profundidade	Passa-Fios

Fonte: Do autor.

Passo 3 - Projeto dos Elementos Funcionais : O projeto dos elementos funcionais do configurador deve ser feito de forma criteriosa, avaliando os aspectos de funcionamento a partir dos requisitos de customização previamente definidos.

Conforme fora definido inicialmente, é necessário capturar antecipadamente todas as variações do espaço de solução do design. Iniciando o processo a partir do esquema paramétrico, definiu-se que serão necessários três tipos de *outputs*: Um contendo a *mesh*, a representação formal tridimensional do modelo para renderização e interação no configurador. O segundo, contendo a base de cálculo para construção e atualização do valor de compra do objeto durante a configuração. E um terceiro, que contém a lista nomeada de todas as variações possíveis. Estes *outputs* deverão estar no formato JSON, “um formato baseado em texto padrão para representar dados estruturados com base na sintaxe do objeto JavaScript.” (MOZILLA, 2021) a fim de facilitar a manipulação dos dados entre as diferentes partes que compõem o configurador.

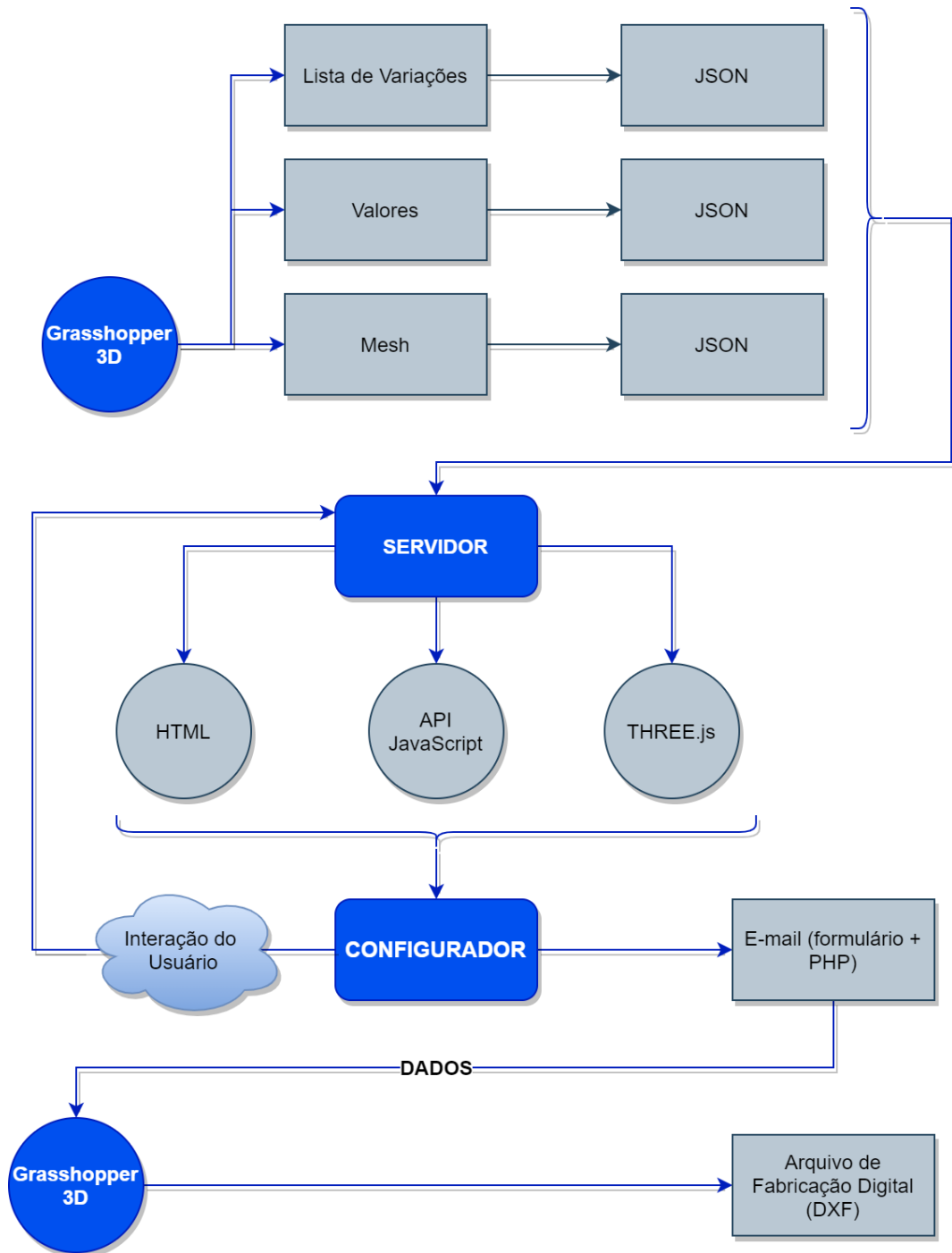
Todos os dados referentes à solução de design serão então armazenados em um servidor *web* de forma a permitir seu acesso remoto e manipulação através de um *website*. Junto a estes dados, estão os componentes de operacionalização do configurador previstos: Uma página de acesso contendo informações, programada em linguagem HTML, uma aplicação em javascript utilizando o *plugin* Spectacles para Grasshopper®, responsável por manipular os dados que devem ser renderizados e a biblioteca javascript THREE.js, que contém os elementos necessários para renderização tridimensional em tempo real. Estes componentes constituem o configurador.

A interação do usuário com este configurador gera requisições ao servidor através da API JavaScript, que requisita a cada alteração solicitada pelo usuário o carregamento de novos arquivos JSON contendo o design atualizado para renderização através da biblioteca THREE.js. Ao término da experiência de customização, se o usuário optar pela compra do produto é gerada nova requisição ao servidor, que através de uma programação em linguagem PHP encaminha um e-mail de solicitação à empresa contendo as informações do pedido. No momento da produção, estas informações são então inseridas como *inputs* no modelo paramétrico original de forma manual, possibilitando a configuração das variáveis de

fabricação a se utilizar e finalmente a exportação do arquivo digital de fabricação em arquivo no formato DXF.

Um resumo esquemático do projeto dos elementos funcionais pode ser observado na Figura 84, evidenciando a estratégia de construção do sistema.

Figura 84 – Projeto dos Elementos Funcionais do Configurador



Fonte: Do autor.

Passo 4 - Projeto dos Elementos Gráficos: O passo seguinte de construção do configurador se dá pelo projeto dos elementos gráficos. É necessário prever o posicionamento e formas de interação do usuário como forma de suporte a etapa de programação. A interação utilizando HTML 5 e JavaScript pode se dar por cliques em elementos, botões, réguas deslizantes (*sliders*), inserção manual de texto ou número, entre outros. No Quadro 11 são demonstrados os elementos a utilizar.

Quadro 11 – Tipos de Interação

Variável	Tipo de Interação
Cores	Lista de Valores
Altura	<i>Slider</i>
Largura	
Profundidade	
Passa-Fios	Botão
Uma Gaveta	Seleção Única em Grupo de Botões
Duas Gavetas	
Gaveta e Prateleira	
Tipo de Pé	
Tipo de Produto	Aba de Seleção

Fonte: Do autor.

A partir dos tipos de interação selecionados é possível definir a linguagem gráfica dos elementos que serão utilizados pelo usuário para a configuração do produto. Os elementos desenvolvidos são demonstrados na Figura 85. Estes têm por objetivo auxiliar o entendimento do usuário sobre qual variável de interação é alterada pelos elementos, a fim de reduzir “o custo de uso” (FRANKE; SCHREIDER, 2015) do processo de configuração.

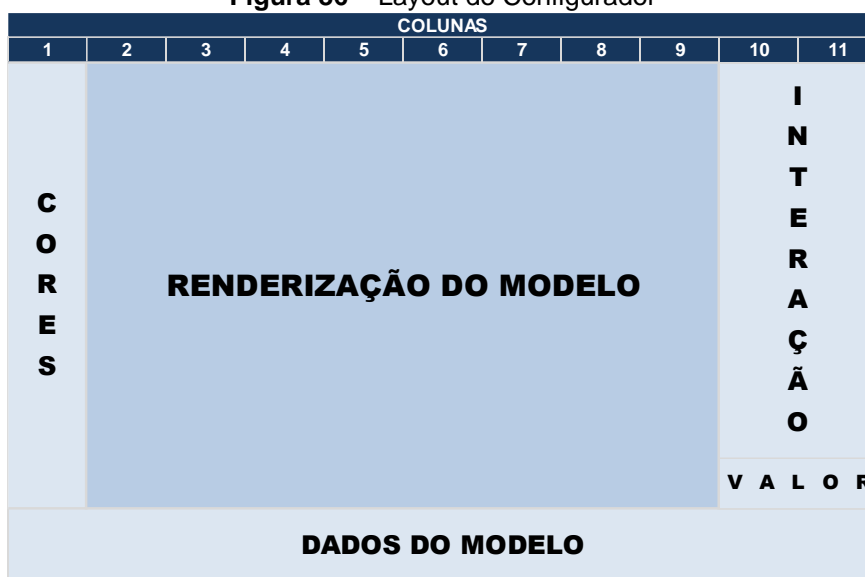
Figura 85 – Elementos Gráficos do Configurador



Fonte: Do autor.

Além dos elementos de interação, foi previsto o posicionamento dos elementos de informação: o espaço dedicado aos controles de interação, a renderização do produto e as informações. O planejamento foi realizado de forma esquemática, utilizando o método de trabalho do *framework* escolhido, *Bootstrap 4.0*. A vantagem de utilização de um *framework* é uma menor necessidade de tempo desenvolvimento. Neste caso, o *framework* utiliza um sistema de layout em que a tela é dividida em 12 colunas, que são ocupadas pelos elementos. Uma característica importante deste *framework* também é a adaptabilidade para diversos dispositivos, visto que é possível a partir da delimitação do espaço de colunas que os elementos devem utilizar, modificar o layout conforme o tamanho de tela ou resolução (Figura 86).

Figura 86 – Layout do Configurador



Fonte: Do autor.

Nesta etapa, a proposta se dá de forma preliminar, com o objetivo de fornecer bases para as etapas seguintes. A partir da definição dos elementos gráficos e estratégia funcional e tecnológica do produto, é possível iniciar a etapa de preparação dos inputs necessários para construção do protótipo funcional.

Passo 5 - Preparação de *Inputs*: A preparação dos *inputs* corresponde a coleta de dados do modelo paramétrico conforme o projeto dos elementos funcionais. Esta coleta exigiu a intervenção no esquema paramétrico de forma a gerar os dados necessários, utilizando as ferramentas anteriormente definidas: os *plug-ins* Colibri e

Spectacles. É importante salientar que o uso para configurador online não é o objetivo destes *plug-ins*, entretanto seu uso foi adaptado para este fim na etapa de programação.

O *plugin* Spectacles é voltado a visualização em navegador *web* de representações tridimensionais criadas no Grasshopper®, utilizando um conjunto de ferramentas de conversão de *mesh*, linhas e materiais para formato compatível com a biblioteca THREE.js. Possui também um compilador de dados para o formato JSON e um visualizador *web* com layout básico, baseado em THREE.js.

Já o *plugin* Colibri utiliza dois componentes principais: O *iterator*, que tem como *inputs* as variáveis no formato de *number sliders*, as quais são executadas de forma incremental em todas as iterações possíveis ao ativar a função “*fly*” do componente; E o *agregattor*, que registra em forma de planilha o valor das variáveis de cada iteração, e opcionalmente fornece um nome de imagem e de arquivo de modelo tridimensional correspondente a estes valores. A representação tridimensional utilizada pelo *plugin* provém dos componentes do Spectacles, visto que ambos fazem parte do kit de ferramentas *TT Toolbox*. A função principal do *plugin* é fornecer dados para avaliação de opções em espaços de solução através de um explorador online. Nesta pesquisa, os dados são utilizados com fim de operacionalizar o configurador.

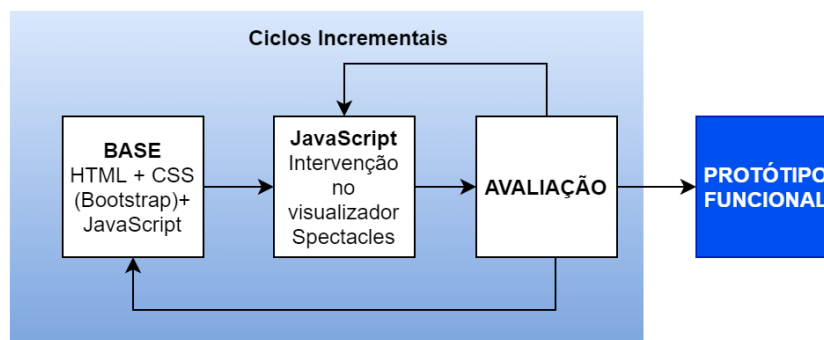
É preciso verificar o número de soluções possíveis, tendo em vista que cada solução gerará um novo arquivo. Em espaços de design com muitas variáveis, ou com variáveis de grande alcance, isto pode representar um problema devido ao volume de dados a ser operado pelo servidor no caso da solução de configurador adotado, que utiliza elementos pré calculados. Com objetivo de reduzir o número de soluções, são definidas como variáveis básicas as dimensões de altura, largura e profundidade, além do tipo de pé, visto que são estas as variáveis que resultam em transformações geométricas nos módulos. Todas demais variáveis são então calculadas ao mesmo tempo, e sua ativação ou desativação ocorre no configurador a partir de camadas (*layers*). Por exemplo, a solução que corresponde a altura 72 cm, largura 120 cm e profundidade 65 cm e pés tipo 1 contém a representação tridimensional dos opcionais gaveta, prateleira, gaveta e prateleira, duas gavetas, com e sem passa-fios no mesmo arquivo. Esta operação gera uma grande redução

do número de final de dados: de um 1.380.064 soluções para 172.508 soluções, no caso do modelo individual. Esta redução do número de soluções calculadas, no entanto, não representa uma limitação das opções de design, visto que as variações serão diferenciadas na etapa de programação.

Os dados de geração de *output* necessários são então inseridos esquema paramétrico, e exportados para utilização no configurador. A partir destes dados, passa-se a etapa de programação do protótipo funcional.

Passo 6 - Script/Algoritmo: A etapa de criação do algoritmo que operacionaliza o funcionamento do configurador se deu através de *scripting* das linguagens definidas no projeto do configurador. O processo se deu de forma incremental, criando funcionalidades básicas, testando-as, avaliando-as e então novos ciclos de aumento de complexidade a partir da adição de novos elementos (Figura 87).

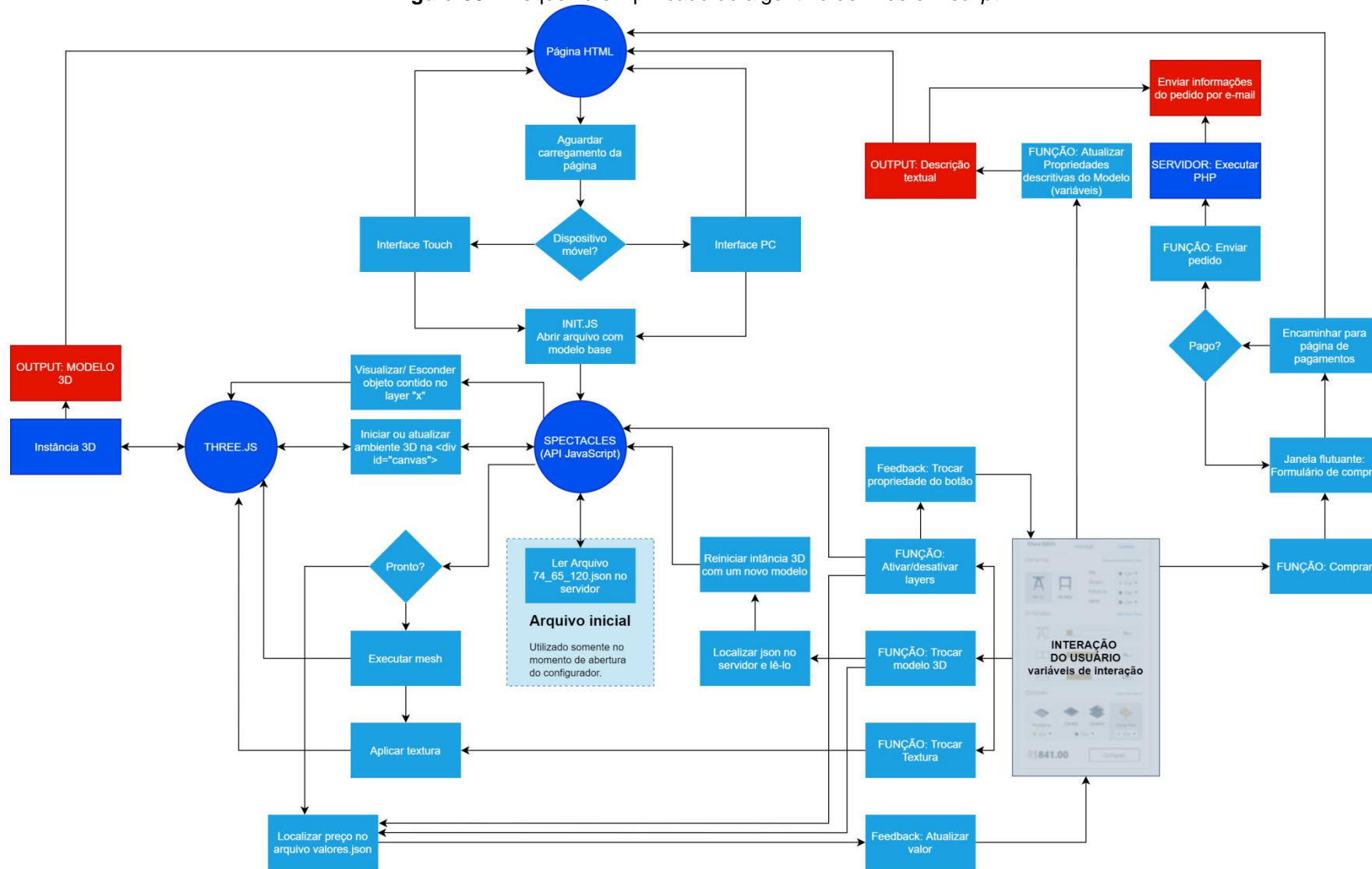
Figura 87 – Estratégia de *scripting* do configurador



Fonte: Do autor.

O *script* foi realizado através do editor anteriormente especificado, e foi dividido em partes distintas a fim de manter a organização geral. Os testes ocorreram em uma simulação em máquina local de servidor utilizando o *plugin Atom Live Server*, dispensando a necessidade de fazer *upload* dos dados durante a etapa. Devido à extensão dos códigos gerados, serão tratadas a seguir apenas funções principais ressaltando a estratégia de aplicação, de forma simplificada e esquemática. O entendimento da estratégia possibilita sua aplicação utilizando também outros métodos de programação e linguagens (Figura 88).

Figura 88 – Esquema simplificado do algoritmo definido em script



Fonte: Do autor.

O processo iniciou-se a partir da definição dos elementos básicos da página que comporta o configurador, utilizando sintaxe HTML 5.0 e CSS através do *framework* Bootstrap 4.0 para subdivir a página conforme o planejado nas etapas anteriores. Em seguida, foram inseridas as variáveis e itens de design da interface.

Por fim, foram construídas as funções executadas por meio de *JavaScript*. Estas funções são responsáveis por solicitar a API Spectacles modificações no modelo tridimensional. Outras funções foram definidas para fornecer retorno de dados ao usuário, a fim de dar segurança e auxiliar o processo de customização, e também para constituir os passos necessários para realização de pedidos.

Passo 7 - Protótipo da Solução: A realização de protótipos virtuais (Figura 89) ocorreu ao mesmo tempo da atividade de *scripting*. Foi uma importante ferramenta de avaliação das soluções através do teste, além de contribuir com o próprio aprendizado quanto às tecnologias empregadas.

Figura 89 – Exemplos de protótipos virtuais do configurador



Fonte: Do autor.

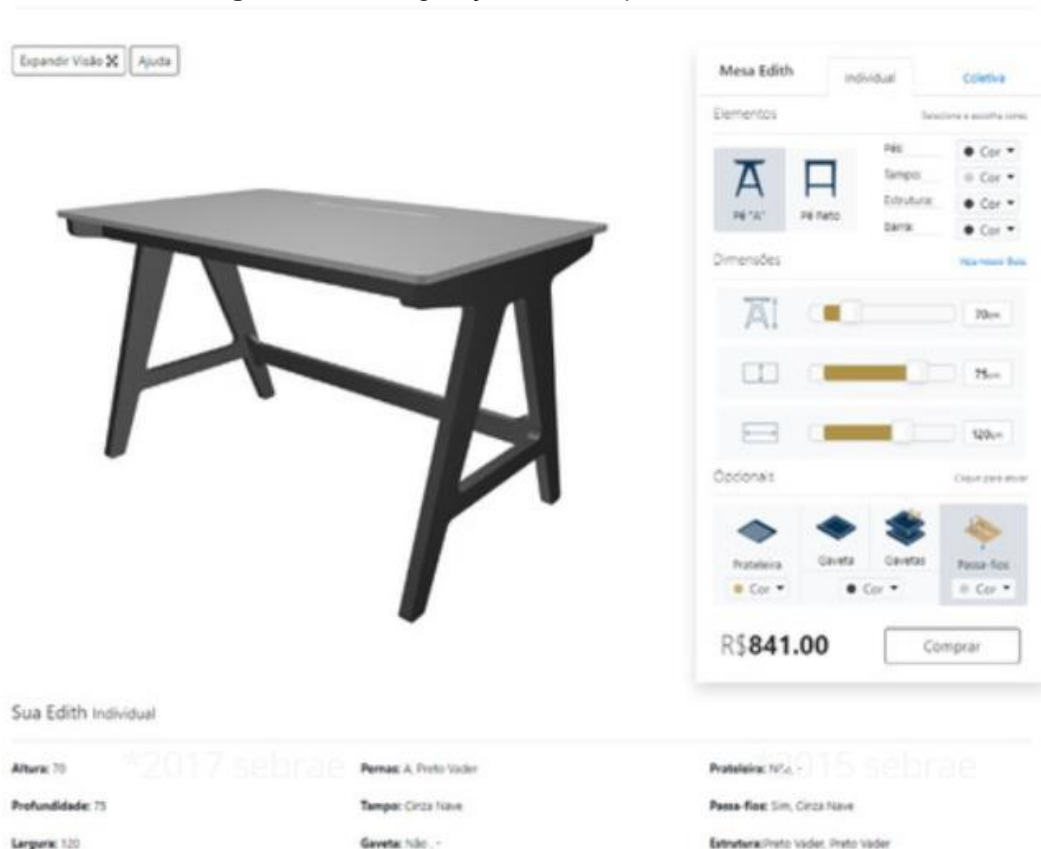
Os testes de protótipo possibilitaram também a tomada de decisão quanto a aspectos de interface do usuário com o configurador. Um exemplo é a troca de cores do modelo, que em um primeiro momento foi localizada em um menu separado, em que era necessário escolher uma peça do modelo através de seleção com o mouse ou toque na tela, para então selecionar uma cor para troca do acabamento. Durante a execução da solução verificou-se dificuldade de uso e entendimento do funcionamento, optando-se então por substituir o aspecto por outra estratégia.

A partir da seleção de um protótipo que possa comportamento e propriedades consideradas satisfatórias, é possível concluir as etapas de construção do configurador de produto. Os elementos de apoio ao usuário foram definidos na própria página web que abrigou o configurador, referindo-se principalmente a informações antropométricas para uma customização correta por parte do usuário.

4.3.3.1 Sistema de Customização

Concluídas as etapas de definição do projeto do produto customizável, seu esquema paramétrico e o configurador, obteve-se o objetivo fim desta pesquisa, de construção e aplicação em contexto maker real de um configurador de produto com possibilidade de interação online, realização de pedidos à produção e geração de arquivos para fabricação. Ilustra-se a seguir o resultado final obtido do configurador (Figura 90) e do mobiliário fabricado (Figura 91), tratando-se de exemplo real de modelo customizado configurado e adquirido *online* por um consumidor.

Figura 90 – Configuração de Exemplar Customizado



Fonte: Do autor.

Figura 91 – Exemplar customizado fabricado



Fonte: Do autor.

No exemplo apresentado é possível observar a alta fidelidade do modelo tridimensional alcançada. O desempenho do sistema integrado como um todo será caracterizado e discutido no capítulo 4.4, de avaliação e 5, de conclusões.

Ao leitor que possa interessar a utilização de uma versão simplificada e não comercial do configurador, a fim de investigar seu funcionamento e obter acesso aos *scripts* construídos, disponibiliza-se o *QRCode* representado na Figura 92. É importante salientar que trata-se de uma versão reduzida da solução. O acesso pode também ser realizado através do endereço *web* <http://www.edubcabral.com/configurador>.

Figura 92 – QRCode – Configurador



Fonte: Do autor.

4.4 AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS

A avaliação dos artefatos ocorreu através de seu uso em contexto real de forma prática, observando o comportamento de suas partes durante o processo de instanciação. Conforme definido anteriormente, a avaliação se dá de forma qualitativa, e de forma a apontar se houve solução satisfatória do problema e dos requisitos apresentados no momento de proposição. Além da avaliação descritiva, são também realizadas as avaliações do configurador e espaço de solução, e do nível de customização alcançado através de mapeamento conforme definido na etapa de projeto dos artefatos.

4.4.1 Avaliação do grau de customização alcançado

Para fins de avaliação foram mapeados utilizando o método proposto por Brandão, Paio e Whitelaw (2017) conceitos presentes no referencial teórico e exemplos de estado da arte abordados durante a pesquisa, além de outras comparações úteis para a avaliação do grau de customização alcançado pelos artefatos.

O mapeamento ocorre na forma de quadrantes definidos por eixos, em que se verifica a relação entre a atividade de projeto e produção. Como ponto de partida foram considerados conceitos previamente mapeados pelos autores, sendo esses a customização em massa, a customização parcial (TIEN; KRISHNAMURTHY; YASAR, 2004) a customização visionária (KAPLAN; HAELIN, 2006), a fabricação pessoal, aqui definida como a personalização realizada por *makers* para uso próprio, e a produção seriada. A estes aspectos foram adicionados os graus de customização definidos por Lampel e Mintzberg (1996), e considerada relação destes com a modularidade e o ponto de contato do consumidor com a atividade de customização em relação ao ciclo de produção do produto (DURAY et al., 2000).

Como exemplos comparativos foram consideradas as empresas IKEA®, previamente mapeada pelo autores, por esta representar o nível de customização presente em grandes indústrias do setor de mobiliários, a inglesa Opendesk®, por esta representar o cenário existente da produção *maker* de mobiliários com fins comerciais, além da semelhança quanto aos materiais e técnicas empregados nas etapas de projeto e fabricação, a empresa Tylko® por representar o estado da arte em customização em massa de mobiliários com configurador *online*, o projeto

sketchchair devido ao processo generativo e de feedback empregados, além do setor de móveis planejados, exemplo predominante de customização mobiliários no cenário brasileiro. O mapeamento busca caracterizar o grau de customização alcançado, a fim de avaliar o artefato perante soluções existentes, além de fornecer bases para a discussão. O artefato está identificado no mapa a partir de seu nome comercial, “Edith”, na cor magenta (Figura 93).

Figura 93 – Mapeamento do artefato quanto ao grau de customização



Fonte: Do autor.

No eixo horizontal o artefato localiza-se no quadrante “configuração de fabricação”, em que o ponto de contato do usuário ocorre na etapa de fabricação do produto. Já no eixo vertical, localiza-se no quadrante referente a “montagem pelo usuário”. Quanto à classificação do grau de customização definido por Lampel e Mintzberg

(1996), localiza-se no quadrante “*tailored customization*”, em que há grande possibilidade de customização baseada em um projeto pré-estabelecido.

A partir do mapeamento é possível verificar um grau de customização satisfatório, ainda que não se enquadre no máximo grau possível como o alcançado pelo projeto *sketchchair*. A customização pura e visionária necessita de configuradores e projetos com capacidade generativa, a fim de fornecer maior liberdade projetual ao consumidor. Devido à estratégia utilizada para o configurador isto não é possível, visto que é realizado cálculo de todas as soluções possíveis em etapa anterior à configuração do produto. Ainda assim, verifica-se benefício quanto ao grau de customização alcançado em relação a alguns exemplos comparados, assemelhando-se a solução da empresa Tylko®. Em relação ao mobiliário destinado à fabricação própria por *makers* há uma menor liberdade de customização. Entretanto, é necessário pontuar que este tipo de solução pode representar maior dificuldade de aplicação com fins comerciais. Considerando o esquema paramétrico fruto do Artefato B, seria possível converter o projeto para uma solução focada na produção para uso próprio. A não utilização de um configurador, entretanto, limitaria o uso por indivíduos sem domínio da ferramenta de projeto.

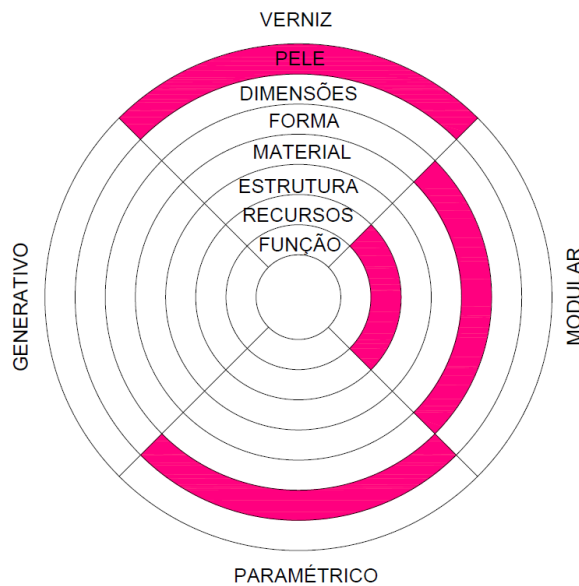
Estabelecendo relação com os tipos de modularidade (ULRICH, 1995) conforme definido por Duray et al. (2000) a partir do grau de modularidade *tailored customization* definido por Lampel e Mintzberg (1996), é possível verificar que o tipo de modularidade estabelecido, sob medidas (*fabricated to fit*) alcança normalmente este grau de customização. Sendo assim, é possível considerar a solução geral satisfatória quanto ao grau de customização.

4.4.2 Avaliação do espaço de solução do configurador

Assim como na avaliação anterior, a avaliação do espaço de solução a partir do configurador busca caracterizar o desempenho do artefato a fim de fornecer bases para a discussão. O método de análise empregado é o desenvolvido por Guido Hermans (2012), conforme definido na etapa de projeto dos artefatos (Figura 94). O autor ressalta que o método foi concebido com o intuito de descrever e demonstrar o espaço de solução de *toolkits* voltados a CM, não sendo por si só uma forma de

avaliação ou comparação com outras soluções. Desta forma, esta avaliação será descritiva.

Figura 94 – Avaliação do espaço de solução



Fonte: Do autor.

O espaço de solução alcançado no uso do configurador apresenta-se de forma composta, ocupando três dos quatro quadrantes do método de avaliação utilizado. Os quadrantes ocupados são o paramétrico, modular e verniz.

No quadrante verniz, que corresponde a variações de estilo (PILLER, 2002), considerou-se a variação de cores presente no configurador. Como esta variação ocorre somente por escolha do usuário, sem representar modificações em outras partes do produto, identificou-se como quadrante mais adequado.

Já o quadrante modular conta com as variações de forma e recursos. As variações formais correspondem aos tipos de pé, em duas opções, e a variação da família de produtos que conta com mesa individual e coletiva. As variações de recursos consideram os itens opcionais, como prateleira, gaveta e passa-fios. A localização no quadrante modular ocorre, pois mesmo que haja diferenciação dimensional fornecida pelo usuário, essas representam apenas troca de módulos estabelecidos no esquema paramétrico, adicionando ou removendo recursos. Isto não significa que não haja variação formal dos módulos no esquema paramétrico, mas sim que o espaço de solução disponível para o usuário através do configurador trata estes itens como modulares.

O quadrante paramétrico conta com as variações dimensionais. Essas se localizam neste quadrante devido a sequencia de modificações que ocorre no objeto ao se alterar as variáveis. Estas modificações ocorrem devido às regras definidas no projeto do esquema paramétrico.

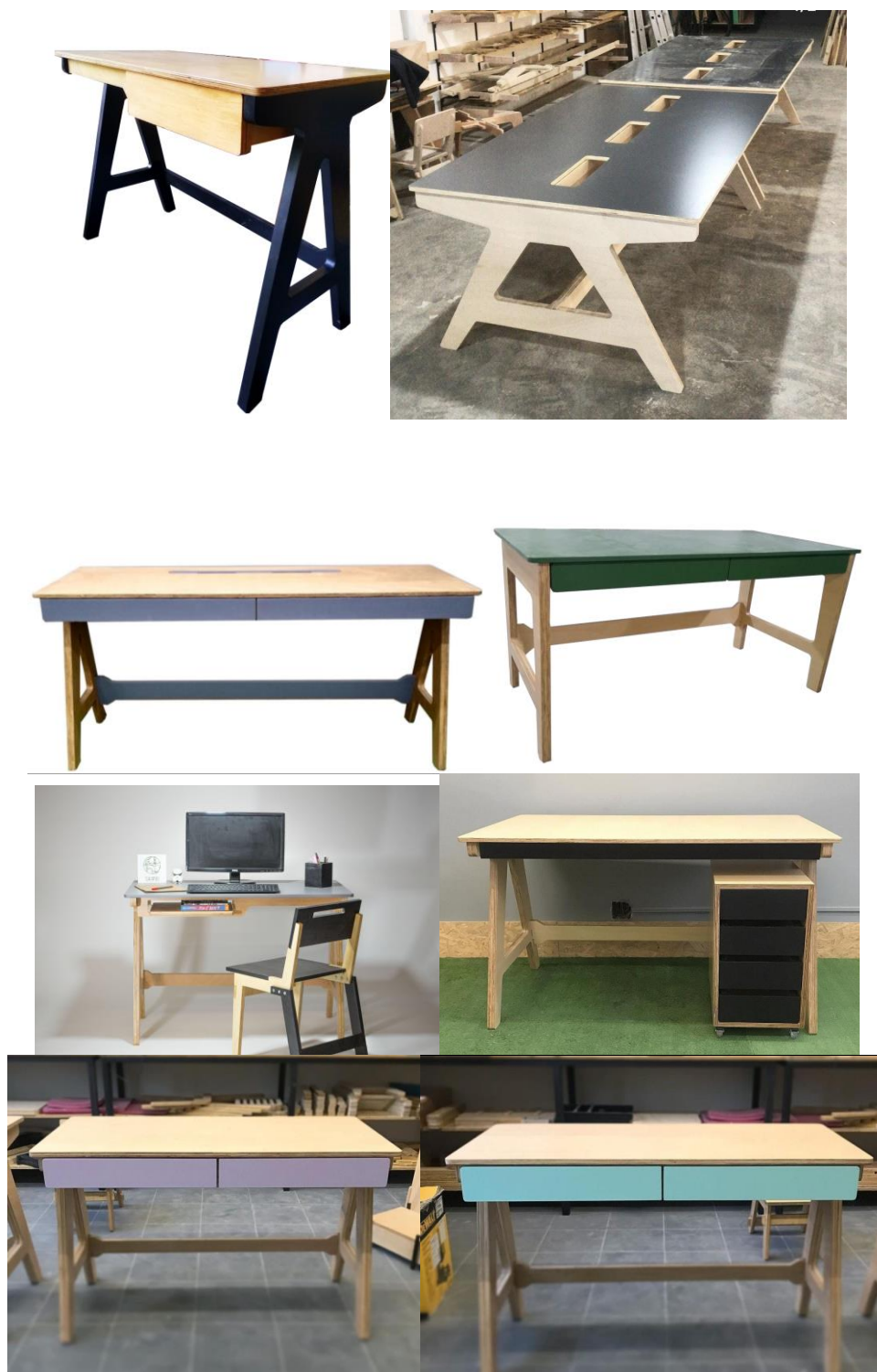
Relacionando o espaço de solução identificado com os níveis de customização com uso de configuradores definidos por PILLER (2004), encontram-se os três possíveis, estilo, referente à troca de cores do quadrante verniz e de forma do quadrante modular; medidas e conforto, através da variação dimensional presente no quadrante paramétrico; e funcionalidade, referente as modificações de recursos do quadrante modular. Piller (2004) ressalta a maior chance de sucesso de produtos e sistemas que englobem estes três níveis, sendo portanto a solução de configurador satisfatória. Estabelecendo um paralelo com conceitos de Duray et. al (2000), verifica-se os pontos de contato do consumidor com a atividade de configuração do produto em relação à etapa de produção: os itens de estilo correspondem a etapa de acabamento e montagem do produto. Os itens referentes a funcionalidade, medidas e conforto relacionam-se à etapa de fabricação. Devido a relação existente entre o ponto de contato da atividade de customização com o sistema produtivo ser um indicador do grau de customização possível, é possível afirmar que o espaço de solução é satisfatório.

4.4.3 Avaliação da instância

A instância ocorreu no período compreendido entre junho de 2020 e janeiro de 2021, totalizando seis meses de avaliação. Neste período o objeto projetado foi comercializado através do site da empresa em que ocorreu a instância, através do configurador construído durante a pesquisa. No período anterior ao lançamento houve também participação da empresa no programa Startup SEBRAE, tendo o próprio produto da pesquisa sido objeto de seleção. Entretanto, esta participação correspondeu a uma influência maior sobre os aspectos de planejamento financeiro e de marketing da solução. Durante este período foram comercializadas 10 unidades da escrivaninha, que recebeu o nome comercial de “mesa Edith”. A seguir detalham-se os aprendizados e sua avaliação, através de apontamentos quanto a

seu desempenho. Na Figura 95 se observa alguns dos exemplares comercializados.

Figura 95 – Alguns dos exemplares comercializados



Fonte: Do autor.

Tempo de implantação do sistema: É necessário ponderar se há demanda suficiente que justifique o prazo de implantação do sistema de customização automatizada e do configurador de produto. No caso desta pesquisa, foi necessário 3 meses ao total, considerando todo o processo. Ressalta-se que em parte deste período estavam vigentes as medidas de distanciamento social como resposta à pandemia de Covid-19. Entretanto, é possível avaliar que há uma dedicação de tempo maior do que o necessário para o lançamento de produtos sem customização. Esta diferença pode ser justificada principalmente pela necessidade de criação da plataforma de produto, através do estabelecimento dos módulos básicos do esquema paramétrico e construção do configurador online. Novos produtos com outras arquiteturas que utilizem a mesma plataforma podem ser realizados em tempo reduzido.

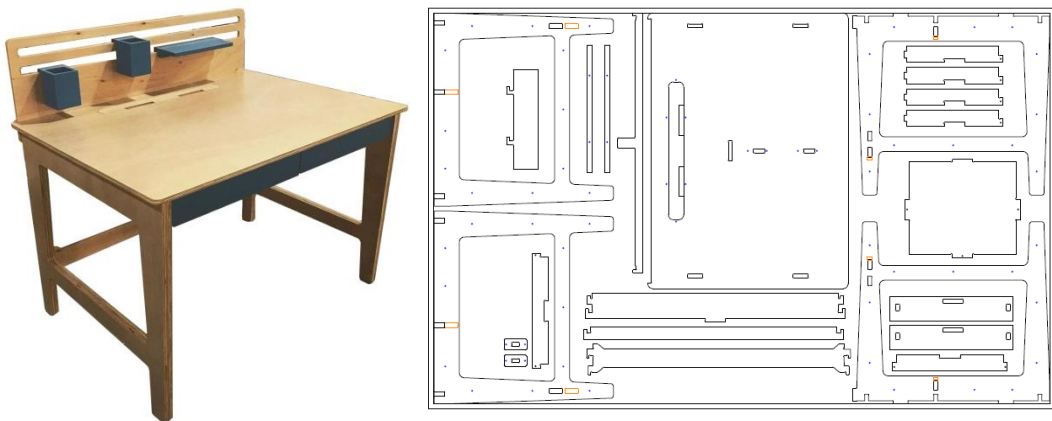
Operação do esquema paramétrico: Houve grande dificuldade de operação por outros membros da equipe do esquema paramétrico, responsável pela emissão de arquivos digitais de fabricação do produto. Sendo assim, este pesquisador foi o responsável por esta etapa da produção durante a realização da pesquisa, visto a falta de experiência com os softwares necessários pelo restante da equipe, constituindo um entrave.

Insegurança quanto à configuração do produto: Em sua maioria, os usuários recorreram ao contato direto com a empresa para consulta quanto às medidas ideais a inserir no processo de configuração. Embora estas informações tenham sido inseridas em *link* de ajuda no configurador, pode ser necessário manter uma forma de comunicação direta com o consumidor, que não está habituado a não contar com um profissional no momento de compra de um item personalizado ou customizado.

Personalização além da customização oferecida: Em um dos exemplares comercializados, foi solicitada a adição de um painel com porta-objetos presente em outro mobiliário da empresa. Para esta modificação foi necessário realizar a intervenção usual de personalização já praticada na empresa, a partir da edição do projeto planejado em software CAD. Embora este processo tenha representado um aumento de tempo em relação ao processo automatizado, ainda foi possível beneficiar-se da base customizada através do configurador, mantendo-se os módulos projetados. A modificação solicitada pode ser um indicador de necessidade

de promover uma pesquisa mais abrangente no momento de início do projeto, ou mesmo da característica do consumidor de objeto *maker*. Outra modificação solicitada foi a alocação da trave inferior no centro da mesa, entre os pés. Esta modificação, embora não presente no configurador online, foi viável através de edição do esquema paramétrico, representando também uma possibilidade de adequação do produto com uma nova variável presente no configurador. (Figura 96)

Figura 96 – Edith com painel



Fonte: Do autor.

Revisão de projeto: Devido a falhas frequentes de fabricação e estabilidade do objeto, foi necessário alterar o material empregado nas escrivaninhas para 18mm em todas as peças e opções dimensionais. Esta modificação buscou também atender uma maior padronização do material empregado. O esquema paramétrico facilitou de sobremaneira este processo, revelando um benefício além da customização e configuração do produto por parte do consumidor.

Tempo de produção: Embora o tempo de adaptação do produto tenha sido reduzido, este processo não representa a maior proporção de tempo de execução dos pedidos. Sendo assim, foi necessário revisar o tempo de entrega inicialmente projetado de 10 dias, estendendo-o para o prazo de 15 dias. Ressalta-se que este tempo está também influenciado pelo fluxo dos demais pedidos da empresa e à equipe de produção disponível.

As considerações levantadas acerca da instância de forma descritiva servem como base para a discussão e generalização, bem como pode fornecer indicativos para futuros trabalhos. Estes assuntos são tratados no próximo capítulo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho explorou a interseção das temáticas de customização em massa, personalização, o movimento *maker* e as técnicas de projeto e fabricação digitais, com o objetivo de propor um sistema de customização de mobiliários adaptado ao contexto de empreendimentos *maker*, de forma a oferecer melhorias aos processos vigentes. A investigação ocorreu através dos procedimentos metodológicos da *design science research*, com a proposição e avaliação de artefatos. Neste capítulo discute-se os resultados obtidos, a partir do aporte teórico realizado, os resultados e aprendizados resultantes da operacionalização dos artefatos e sua generalização em relação a classe de problemas. Por fim, são definidas sugestões de pesquisa para futuros trabalhos.

5.1 REFLEXÃO E GENERALIZAÇÃO

Neste capítulo são abordadas discussões acerca dos resultados da pesquisa, em especial as dificuldades e descobertas em relação à classe de problemas anteriormente estabelecida, “sistema de customização de mobiliários”, com o objetivo de generalização. A discussão se dá em torno das temáticas do projeto customizável, do design paramétrico aplicado a customização de produtos e da customização no movimento *maker*. Por fim, elabora-se sugestões para pesquisas ou artefatos futuros.

5.1.1 Discussão: Projeto customizável

Projetos de produtos customizáveis representam um desafio maior do que o projeto de produtos únicos. Durante a realização da pesquisa foram encontradas formas de organizar o processo, definindo um método aplicável ao contexto *maker*. Embora o método proposto possua esta delimitação, em virtude de sua instanciação, é possível generalizar o conhecimento adquirido. Algumas das questões identificadas após o processo de avaliação dos artefatos acerca do projeto customizável são descritas a seguir:

Arquitetura de produto e Modularidade: O uso de módulos se mostrou uma forma eficaz de planejar a customização do produto. Os tipos de modularidade propostos por Ulrich e Tung (1995) auxiliam na organização do produto, dividindo-o em subproblemas para resolução. Embora não exija o uso de meios de fabricação digital, o uso de módulos com o objetivo da customização ou personalização pode valer-se da técnica para conquistar graus mais altos de flexibilidade.

O planejamento do tipo de modularidade do produto revelou-se também uma ferramenta eficaz de prever o grau de customização possível já nas etapas iniciais de projeto. A partir das relações de modularidade com o ponto de contato do consumidor com o sistema de produção definidos por Duray et al. (2000), chegou-se ao nível de customização pretendido.

Houve também benefício do uso de módulos já no momento de concepção do projeto básico quanto à execução do esquema paramétrico. A organização definida pela arquitetura do produto e sua modulação foram seguidas, facilitando o processo de decomposição dos subproblemas e a própria estratégia de customização. Ao saber-se da influência exercida entre os módulos e suas interfaces em relação as funcionalidades, foi possível definir os aspectos mutáveis através da alteração de variáveis no momento de configuração do produto pelo usuário.

Plataforma e família de produtos: Embora não tenham sido explicitadas de forma evidente devido as características da instanciação dos artefatos e o tempo de execução da pesquisa, a plataforma e família de produtos podem ser identificadas. Como plataforma de produtos é possível considerar o sistema produtivo empregado, os materiais utilizados (que são compartilhados com os demais produtos da empresa) e mesmo partes desenvolvidas do esquema paramétrico, visto que soluções como a planificação automática e tipos de interface podem ser utilizados em novas famílias de produto. Ainda é possível considerar o próprio configurador como parte da plataforma, utilizando o mesmo sistema para novas famílias de produto.

Como família de produtos identifica-se a subdivisão da solução em nichos de público específicos, através da segmentação em escrivaninha individual ou mesa coletiva. Pequenas adaptações na arquitetura do produto e nas variáveis que definem o espaço de design operado pelo consumidor definiram estas famílias. Utilizando-se

dos mesmos módulos projetados seria possível ainda explorar novas combinações ou organizações das partes, adicionando ou removendo novos módulos se necessário, dando origem a novas famílias de produto. Isto pode ser especialmente útil devido ao grande tempo observado como necessário para construção inicial do sistema. Visto que a plataforma de produto já estaria existente, espera-se um tempo reduzido para criação de novas famílias de produto.

Limitações impostas pela solução de configurador: A solução adotada para construção do configurador, através do uso de arquivos concebidos com antecedência pelo esquema paramétrico revelou-se um entrave para conquistar níveis mais elevados de customização. Embora o objeto projetado não possua características generativas, poderia dar-se mais liberdade formal ao usuário através da introdução de outras formas de interação como a manipulação de linhas ou pontos.

Ressalta-se também que este tipo de solução exige um grande tempo necessário para atualizações de projeto: mesmo utilizando-se um computador de alta performance, a geração de arquivos levou cerca de 16h para ser completado. Além disso, o volume de dados excedeu os 10Gb, o que ocasiona um grande tempo de transferência ao servidor. Um dos objetivos do projeto era garantir um grande número de soluções possíveis. Os referidos tempos podem ser reduzidos diminuindo o espaço de solução disponível para customização.

Embora limitada, a solução utilizada foi considerada satisfatória na medida que possibilitou o uso do configurador sem a necessidade de aumento de custos para sua implantação. Outros projetos, realizados por *makers* ou não podem utilizar-se do tipo de solução adotado quando o objetivo é obter uma customização ou personalização que não exige processos generativos.

5.1.2 Discussão: Customização e design paramétrico

O uso do esquema paramétrico como método de projeto para obtenção da customização automatizada de projeto provou-se de grande eficácia. Através do esquema paramétrico foi possível, além de operar as necessidades do projeto, testar e intervir nas características do objeto, traduzindo-se como uma importante

ferramenta na própria concepção de produtos customizáveis. A seguir discute-se questões levantadas acerca do tema, fruto dos resultados da pesquisa:

Ganho de tempo e produtividade: Apesar do tempo necessário para construção do esquema, o modelo forneceu informações importantes que facilitaram as demais etapas. Por fim, o tempo necessário para emissão de customizações do projeto foi drasticamente reduzido, atendendo a um dos requisitos definidos para sucesso do artefato. Esta análise de tempo necessário torna-se possível através da comparação do dedicado para edição dos protótipos durante o processo de concepção, ou mesmo edições de avaliação para alteração do projeto base durante a instanciação. No lugar de algumas horas, utilizando o esquema é possível emitir arquivos de fabricação em minutos. Entretanto, o uso do *nesting* automático provou-se pouco eficiente, sendo necessária a edição do arquivo antes da fabricação para evitar o desperdício de material. Além disso, é comum que outros mobiliários inteiros ou em parte sejam cortados na mesma chapa utilizada para a fabricação da escrivaninha. Sendo assim é preciso editar o arquivo de fabricação através de softwares CAD, reorganizando o posicionamento das peças.

Além da customização: Outras possibilidades de utilização do esquema paramétrico no contexto produtivo *maker* foram observadas. Estas possibilidades podem ser expandidas para outras empresas não necessariamente de características *maker*, desde que utilizem métodos de fabricação digital. A análise de dados como a precificação, por exemplo, revelou-se mais exata que os métodos comumente adotados, visto que considera de forma ágil o uso de material para fabricação do objeto. Esta característica ocasiona também uma economia de tempo da equipe, que no contexto *maker* normalmente concentra as atividades de orçamentação, gestão e produção em um ou poucos indivíduos.

Os componentes de adição de *bones* também tem grande potencial de ser utilizados de forma independente, visto que podem ser ligados a modelos CAD concebidos de forma usual. O caráter paramétrico do componente dá grande agilidade a adaptação devido a troca de ferramenta em uso no equipamento de fabricação, por exemplo. Além disso, a adaptação dimensional dos encaixes ocasiona também uma grande economia de tempo na preparação de arquivos para fabricação. Devido a falta de padronização de chapas de compensado multilaminado disponíveis no mercado

brasileiro, é comum ter de adicionar ou remover alguns milímetros das interfaces de itens que serão fabricados. Esta edição pode ser necessária inclusive várias vezes para um único produto, se este for fabricado em mais de uma chapa.

Um esquema para cada utilidade: Apesar do esquema paramétrico utilizado para ilustrar esta pesquisa inclua todos os processos, sejam de fabricação, controle da representação tridimensional ou extração de dados, é possível dividi-lo em sub esquemas voltados a cada atividade. Em projetos complexos isto pode representar uma maior facilidade de organização, porém é necessário atentar-se a utilizar sempre os mesmos componentes dos módulos, mesmo que sofram algum tipo de atualização.

5.1.3 Discussão: Customização e contexto *maker*

Como visto no referencial teórico, a customização e personalização de produtos, seja para fabricação pessoal ou comercialização, é comum no contexto do movimento *maker*. Entretanto, com a implantação de um sistema que se utiliza do ferramental de fabricação digital e a afinidade com tecnologia presente no movimento se viu benefícios relacionados ao tempo necessário para adaptação de projetos, preparação para fabricação e mesmo na etapa de concepção de produto.

A importância do protótipo: Durante a fase de concepção foram executados mais protótipos do que o previsto. Credita-se isto ao método de trabalho *maker*, que utiliza a execução de equipamentos de fabricação digital como forma de materializar e avaliar propostas (MAGRI, 2015). A partir da avaliação física dos protótipos foi possível prever problemas fundamentais de projeto quanto à estabilidade e estética esperada do produto final. Entretanto, os protótipos realizados não levaram em conta as transformações possíveis oriundas da customização do produto, sendo realizados com dimensões aproximadas a itens presentes no mercado. Como consequência, problemas de fabricação foram detectados durante a fase de comercialização do produto, exigindo uma revisão do projeto que embora facilitada pelo esquema paramétrico, resultou em perda de tempo e material. Uma alternativa à realização de protótipos de muitas soluções possíveis pode ser através do

estabelecimento de *feedbacks* do projeto digital através de simulações físicas (OXMAN, 2006).

Expectativas de customização: *Makers* empreendedores geralmente atendem a pequenos nichos de mercado, aproveitando-se da falta de interesse da indústria em oferecer produtos para um pequeno público. Esta característica pode influenciar também as expectativas do cliente habitual, que espera poder optar por formas de customização mais abrangentes do que o projetado inicialmente, como no caso descrito na etapa de avaliação da instanciação.

Uma alternativa, além da possível necessidade de uma pesquisa de mercado mais aprofundada nas etapas iniciais de projeto, pode ser a concepção de objetos customizáveis simples, com aumento incremental das customizações possíveis conforme forem solicitadas por clientes. Isto é especialmente interessante no caso do projeto utilizar-se da modularidade e da plataforma de produtos – uma única adição modular poderia ser compartilhada por diversos produtos. Esta estratégia é utilizada para lançamento de produtos não customizáveis na empresa contexto da instância desta pesquisa, na medida em que produtos personalizados são solicitados por clientes específicos, e depois são adicionados ao catálogo de produtos disponíveis aos demais clientes.

Pessoalidade: Conforme elucidado na avaliação descritiva da instanciação, houve grande procura de usuários do configurador através de aplicativos de mensagens para tirar dúvidas quanto ao processo de configuração. Há casos em que o processo de configuração foi realizado com sucesso, mas o consumidor preferiu entrar em contato direto para fechar a compra, enviando um registro da tela do configurador com as especificações desejadas simuladas no modelo. Esta observação pode ser consequência também da característica do consumidor de produtos *maker*, acostumado a um atendimento mais pessoal.

Embora considerado um problema no contexto do sistema de customização, isto pode indicar a possibilidade de utilização de um formato híbrido para ofertar produtos customizados, sendo possível utilizar configuradores ou modelos mais simples, com o detalhamento do pedido de forma pessoal. Também é possível ofertar a customização sem o uso de um configurador, utilizando-se somente do esquema paramétrico para simulação das variáveis solicitadas pelo cliente.

Por fim, é importante destacar a importância da cultura *maker* no desenvolvimento desta pesquisa. Este pesquisador não possuía, por exemplo, conhecimentos de programação nas linguagens HTML, CSS e JavaScript antes do início da exploração. Através dos fóruns e repositórios *online* foi possível contar com dados e ensinamentos fornecidos de forma livre pela comunidade.

5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como forma de orientar a realização de pesquisas futuras, se sugere, baseando-se nas conclusões e discussões dos resultados da pesquisa:

- Investigar novas proposições de configurador, englobando possibilidades generativas de customização;
- Explorar a criação de diversas famílias de produto utilizando a mesma plataforma de produto customizável;
- Instanciação dos métodos desenvolvidos utilizando outros mobiliários ou outros tipos de objetos;
- Exploração de possibilidades da fabricação distribuída para fabricação dos produtos customizados através do configurador;
- Utilização do Artefato B: Método de projeto paramétrico de produto customizável como meta-design, configurando o produto através do próprio esquema paramétrico;
- Utilização de *feedback* técnico através de simulações na etapa de concepção do produto;
- Exploração do conceito de *open design* e observação das modificações de projeto executadas pela comunidade *maker*.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15786:2010 **Móveis para escritório** – Móveis para teleatendimento, call center e telemarketing – Requisitos e métodos de ensaio - 2010
- ANDERSON, Chris. **Makers: The New Industrial Revolution**. New York: Crown Business, 2014.
- ATFAB. **AtFab**. Disponível em: <<https://www.atfab.co/>>. Acesso em: 18 de abril de 2021.
- ATKINSON, P. Orchestral maneuvers in design. **Open Design Now**; p. 24-31. Amsterdam: Creative Commons Netherlands, Premsela and Waag Society, 2011.
- BARROS, Mário. **Mass Customization in the Furniture Design Industry: the Case of Thonet Chairs**. Tese de Doutorado , 2015.
- BARROS, A. M.; SILVEIRA, N. S. A fábrica mínima: tecnologias digitais para a produção local e customizada de artefatos físicos, **Estudos em design**, v. 23, n. 1, p. 61-73, 2015."
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- BERLINSKI, D. **A Tour of the Calculus by David Berlinski**. 1999
- BRANDÃO, F; PAIO, A; WHITELAW, Cr. **Mapping mass customization**. In: 35th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe. Sapienza University of Rome, 2017.
- BUFFINGTON, Jack. Comparison of mass customization and generative customization in mass markets. **Industrial Management & Data Systems**, 2011.
- CAMPBELL, C. *The Craft Consumer*. **Journal of Consumer Culture**, v.5, n.1, p.23-42, mar, 2005.
- CELANI, Maria Gabriela Caffarena. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. 2002.
- CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. **CAD scripting and visual programming languages for implementing computational design concepts: A comparison from a pedagogical point of view**. International Journal of Architectural Computing, v. 10, n. 1, p. 121-137, 2012.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos; PUPO, Regiane. **Sistemas generativos de projeto**: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, v. 1, n. 1, 2013.

E COSTA, Eduardo Castro; DUARTE, José Pinto. Tableware shape grammar. In: **Proceedings of the 31st ECAADe Conference**. 2013. p. 635-644.

DA ROSA, Pamela. **Diretrizes para o desenvolvimento de mobiliário por makers**. Dissertação de Mestrado. PGDesign UFRGS 2018.

DA SILVEIRA, Giovani; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flavio S. Mass customization: Literature review and research directions. **International journal of production economics**, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001.

DAVIS, S. M. **Future Perfect**. 1st. ed. Reading: Addison Wesley, 1987.

DAVIS, Daniel. **Modelled on software engineering: Flexible parametric models in the practice of architecture**. RMIT University, 2013.

DAVIS, Daniel; BURRY, Jane; BURRY, Mark. Understanding visual scripts: Improving collaboration through modular programming. **International Journal of Architectural Computing**, v. 9, n. 4, p. 361-375, 2011.

DINO, I. G. Creative design exploration by parametric generative systems in Architecture. **Metu Journal Of Faculty Of Architecture**, v. 29, n. 1, p. 207-224, 2012.

GOUGHERTY, D. **The maker movement**. *Innovations*. v.7, n.3, p. 11-14, 2012

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DURAY, Rebecca. Mass customization configurations: **An empirical investigation of manufacturing practices of customization**. The Ohio State University, 1997.

DURAY, R. et al. **Approaches to mass customization: configurations and empirical validation**. *Journal of Operations Management, Configuration in Operations management: Taxonomies and Typologies*. v. 18, n. 6, p. 605–625, 1 nov. 2000."

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **Bim Handbook**. 2nd. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

FETTERMANN, D. C.; ECHEVESTE, M. E. S. . Seleção de práticas de desenvolvimento de produto orientado à customização em massa. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas** (Online), v. 12, p. 101-122, 2017.

FISCHER, Christian; GREGOR, Shirley. **Forms of reasoning in the design science research process**. In: International Conference on Design Science Research in Information Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

FISCHER, T.; HERR, C. **Teaching generative design**. Liverpool: University Of Liverpool, 2001.

FOGLIATTO, F. S.; DA SILVEIRA, G. J. C.; BORENSTEIN, D. The mass customization decade: An updated review of the literature. **International Journal of Production Economics**, 2012

FOX, S. Paradigm shift: do--it--yourself (DIY) invention and production of physical goods for use or sale. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24 n. 2, p. 218--234, 2011

FRANKE, Nikolaus; PILLER, F. **Configuration toolkits for mass customization. Setting a Research Agenda**. Arbeitsberichte des Lehrstuhls für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre, Technische Universität München, v. 33, n. 4, 2002.

GERSHENFELD, Neil; **How to make almost anything machine!** SIGGRAPH 2015: Studio, SIGGRAPH 2015, v. 91, n. 6, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. en. São Paulo,: Atlas: 2008

GOLOGLU, Cevdet; MIZRAK, Cihan. An integrated fuzzy logic approach to customer-oriented product design. **Journal of engineering design**, v. 22, n. 2, p. 113-127, 2011.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

HERMANS, G. **A Model for Evaluating Mass Customization Toolkits**. In 5th International Conference on Mass Customization and Personalization in Central-Europe, 2012.

HERNANDEZ, C. R. B. (2006). **Thinking parametric design**: Introducing parametric Gaudi. *Design Studies*, 27(3), 309–324.

HEVNER, Alan R. et al. **Design science in information systems research**. *MIS quarterly*, p. 75-105, 2004.

HU, S. Jack. **Evolving paradigms of manufacturing: From mass production to mass customization and personalization.** Procedia CIRP, [s. l.], v. 7, p. 3–8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.002>>

IGOE, Tom; MOTA, Catarina. A strategist's guide to digital fabrication. **strategy+business**, v. 4, 2011.

JIAO, J.; SIMPSON, T. W.; SIDDIQUE, Z. Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.18, n. 1, p. 5-29, 3, 2007.

KAPLAN, Andreas M.; HAENLEIN, Michael. Toward a parsimonious definition of traditional and electronic mass customization. **Journal of product innovation management**, v. 23, n. 2, p. 168-182, 2006.

KHALILI-ARAGHI, S.; KOLAREVIC, B. Development of a framework for dimensional customization system: A novel method for customer participation. **Journal of Building Engineering**, v. 5, p. 231–238, 1 mar. 2016."

KOLAREVIC, Branko. Digital Fabrication : Manufacturing Architecture in the Information Age. Proceedings of the Twenty First Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture / ISBN 1-880250-10-1, [s. l.], p. 268–278, 2001.

KOTLER, P. & ROBERTO, E. **Social marketing: Strategies for Changing Public Behaviour.** Free Press, 1989.

KUMAR, Ashok. From mass customization to mass personalization: a strategic transformation. **International Journal Of Flexible Manufacturing Systems**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.533-547, dez. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10696-008-9048-6>

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing customization. **Sloan Management Review**, 1996.

LEACH, N. Parametrics Explained. **Next Generation Building**. Vol. 1, No. 1., 2014.

Magri, P.H. **A digitalização do design de mobiliário no Brasil: panorama e tendências.** Tese de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MAKER MEDIA. Impact of the maker movement. San Francisco, USA, 2013. Disponível em: <<http://makermedia.com/wp-content/uploads/2014/10/impact-of-the-maker-movement.pdf>>. Acesso em: 11 jul.2021."

MALAKUCZI, Viktor. **Raising new opportunities for the Next Economy by exploring variable user needs for Computational Co-Design**. *The Design Journal*, v. 20, n. sup1, p. S581-S588, 2017.

MANZINI, E. **Design quando todos fazem design: uma introdução ao design para inovação social**. Tradução Luzia Araújo. São Leopoldo, RS: Ed Unisinos, 2017

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

MARCH, Salvatore T.; STOREY, Veda C. Design science in the information systems discipline: an introduction to the special issue on design science research. **MIS quarterly**, p. 725-730, 2008.

MEDLAND, Anthony J.; MULLINEUX, Glen. A decomposition strategy for conceptual design. **Journal of engineering design**, v. 11, n. 1, p. 3-16, 2000.

MONEDERO, Javier. Parametric design: A review and some experiences. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 369–377, 2000.

MOTA, Catarina. The rise of personal fabrication. C and C 2011 - **Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition**, [s. l.], p. 279–287, 2011.

NORDIN, Axel et al. Constraint-handling techniques for generative product design systems in the mass customization context. **AI EDAM**, v. 27, n. 4, p. 387-399, 2013.

OPENDESK. **Opendesk**. Disponível em: <<https://www.opendesk.cc/>>. Acesso em: 27 de abril de 2021.

OXMAN, R. **Theory and design in the first digital age**. *Design Studies, Digital Design*. v. 27, n. 3, p. 229–265, 1 maio 2006.

OXMAN Rivka & Gu, Ning. **Theories and Models of Parametric Design Thinking**. 2015

OXMAN, Rivka. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. **Design studies**, v. 52, p. 4-39, 2017.

PILLER, Frank T. Mass customization: reflections on the state of the concept. **International journal of flexible manufacturing systems**, v. 16, n. 4, p. 313-334, 2004.

PINE, B. J. **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition** (1 edition). Boston, Mass: Harvard Business Review Press, 1993.

GILMORE, James H. et al. The four faces of mass customization. **Harvard business review**, v. 75, n. 1, p. 91-102, 1997.

SILVA, Fábio Pinto da. **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência**. 2011.

POSTELL, J. Furniture Design. New Jersey: John Willey & Sons, 2012

PRATSCHKE, A.; DI STASI, M.G. Quão cibernética é a parametrização? **VIRUS**, São Carlos, n. 11, 2015. [online] Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=6&item=1&lang=pt>> Acesso em: out. 2019

PRODANOV, C.C; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª ed. Universidade Feevale – Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2013.

ROMME, A. Georges L. **Making a difference: Organization as design**. Organization science, v. 14, n. 5, p. 558-573, 2003.

RYBERG, Maria Candelária et al. **A fabricação digital como ferramenta de processo de projeto: conectando design e arquitetura**. 2015

SASS, L.; BOTHA, M. The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication. **International Journal of Architectural Computing**, v. 4, n. 4, p. 109–123, 1 dez. 2006.

SHAPEDIVER. **ShapeDiver**. Disponível em: <<https://shapediver.com/>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3rd. ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SIMPSON, Timothy W. **Product platform design and customization: Status and promise**. Ai Edam, v. 18, n. 1, p. 3-20, 2004.

STAPPERS, P. J.; VISSER, F. S.; KISTEMAKER S. **Creation & co: user participation in design**. In: VAN ABEL, B. et al. (org.). Open Design Now. Amsterdam: BIS, 2012.

STEFFEN, D.; GROS, J. Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production. **The 2nd International Conference on Mass Customization and Personalization**, 2003, Munich.

STOJANOVA, Teodora; SUZIC, Nikola; ORCIK, Anja. Implementation of mass customization tools in small and medium enterprises. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 3, n. 4, p. 253-260, 2012.

TEDESCHI, Arturo. **AAD_Algorithms Aided Design**. Parametric Strategies using Grasshopper. Edizioni Le Penseur, Rome, 2014

TIEN, J. M. Data mining requirements for customized goods and services. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 05, n. 04, p. 683-698, 2006.

TIEN, James M.; KRISHNAMURTHY, Ananth; YASAR, Ali. Towards real-time customized management of supply and demand chains. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 3, p. 257-278, 2004.

TOFFLER, Alvin. **A Terceira Onda**. Petrópolis: Editora Record, 1980.

TROXLER, P. Libraries of the Peer Production Era. In: ABEL, B. van et al. (Org.). **Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive**. Amsterdam: BIS Publishers, 2011.

TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin. Mass customization. **Handbook of industrial engineering**, v. 3, p. 684-709, 2001.

TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin.; WANG, C. Design for mass personalization. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 59, n. 1, p. 175–178, 2010.

TILKO. Tilko. Disponível em: <<https://Tylko.com/>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ULRICH, Karl. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research policy**, v. 24, n. 3, p. 419-440, 1995.

ULRICH, Karl T.; TUNG, Karen. **Fundamentals or product modularity**. 1991.

ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research policy**, v. 24, n. 3, p. 419-440, 1995.

VAISHNAVI, Vijay K.; KUECHLER, William. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology**. Second Edition. CRC Press, 2007.

VAN AKEN, J. E. Management research on the basis of the design paradigm: The quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VAN STRALEN, Mateus. Mass Customization: a critical perspective on parametric design, digital fabrication and design democratization. **Blucher Design Proceedings**, nov. 2018. Editora Blucher. <http://dx.doi.org/10.5151/sigradi2018-1770>

VELOSO, P. L.; CHEEREN, R; VASCONCELOS, T. **O Ensino de Projeto e o Processo de Design Paramétrico**: Desafios e Perspectivas, Bloco (13) o ensino e prática de projeto. Universidade FEEVALE, p. 88-107, 2017

WERLANG, Luís André Ribas et al. Modelagem virtual e processos de fabricação digital como recursos no desenvolvimento de produtos. Linden, Júlio Carlos de Souza van der; Bruscato, Underléa Miotto; Bernardes, Mauricio Moreira e Silva (Orgs.). **Design em pesquisa**: vol 2. Porto Alegre: Marcavizual, 2018. p. 395-411, 2018.

WOODBURY, Robert. **Elements of parametric design**. Taylor and Francis, 2010.

YU, Rongrong; GERO, John; GU, Ning. Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 13, n. 1, p. 83-101, 2015.

ZSOLT, B. U. N. A.; BADIU, Ionuț; ARNOLD, É. L. E. S. On Using Parametric Modeling In Furniture Design. **Acta Technica Napocensis-Series: Applied Mathematics, Mechanics, And Engineering**, V. 58, N. 2, 2015.

APÊNDICE A

Revisão Sistemática de Literatura

RELATÓRIO - Revisão Bibliográfica Sistemática

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Design
Disciplina de Metodologia de Pesquisa
Prof. Dr. Régio P. da Silva
Prof.^a Dr.^a Tânia Luisa K. da Silva

Aluno: Eduardo Benites Cabral
Porto Alegre, 17 de dezembro de 2018

Introdução

A presente Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) foi concebida com o intuito de identificar o estado da arte, lacunas que representam oportunidades de pesquisa bem como metodologias para o delineamento da pesquisa a ela relacionada, intitulada “*Diretrizes de projeto paramétrico para customização em massa de mobiliário maker. (título provisório)*”.

Segundo Conforto (2011), uma revisão bibliográfica pode ser narrativa ou sistemática. No caso da revisão sistemática, objeto deste relatório, é utilizado maior rigor científico, sendo possível compilar dados, refinar hipóteses, definir melhor o método de pesquisa a ser adotado e direções para futuras pesquisas, entre outros.

Metodologia

A metodologia utilizada para a concepção da RBS foi a proposta por Conforto (2011), baseada em fases representadas da Figura 1.

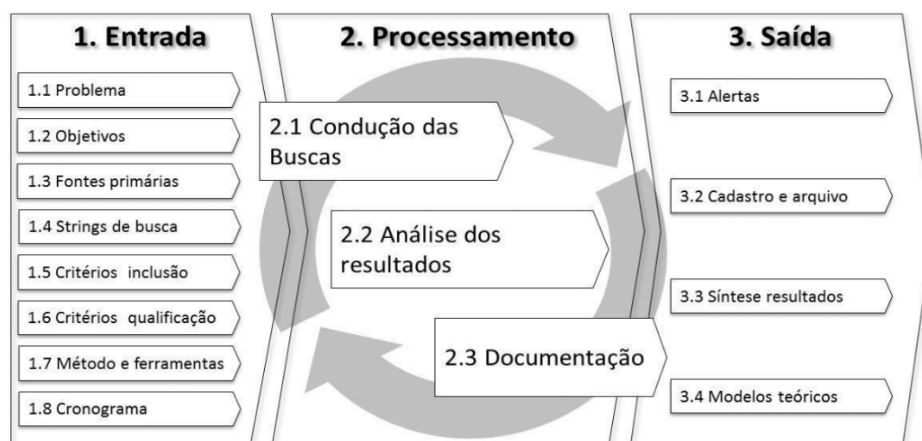


Figura 1 - RBS Roadmap Fonte: Conforto (2011)

1. ENTRADA

1.1. PROBLEMA

A definição do problema é o ponto de partida da revisão bibliográfica sistemática. Busca-se responder uma ou mais perguntas com a revisão bibliográfica. (CONFORTO, 2011). O problema deve estar relacionado ao assunto, tema e delimitação da pesquisa, e ser expresso na forma de pergunta. Gil (2007), descreve que um problema deve ser claro e preciso, ser empírico, suscetível de solução e delimitado a uma dimensão viável. Sendo assim, é descrito abaixo o processo de definição do problema de pesquisa a ser abordado nesta RBS:

Assunto da Pesquisa: Design de mobiliário.

Tema da Pesquisa: Mobiliário maker.

Delimitação da Pesquisa: Design de mobiliário maker para customização em massa.

Conceitos: Customização; Mobiliário; Design Generativo

Restrição: Customização em Massa e Personalização; Mobiliário Maker; Processos paramétricos e generativos de projeto.

Problema de Pesquisa: *Como implementar métodos de design paramétrico para a customização em massa de mobiliários maker, utilizando o Grasshopper 3D?*

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos da RBS devem estar alinhados com os objetivos do projeto de pesquisa. Também devem ter clareza e serem factíveis. É importante ter rigor na definição dos objetivos, uma vez que eles serão a base para a análise dos artigos encontrados nas buscas. A partir dos objetivos da RBS é possível definir critérios para inclusão dos artigos no estudo. (CONFORTO, 2011)

Objetivos da Pesquisa:

Objetivo geral:

Desenvolver diretrizes para a incorporação de métodos paramétricos de projeto de mobiliários produzidos por maker com o objetivo de facilitar a customização em massa, utilizando a ferramenta Grasshopper 3D.

Objetivos específicos:

- A) Investigar os métodos, ferramentas e práticas que são adotadas por empresas que utilizam métodos de fabricação digital e projeto paramétrico.
- B) Investigar os métodos, ferramentas e práticas que são adotadas no projeto de mobiliário por makers.

- C) Comparar as práticas adotadas por empresas e por makers.
- D) Analisar os inputs e outputs que podem ser utilizados como enablers de customização em massa.
- E) Propor práticas de projeto paramétrico utilizando o Grasshopper 3D para a customização em massa de mobiliário maker.
- F) Avaliar o uso das práticas propostas.

Objetivos da RBS:

-Identificar o estado da arte na área de customização de mobiliário.

-Identificar conceitos e técnicas de design paramétrico utilizadas para customização em massa.

-Investigar a customização de mobiliários maker.

-Identificar o uso de projeto paramétrico em projetos de mobiliários.

1.3. FONTES PRIMÁRIAS

As fontes primárias constituem-se de artigos, periódicos ou bases de dados que serão úteis para a definição de palavras-chave, e identificação dos principais autores e artigos relevantes. (CONFORTO, 2011). Para esta RBS, foi estabelecida como base de dados principal a SCOPUS (<http://www.scopus.com>), por esta indexar diversas outras bases de dados importantes, e apresentar um robusto mecanismo de busca, filtro de resultados e organização de listas. Por apresentar grande relevância na área de fabricação digital, design paramétrico e generativo, foi utilizada como base secundária a CumInCAD (<http://papers.cumincad.org/>), por esta reunir publicações de proeminentes congressos da área, sendo estes: ACADIA, CAADRIA, eCAADe, SIGraDi, ASCAAD e CAAD futures. Soma-se as fontes primárias o artigo intitulado “*The mass customization decade: An updated review of the literature*” (Flavio S.Fogliatto, Giovani J.C. da Silveira, Denis Borenstein, 2012), por este ser um estudo de revisão sistemática referência na área da customização em massa.

Fonte 01: SCOPUS (<http://www.scopus.com>)

Fonte 02: CumInCAD (<http://papers.cumincad.org/>)

Fonte 03: *The mass customization decade: An updated review of the literature*

1.4. STRINGS DE BUSCA

Conforto (2012) explica que para criar a *String* de busca é necessário identificar as palavras e termos referentes ao tema de pesquisa, testa-las e adaptalas em conjunto a operadores lógicos.

Com o intuito de otimizar os resultados e identificar estudos que abordam relações entre as variáveis da pesquisa, foi constituída a seguinte *String*, após diversos testes:

TITLE-ABS-KEY ((("mass customization" OR "personalization") AND ("computational design" OR "generative design" OR "parametric" OR "paramétrico" OR "grasshopper" OR "generative modeling") OR ("makerspace" OR "maker movement") OR "furniture")))

Na Figura 02 é demonstrada a estratégia de construção da string, em que a temática principal (Customização em Massa) é fixa, e relacionada com um operador lógico “AND” as demais variáveis.

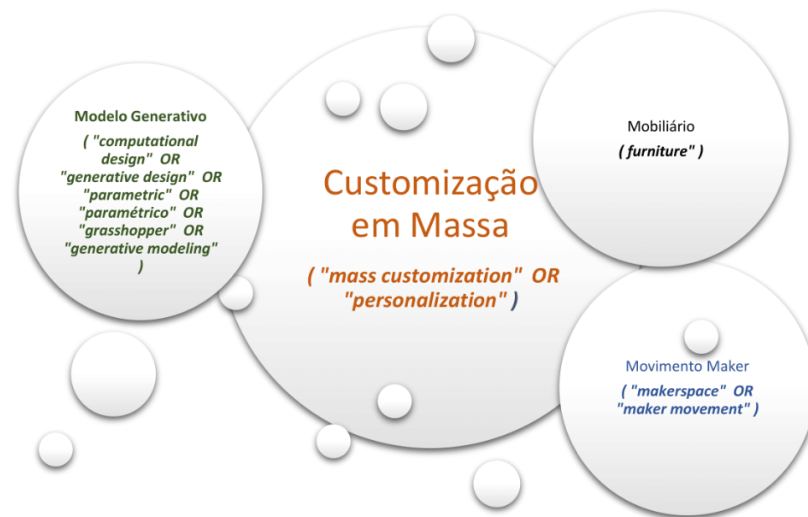


Figura 2 – *Strings* de Pesquisa Fonte: do Autor.

1.5. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Para a definição dos critérios de inclusão dos artigos é preciso levar em conta os objetivos da pesquisa. Para esta etapa, foi utilizado como base os critérios definidos por Ellwanger, 2011.

Como critérios de inclusão foram considerados:

- a) artigos publicados no período de 2008 a 2018,
- b) temática nas áreas de engenharia, design e sociais aplicadas.
- c) trabalhos avaliados por pares.
- d) palavras-chave pertinentes aos objetivos da RBS.

Para os critérios de exclusão foram definidos:

- a) a indisponibilidade do trabalho em sua íntegra,
- b) trabalhos que não apresentem indícios de relação com o foco desta pesquisa identificáveis pelo título e palavras chaves,
- c) artigos que não façam referência à concepção ou uso de modelos (verificável pela leitura do abstract),
- d) artigos repetidos (devido a utilização de mais de uma base de consulta)

1.6. CRITÉRIOS DE QUALIFICAÇÃO

O uso de critérios de qualificação dos artigos é especialmente útil para avaliar a importância do artigo para o estudo. É preciso observar elementos do artigo tais como: método de pesquisa utilizado, a quantidade de citações do artigo, o fator de impacto da revista que o artigo foi publicado, dentre outros. (CONFORTO, 2011). Os critérios de qualificação utilizados foram baseados em Ellwanger, 2011.

Critério	Descrição
(C1)	O estudo estabelece relação entre a customização em massa e as demais variáveis?
(C2)	O estudo apresenta proposta, aplicação prática ou experimento?
(C3)	O estudo apresenta metodologia clara?
(C4)	Imagens, gráficos e tabelas são claros e compreensíveis?
(C5)	A conclusão ou as considerações finais apresentam os benefícios e limitações do estudo e oferecem direcionamentos para trabalhos futuros?

Fonte: O Autor.

1.7. MÉTODOS E FERRAMENTAS

A definição do método de busca e ferramentas envolve definir as etapas para a condução das buscas, definir os filtros de busca, como será realizado a busca nos periódicos e bases de dados, como os resultados serão armazenados, etc. (CONFORTO, 2011)

Etapa 01: Aplicação/Extração: A *String* é aplicada nas bases de dados selecionadas.

Etapa 02: Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Os dados são armazenados na Lista 01.

Etapa 03: Análise de Títulos: Seleção preliminar de estudos que demonstrem relação com o tema. Os dados são armazenados na Lista 02.

Etapa 04: Leitura de resumos e seleção de artigos que apresentam conformidade com os critérios, além de pertinência para com os objetivos desta RBS.

Etapa 05: Leitura dos estudos na íntegra.

Etapa 06: Avaliação conforme critérios de qualidade.

Etapa 07: Análise e síntese.

2.0. PROCESSAMENTO

2.1. CONDUÇÕES DAS BUSCAS

As buscas iniciais foram realizadas a partir das *Strings* de pesquisa testadas anteriormente, diretamente nos sistemas de buscas das Bases de Dados. Na Fonte 01 (SCOPUS) os filtros foram aplicados diretamente no sistema. Na Fonte 01 (CumInCAD), as pesquisas foram filtradas a partir de planilha gerada na busca inicial.

Base de Dados SCOPUS (Fonte 01):

Resultados	Filtro 01: Ano de Publicação	Filtro 02: Temática	Filtro 03: Tipo	Filtro 04: Palavras-chave
193	158	150	134	111

Fonte: O Autor.

Na base de dados SCOPUS, obteve-se um total de 111 estudos após os critérios de inclusão.

Base de Dados CumInCAD (Fonte 02):

Resultados	Filtro 01: Ano de Publicação	Filtro 02: Temática	Filtro 03: Tipo	Filtro 04: Palavras-chave
76	58	12	12	12

Fonte: O Autor.

Na base de dados CUMinCAD, obteve-se um total de 12 estudos após os critérios de inclusão.

2.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados filtrados e arquivados, foi realizada a leitura de títulos e abstracts, restando para análise completa 10 estudos da Fonte 01, e 04 estudos da Fonte 02. O critério utilizado, além dos filtros de exclusão, foi a pertinência com o tema e objetivos desta RBS.

A seguir são apresentados os estudos selecionados:

Autor	Título	Ano	Periódico
Barni A., Corti D., Pedrazzoli P., Rovere D., Lucisano G.	Mini-factories for Close-to-customer Manufacturing of Customized Furniture: From Concept to Real Demo	2017	Procedia Manufacturing
Khalili-Araghi S., Kolarevic B.	Development of a framework for dimensional customization system: A novel method for customer participation	2016	Journal of Building Engineering
Autor	Título	Ano	Periódico
Nordin A., Motte D., Hopf A., Björnemo R., Eckhardt C.-C.	Constraint-handling techniques for generative product design systems in the mass customization context	2013	Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM
Suzić N., Stevanov B., Čosić I., Anišić Z., Sremčev N.	Customizing products through application of group technology: A case study of furniture manufacturing	2012	Strojinski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering
Stojanova T., Suzic N., Orcik A.	Implementation of Mass Customization Tools in Small and Medium Enterprises	2012	International Journal of Industrial Engineering and Management
Fettermann D.D.C., Echeveste M.E.S.	Desenvolvimento de produto para customização em massa: Alternativas para o setor de móveis modulados	2011	Espacios
Buffington J.	Comparison of mass customization and generative customization in mass markets	2011	Industrial Management and Data Systems
Gologlu C., Mizrak C.	An integrated fuzzy logic approach to customer-oriented product design	2011	Journal of Engineering Design
Soni S., Khanna P., Tandon P.	Multi-agent feature based shape grammar implementation for concept generation of industrial product design	2010	Computer-Aided Design and Applications
Li L., Huang G.Q., Newman S.T.	A cooperative coevolutionary algorithm for design of platform-based mass customized products	2008	Journal of Intelligent Manufacturing
Demirli K., Yimer A.D.	Fuzzy scheduling of a build-to-order supply chain	2008	International Journal of Production Research
Vincent, Charles C; Sampaio Nardelli Eduardo; Nardin Lia Raquel	Parametrics in Mass Customization	2010	SigraDI 2010 Proceedings
Castro e Costa, Eduardo; Duarte, José Pinto	Tableware Shape Grammar	2013	ECAADE 2013 Proceedings
Brandão, Filipe, Paio, Alexandra ; Whitelaw, Christopher	Mapping Mass Customization	2017	ECAADE 2017 Proceedings
Barros, Mário; Duarte José, Chaparro Bruno	Thonet Chairs Design Grammar: a Step Towards the Mass Customization of Furniture	2011	CAAD Futures 2011

Após a leitura dos estudos selecionados, estes passaram pela análise a partir dos critérios de qualidade definidos anteriormente. Os estudos que não atenderam a pelo menos a avaliação “3.0” foram excluídos da fase de análise e síntese de resultados.

Autor	Título	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
Barni A., Corti D., Pedrazzoli P., Rovere D., Lucisano G.	Mini-factories for Close-to-customer Manufacturing of Customized Furniture: From Concept to Real Demo	0.5	1	0.5	0.5	0.5	3.0
Khalili-Araghi S., Kolarevic B.	Development of a framework for dimensional customization system: A novel method for customer participation	0	1	1	1	1	4
Nordin A., Motte D., Hopf A., Björnemo R., Eckhardt C.-C.	Constraint-handling techniques for generative product design systems in the mass customization context	1	1	0.5	0.5	1	4
Suzić N., Stevanov B., Čosić I., Anišić Z., Sremčev N.	Customizing products through application of group technology: A case study of furniture manufacturing	0	0.5	0.5	0.5	1	2.5
Stojanova T., Suzic N., Orcik A.	Implementation of Mass Customization Tools in Small and Medium Enterprises	1	1	0.5	0.5	0	3
Fettermann D.D.C., Echeveste M.E.S.	Product development for mass customisation: Alternatives to the modular furniture industry [Desenvolvimento de produto para customização em massa: Alternativas para o setor de móveis modulados]	1	0.5	1	1	1	4.5
Buffington J.	Comparison of mass customization and generative customization in mass markets	1	0	1	1	1	4
Gologlu C., Mizrak C.	An integrated fuzzy logic approach to customer-oriented product design	1	1	0.5	1	0.5	4
Soni S., Khanna P., Tandon P.	Multi-agent feature-based shape grammar implementation for concept generation of industrial product design	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5

Tanenbaum, J.G., Williams, A.M., Desjardins, A., Tanenbaum, K.	Democratizing Technology: Pleasure, Utility and Expressiveness in DIY and Maker Practice	0.5	0	1	0	0.5	2
Vincent, Charles C; Sampaio-Nardelli Eduardo; Nardin-Lia Raquel	Parametrics in Mass Customization	0.5	1	0	0.5	0.5	2.5
Castro e Costa, Eduardo; Duarte, José Pinto	Tableware Shape Grammar	0.5	1	1	1	1	4.5
Brandão, Filipe, Paio, Alexandra ; Whitelaw, Christopher	Mapping Mass Customization	0.5	1	0.5	0.5	1	3.5
Barros, Mário; Duarte José, Chaparro Bruno	Thonet Chairs Design Grammar: a Step Towards the Mass Customization of Furniture	1	0.5	0.5	0.5	1	3.5

Fonte: O Autor.

Por fim, foram excluídos 03 estudos na fase de avaliação a partir dos Critérios de Qualidade, restando 11 estudos para avaliação. Um estudo encontrado nos anais do Congresso Sigradi 2018 foi incluído, por apresentar alta relevância para a pesquisa e ainda não constar nas bases de dados consultadas, totalizando 12 trabalhos para análise.

3.0. SAÍDA

3.1. SÍNTESE E RESULTADOS

Abaixo são apresentadas as contribuições

Autor	Título	Contribuições
BARNI	Mini-factories for Close-to-customer Manufacturing of Customized Furniture: From Concept to Real Demo	O estudo apresenta a implementação de um modelo de mini-fabrica de mobiliário customizável de fabricação digital no interior de um Shopping Center, onde o consumidor edita suas preferências em modelos CAD paramétricos, e a fabricação se dá no mesmo momento. A avaliação se dá a partir de questionário estruturado com os fabricantes participantes da pesquisa-ação, e os dados coletados são de abordagem qualitativa. No estudo, é comprovada a viabilidade da customização em massa por pequenas empresas em pequenos centros de fabricação digital, corroborando para o objetivo de pesquisa de averiguar a viabilidade de fabricação customizável em espaços maker.

KHALILI	Development of a framework for dimensional customization system: A novel method for customer participation	Apesar do estudo ser voltado ao mercado da construção civil, apresenta um sólido framework que pode ser adaptado ao design de mobiliários. O framework desenvolvido utiliza-se de ferramentas paramétricas, definição de regras e aborda questões de interface e relação com o consumidor. Além do desenvolvimento de um framework, o estudo o valida a partir de um estudo de caso, revelando-se uma importante fonte metodológica.
NORDIN	Constraint-handling techniques for generative product design systems in the mass customization context	O estudo aborda o uso de modelos generativos de formas complexas e fabricação digital para a personalização de mobiliários, a partir de uma pesquisa-ação utilizando o projeto de uma mesa. A contribuição reside no caminho de desenvolvimento apresentado bem como formato de avaliação dos resultados.
STOJANOVA	Implementation of Mass Customization Tools in Small and Medium Enterprises	O artigo aborda, a partir de estudo de caso, estratégias para a implementação de customização em massa de mobiliários em pequenas e médias empresas. Propõe uma forma de avaliação do consumidor e um sistema web de customização. Ao fim, valida a possibilidade da utilização da CM por pequenas e médias empresas. A forma de avaliação e configuração dos produtos pode ser utilizada na pesquisa.
FETTERMAN	Desenvolvimento de produto para customização em massa: Alternativas para o setor de móveis modulados	O estudo aborda a customização em massa de mobiliários a partir da análise do processo produtivo de empresas de mobiliário planejado no Brasil, bem como propões a implementação do conceito "Design Mass Customization". A metodologia é muito bem descrita e deve basear etapas da pesquisa. Além disto, o estudo aponta deficiências e oportunidades detectadas no processo de customização de mobiliários nacionais.
BUFFINGTON	Comparison of mass customization and generative customization in mass markets	Apresenta a diferenciação entre os conceitos de CM e GC, estabelecendo as vantagens de um sobre o outro, bem como as necessidades de cada tipo de customização. A partir de pesquisa <i>survey</i> , relata a ambivalência entre a produção em massa e a customização em massa na visão do consumidor. Como proposta de geração de valor e aumento da complexidade dos objetos customizáveis, propões o uso de algoritmos e design generativo.
GOLOGLU	An integrated fuzzy logic approach to customer-oriented product design	O estudo aborda a lógica <i>Fuzzy</i> e sua relação com os parâmetros de customização como forma de interpretar os desejos do consumidor na customização de produtos com modelos generativos, propondo uma abordagem de configuração diferente da usual. O uso desta forma de configuração pode ser aplicada na pesquisa. Como forma de validação, um estudo de caso é proposto. Este estudo de caso pode ser utilizado como base para a proposta e validação de interface.

CASTRO E COSTA	Tableware Shape Grammar	Apesar de não se tratar de aplicação em mobiliários, estabelece uma forma de customização de produtos utilizando a gramática da forma, utilizando o software Grasshopper 3D, que será utilizado na pesquisa. O uso de gramática da forma é apontado como promissor na área da customização em massa, por viabilizar a criação de produtos a partir de “vocabulário” definido pelo projetista. A metodologia de construção do objeto de estudo (pratos) é bem demonstrada e pode contribuir na pesquisa.
BRANDÃO	Mapping Mass Customization	O estudo aborda uma forma de aferir qualitativamente o nível de customização possível em produtos e serviços, a partir da criação de um gráfico de eixos. É uma forma interessante de avaliação, com indicadores baseados em teorias anteriores, que pode ser utilizado para avaliação do experimento na pesquisa.
BARROS	Thonet Chairs Design Grammar: a Step Towards the Mass Customization of Furniture	Aborda a customização em massa com uso de algoritmos e representação tridimensional de uma cadeira thonet, utilizando-se da gramática da forma. O experimento e avaliação são bem demonstrados. Este estudo faz parte de um projeto de tese que deve ser investigado após a conclusão desta RBS.
STRALEN	Mass Customization: a critical perspective on parametric design, digital fabrication and design democratization	O estudo revelou alta pertinência para com o tema de pesquisa. Apresenta relações entre a customização em massa, design paramétrico e a customização em massa. Define termos e sugere caminhos para uma democratização do design (de encontro a temática do mobiliário maker). Insere o conceito “Circular Information Flows”, em que o papel dos agentes que viabilizam a customização em massa é compartilhado e colaborativo. Ao fim, sugere que uma forma de democratizar o design é oferecer customização de produtos com a alteração de módulos de algoritmos, prática comum entre os usuários do <i>software Grasshopper 3D</i> .

3.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da RBS foi possível concluir que Customização em Massa (CM) já apresenta um grau de maturidade como conceito no campo da pesquisa, sendo definido atualmente como prioridades de estudo os sistemas necessários para sua implementação, bem como estratégias para sua difusão em empresas de pequeno porte. Apesar de não ter sido encontrado estudo relacionando a customização em massa e espaços *maker*, um dos objetivos da RBS, BARNI (2017) em seu estudo implementa um teste piloto com o uso de uma mini fábrica no interior de um shopping center, possibilitando a customização de produtos adquiridos em uma pequena loja. Este conceito pode ser transferido para o uso dos *makerspaces*, oriundos do

“movimento *maker*”, em que há uso de ferramentas de fabricação digital e o uso de produção distribuída. Outra relação encontrada ao movimento maker diz respeito a Stralen, 2018, que aponta a customização em massa, a partir não somente de parâmetros, mas sim com a troca, disseminação e colagem de códigos é possível atingir uma “democratização” do design. Esta democratização vai em encontro ao movimento *maker*.

Alguns sistemas de modelagem CAD foram apontados nos estudos. Dentre os sistemas está o próprio modelo paramétrico ou generativo de projeto. Segundo Stralen (2018), a capacidade do design paramétrico para gerar variações produtos sob medida onde os usuários podem manipular o parâmetros, combinados com a capacidade de fabricação para fazer essa variedade os aspectos mais profundos do uso contemporâneo de computação em arquitetura (e design). A ausência de estudos que abordem o uso do software Grasshopper 3D ou mesmo diretrizes de projeto paramétrico voltados a customização ou personalização de mobiliários evidencia o fator de novidade do projeto de pesquisa. Avanços na modelagem generativa foram destacados, principalmente em Gologlu (2008) e Fetterman (2017). Ambos estudos recomendam o uso da técnica e propõe direções de pesquisa, como interfaces, análise no próprio modelo e lógica de implementação dos modelos.

Dentre as recomendações de futuros trabalhos encontradas, destacam-se: “[...] oportunidade da aplicação de diversas práticas e técnicas do DFMC para o desenvolvimento do setor, tais como:

“**métodos para o projeto de produtos direcionado a CM**, técnicas de apoio e controle do desenvolvimento de plataformas de produto e utilização de configurador de produto via web.” (FETTERMAN, 2011);

“Finalmente, a adaptação mais ampla da **personalização dimensional e validação de projeto** poderia ser examinada através de novas plataformas de sites que permitem design, visualização, configuração e avaliação de soluções.” (Khalili-Araghi, 2016)

Um aspecto recorrente foi o crescente uso e pesquisa sobre modelos generativos voltados para a customização em massa de produtos, por estes ampliarem a liberdade de customização, utilizando-se de algoritmos evolutivos. O software utilizado na pesquisa permite o uso deste tipo de algoritmo, e pode ser uma das estratégias de implementação a considerar.

Na análise foi possível verificar conceitos, abaixo descritos:

Customização em Massa (CM): “Consiste em uma estratégia para atender a crescente fragmentação do comportamento do mercado mantendo as vantagens de escala de produção. Para isto, os consumidores devem ser pensados como únicos, sendo indispensável a sua integração ao processo de customização a fim de poder interpretar suas reais necessidades.” (FETTERMAN, 2017)

Generative Customization (GC): Um sistema de conceituação e concepção de produtos que permite a personalização por meio de um processo de design generativo de ponta, em vez de um envolvimento ativo ou passivo do consumidor no processo, e um sistema de cadeia de fornecimento que possibilite essa inovação. Portanto, propõe-se que a personalização generativa ofereça maior inovação e personalização no design do produto, em comparação com a produção em massa, e o cumprimento superior da cadeia de suprimentos para a customização em massa. (BUFFINGTON, 2011)

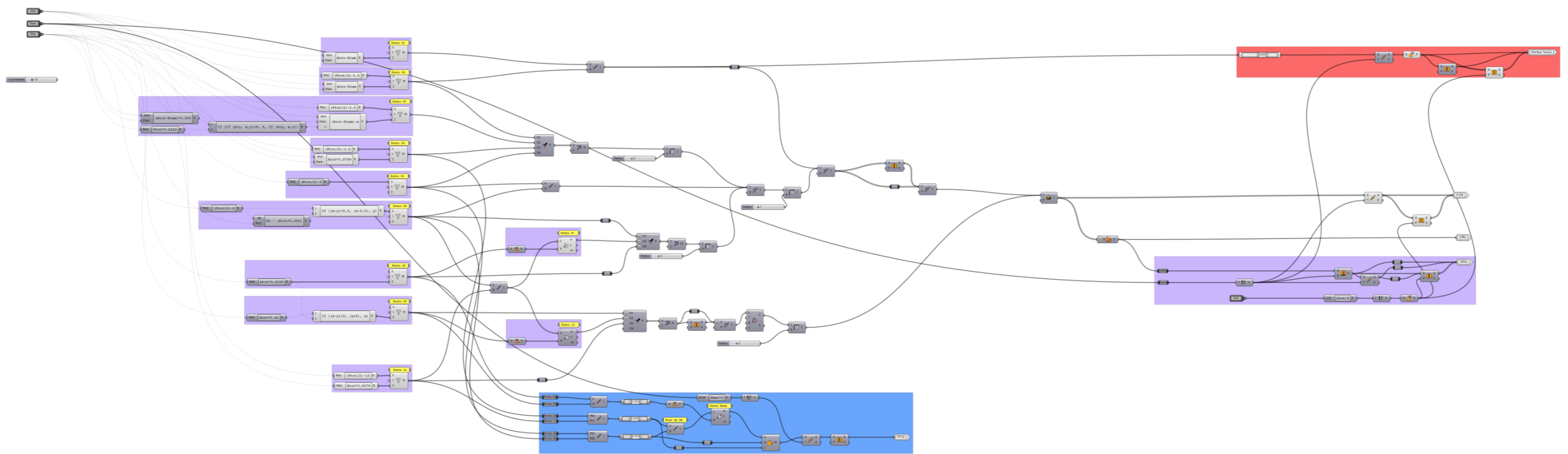
Design for Mass Customization (DFMC): “[...] o DFMC busca considerar as questões de economia de escopo e escala desde as fases iniciais do desenvolvimento de produto. Para atingir estes objetivos, o escopo de desenvolvimento de produto é ampliado desde um produto único para incorporar o projeto simultâneo de uma família de produtos, incorporando o processo de venda, marketing, distribuição e serviços” (FETTERMAN, 2017).

Modularidade: O conceito de modularidade é definido como a estratégia para organizar produtos e processos complexos de forma a economizar recursos (Baldwin; Clark, 2000). Enquanto que a plataforma de produto é definida como a utilização de um conjunto de componentes, módulos ou partes comuns que compõem uma quantidade maior de produtos que podem ser rapidamente desenvolvidos e lançados.

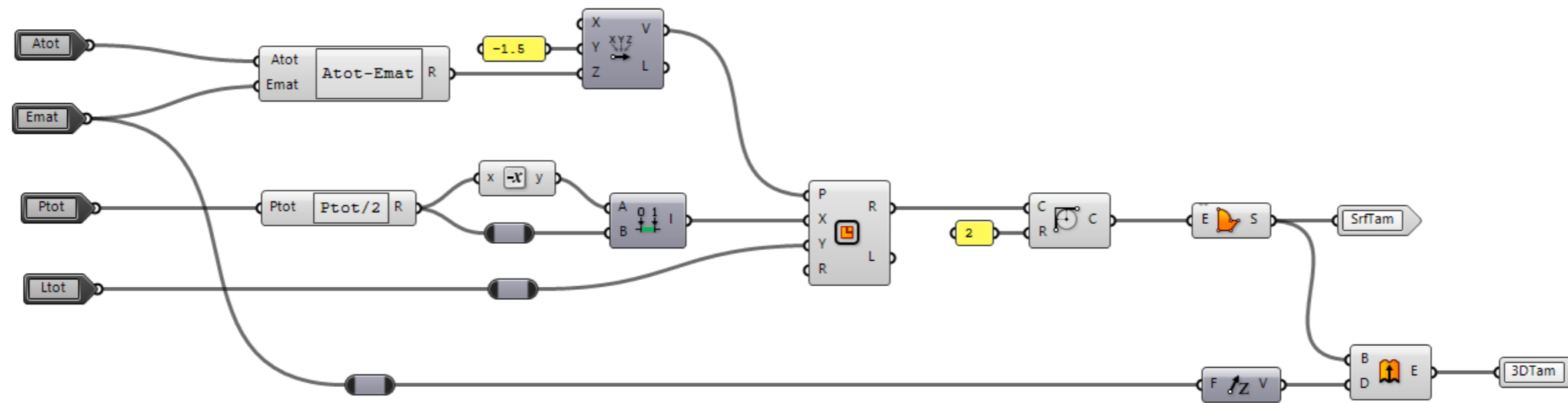
Meta-Design: Interfaces de projeto desenvolvidas para permitir a criação de interfaces de projeto. (Stralen, 2018). Estas interfaces funcionam como ambientes de criação paramétricos, em que o usuário propõe novos produtos livremente.

Por fim, esta RBS contribuiu para o entendimento do estado da arte em pesquisa de customização em massa de mobiliários, apresentou modelos de viabilização da técnica, sua aplicação em pequenas e médias empresas e lacunas de pesquisa que podem ser utilizadas para direcionamento da pesquisa. A relevância da pesquisa foi confirmada, bem como metodologias para aplicação foram conhecidas. Esta RBS, por tratar-se de um estudo produzido no intervalo de um trimestre, deve prosseguir, a fim de esgotar as possibilidades apontadas nos objetivos.

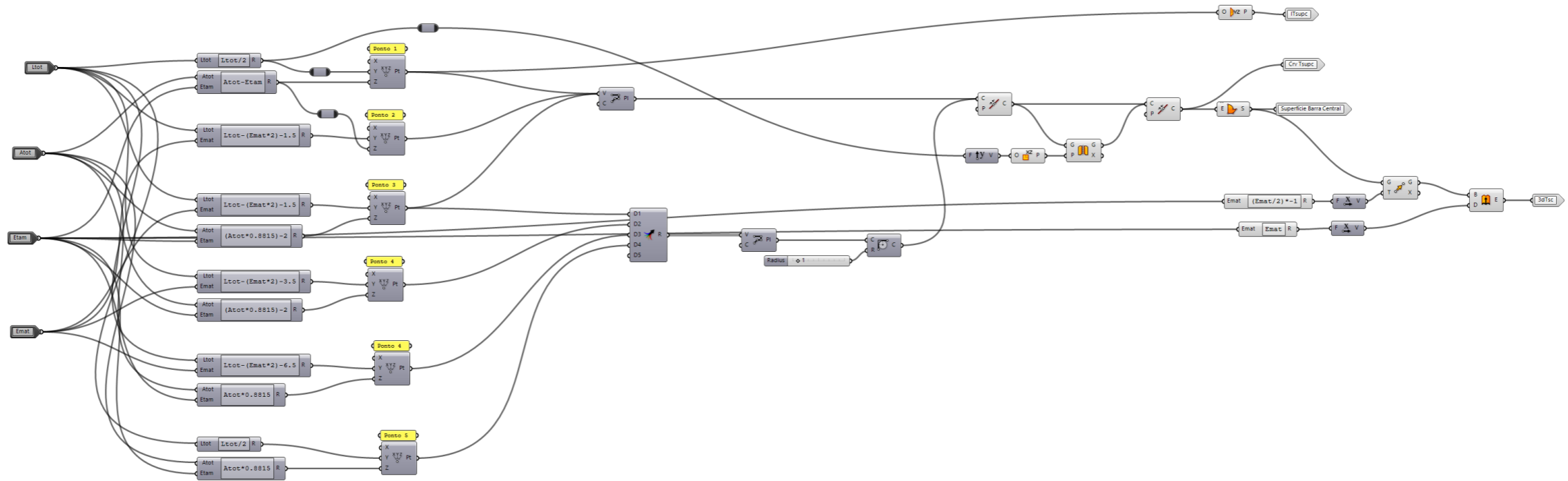
APÊNDICE B – Esquemas Paramétricos Módulo Pés



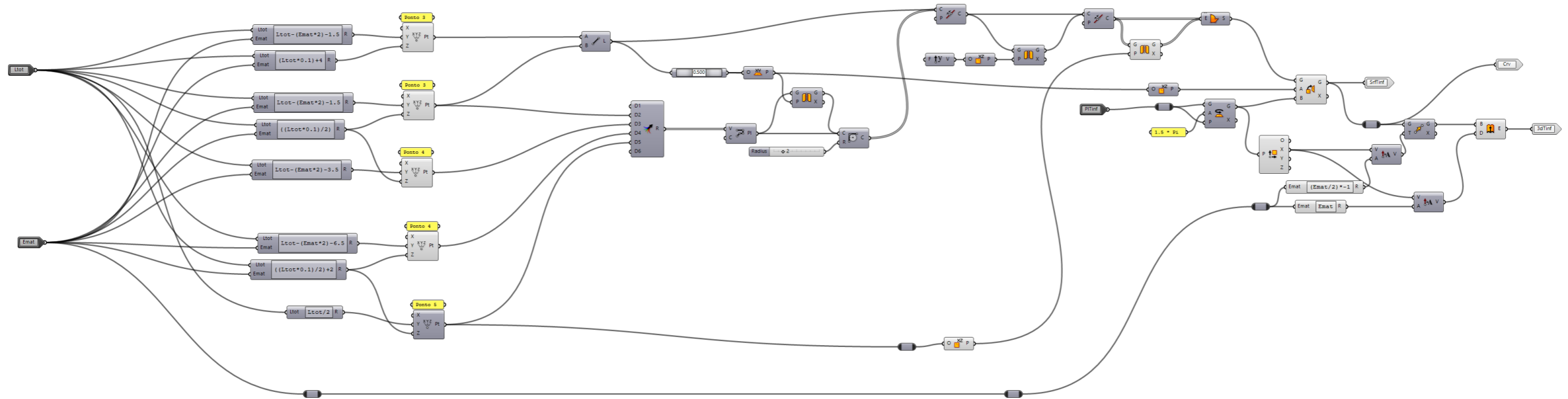
Módulo Tampo



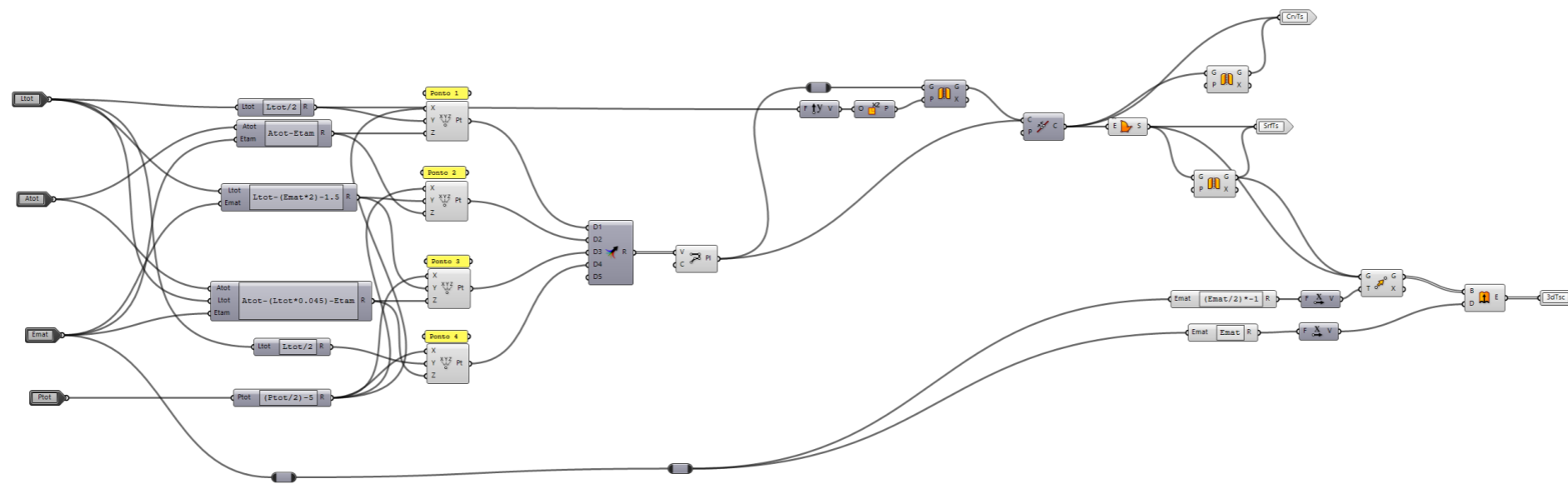
APÊNDICE B – Esquemas Paramétricos Módulo Trave Superior Central



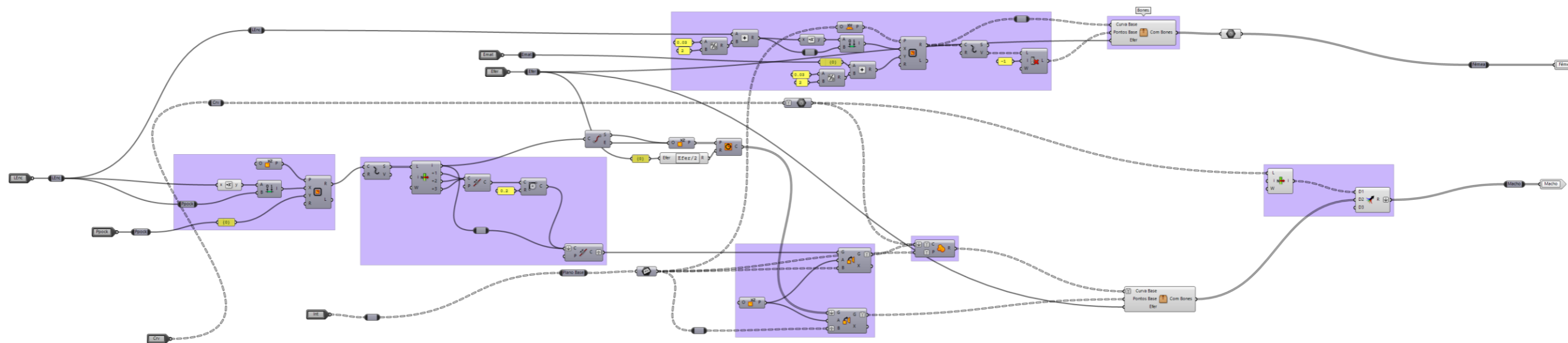
Módulo Trave Inferior



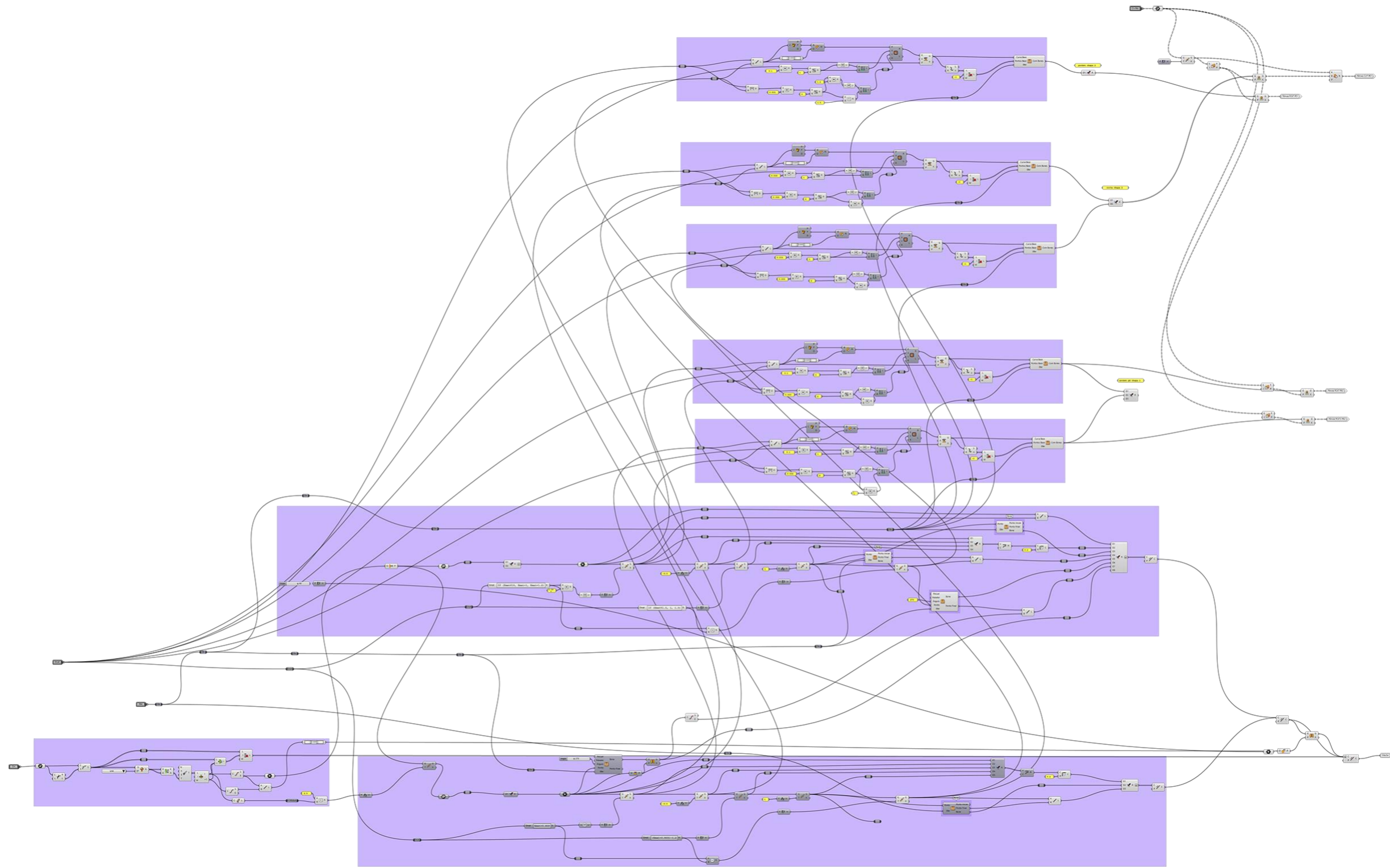
APÊNDICE B – Esquemas Paramétricos Módulo Traves Superiores



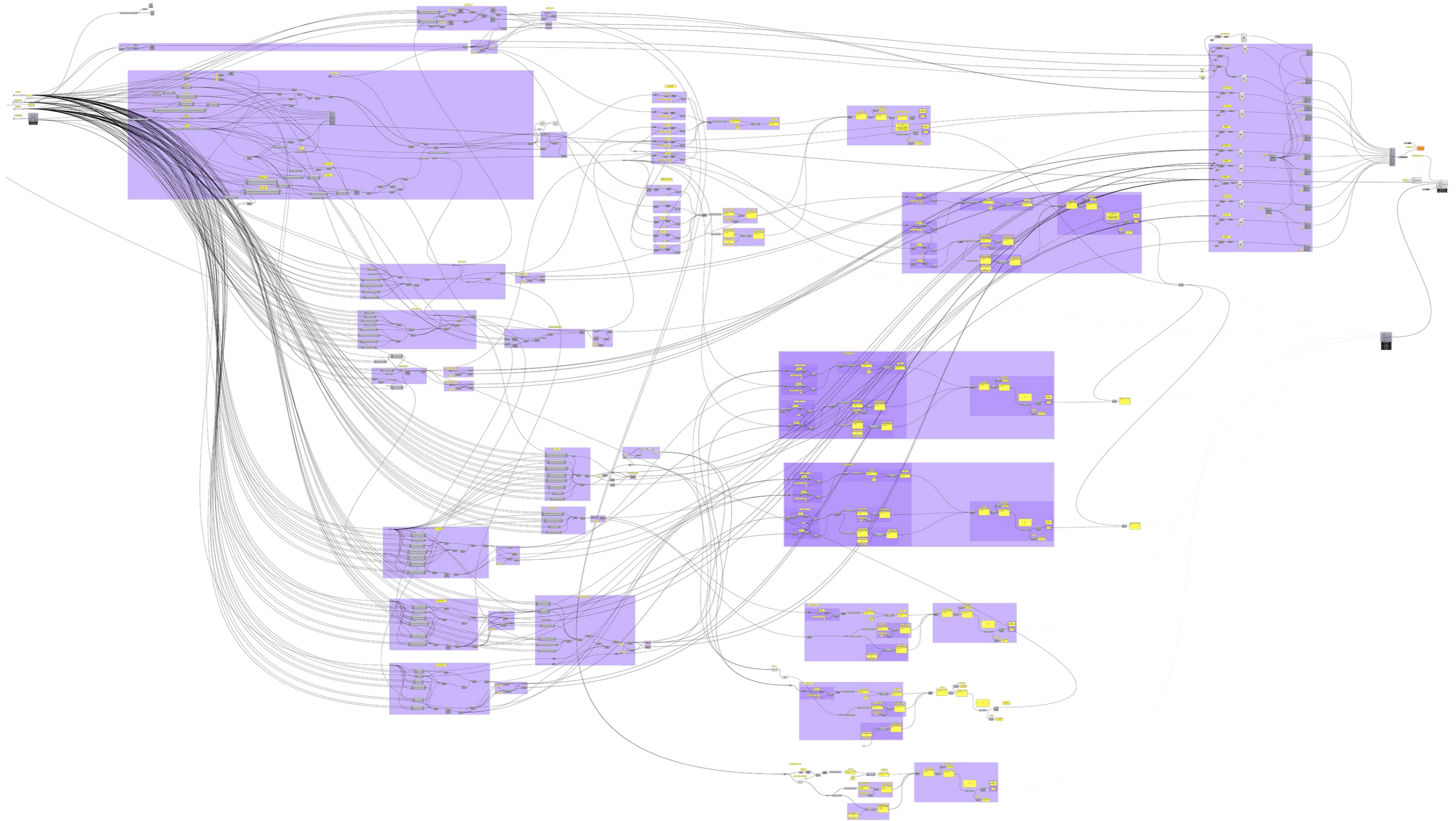
Interface Pós-Tampo



**APÊNDICE B – Esquemas Paramétricos
Interface Pós-Traves**



APÊNDICE B – Esquemas Paramétrico Completo



Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), responsável pela bolsa de Mestrado concedida, para desenvolvimento da pesquisa Sistema De Customização De Mobiliário Paramétrico Aplicado Ao Contexto Maker, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Underléa Miotto Bruscato, no programa de pós-graduação em Design (PGDesign) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.