

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

FERNANDO AUGUSTO CAPUZZO DE LIMA

**PROPOSTA DE UM MODELO DE REFERÊNCIA
DE PROCESSO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
INTEGRADO COM OS SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO**

JUIZ DE FORA

2016

FERNANDO AUGUSTO CAPUZZO DE LIMA

**PROPOSTA DE UM MODELO DE REFERÊNCIA
DE PROCESSO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
INTEGRADO COM OS SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora, linha de pesquisa: Gestão do Ambiente Construído, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Orientador: D.Sc. Marcos Martins Borges

JUIZ DE FORA

2016

Capuzzo de Lima, Fernando Augusto.

Proposta de um modelo de referência de processo para o desenvolvimento de produtos integrado com os sistemas generativos de projeto / Fernando Augusto Capuzzo de Lima. -- 2016.

134 p.

Orientador: Marcos Martins Borges

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2016.

1. Projeto algorítmico. 2. Softwares paramétricos. 3. Modelo de referência. I. Martins Borges, Marcos, orient. II. Título.

FERNANDO AUGUSTO CAPUZZO DE LIMA

**PROPOSTA DE UM MODELO DE REFERÊNCIA
DE PROCESSO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
INTEGRADO COM OS SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora, linha de pesquisa: Gestão do Ambiente Construído, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Aprovado em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Marcos Martins Borges (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª. D.Sc. Maria Aparecida Steinherz Hippert
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Paulo Roberto Pereira Andery
Universidade Federal de Minas Gerais

À minha esposa Larissa que esteve sempre ao meu lado me apoiando e incentivando diante das dificuldades, visando minha formação pessoal e profissional. A você o meu eterno agradecimento.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Juiz de Fora.

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído - PROAC.

Aos professores do curso pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas que me acompanharam nesta jornada.

Ao meu orientador Professor Marcos Martins Borges pelo apoio na concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as
grandes coisas do homem foram conquistadas
do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

Em um cenário de constantes mudanças tecnológicas e sociais, as crescentes complexidades do projeto contemporâneo vêm aumentando significativamente. O uso de softwares com abordagens paramétricas na exploração de projetos tem facilitado a automação dos demorados processos de desenho manual e permitido a introdução de alterações em fases posteriores do projeto. A inclusão do projeto algorítmico na prática projetual leva a necessidade de repensar o processo de projeto com base em conceitos não-lineares, isso porque sua construção está vinculada a um histórico projetual explícito. O enfoque deste trabalho foi o processo de desenvolvimento de um produto (PDP). O objetivo foi propor um modelo de referência de processo, que integrado com os Sistemas Generativos de Projeto (SGP), permitiu entender a sistemática da modelagem tridimensional nos softwares Rhinoceros e Grasshopper. Para que esse objetivo fosse alcançado foi utilizada a metodologia *Design Science Research*, onde foram analisados dois estudos de caso e desenvolvido um estudo exploratório intitulado de “Mesa dinâmica: uma experiência de mobiliário generativo”. Essa experimentação prática nos permitiu entender o fluxo de informações de um PDP quando associado aos SGP. O ato de tornar o processo explícito pode contribuir como um método estruturado na aplicação dos princípios lógicos do projeto algorítmico, agindo como uma lista de verificação no desenvolvimento de futuros projetos e promovendo uma comunicação mais rápida e eficiente entre os vários projetistas.

Palavras-chave: Projeto algorítmico, softwares paramétricos, modelo de referência.

ABSTRACT

The contemporary design complexities have significantly increased in a scenario of continuous technological and social changes. Using parametric approach-based softwares to explore designs helps automating time-consuming hand drawing processes and allows making changes in later stages of the design. The algorithmic design inclusion into design practices leads to the need to rethink the design process based on non-linear concepts, since its construction is linked to an explicit design history. The current study focuses on the product development process (PDP). It has the aim of proposing a process reference model that, in articulation with Generative Design Systems (GDS), allows understanding how three-dimensional modeling operates in softwares such as Rhinoceros and Grasshopper. Thus, a Design Science Research methodology that included the analysis of two case studies as well as the development of an exploratory study entitled "Dynamic table: a generative furniture experience" was used. This practical experimentation allowed understanding the information flow of a GDS-associated PDP. Making this process explicit may work as a structured method to apply the logical principles of algorithmic design. It may also work as a checklist in the development of future designs and provide faster and more efficient communication between different designers.

Keywords: Algorithmic design, parametric softwares, reference model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos a serem trabalhados na proposição do PDP com SGP.....	22
Figura 2: Procedimentos metodológicos do trabalho	23
Figura 3: Visualização do espaço do problema	29
Figura 4: Formulação do projeto conceitual	30
Figura 5: Aplicação de métodos digitais no processo de projeto.....	33
Figura 6: Variâncias de uma mesma ideia	34
Figura 7: Analogia projetual (folha de árvore)	37
Figura 8: Produzindo um algoritmo para um copo de chá	40
Figura 9: Evolução do desenho de um cubo ao longo do tempo	41
Figura 10: Representação de um componente com suas portas de entrada e saída	41
Figura 11: Geometria produzida por um projeto algorítmico	42
Figura 12: Composição de um algoritmo de triangulação	42
Figura 13: Componente “Series”.....	43
Figura 14: Componente “Ponto XYZ”	43
Figura 15: Conexão do componente “Series” com o componente “Ponto X,Y,Z”	44
Figura 16: Projeto algorítmico de uma torre	44
Figura 17: Espaço paramétrico – Ponto	45
Figura 18: Espaço paramétrico – Superfície	46
Figura 19: Estratégias do projeto algorítmico para uma parede	47
Figura 20: Diferença entre processo e projeto	49
Figura 21: Diferentes projetos resultantes de um mesmo processo	49
Figura 22: PDP genérico de Ulrich e Eppinger	51
Figura 23: Atividades relacionadas ao desenvolvimento de conceitos	53
Figura 24: Exemplos de diagramas de fluxo de processos	56
Figura 25: Exemplo de um modelo de PDP modificado para oito etapas distintas.....	57
Figura 26: Estrutura de torneio para identificação de oportunidades	57
Figura 27: Layout geométrico de uma impressora DeskJet	63
Figura 28: Planejamento estratégico para o espaço de solução a ser adotada	67
Figura 29: Desenvolvimento do conceito	68
Figura 30: Projeto inicial do balcão	68
Figura 31: Parametrização do processo de geração do modelo de massa	71
Figura 32: Controle dos pontos (x,y) para geração da massa conceitual do balcão.....	71

Figura 33: Projeto algorítmico (33a) e modelo físico (33b) do balcão	72
Figura 34: Definição dos pedaços do Balcão Samba	73
Figura 35: Geração dos encaixes por subtração sólida	74
Figura 36: Testes nos modelos virtuais e físicos	75
Figura 37: Resolução dos problemas estruturais	75
Figura 38: Experimentos paralelos	76
Figura 39: Produção e montagem final (Balcão Samba)	77
Figura 40: Visão geral do modelo de processo (Balcão Samba)	79
Figura 41: Princípios de geração da forma resultante (diretriz e geratriz)	85
Figura 42: Conceito desenvolvido para a geração de formas: módulos + transições	86
Figura 43: Critérios adotados para rotação entre dois usuários	87
Figura 44: Parâmetros a serem adotados para o raio gerador dos módulos curvos	88
Figura 45: Vocábulos resultantes conforme a definição das especificações-alvo	89
Figura 46: Regras de combinações entre os vocábulos (com e sem espelhamento)	89
Figura 47: Variação do ângulo de inclinação do tronco para diferentes posições e morfologias de bancos	90
Figura 48: Plano de projeto para uma possível combinação de 7 módulos	91
Figura 49: Vista superior da divisão da diretriz no Rhinoceros em 7 módulos	93
Figura 50: Projeto algorítmico dos perfis no Grasshopper	93
Figura 51: Família de bancos gerados com seleção aleatória de parâmetros	94
Figura 52: Duas partes do banco montadas a partir das seções cortadas	95
Figura 53: Modelo montado em papelão e termoplástico com manequins articulados em madeira	95
Figura 54: Protótipos virtuais dos diferentes módulos gerados no Grasshopper – <i>Input manual</i>	96
Figura 55: Protótipos virtuais gerados para diferentes valores de inclinação do encosto	96
Figura 56: Testes e resultados para algumas das posturas sugeridas – Design final de 2 bancos gerados	97
Figura 57: Visão geral do modelo de processo (Bancos para ler e conversar)	99
Figura 58: Abordagem estratégica definida (Desenho Paramétrico)	103
Figura 59: Estratégias processuais que podem ser adotadas para os SGP	105
Figura 60: Esboço conceitual da mesa de reunião para 10 lugares	106
Figura 61: Detalhamento do plano do processo paramétrico	108

Figura 62: Gerenciamento dos conhecimentos 1 e 2	109
Figura 63: Diagrama de fluxo do processo algorítmico (Pedaço 1 - Tampo)	110
Figura 64: Sequência processual para o subsistema 1.....	111
Figura 65: Sequência processual para o subsistema 2	112
Figura 66: Diagrama de fluxo do processo algorítmico (Pedaço 2 - Base)	113
Figura 67: Sequência processual para o pedaço 2	114
Figura 68: Plano de processo para a geração de formas (miolo do tampo)	115
Figura 69: Malha U, V aplicada ao tampo (Vista superior)	115
Figura 70: Curva da base	116
Figura 71: Sistema de corte por CNC	116
Figura 72: Interface projetual do Rhinoceros e Grasshopper	117
Figura 73: Produtos resultantes das alterações de parâmetros – visualização no Rhinoceros	118
Figura 74: Processo de “assar” a geometria transformando-a em sólidos editáveis	119
Figura 75: Conceitos gerados para a mesa (01 a 06)	120
Figura 76: Cenário criado para o protótipo de apresentação	122
Figura 77: Visão geral do modelo de processo (Mesa de Reunião)	125
Figura 78: Modelo de Referência de Processo integrado com os SGP	128
Figura 79: Processo de modelagem tridimensional (Rhinoceros e Grasshopper)	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ideias geradas durante o processo de projeto	33
Tabela 2: Domínio utilizado para seleção aleatória	94
Tabela 3: Componentes e funções utilizadas para o subsistema 1 - (Planos de vidro)	111
Tabela 4: Componentes e funções utilizadas para o subsistema 2 - (Miolo do tampo) ...	112
Tabela 5: Componentes e funções utilizadas para o pedaço 2 - (Base da mesa)	113

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização	16
1.2 Justificativa	18
1.3 Objetivos	19
1.4 Metodologia	19
1.5 Delimitações da pesquisa	24
1.6 Estrutura do trabalho	24
2. REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1 Sistemas Generativos de Projeto	26
2.1.1 Processo generativo e restrições de projeto	27
2.1.2 Métodos paramétricos	31
2.1.3 Analogias e algoritmos generativos no processo de projeto	36
2.2 Plataforma de Desenvolvimento Gráfico (Rhinceros e Grasshopper)	39
2.2.1 Construção do projeto algorítmico	39
2.2.2 Operando com algoritmos	44
2.2.3 Estratégias do projeto algorítmico	46
2.3 Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)	48
2.3.1 Modelo genérico de PDP	50
2.3.2 Desenvolvimento de conceitos no PDP	53
2.3.3 Diagrama de fluxo de processo	56
2.3.4 Geração de conceitos e identificação de oportunidades	57
2.3.5 Seleção e teste de conceitos	60
2.3.6 Arquitetura do produto	61
2.3.7 Desenvolvimento de protótipos	63
3. OBJETOS DE ESTUDO	65
3.1 Objeto de estudo 1: “Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e Desempenho Estrutural com o uso de Modelos Virtuais e Físicos no Processo de Projeto”	65
3.1.1 Planejamento estratégico	66
3.1.2 Desenvolvimento do conceito	67

3.1.3 Projeto em nível de sistema	68
3.1.4 Modelo paramétrico	69
3.1.5 Planejamento do projeto algorítmico	70
3.1.6 Teste de conceito	72
3.1.7 Planejamento da fabricação e montagem	72
3.1.8 Análise da estrutura	74
3.1.9 Produção piloto	76
3.1.10 Considerações dos autores	77
3.1.11 Conclusões	77
3.2 Objeto de estudo 2: “Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo”	82
3.2.1 Planejamento estratégico do produto	83
3.2.2 Estratégia tecnológica adotada – modelo paramétrico	84
3.2.3 Desenvolvimento do conceito	85
3.2.4 Estabelecimento das especificações-alvo	86
3.2.5 Projeto em nível de sistema – vocábulos e regras de combinação	88
3.2.6 Projeto detalhado	90
3.2.7 Teste e refinamento – aplicação dos parâmetros	92
3.2.8 Produção piloto – prototipagem física e virtual	93
3.2.9 Considerações da autora	97
3.2.10 Conclusões	98
3.3 Estudo Exploratório: “Mesa dinâmica: uma experiência de mobiliário generativo”	100
3.3.1 Planejamento estratégico do projeto	101
3.3.2 Estratégia processual	103
3.3.3 Estratégia tecnológica aplicada – modelo paramétrico	105
3.3.4 Desenvolvimento do conceito	106
3.3.5 Projeto em nível de sistema	107
3.3.6 Projeto algorítmico	109
3.3.7 Projeto detalhado	114
3.3.8 Teste e refinamento – prototipagem analítica	117
3.3.9 Produção piloto – protótipos virtuais	119
3.3.10 Conclusões	122

4. CONCLUSÕES	126
----------------------------	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
---	------------

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em um cenário de constantes mudanças tecnológicas e sociais, as crescentes complexidades do projeto contemporâneo vêm aumentando significativamente. O surgimento de novas ferramentas tecnológicas, sobretudo os softwares com abordagens paramétricas e as técnicas de fabricação digital, têm estimulado a busca por outros processos projetuais mais condizentes com os fenômenos da contemporaneidade (ELOI; CRUZ, 2012).

Hensel et al. (2010) argumentam que nos últimos anos uma das maiores mudanças apresentadas no processo projetual se refere a sua desvinculação com os aspectos puramente representacionais, fundados primordialmente na representação do modelo tridimensional, mas em uma interação mais efetiva entre o projetista e as ferramentas digitais, investigando novos princípios aplicáveis na geração de projetos.

Diversas contribuições têm ajudado a consolidar esse novo cenário. A expansão do conhecimento nas diversas disciplinas como engenharia, arquitetura, biologia e matemática, ocorridas nos últimos 50 anos, passaram a interagir mais efetivamente criando um alicerce favorável a livre experimentação (HENSEL et al., 2010). Para Hazan (2001), a abertura de novos preceitos conceituais permite o homem utilizar o conhecimento multidisciplinar na busca por novas possibilidades de criação, rompendo com padrões ou inércias adquiridas através do tempo, para assim resultar na essência de um novo tipo de projeto, aquele que não está preso aos rigores dos números, mas na expressão da liberdade.

Hazan (2001) argumenta que diversos projetos em todo o mundo já incorporam de alguma maneira a visão da tecnologia da informação, além do viés representativo, destacando que esse novo paradigma computacional vem crescendo e ganhando consistência a cada dia. De acordo com Eloi e Cruz (2012) outros dois paradigmas visaram uma maior integração da informática no apoio ao projeto: o design generativo e o design performativo. O design generativo baseia-se em métodos algorítmicos no intuito de capacitar o computador na criação de soluções projetuais. Neles, não se procura a forma final, mas sim o processo que permite gerar diferentes formas possíveis (a maioria dos processos generativos de projeto é baseada na modelagem paramétrica). Por sua vez, o design performativo recorre à utilização de sofisticados simuladores que avaliam a forma e a materialidade propostas pela solução frente a critérios de desempenho pré-estabelecidos (ELOI; CRUZ, 2012).

Recentemente um novo paradigma emergiu: os Sistemas Generativos de Projeto (SGP). Esses sistemas apresentam uma abordagem mais completa do potencial da ferramenta computacional ao combinar os dois paradigmas anteriores. Assim, o computador deixa de ser uma mera ferramenta representacional passando a contribuir de forma ativa tanto nos processos de concepção quanto no apoio às diversas decisões de projetos (CALDAS; NORFORD, 1999). Para Hazan (2001), esse novo paradigma é baseado na velocidade de geração de novas soluções, além da possibilidade contínua de alterações nos diversos parâmetros geradores.

Caldas e Norford (1999) argumentam que uma das principais vantagens dos SGP é que as soluções projetuais são delineadas através de técnicas de simulação progressiva das variáveis de desempenho (otimização), utilizando para isso algoritmos evolucionários. Segundo Frazer (1995 apud KOLAREVIC, 2000), os algoritmos evolucionários são capazes de simular o modelo do processo de evolução da natureza, utilizando-o como um meio referencial na orientação de derivações da forma. Khabazi (2012) define um algoritmo como sendo um conjunto de normas e instruções que sustentado em um procedimento semelhante a um passo a passo realiza cálculos desejados, procedendo a uma determinada tarefa. Assim, para um conjunto de dados de entrada um algoritmo irá executar suas operações predefinidas e calcular o resultado de saída.

De acordo com Caldas e Norford (1999) o uso de softwares com abordagens paramétricas vem sendo utilizados em diversos escritórios especializados e tem facilitado a automação dos demorados processos de desenho, principalmente com relação às alterações realizadas em fases posteriores do projeto. Para Khabasi (2012), os projetistas contemporâneos lidam com os algoritmos como uma ferramenta computacional de apoio as diferentes tarefas de projeto. Terzidis (2006) ressalta que a prática do projeto associada à aplicação de algoritmos gera uma forte presença dos meios digitais no processo de projeto causado pela informatização do ato projetual.

Menges (2012) ressalta que essa nova era da computação altera profundamente o processo de projeto, visto que o ato de cálculo e raciocínio refere-se agora ao processamento da informação, tratando-se de um conjunto de técnicas e métodos que aplicados em certos casos específicos geram determinados resultados pretendidos. Os SGP introduzem um novo conceito metodológico na abordagem ao projeto, o projeto orientado para objetivos (*goal oriented design*). Com esses sistemas os projetistas estabelecem primeiramente os objetivos que um determinado projeto se propõe a resolver, para posteriormente elaborar um conjunto

de regras e restrições que definem o estilo a que as formas deverão obedecer e o universo de possibilidades que o processo generativo poderá explorar (CALDAS; NORFORD, 1999).

1.2 JUSTIFICATIVA

A definição de estruturas conceituais relacionadas à construção de processos de mapeamento geradores vem ganhando importância nos últimos anos, pois são as bases de criação para novas ferramentas de projeto, principalmente as que operam nas áreas de engenharia e arquitetura. Esses processos atuam como indutores de soluções alternativas a fim de explorar novos campos de projeto (JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000).

Janssen, Frazer e Tang (2000) destacam três principais mudanças relacionadas à constituição de novos paradigmas computacionais, como é o caso dos SGP: automação do processo de projeto, redução do tempo projetual e capacidade da máquina na realização de cálculos complexos. Segundo os autores, o processo generativo é capaz de trabalhar esses elementos a partir de uma ideia geradora, ampliando o espaço de soluções e buscando por propostas realistas de projetos. Contudo, a consolidação de novos paradigmas reside em sua aptidão de auto-afirmarem como fonte projetual, articulando novas interfaces segundo uma abordagem conceitual-exploratória.

Para Khabasi (2012), os fundamentos introduzidos pelo projeto algorítmico são capazes de conduzir a construções processuais organizadas, onde as diversas informações do projeto são conectadas a partir de uma lógica sequencial apresentada na forma de um fluxograma. Fischer (2007) defende que a parametrização de um projeto não corresponde a uma simples aplicação de fórmulas, mas a caminhos cujas soluções não são conhecidas antecipadamente.

Verifica-se que a falta de um modelo de referência de processo na literatura corrente que trate dos aspectos que envolvem os princípios lógicos do projeto algorítmico dificulta a sua aplicação e o seu entendimento acerca do conjunto de conteúdos práticos e/ou teóricos presentes nessa abordagem de projeto. Sendo assim, faz-se necessário o aprofundamento do conhecimento que envolve suas operações, buscando promover uma comunicação mais rápida e eficiente entre os diversos usuários dessa ferramenta.

Lawson (2005) argumenta que muitas pesquisas ligadas ao desenvolvimento de mapas de processos são significativas para o desenvolvimento de diversas atividades profissionais, por constituírem uma sequência de atividades distintas e identificáveis segundo uma ordem lógica e previsível, retratando o progresso das atividades dos estágios iniciais até a solução a

ser adotada. Para Rozenfeld et al. (2006) o desenvolvimento de bons projetos está relacionado à coerência e a consistência do processo como um todo e deve incluir, entre diversos aspectos, a estratégia adotada, a estrutura processual, e a sistematização das atividades, além das habilidades técnicas necessárias aos projetistas.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é propor um modelo de referência de processo integrado com os Sistemas Generativos de Projeto (SGP), quando utiliza-se da abordagem do desenho paramétrico. Para isso, adotou-se o referencial teórico de Ulrich e Eppinger (2012) acerca do processo de desenvolvimento de produto (PDP) genérico, por apresentar uma visão de processo enxuta e capaz de ser adaptada a quaisquer áreas de mapeamento de processos.

O objetivo específico é retratar o modelo de forma a conter em sua estrutura todas as macro-fases, etapas e atividades características de um PDP com SGP, tornando o processo explícito para facilitar a aplicação dessa ferramenta. A visão geral do modelo, a ser expressa na forma de diagrama de fluxo, agirá como uma lista de verificação para o desenvolvimento de futuros projetos com os SGP. O enfoque a ser dado ao trabalho será sobre o processo de desenvolvimento de produtos.

A organização de um modelo de referência baseado em PDP, mas com as qualidades dos SGP, pode contribuir para a elucidação dos conceitos que envolvem os horizontes práticos e teóricos do projeto paramétrico, buscando uma articulação com os conhecimentos inerentes as complexidades do desenvolvimento de produtos. Para Ulrich e Eppinger (2012) a documentação de um processo que envolve a tomada de decisões durante o desenvolvimento de um projeto facilita a compreensão do raciocínio por trás dos conceitos, servindo como um excelente registro para ser assimilado por outros projetistas.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é a *Design Science Research* (DSR). Esta metodologia envolve a construção, investigação, validação e avaliação de artefatos tais como: construtos, arcabouços, modelos, métodos e instâncias de sistema de informações, a fim de resolver novos problemas práticos. Segundo Wieringa (2009) as primeiras ideias que, mais tarde inspirariam a DSR como é hoje conhecida, teriam iniciado com o artigo de Simon (1996). Neste artigo, o autor faz a distinção entre os ambientes natural e artificial, no qual a

ciência natural se refere a um conjunto de conhecimentos sobre os fenômenos do mundo (como as coisas são e como elas funcionam). Já as ciências do artificial se ocupam da concepção de artefatos que realizem objetivos, elas dizem respeito de como as coisas devem ser para funcionar e atingir determinados objetivos.

A relevância do conhecimento produzido e a tensão na relação teoria-prática exigem um novo foco de pesquisa: pesquisas efetivamente direcionadas ao projeto de artefatos que sustentem melhores soluções para os problemas existentes (LACERDA et al., 2013). March e Smith (1995 apud LACERDA et al., 2013) introduzem a DSR como tentativas de criar soluções que servem aos propósitos humanos, de resolver problemas. O *Design Science Research* é um conjunto de técnicas analíticas que visam o desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas, em particular na engenharia. Seu objetivo é estudar, pesquisar e investigar a ciência do artificial e seu comportamento (BAYAZIT, 2004 apud LACERDA et al., 2013).

Os principais elementos constituintes do DSR são as classes de problemas e os artefatos. A definição adotada para classes de problemas é que ela seria: “a organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para a ação nas organizações (LACERDA et al., 2013, p.747). Os artefatos são objetos artificiais que podem ser caracterizados em termos de objetivos, funções e adaptações. São normalmente constituídos em termos imperativos como descritivos (SIMON, 1996).

Os artefatos podem ser tipificados como sendo: constructos, modelos, métodos e instâncias (MARCH; SMITH, 1995 apud LACERDA et al., 2013). Nesta dissertação o artefato produzido será um método, pois trata-se de um conjunto de passos utilizados para executar uma tarefa. Para Lacerda et al. (2013) os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método utilizam partes do modelo como uma entrada que o compõe. De forma geral, o método representa um conjunto de passos que devem ser obedecidos para que um resultado seja produzido em um determinado ambiente.

O estudo de caso no DSR tem sido defendido por Van Aken (2004 apud LACERDA et al., 2013) que argumenta que o seu uso na formalização de artefatos possam ser entendidos, formalizados e avaliados em diferentes contextos. O estudo de caso não é uma abordagem estranha ao *Design Science Research*, mas um método de pesquisa que pode atender a objetivos distintos em função do enfoque que orienta o esforço de pesquisa.

Os estudos de caso podem, quando o objetivo é prescritivo ou para o desenvolvimento de tecnologias (artefatos), ser úteis para compreender os artefatos existentes e em funcionamento em um determinado contexto. Os estudos de caso cumprem dois objetivos: podem avançar o conhecimento teórico na área em pauta e permitem formalizar artefatos

eficazes que podem ser úteis em outros ambientes. Pois o mesmo permite estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de projetos. Além disso, esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa (LACERDA et al., 2013).

As cinco etapas de condução do DSR utilizadas nesta dissertação seguem conforme apontado por Lacerda et al. (2013):

1. **Conscientização:** se relaciona a compreensão da problemática envolvida. O principal resultado da conscientização é a definição e a formalização do problema a ser solucionado, suas fronteiras e as soluções necessárias;
2. **Sugestão:** está vinculada às atividades de desenvolver uma, ou mais, alternativas de artefato para a solução dos problemas. Por consequência, o seu resultado é o conjunto de possíveis artefatos e a escolha de um, ou mais, para serem desenvolvidos;
3. **Desenvolvimento:** corresponde ao processo de constituição do artefato em si, cujo seu principal resultado é o desenvolvimento do artefato em estado funcional;
4. **Avaliação:** é definida como o processo de verificação do comportamento do artefato no ambiente para o qual foi projetado, em relação às soluções que se propôs alcançar;
5. **Conclusão:** consiste na formalização geral do processo e sua comunicação às comunidades acadêmica e de profissionais.

Assim, a dissertação foi dividida em duas fases e seis etapas (Figura 2). A primeira fase corresponde à revisão de literatura e envolve três etapas: Etapa 1) o uso dos SGP na abordagem do desenho paramétrico; Etapa 2) os softwares escolhidos para este trabalho (Rhinoceros e Grasshopper); e Etapa 3) PDP genérico.

A convergência entre as 3 etapas nos permite integrar o SGP no PDP, sugerindo um modelo de referência para futuros projetos com essa ferramenta. Assim, será possível descrever as atividades envolvidas, as regras operacionais, as entradas e as saídas de informações, e as tarefas relativas a esse processo, no contexto e nas particularidades do desenho paramétrico (Figura 1).

Figura 1 – Elementos a serem trabalhados na proposição do PDP com SGP



Fonte: Próprio autor (2015)

A obtenção dos dados relativos à primeira fase originou-se principalmente de materiais publicados constituídos de livros, periódicos, artigos científicos, e dissertações e teses (nacionais e internacionais). A diversidade das fontes ajudou a montar o referencial teórico para que fosse possível desenvolver a segunda fase.

A segunda fase possui natureza aplicada e foi dividida em mais três etapas (Etapas 4, 5, 6) (Figura 2). Nas etapas 4 e 5 foi analisado dois objetos de estudo, que abordavam um PDP voltados para a produção de dois mobiliários, um balcão no primeiro objeto e bancos para praças e parques públicos no segundo objeto. Ressalta-se que ambos os estudos utilizaram-se dos princípios dos SGP e do desenho paramétrico. A Etapa 6 foi marcada pelo desenvolvimento de um estudo exploratório com base no aprendizado adquirido nas etapas anteriores, tanto da segunda quanto da primeira fase.

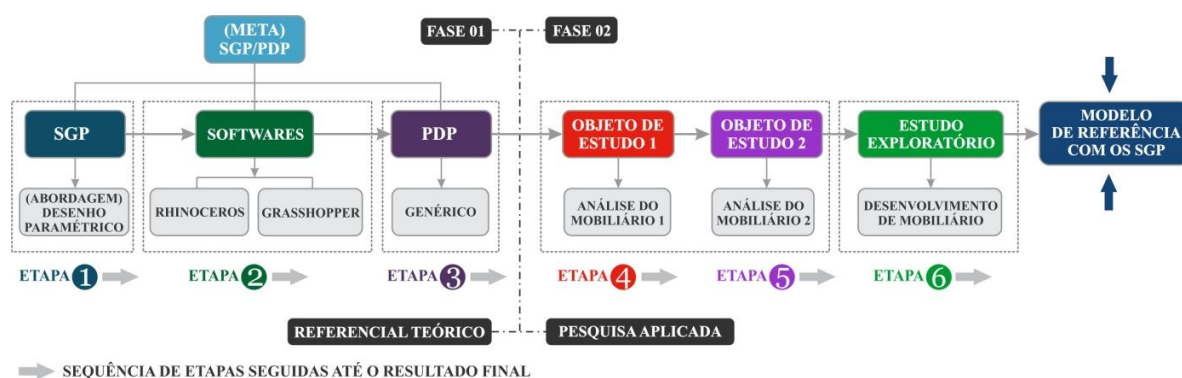
Os três objetos de estudo escolhidos para compor a segunda fase deste trabalho foram definidos com base nos princípios e práticas resultantes de projetos que abordavam questões relativas à constituição de processos baseados nos SGP e que tinham como objetivo fim o desenvolvimento e a produção de produtos para o seguimento de mobiliários. Os objetos e seus objetivos seguem conforme a seguir:

- **Objeto de estudo 1** – Artigo desenvolvido em 2014, intitulado de “Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e Desempenho Estrutural com o uso de Modelos Virtuais e Físicos no Processo de Projeto”. O objetivo foi descrever uma experiência integrada de projeto utilizando diferentes tipos de modelos físicos e virtuais;
- **Objeto de estudo 2** – Dissertação desenvolvida em 2010, intitulada de “Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo”. O objetivo foi integrar as tecnologias digitais no processo de projeto para bancos de praças e parques públicos;

- **Objeto de estudo 3 (Estudo exploratório)** – Desenvolvimento de um exercício projetual intitulado de “Mesa dinâmica: uma experiência de mobiliário generativo”. O objetivo foi entender o fluxo de informações do PDP quando associado aos SGP.

Conforme argumentado por Ulrich e Eppinger (2012) criar uma nova lista de tarefas e requisitos a partir de modelos existentes é um bom ponto de partida para a criação de novos processos para o desenvolvimento de produtos. A Figura 2 apresenta a síntese organizacional proposta para os procedimentos metodológicos adotados no trabalho.

Figura 2 – Procedimentos metodológicos do trabalho



Fonte: Próprio autor, 2015

Para o estudo exploratório propõe-se o desenvolvimento de um exercício projetual cuja meta era desenvolver um mobiliário voltado para ambientes de escritórios. Dessa forma, era possível testar premissas projetuais e princípios relacionados ao projeto algorítmico. Os dados resultantes poderiam indicar correlações projetuais entre as etapas processuais sugeridas pelo PDP genérico utilizado frente à abordagem do desenho paramétrico adotada para os SGP, ou mesmo a necessidade de inclusão de novas etapas ou tarefas intermediárias. Assim, era possível identificar possíveis convergências ou mesmo divergências com relação à revisão de literatura. Para Zanelli (2002) os dados em separados não falam por si, mas devem ser articulados com os referenciais teóricos e os pressupostos que norteiam a pesquisa.

O modelo final de referência será composto por informações originadas de diversas fontes, fruto de um levantamento sistemático de diversas áreas de pesquisa. Procurou-se levantar durante todo o trabalho os documentos gerados nos processos utilizados, a mecânica funcional de geração de conceitos, os princípios de restrições de projeto, e a operação prática nos softwares Rhinoceros e Grasshopper, além dos conteúdos mínimos a serem abordados em

cada etapa de desenvolvimento. Verificou-se também as principais atividades envolvidas no processo com os SGP, as devidas atribuições técnicas necessárias aos projetistas, e por fim as decisões estratégicas que influenciariam o correto desenvolvimento do produto.

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa delimita-se exclusivamente no estudo da abordagem do desenho paramétrico no contexto dos SGP. Justifica-se esse fato no argumento de que os Sistemas Generativos de Projeto possuem um amplo universo de aplicações com diferentes abordagens ao projeto. Além disso, a escolha pela abordagem paramétrica como estratégia do projeto busca a geração de opções projetuais como forma de selecionar oportunidades excepcionais para o desenvolvimento de produtos.

Os três objetos de estudo analisados para este trabalho foram organizados conforme um PDP genérico sugerido por Ulrich e Eppinger (2012). Esse procedimento nos permitiu inserir a abordagem do projeto paramétrico dentro do modelo dos autores, além de possibilitar a comparação entre as informações disponíveis na literatura científica frente aos resultados encontrados durante o estudo exploratório.

O foco deste trabalho está na identificação das etapas e atividades do PDP, quando se incorpora as características dos SGP (abordagem paramétrica). Destaca-se que os resultados a serem alcançados por esta dissertação não se propõe a otimização de produtos, ou a julgamentos relativos à exequibilidade e/ou qualidade dos mesmos, mas em propor um modelo referencial que sirva como ponto de partida para futuros desenvolvimentos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Buscando alcançar os objetivos propostos, o presente trabalho foi organizado em quatro capítulos. O capítulo 1 aborda o contexto sobre o surgimento de novas ferramentas tecnológicas, sobretudo as de abordagem paramétrica, e a justificativa acerca da definição de estruturas conceituais relacionadas à construção de processos de mapeamento geradores. São apresentados também os objetivos da pesquisa, bem como os procedimentos metodológicos utilizados, delimitação e estrutura do trabalho.

O capítulo 2 trata da revisão de literatura e inclui as três abordagens teóricas adotadas para a estruturação deste trabalho. A primeira engloba os Sistemas Generativos de Projetos, destacando os principais conceitos acerca do processo generativo e da aplicação de restrições

de projeto, os métodos paramétricos utilizados e as possibilidades de analogias projetuais, bem como o uso dos algoritmos generativos no processo de projeto. A segunda aborda a plataforma de desenvolvimento gráfico utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, Rhinoceros e Grasshopper, desde a construção do projeto algorítmico, passando por sua operação e finalizando nas principais estratégias que podem ser adotadas pelos projetistas. A terceira se relaciona ao processo de desenvolvimento de produtos (PDP), incluindo o modelo genérico sugerido por Ulrich e Eppinger (2012), o desenvolvimento de conceitos no PDP, a definição de diagramas de fluxo, o processo de identificação de oportunidades e geração de conceitos, os objetivos para seleção e teste de conceitos, a organização da arquitetura do produto e por fim o desenvolvimento de protótipos para fins de teste e experimentação.

No capítulo 3 apresentamos os dois objetos de estudo e o estudo exploratório. O primeiro objeto é um artigo intitulado de “Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e Desempenho Estrutural com o uso de Modelos Virtuais e Físicos no Processo de Projeto” publicado em 2014 pelos autores: Wilson Barbosa Neto, André Araujo, Guilherme Carvalho, e Gabriela Celani.

O segundo objeto é uma dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul intitulada de “Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo”. O trabalho foi desenvolvido por Ana Cláudia Vettoretti em 2010 com o objetivo de integrar as tecnologias digitais no processo de projeto para bancos de praças e parques públicos.

Para finalizar esse capítulo foi desenvolvido um estudo exploratório de caráter experimental cujo objetivo baseava-se na proposta de um entendimento mais amplo acerca do fluxo de informações envolvidas no PDP quando associado aos SGP, incluindo a sistemática do processo de modelagem tridimensional nos softwares Rhinoceros e Grasshopper. Para isso, foi proposto o desenvolvimento de um exercício projetual onde analisou-se o desenvolvimento projeto do ponto de vista do processo, evidenciando o método utilizado e clarificando as premissas projetuais e os princípios lógicos do projeto algorítmico.

O capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho e a apresentação do modelo de referência de processo já integrado com as características dos SGP. Retrata-se também a síntese das etapas processuais, relativas ao processo de modelagem tridimensional, já com a orientação sequencial sugerida para o desenvolvimento das atividades presentes nas 6 etapas identificadas no processo. O último ponto da dissertação discursa sobre as sugestões para trabalhos futuros, destacando três aspectos que poderiam enriquecer o modelo de referência apresentado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura como foco nas três bases teóricas de sustentação da dissertação: os Sistemas Generativos de Projeto (SGP), a plataforma de desenvolvimento gráfico do Rhinoceros e do Grasshopper, e o processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

2.1 SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO

De acordo com Khabasi (2012) os SGP são sistemas de desenho baseados em componentes generativos e utilizados em softwares com abordagens paramétricas que se utilizam como meio os *scripts*. Um *script* é uma série de instruções para que uma máquina execute determinadas tarefas segundo programada. Entre os diversos softwares disponíveis para as áreas de projeto que trabalham com os *scripts* na forma de algoritmos está o Grasshopper. Esse, por sua vez, é um *plugin* que opera a partir de um software base (Rhinoceros) desenvolvendo projetos segundo princípios algorítmicos (KHABASI, 2012).

Khabasi (2012) argumenta que o Grasshopper é um editor de algoritmo gráfico muito utilizado por projetistas que gostam de explorar novas dinâmicas e relações espaciais, descobertas ou potencializadas pelos algoritmos generativos. A técnica do “*scripting*” permite que os projetistas manipulem o código digital (programação) na modelagem de sistemas voltados a produção de projetos radicalmente inovadores, convertendo ideias em excelentes soluções de projetos (KHABASI, 2012).

Leach (2005) ressalta que o real potencial do *scripting* reside além dos aspectos formais, mas na extensão da tomada de decisões, cujas crescentes preocupações relacionadas à sustentabilidade, a eficiência energética, ao desempenho ambiental, e aos fatores econômicos demarcam um novo horizonte de possibilidades. Ainda segundo o autor, o desenvolvimento de um projeto algorítmico está mais focado no processo do que na representação tridimensional, mais no seu desempenho do que na sua aparência, pois uma vez definida a lógica performativa os resultados finais já são otimizados.

Khabasi (2012) argumenta que o processo algorítmico de projeto é como uma receita, onde introduzimos dados e organizamos informações, no intuito de se produzir um resultado desejado. No Grasshopper um algoritmo de projeto é visto como um fluxograma composto por vários componentes interligados segundo princípios funcionais, cabendo ao projetista a

função de inserir os parâmetros de acordo com as regras cabíveis, para que o software possa explorar as possíveis soluções através de esboços computacionais (KHABASI, 2012).

Outra característica apontada por Khabasi (2012) está na capacidade do desenho paramétrico de alterar-se durante todo o processo de projeto, permitindo ao projetista gerar e testar diversos parâmetros em um curto espaço de tempo, explorando de maneira mais ampla uma grande variedade de opções de projeto. O grande diferencial do projeto algorítmico está em descobrir as relações e as regras de objetos e/ou formas no âmbito real, tais como as formas originadas na natureza, e como recriá-las com os algoritmos de projeto, para que possamos ser capazes de gerar produtos com design únicos ou mesmo mais eficientes (KHABASI, 2012).

Para Khabasi (2012), a ideia da otimização de projetos com base nos processos generativos digitais fica longe da ideia de um único projeto bem-sucedido, mas tende a se mover na direção de uma família de projetos, onde o projetista fará a análise em busca do mais "otimizado", selecionando opções com base em critérios específicos. São através dos laços de realimentação que os algoritmos evolutivos aperfeiçoam os processos de concepção e crítica projetual, atuando ativamente na melhoria do desempenho e na qualidade de novos projetos, além de incentivar o potencial para a inovação (KHABASI, 2012).

2.1.1 PROCESSO GENERATIVO E RESTRIÇÕES DE PROJETO

Khabasi (2012) aponta que o desenvolvimento de projetos com base nos SGP requer uma grande percepção sobre o problema de projeto, pois a maneira com que o projetista pretende formular a resposta dependerá de quais aspectos projetuais a solução deverá seguir ou se enquadrar. O processo generativo irá apenas explorar, de modo mais eficiente, o espaço de soluções considerando as múltiplas alternativas aplicáveis e formuladas pelo projetista.

Para Khabasi (2012), o uso dos SGP sempre estará ligado de alguma forma a um modelo inicial, providenciado pelo utilizador (*input* humano), para poder proceder à sua otimização. O uso de critérios baseados em processos estocásticos, ou seja, determinados por preceitos probabilísticos, garante que o processo de seleção do melhor resultado aperfeiçoará as soluções assegurando uma maior diversidade e um caráter emergente das soluções encontradas (KHABASI, 2012).

Para Bentley (1999) a aplicação de ferramentas computacionais de design ativo no contexto processual visa criar uma ampla gama de soluções que diferem entre si em aspectos fundamentais, porém, devem concentrar-se em uma subcategoria limitada de possíveis

projetos. As ferramentas tendem a se tornar parte integrante não só do processo de design, mas também do processo de concepção, pois permitem gerar e explorar novas alternativas que seriam limitadas pela sabedoria convencional (processos não generativos) (BENTLEY, 1999).

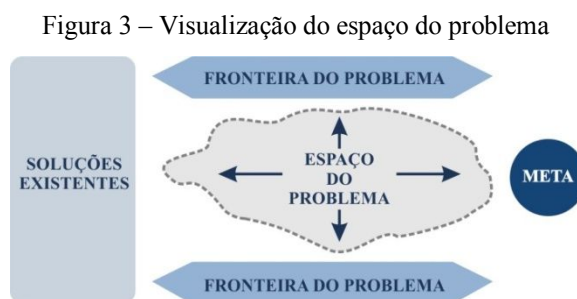
De acordo com Janssen, Frazer e Tang (2000) os processos generativos devem ser centrados principalmente em dois critérios:

1. **Gerar propostas reconhecíveis de projetos:** Por exemplo, se alguém colocar aleatoriamente “paredes”, “andares” e “telhados” em um espaço tridimensional, a probabilidade de criar algo que se assemelha a forma final construída será extremamente pequena, além do fato da criação de um vasto leque de propostas fundamentalmente inadequadas. Esta característica pode tornar o processo de seleção do produto final insustentável. Assim, os autores ressaltam que qualquer transmissão de uma ideia de projeto através do processo generativo deve ter sentido fundamental e ser interpretado como uma possível forma a ser construída;
2. **Definir o espaço de soluções:** embora o leque de soluções não possa ser desnecessariamente largo, também não deve ser restritivamente estreito. O escopo do projeto deve ser cuidadosamente considerado antes da construção do processo gerador. Mudanças posteriores em relação ao escopo original devem ser recriadas a partir do zero para resultar em novos processos geradores eficazes. Um processo gerador com alcance muito amplo será valioso somente quando a solução de um problema de projeto exigir a apresentação de diferentes tipos de propostas.

Janssen, Frazer e Tang (2000) ressaltam que para se obter boas propostas no processo generativo o problema de projeto deve possuir características detalhadamente relevantes, para que o projeto em questão seja decodificado e restrito de alguma forma. Baxter (2011) argumenta que a definição das fronteiras do problema de projeto deve ocorrer durante os estágios iniciais do desenvolvimento, ressaltando que a introdução de mudanças em etapas posteriores pode implicar em uma considerável perda de tempo.

Para Baxter (2011) as fronteiras do problema devem estabelecer o nível de profundidade quanto aos critérios de aceitabilidade das soluções geradas, e que o “espaço do problema” seria a região compreendida entre as soluções existentes e a meta do problema,

espaço onde se desenvolve o trabalho na busca por novas soluções (Figura 3) (BAXTER, 2011).



Fonte: Adaptado de Baxter (2011)

Baxter (2011) aponta também que a preparação para se definir o problema de projeto deve começar com um pensamento divergente, de modo que se permita explorar uma ampla gama de alternativas projetuais em busca das soluções, para somente depois, em uma etapa posterior, aplicar o processo convergente. A definição do problema pode ser suficientemente ampla comportando diversas alternativas de soluções, contudo, o objetivo precisa estar bastante claro e as fronteiras bem delimitadas (BAXTER, 2011).

Janssen, Frazer e Tang (2000) argumentam que os processos generativos não excluem a possibilidade da inclusão de “marcas pessoais” durante o processo gerador, considerando esse aspecto como um diferencial para o processo. Na maioria dos casos cada escritório adota um grupo de parâmetros relevantes e usuais nos diversos projetos apresentados, de forma a reforçar o seu “estilo” projetual. O conjunto de práticas adotadas é estabelecido como uma metodologia personalizada onde muitas vezes é justificada pelos projetistas como sendo critérios adotados para a economia de tempo, demarcação do estilo de projeto, ou mesmo para assegurar que todos os detalhes são testados e consistentes, tornando-se, inclusive, procedimentos padrões para processos de concepção (JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000).

Os processos generativos podem incluir variáveis frequentemente trabalhadas por um “esquema de projeto” específico de um determinado projetista ou escritório de projetos. São opções personalizadas que podem abranger desde sistemas de construção locais, dados de localização geográfica, referenciais históricos, funcionais ou tipológicos (JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000). No entanto, segundo os mesmos autores, quaisquer tipos de restrições projetuais devem permanecer facilmente removíveis, podendo ser substituídas por novas restrições sem que isso afete o esquema central do projeto.

Baxter (2011) ressalta que o conjunto de características que definem o processo conceitual de um projeto deve avançar até os princípios funcionais do novo produto,

explorando as fronteiras do problema e suas restrições, abrindo espaço para uma ampla geração de ideias. Ainda segundo o autor, essas características podem ser vistas como uma flexibilização das restrições, se desenvolvendo da seguinte forma: “Eu desejo chegar ao X, entretanto, para facilitar a geração de conceitos, estou disposto a aceitar novas ideias, dentro de limites menos rígidos Y”. Ao se permitir uma maior liberdade criativa, atingimos uma maior liberdade de conceitos, que por consequência, pode proporcionar melhores alternativas de projeto (Figura 4) (BAXTER, 2011).

Figura 4 – Formulação do projeto conceitual



Fonte: Adaptado de Baxter (2011)

Baxter (2011) defende ainda que o investimento de tempo durante a análise do problema é um fator crucial, pois a geração de um projeto conceitual mal delimitado poderá acarretar em um novo recomeço, influenciando diretamente na questão do tempo e da energia gasta no desenvolvimento de um projeto. A maior dificuldade no projeto conceitual é liberar a mente para se alcançar conceitos originais, superando os bloqueios à criatividade, que surgem em consequência de pensamentos convencionais (BAXTER, 2011).

Janssen, Frazer e Tang (2000) argumentam que quaisquer que sejam os fatores que delimitam o problema de projeto o processo gerador deve capturar e codificar com a maior precisão possível a essência da ideia. No entanto, ressaltam a existência de um evidente conflito entre o “agente de controle” (restrições) e o “ato criativo”. O mesmo conflito de “controle x criatividade” foi exposto por Le Corbusier na discussão do Modulor. “O modulor é uma ferramenta de trabalho que não confere talento aos projetistas, e ainda menos genialidade, ele somente lhes dá a possibilidade de certo medir” (LE CORBUSIER, 1955 apud JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000).

De acordo com Janssen, Frazer e Tang (2000) quaisquer regras podem induzir a uma menor liberdade, porém, novas regras podem surpreendentemente alterar costumes e antigos hábitos de projeto. Ao tentar se construir um processo gerador dois princípios devem ser levados em consideração: 1) a forma construída deve carregar consigo aspectos de

familiaridade e características intencionais implícitas introjetadas pelo projetista; 2) o processo gerador deve ser entendido como uma representação computacional cuidadosamente elaborada e ajustada pela mente humana. O objetivo destes princípios é chegar o mais próximo possível da forma construída sem que isso iniba o aparecimento do inesperado (EVANS, 1978 apud JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000).

Andrade, Ruschel e Moreira (2011) ressaltam que a aplicação de um número progressivo de restrições ao projeto tem o objetivo de tornar o processo de seleção algo exequível. O atendimento as metas projetuais e o respeito às restrições impostas apresentam-se como uma grande dificuldade técnica e conceitual a ser vencida durante o processo, principalmente quando envolver uma grande quantidade de possíveis soluções. Kalay (2004) acrescenta que a busca pela melhor solução em um universo de possíveis soluções pode ser alcançada por meio do acréscimo de novas restrições até o ponto em que se reduz a poucas ou mesmo a uma única opção. Para Lawson (2005) as restrições que atuam na geração das soluções estão associadas diretamente ao perfil do problema de projeto, podendo ser classificadas de acordo com o gerador de restrições, que pode ser o projetista, os clientes, os usuários ou mesmo os legisladores.

Segundo Janssen, Frazer e Tang (2000) as restrições abrangem diversos critérios projetuais, entre as quais podem ser destacadas as propriedades dos materiais, as forças estruturais, e a influência da gravidade. A racionalização intencional por parte do projetista pode influenciar diretamente no resultado do efeito ou na função-alvo do desempenho da forma construída. O termo "função-alvo" refere-se ao caráter mais amplo do conceito de função, propósito ou alvo de desempenho da forma construída (JANSSEN; FRAZER; TANG, 2000).

2.1.2 MÉTODOS PARAMÉTRICOS

Oxman (2008) argumenta que os métodos paramétricos utilizados na produção de projetos podem diferenciar-se de acordo com os atributos a serem parametrizados. Entre os possíveis atributos estão as dimensões, as relações espaciais, ou mesmo os algoritmos exclusivos para a geração de forma ou para realização de cálculos complexos. Os modelos digitais podem ser classificados em quatro classes (OXMAN, 2008):

1. **Modelo CAD:** automação posterior dos desenhos;
2. **Modelo de formação:** exploram diferentes geometrias e parâmetros;

3. **Modelo de geração:** geram formas como resultado de processos generativos pré-formulados;
4. **Modelo de desempenho:** consideram a influência de forças externas, tais como cargas estruturais ou princípios acústicos.

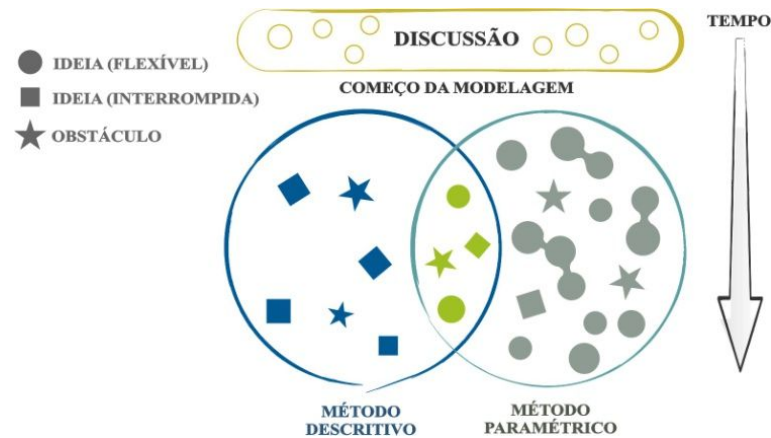
Como os últimos três modelos possuem características paramétricas e fazem uso de algoritmos, Oxman (2008) ressalta que a consequência direta a este fato estaria ligada ao enriquecimento dos métodos de projeto possibilitados pelos computadores. De acordo com Hanna e Barber (2006), o uso de métodos digitais no processo de projeto, incluindo os algoritmos, pode aumentar a capacidade cognitiva dos projetistas e resultar no desenvolvimento de projetos mais inovadores.

Para Iordanova et al. (2009) os métodos paramétricos possuem efeitos diretos sobre o processo criativo. Assim, os autores propõem o estabelecimento da diferenciação entre dois conceitos: “surgimento” e “variação” de uma ideia. Surgimento seria algo a ser considerado como uma possibilidade de solução para algum aspecto projetual, ao contrário da variação, que seria uma expressão diferente de uma dada ideia como, por exemplo, uma volumetria diferente, não havendo, portanto, um novo aspecto projetual (IORDANOVA et al., 2009).

De acordo com Iordanova et al. (2009) o uso de softwares paramétricos durante o processo de projeto permite uma clara dinâmica de mudança, sendo que o fator chave não está nas próprias ideias, mas na rapidez de suas evoluções que refletem diretamente na produtividade. Dependendo do meio digital utilizado, as ideias iniciais podem ser levadas mais como princípios de design do que uma forma final pretendida, para posteriormente serem exploradas por modelagem (refinação) ou representadas como uma solução (IORDANOVA et al., 2009).

Em uma pesquisa realizada na Universidade de Montreal com alunos do curso de arquitetura sobre a aplicação de métodos digitais no processo de projeto, Iordanova et al. (2009) identificou que a evolução do projeto estava diretamente relacionada com o método digital escolhido. Nos projetos embasados por uma predominância paramétrica as ideias tomavam formas e evoluíam muito mais rapidamente do que quando comparados com métodos descritivos como o CAD (*computer aided design*). O método paramétrico se apresentava de forma mais dinâmica, flexível e “acorrentado”, produzindo um número maior de ideias quando comparado ao método descritivo (Figura 5) (IORDANOVA et al., 2009).

Figura 5 – Aplicação de métodos digitais no processo de projeto



Fonte: Adaptado de Iordanova et al. (2009)

Para o desenvolvimento do experimento os alunos foram divididos em cinco grupos, com cada grupo formado por uma dupla. Os grupos 1 e 2 usariam o método descritivo (CAD), os grupos 4 e 5 usariam o método paramétrico, e o grupo 3 usaria ambos os métodos simultaneamente. Os resultados obtidos por Iordanova et al. (2009) seguem conforme a Tabela 1.

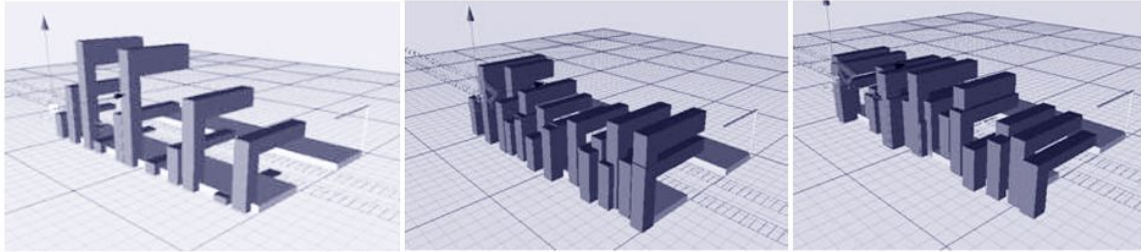
Tabela 1 – Ideias geradas durante o processo de projeto

GRUPOS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	TOTAL
MÉTODO UTILIZADO	DESCRITIVO	DESCRITIVO	AMBOS	PARAMÉTRICO	PARAMÉTRICO	
NÚMERO DE IDEIAS GERADAS	6	6	10	16	12	50
DURANTE A DISCUSSÃO INICIAL	2	3	3	4	1	13
DURANTE A MODELAGEM	4	3	7	12	11	37
NO MOMENTO "DE VÊ-LAS"	1	2	2	6	8	19
DURANTE A DISCUSSÃO INICIAL	0	1	0	1	1	3
DURANTE A MODELAGEM	1	1	2	5	7	16

Fonte: Adaptado de Iordanova et al. (2009)

Iordanova et al. (2009) aponta que uso de softwares paramétricos no processo de projeto permite que os projetistas olhem para um vasto leque de soluções, segundo uma determinada tarefa de projeto, antes mesmo de desenvolver uma solução específica para um projeto final. A variabilidade das soluções depende de muitos fatores pessoais e contextuais, da experiência anterior, dos precedentes, do uso de metáforas, dos conhecimentos e métodos (Figura 6) (IORDANOVA et al., 2009).

Figura 6 – Variâncias de uma mesma ideia



Fonte: Iordanova et al. (2009)

Para Iordanova et al. (2009) um processo de projeto que usa o método descritivo (CAD) evolui estritamente de forma linear “modificando localmente o material digital”, ao contrário de um modelo que se utiliza de processos generativos que recebem inúmeras iterações e regenerações com a adição ou redução de novas regras ou parâmetros. No processo generativo o modelo final mantém sua característica de permanência no caráter “dinâmico”, podendo ser modificado no momento em que o projetista julgar necessário. Assim, um cenário de potenciais soluções é criado corroborando as hipóteses iniciais de que modelos paramétricos são considerados mais como princípios de exploração do que como soluções (IORDANOVA et al., 2009).

Os resultados alcançados por Iordanova et al. (2009) durante a pesquisa apontaram para diversos aspectos, entre os quais destacam-se:

1. **Variações de ideias:** os processos generativos estimulam o surgimento de novas soluções a partir de ciclos de variações de ideias;
2. **Terminologia digital:** o uso da terminologia digital entre os alunos ocorreu mesmo quando uma possível solução era esboçada em um pedaço de papel, mantendo um constante processo de conversão entre os elementos do mundo real e o digital;
3. **Evolução não-linear:** a possibilidade de voltar atrás e modificar um objeto é uma vantagem dos métodos de geração de forma, razão justificada pela evolução não-linear de modelos criados nesta classe paradigmática, bem como para os diversos desvios gerados por eles;
4. **Tempo:** em alguns casos específicos os parâmetros e as regras de geração podem sair do controle e levar o projetista a uma perda de tempo considerável no encontro de uma nova solução adequada;

5. **Não-fixação em fases projetuais:** a característica de “não-fixação” em fases definidas do processo de projeto pode provocar uma atitude de insignificância por parte do projetista em relação ao projeto final.

Iordanova et al. (2009) ressalta que a não-fixação em fases definidas do projeto pode ser bom por um lado, pois remove o medo da página em branco, mas, por outro, cria condições para projetar formas sem que sejam dadas considerações mais profundas a solução, o que pode levar a projetos ruins. Ao trabalhar com métodos generativos a comunicação do processo de projeto deve ser formalizada na forma de intenções de projeto antes da manipulação do modelo, ajustando as configurações de saída de maneira a descrever o procedimento ou o método digital a ser utilizado para a sua criação (IORDANOVA et al., 2009).

Segundo Iordanova et al. (2009) em um método tradicional de projeto a questão da memória de trabalho é mais exigida do operador porque é necessário manter certo controle dos passos, enquanto nos modelos generativos as regras de geração dinâmicas permitem que o projetista tenha um suporte cognitivo ampliado. Outra diferença apontada pela pesquisa foi que nos métodos de descrição direta (como por exemplo, o CAD) o projetista apenas manipula os objetos fazendo uma “composição” entre eles, diferente dos métodos generativos, que já existem ligações entre os objetos desde a sua criação permitindo manipular regras e processos. A consequência direta deste fato é a possibilidade de geração de um número muito maior de alternativas com um pequeno esforço (IORDANOVA et al., 2009).

Lyon (2005 apud IORDANOVA et al., 2009) propõe repensar o projeto com base em processos não-lineares, onde o surgimento dinâmico de novas soluções possa estimular a criatividade do projetista. Para Iordanova et al. (2009) o conhecimento processual é importante para a criatividade, principalmente quando associado aos processos de geração. O efeito aleatório “controlado” do processo generativo traz consigo resultados imprevisíveis e descobertas inesperadas, pois na criatividade, nem tudo está sob controle, e a ocorrência de combinações aleatórias pode dar lugar a uma criatividade não-consciente (IORDANOVA et al., 2009).

Iordanova et al. (2009) propõem discutir o processo generativo do ponto de vista teleológico: a modelagem de uma solução mentalmente pronta versus explorações paramétricas aleatórias guiadas por algum princípio. Soluções mentais levam a necessidade de um controle sobre os parâmetros de projeto e podem, inclusive, impossibilitar a representação de intenções concretas, enquanto as explorações paramétricas aleatórias permitem uma

relativa liberdade de manipulações, estimulando a criatividade em estados intermediários e dinâmicos do processo de projeto (IORDANOVA et al., 2009).

2.1.3 ANALOGIA E ALGORITMOS GENERATIVOS NO PROCESSO DE PROJETO

A influência dos métodos digitais tem levado a maiores discussões acerca do papel da criatividade no processo de projeto (IORDANOVA et al., 2009). Candy e Bilda (2007) argumentam que a criatividade é um fenômeno humano complexo e amplamente inacessível para análise e medição. Para Lubart (2003) a criatividade se relaciona à capacidade de realizar algo novo, mas ao mesmo tempo adaptado para o contexto em que ela se manifesta.

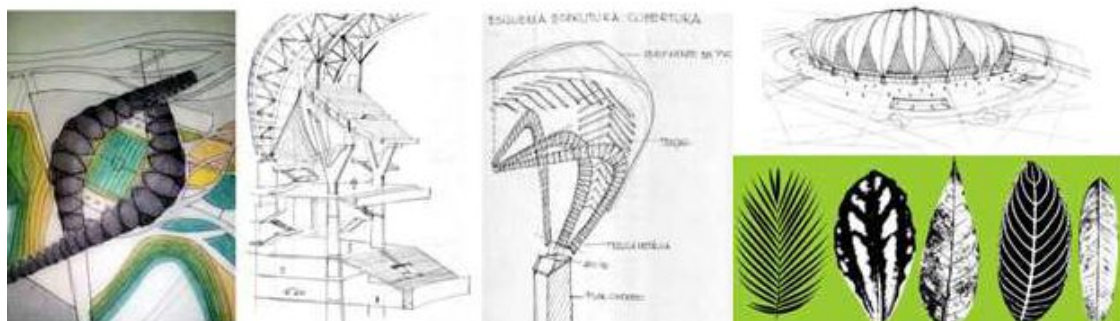
Lubart (2003) destaca que os aspectos ligados a criatividade dependem da interação entre três fatores: cognitivos, emocionais e ambientais, onde o potencial criativo seria definido pela capacidade do projetista em encontrar diversidade de soluções induzidas por um único estímulo. Para Baxter (2011) a criatividade seria o equilíbrio entre os pensamentos convergentes e divergentes, apontando para o fato de que o pensamento divergente é constantemente apresentado como sendo um pré-requisito para a geração de ideias originais. Hanna e Barber (2006) ressaltam que o pensamento divergente no projeto tem um caráter especulativo e não-estruturado, induzindo a exploração de ideias e a combinações aleatórias na busca de uma possível solução para o problema.

Para Hanna e Barber (2006) o conhecimento para a resolução de problemas de projeto não está disponível de forma direta ou mesmo facilmente aplicável aos mesmos. É necessário ser transferido analogicamente. Florio (2011) defende que a adoção de analogias no processo de projeto, ainda na fase de concepção projetual, pode contribuir como um fator de indução a criatividade, pois permite o desenvolvimento de novas habilidades, combinações incomuns de conhecimentos, e a adoção de novas atitudes frente aos problemas de projeto. A criatividade pode originar-se através da combinação de ideias já conhecidas, resultando na produção de resultados inesperados por meio do raciocínio analógico (FLORIO, 2011).

Para Florio (2011) a analogia é uma espécie de similaridade, que em um sentido mais amplo, representaria a capacidade do projetista de pensar em padrões de relações (duas situações são análogas quando as mesmas dividem entre si um padrão de relacionamento). As principais atividades cognitivas relacionadas ao raciocínio analógico são, segundo Florio (2011): recuperação, mapeamento, transferência, inferência, adaptação e armazenamento na memória de conhecimentos prévios. A Figura 7 demonstra algumas relações análogas entre a

proposição de sistemas construtivos e padrões recorrentes da natureza, como a folha de uma árvore. A ideia geradora era desenvolver uma solução que pudesse ser aplicada na prática.

Figura 7 – Analogia projetual (folha de árvore)



Fonte: Adaptado de Florio (2011)

Khabasi (2012) argumenta que o processo de projeto vem passando por um estágio de renovação, principalmente a prática projetual baseada nos SGP, cuja esfera de renovação está embasada em pesquisas e experimentos. É justamente no contexto da inovação que fontes de criatividade podem emergir, buscando a ênfase na experimentação e ultrapassando os limites do conhecimento para o alcance de novos quadros conceituais (KHABASI, 2012).

Para Khabasi (2012), os novos “estilos projetuais” são na verdade novos programas de pesquisa em projeto. Assim, qualquer prática contemporânea de projeto que inclua entre os seus conceitos o pensamento algorítmico tem o potencial de ser envolvido com as atividades de investigação e a sua convergência como objeto de pesquisa, empurrando os limites da prática do projeto na direção da inovação e da criatividade (KHABASI, 2012). Os algoritmos unem as diversas disciplinas da ciência através de uma linguagem básica para delinearem um novo tipo de projeto, o *design-research*, aquele que se utiliza de algoritmos operadores de design e de geração de cálculos como plataforma para inovação, e o Grasshopper é uma dessas ferramentas que possibilitam o apoio na busca por um novo potencial inovativo (KHABASI, 2012).

A ideia de encontrar soluções ou aperfeiçoar produtos com base no problema de projeto pode ser definida por meio de relações análogas (FLORIO, 2011). Os princípios da similaridade têm o potencial de direcionar os projetistas a pensarem sobre a lógica de qualquer produto de design e a formalizar essa lógica com o apoio da linguagem matemática ou geométrica. Isso permite a adoção de um grande número de critérios que irão fundamentar a avaliação do produto (KHABASI, 2012).

Fasoulaki (2007) destaca que o número de projetistas que adotam os algoritmos generativos na produção de projetos vem aumentando rapidamente, principalmente na fase de desenvolvimento conceitual, mas sua aplicação deve centrar-se no âmbito da visão macro do processo e se resguardar quanto à concentração de características apenas de cunho formal. É necessário considerar o produto como uma ciência de totalidades, buscando por uma equalização dos requisitos construtivos e de resultados passíveis de serem executados no mundo real (FASOULAKI, 2007).

De acordo com Fasoulaki (2007) não há dúvidas de que fontes de inspiração, como as referenciadas na natureza, podem ser utilizadas como indutores de mundos conceituais abrindo o caminho para novas expressões formais, porém, a dificuldade de conseguir implementar os algoritmos em contextos reais é a maior dificuldade por parte dos projetistas. Ao se aplicar as variáveis projetuais através de relações análogas, principalmente as originadas dos contextos dos sistemas naturais biológicos, surgem limitações impostas pelo problema de projeto e pelo controle do processo evolutivo geracional (FASOULAKI, 2007).

Para Fasoulaki (2007), as maiores mudanças que os algoritmos generativos incidem sobre o projeto estão relacionadas a mudanças no processo de projeto e também no contexto do design. É importante destacar que a figura do projetista, nas aplicações de ferramentas dessa natureza, não vai se findar, pois é o projetista quem define as variáveis e as funções do problema, enquanto os algoritmos generativos possibilitam a redução do tempo projetual, do ciclo de produção ou mesmo da execução de cálculos avançados (FASOULAKI, 2007).

A possibilidade de simulação evolutiva do processo de geração projetual frente aos tradicionais processos de projeto transfere o projetista para uma posição neutra, cabendo a ele somente direcionar o processo, mantendo certo controle do desencadeamento (FASOULAKI, 2007). Quando o projetista assume um papel semelhante a um “juiz de aptidão estética” um novo tipo de controle da evolução técnica do projeto é estabelecido, a evolução da geração de ideias passa a ser realizado pelo processo computacional coordenado por múltiplos fatores de entrada, a este, denomina-se controle de “força seletiva” (FASOULAKI, 2007).

Segundo Fasoulaki (2007), o uso dos algoritmos generativos no processo de projeto auxilia os projetistas a encontrarem soluções “ótimas” para determinadas aplicações de projeto, além de encurtar o tempo de desenvolvimento, gerenciar suas interfaces multidisciplinares, e reduzir os custos. O conjunto dessas características é proporcionado pelo processo de múltiplas hipóteses geradas e aplicadas ao contexto do problema de projeto. Contudo, é chamada a atenção para as possíveis generalizações ou reducionismos aplicados a

definição do problema de projeto, devendo ocorrer uma apropriada codificação entre a subjetividade inerente ao projetista e a verdadeira intenção projetual.

Fasoulaki (2007) ressalta que a correta codificação é bem difícil de ser alcançada, principalmente porque a mente humana é inesperada e complexa, sendo necessário que o projetista acomode no interior do processo um espaço resiliente com o objetivo de adicionar ou reduzir as variáveis de controle. Segundo a autora, os recentes problemas de projeto vêm ultrapassando as capacidades dos projetistas em compreendê-los completamente na busca por uma solução verdadeiramente eficaz.

2.2 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO GRÁFICO (RHINOCEROS E GRASSHOPPER)

Khabazi (2012) destaca que todo projeto possui o seu próprio meio de representação a fim de demonstrar as ideias do projetista, e que na maioria dos casos são apresentados em papel ou impressos em softwares CAD. O projeto algorítmico também possui seu próprio meio, e entre eles estão os softwares Rhinoceros e Grasshopper. Ambos são produzidos pela empresa norte americana Robert McNeel & Associates. O Rhinoceros, também conhecido como Rhino 3D possui uma base de modelagem tridimensional baseado em curvas e superfícies do tipo NURBS (*Non Uniform Rational B-Splines*). Já o Grasshopper é um editor de algoritmo gráfico integrado com as ferramentas de modelagem do Rhinoceros (KHABAZI, 2012).

2.2.1 CONSTRUÇÃO DO PROJETO ALGORÍTMICO

Nos projetos convencionais a entrada de múltiplos parâmetros como áreas, dimensões, organizações espaciais e planos cartesianos fazem parte de um conjunto de informações que devem ser consideradas durante o processo de projeto (KHABAZI, 2012). No projeto algorítmico a ideia é tentar transferir esses parâmetros (informações de entrada) em algoritmos para gerar o projeto de final já com as diretrizes incorporadas nas soluções. O ato de realizar essa transferência é conhecido atualmente como algoritmo paramétrico ou design generativo (Figura 8) (KHABAZI, 2012).

Figura 8 – Produzindo um algoritmo para um copo de chá



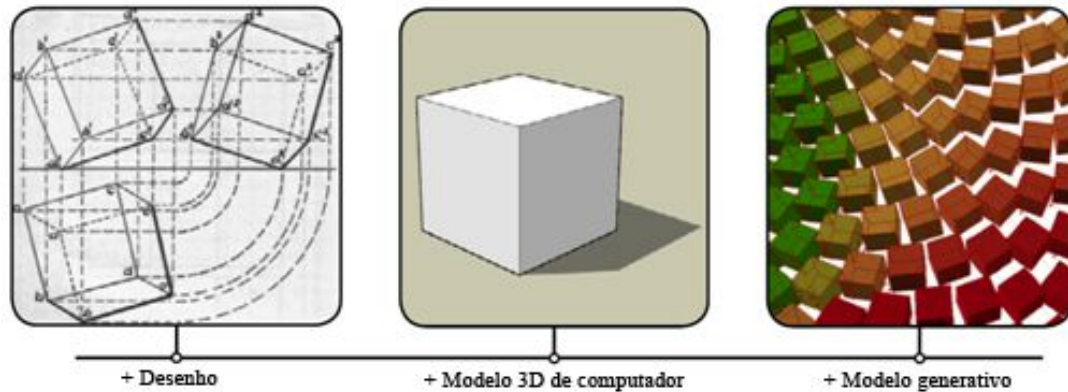
Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Os algoritmos de projeto são responsáveis por receber as diversas informações de entrada com o propósito de atender às necessidades específicas dos projetistas, produzindo certos resultados na saída, como por exemplo, uma geometria. Para que o computador fosse capaz de realizar essas tarefas foi necessário o desenvolvimento de um ramo da ciência chamado de “Geometria Computacional” que estuda problemas geométricos sobre o ponto de vista algorítmico. Em aspectos gerais, o objetivo está em solucionar um problema utilizando o menor número possível de operações elementares de modo a trazer eficiência no cálculo da solução (DE BERG et al., 2000).

A introdução do CAD foi um dos mais importantes passos na prática do projeto, pois auxiliou os diversos projetistas nas tarefas de desenho além de reforçar sua capacidade de modelagem (KHABAZI, 2012). O software permitiu que o usuário fosse capaz de lidar com os mais variados problemas geométricos presentes nos projetos, entre os quais: o controle da forma, o tamanho e as propriedades das curvas, as superfícies, os volumes, as curvas de forma livre e superfícies do tipo NURBS, o *bézier*, e as malhas, além da possibilidade de editar operações booleanas e transformações complexas (KHABAZI, 2012).

O próximo passo a frente foi quando o CAD ganhou acesso a *scripts* e a ferramentas de algoritmos, tornando possível alterar e criar códigos e/ou geometrias *scripts*, multiplicando o potencial da ferramenta, principalmente nos aspectos do design. Todas as operações e comandos de CAD tornaram-se parte de um código que poderia ser aplicado a um grande número de objetos nos campos do design. Assim, o desenho assistido por computador evoluiu para o design generativo (Figura 9) (KHABAZI, 2012).

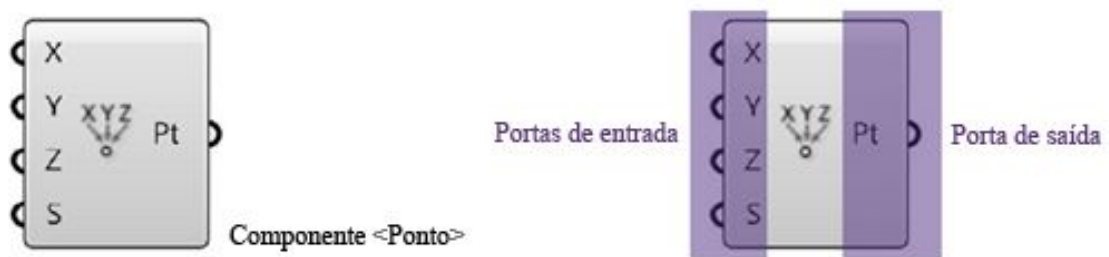
Figura 9 – Evolução do desenho de um cubo ao longo do tempo



Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Existem diferentes tipos de componentes no Grasshopper que são divididos conforme suas propriedades geométricas ou de função, sendo que a maioria deles realiza atividades relacionadas ao fornecimento de informações, a manipulação ou modificação dos dados, e o desenho e/ou modificação de objetos (KHABAZI, 2012). Normalmente um componente possui duas portas de configuração: a da esquerda (porta de entrada de dados/informações) e a da direita (porta que fornece os resultados), mas devido à natureza do trabalho que cada componente realiza esta configuração pode variar um pouco (Figura 10).

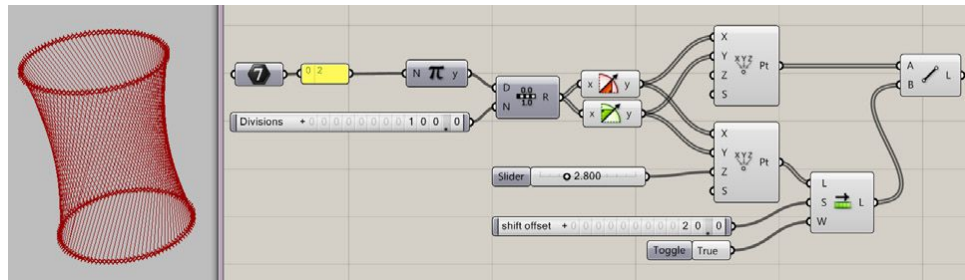
Figura 10 – Representação de um componente com suas portas de entrada e saída



Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Khabasi (2012) argumenta que a ordem de entrada das informações deve seguir uma sequência lógica de configuração para que um determinado algoritmo de projeto realize a execução da tarefa de forma correta e produza um resultado como resposta (Figura 11).

Figura 11 – Geometria produzida por um projeto algorítmico



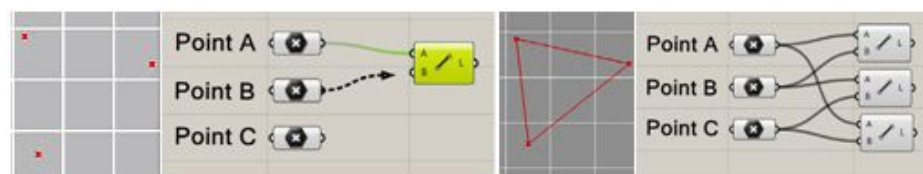
Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Segundo Khabasi (2012) todo projeto se inicia com a análise de vários tipos de dados, tais como o conteúdo, o programa e a estrutura, e que no projeto algorítmico isso ocorre da mesma forma, contudo, a entrada desses dados pode divergir um pouco aos do método tradicional. No projeto algorítmico os dados de entrada geralmente são introduzidos como algo sensível e compreensível pelo computador que vai desde uma simples geometria até dados numéricos complexos, textos ou mesmo imagens (KHABAZI, 2012).

Khabasi (2012) ressalta que todos os dados de entrada devem ser processados por um algoritmo e precisam estar ligados uns aos outros de modo que a obtenção da forma seja construída de pouco a pouco. O algoritmo recebe os dados, processa e fornece um resultado para o passo seguinte.

A Figura 12 apresenta o processo do desenvolvimento de um algoritmo de triangulação onde foram lançados inicialmente três pontos no Rhinoceros e atribuídos a eles três componentes do Grasshopper denominados de “*Point*”. Posteriormente, lançaram-se mais três componentes que têm a função de criar linhas entre cada par de pontos. Assim, para quaisquer alterações no posicionamento dos pontos (A, B, C) o algoritmo recalcula as novas coordenadas procedendo a uma nova ligação entre os pontos, mantendo o triângulo sempre conectado entre si. Isso acontece porque o triângulo é agora uma triangulação algorítmica gerada com base nas relações entre os elementos do projeto, ao invés de serem desenhos manuais. As relações algorítmicas definem como as geometrias devem ser geradas na área de projeto (KHABAZI, 2012).

Figura 12 – Composição de um algoritmo de triangulação

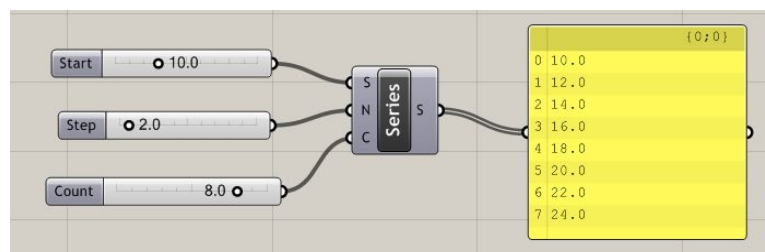


Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Khabasi (2012) ressalta que no projeto algorítmico o projetista trabalha com diferentes tipos de informações, como a definição das coordenadas e dos parâmetros numéricos, logo a utilização de um componente específico deve ser alimentado pelo tipo correto de informação. Se um componente necessita de dados de coordenadas, este deve ser alimentado por dados de coordenadas, se o mesmo necessita de números, deve ser alimentado por dados numéricos, e assim sucessivamente. Para facilitar as operações entre os componentes cada porta exibe uma “dica da ferramenta” que reflete o tipo de dado que é necessário para aquela porta em questão (KHABAZI, 2012).

Os componentes do Grasshopper costumam trabalhar com listas de dados com múltiplas entradas ao invés de apenas uma entrada, por isso são denominados de generativos (geração de múltiplas opções) (KHABAZI, 2012). A Figura 13 apresenta o componente “Series” configurado para gerar uma série de números começando no dez, com passo de dois, em um universo de oito números (0 a 7). O componente “Panel” foi utilizado para mostrar os resultados da operação (retângulo amarelo).

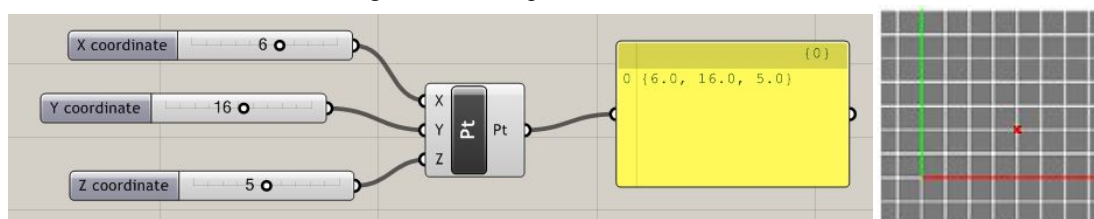
Figura 13 – Componente “Series”



Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Khabasi (2012) destaca que no Grasshopper é possível criar coordenadas de pontos sob várias abordagens, pois os mesmos marcam uma posição específica no espaço, podendo iniciar-se em curvas, centro de círculos, planos de origem, entre outros. Ainda segundo o autor é possível produzir pontos por seus valores de coordenadas utilizando um componente específico chamado de “Ponto XYZ”. Esse componente tem a função de inserir manualmente as coordenadas (X,Y,Z) definidas pelo projetista (Figuras 14) (KHABAZI, 2012).

Figura 14 – Componente “Ponto XYZ”

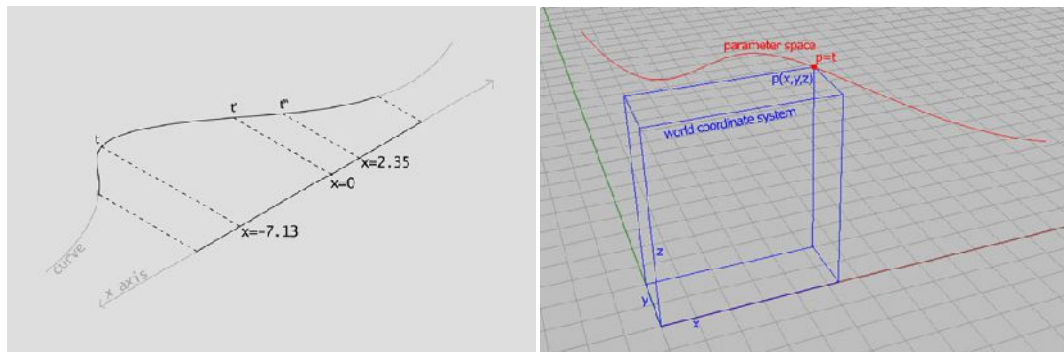


Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

As representações digitais de formas com características geométricas generativas ocorrem no espaço tridimensional (representadas na interface do Rhinoceros) através da articulação de sólidos e de superfícies, via múltiplos processos de formações, podendo lidar desde a geração de ideias clássicas da simetria até projetos que trabalham com cubos, esferas, cones, curvas, superfícies ou qualquer articulação proposta entre eles (KHABAZI, 2012).

Khabasi (2012) ressalta que a formulação do espaço se dá através de sistemas de coordenadas que identificam as propriedades básicas dos elementos, como a posição, direção e medição. O sistema de coordenadas cartesianas é um espaço tridimensional que tem um ponto de origem $P=(0,0,0)$ e três eixos ortogonais que se intersectam nesse ponto, determinando as direções de X, Y e Z (Figura 17) (KHABAZI, 2012).

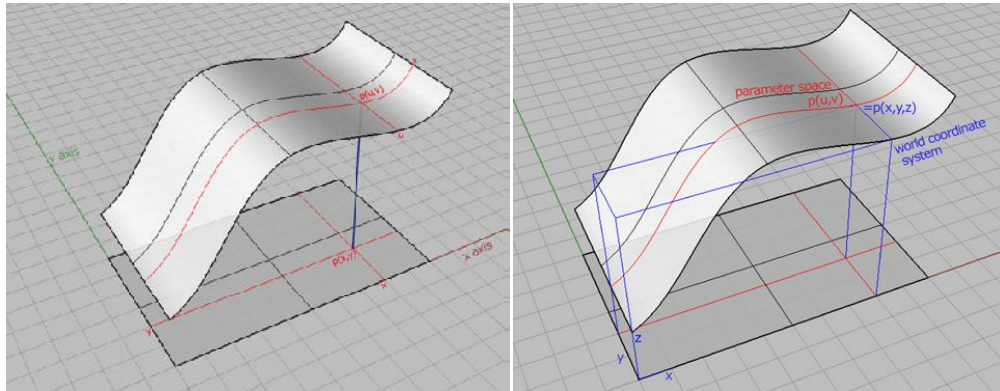
Figura 17 – Espaço paramétrico (Ponto)



Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

Os dois eixos do sistema de coordenadas mundial (X,Y) lidam com todos os pontos pertencentes a sua superfície plana e infinita onde cada ponto lançado neste espaço está associado um par de números $P=(X,Y)$. Todos os valores deste espaço bidimensional podem ser atribuídos não somente para se coordenar esta superfície, mas também para qualquer tipo de superfície não-plana e genérica no espaço (KHABAZI, 2012). Desta forma, é possível parametrizar qualquer ponto de coordenada de sistema sobre uma superfície curva no espaço, e nomear os diferentes pontos pertencentes à mesma através de um par de números $P=(U,V)$, onde qualquer ponto “P” sobre esta superfície será reconhecido. Esses parâmetros são específicos para cada superfície, e por isso é chamado de espaço paramétrico (Figura 18) (KHABAZI, 2012).

Figura 18 – Espaço paramétrico (Superfície)



Fonte: Adaptado de Khabazi (2012)

2.2.3 ESTRATÉGIAS DO PROJETO ALGORÍTMICO

De acordo com Khabazi (2012) todo projeto deve englobar uma agenda refletindo o que deve ser projetado, e para quais metas e objetivos. Ainda segundo o autor, o projetista deve pensar sobre a ordem desta agenda, se perguntando qual o tipo de projeto a ser desenvolvido, como uma casa, um edifício, ou um produto de design, para somente depois criar estratégias necessárias que respondam a essas necessidades. Para Khabazi (2012) qualquer processo de projeto, incluindo o projeto algorítmico, deve compreender um conjunto de estratégias relacionadas ao desenvolvimento do projeto, a sua fabricação e a montagem, pois são elementos inseparáveis e base para todas as decisões a serem tomadas. A estratégia definida poderá considerar diferentes questões, pois podem afetar o projeto de várias maneiras. Entre elas, destacam-se:

- **Modelagem:** complexidades algorítmicas e computacionais frente ao projeto;
- **Estrutura:** comportamento estrutural dos componentes;
- **Materiais:** propriedades dos materiais propostos;
- **Performance:** desempenho do sistema concebido;
- **Duração:** período de tempo que será destinado no projeto;
- **Escala:** qual a escala do projeto e como isso afeta outros fatores;
- **Máquinas:** limitações e potencialidades de máquinas envolvidas na fabricação;
- **Arquitetura do sistema:** como os elementos interagem uns com os outros;
- **Ecologia:** considerações de longo prazo quanto ao ciclo de vida do projeto.

As estratégias de projeto podem responder a todos esses itens, mas podem também possuir graus de prioridades diferentes dependendo das considerações essenciais do projeto, para posteriormente serem convertidas em algoritmos de projeto (KHABAZI, 2012). A questão é destacar o que é mais importante para o projeto, que tipo de informação está disponível como *input* para operar e o que deve ser fornecido como saída, tudo isso para que o projetista possa configurar corretamente o algoritmo, orientando o projeto para os objetivos pré-definidos (*goal oriented design*) (KHABAZI, 2012).

Para Khabazi (2012) é sempre útil compreender analiticamente o problema de projeto, esboçá-lo, fazer modelos físicos e olhar para os problemas de projeto sob vários aspectos antes de mergulhar em qualquer algoritmo. É sempre melhor começar a partir do simples, mas com lógicas fortes e, em seguida, fazê-lo passo a passo em vez de criar complexidade já nas etapas iniciais do projeto (Figura 19) (KHABAZI, 2012).

Figura 19 – Estratégias do projeto algorítmico para uma parede porosa



Fonte: Khabazi (2012)

Bons projetos e algoritmos inteligentes colocam em fundamento uma compreensão muito abrangente da lógica de qualquer ação de projeto e uma consequente abordagem para resolvê-lo a partir de avanços nos estágios de desenvolvimento de maneira simplificada, evitando atingir graus superiores de complexidade em fases muito precoces do mesmo (KHABAZI, 2012).

2.3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

Rozenfeld et al. (2006) apontam uma crescente demanda por novos produtos e aplicações nos últimos anos, principalmente nos aspectos ligados à sua eficiência. Contudo, o desempenho do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) depende muito da estratégia e da organização de seus elementos, que é algo bastante complexo em razão de sua natureza dinâmica (ROZENFELD et al., 2006). Para os autores, dois aspectos são bastante relevantes no enfoque da estruturação e do desenvolvimento de produtos. São os conceitos de processo e fluxo de informações:

1. **Processo:** configura-se como um grupo de atividades organizadas segundo uma sequência lógica;
2. **Fluxo de informações:** constituem-se por um conjunto de entradas e saídas de conhecimentos que interagem com diversas fontes de informações, tomado como referência o processo como um todo.

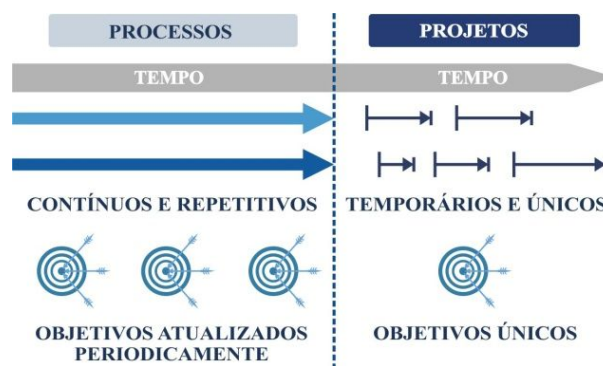
A visão do PDP baseada em fluxos de atividades e informações permite compreender as ligações críticas entre os diversos aspectos envolvidos. Tal particularidade exige que essas atividades e suas decisões relacionadas sejam realizadas de forma integrada, evidenciando a necessidade de estruturação de um processo específico que reúna o conjunto de atividades de forma dedicada (ROZENFELD et al., 2006).

Rozenfeld et al. (2006) argumentam que o PDP, assim como qualquer outro tipo de processo, pode ser representado simbólico e formalmente por meio de um modelo de referência que descreve suas atividades, ferramentas de suporte, e informações necessárias e/ou geradas no processo. O modelo determina um referencial, ou seja, um guia que facilita a implantação e a integração de métodos, técnicas e sistemas de apoio ao PDP, antecipando problemas relacionados a projetos bem como a redução do tempo de desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006).

O núcleo central de um modelo de referência está na representação da estrutura das etapas e das atividades operacionais, possibilitando os diversos projetistas a terem uma visão comum do processo (ROZENFELD et al., 2006). Para os autores, os resultados esperados ao final de um esforço voltado para a constituição de um PDP são: como as atividades devem ser realizadas, quais as condições a serem atendidas, quais as fontes de informações, e quais os critérios de decisões a serem adotados.

Para Rozenfeld et al. (2006) é importante entender claramente o conceito de modelagem de processos, sendo necessário uma definição conceitual dos termos “processo” e “projeto”. Segundo os autores, o processo poderia ser definido como sendo “um conjunto de atividades organizadas entre si visando produzir um bem ou serviço para um tipo específico de cliente”, podendo representar operações repetitivas e que normalmente são estruturadas. O conceito de projeto estaria ligado também a um conjunto de atividades, porém, únicas e temporárias, mas com a característica de possuir um início, meio e fim delimitados (Figura 20) (ROZENFELD et al., 2006).

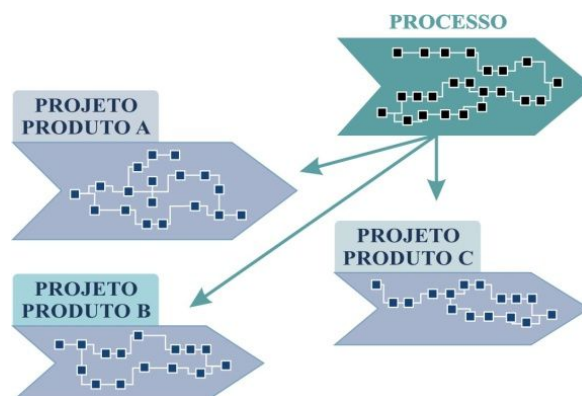
Figura 20 – Diferença entre processo e projeto



Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

O ato de documentar um PDP está diretamente relacionado ao estabelecimento de um padrão de como desenvolver os produtos e ainda ser aplicado por diferentes áreas de projetos, bastando somente adaptá-lo segundo as necessidades do projeto (ROZENFELD et al., 2006). Cada projeto especificamente poderá utilizar a mesma fonte, resultando em uma linguagem comum a todos eles, garantindo que certas práticas e ferramentas sejam aplicadas a todos os projetos de desenvolvimento (Figura 21).

Figura 21 – Diferentes projetos resultantes de um mesmo processo



Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Rozenfeld et al. (2006) destacam que o fato de documentar um PDP é muito importante, pois cada projeto possui tarefas específicas e dependentes de inúmeras variáveis, tais como: a complexidade do produto a ser desenvolvido, o grau de inovação, e a tecnologia a ser empregada. A documentação do processo permite que as particularidades de cada projeto sejam atendidas, garantindo a utilização de boas práticas de projeto e um linguajar padronizado e único para todos os projetistas (ROZENFELD et al., 2006).

Vários autores descrevem o desenvolvimento de produtos como uma sequência de passos, fases, e etapas, retomando a ideia do “modelo estruturado” de diversas formas. Como os projetos de desenvolvimento são definidos a partir de um modelo, ele é conhecido como “modelo de referência” (ROZENFELD et al., 2006). Para os autores, o modelo é um documento que pode estar na forma de um manual ou publicação, e que tem como objetivo apresentar uma visão unificada do desenvolvimento de um produto.

A falta de uma visão unificada do processo pode abrir uma lacuna para que cada projetista faça um entendimento individualizado do processo utilizando um vocabulário e formalismo particular para descrevê-lo advindos de sua experiência passada (ROZENFELD et al., 2006). Essa limitação pode acarretar problemas e ineficiência no processo dificultando a comunicação e integração entre os diferentes profissionais envolvidos na solução de um problema de projeto. Um modelo é capaz de reduzir essas limitações desenvolvendo um ponto de vista comum a todos os envolvidos, direta ou indiretamente (ROZENFELD et al., 2006).

2.3.1 MODELO GENÉRICO DE PDP

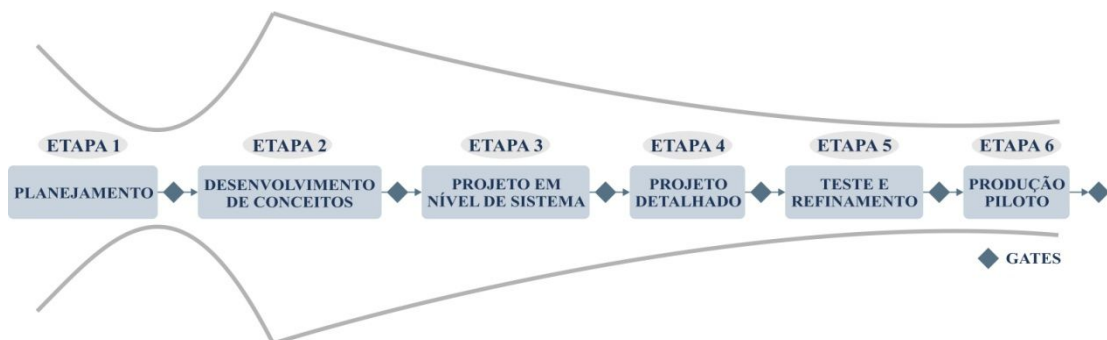
Para Ulrich e Eppinger (2012) o conceito de processo está relacionado a dois aspectos principais: a sua própria definição e a definição de um PDP. O processo é uma sequência de passos que transforma um conjunto de entradas em um conjunto de saídas, enquanto o processo de desenvolvimento de produtos seria uma sequência de etapas ou atividades que uma empresa utiliza para conceber, projetar e comercializar um produto, onde a maioria das etapas e sequências de atividades possuem um caráter intelectual e/ou organizacional (ULRICH; EPPINGER, 2012). Segundo os autores, um PDP bem definido é útil pelas seguintes razões:

- **Garantia de qualidade:** especifica as fases em que um projeto irá passar e seus respectivos pontos de controle ao longo do caminho, assegurando, de certa forma, a qualidade do produto resultante;

- **Coordenação:** um processo claramente articulado atua como um plano piloto, definindo os papéis de cada membro da equipe;
- **Planejamento:** a inclusão de marcos correspondentes a conclusão de cada fase ancora o cronograma total do projeto de desenvolvimento;
- **Gestão:** um processo de desenvolvimento é um ponto de referência para avaliar o esforço de desenvolvimento ao longo de um curso, comparando os eventos reais com os estabelecidos ao longo de um processo;
- **Melhoria:** a documentação e organização do curso de desenvolvimento podem ajudar a identificar oportunidades de melhoria.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012) um PDP genérico consiste em seis etapas (Figura 22). O processo começa com uma fase de planejamento que corresponde à investigação e o desenvolvimento da tecnologia. Sua saída corresponde à missão do projeto, que por sua vez, é a entrada para a fase de desenvolvimento de conceitos. A conclusão do processo de desenvolvimento é o lançamento do produto, momento em que o mesmo estará disponível para compra no mercado (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Figura 22 – PDP genérico de Ulrich e Eppinger



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

Ulrich e Eppinger (2012) argumentam que o processo de pensar o desenvolvimento de um produto está relacionado em como um amplo conjunto de conceitos pode ser estreitado em alternativas de produtos, aumentando as especificações do mesmo até que ele possa ser produzido de forma viável pelo sistema de produção. Uma segunda maneira de pensar o PDP é vê-lo como um sistema de informações. O processo de inicia com as oportunidades estratégicas, as tecnologias disponíveis, as plataformas de produtos e os sistemas de produção. O conjunto de atividades processa as informações sobre o desenvolvimento, as especificações,

e os conceitos do projeto, se concluindo quando todas as informações necessárias para apoiar a produção foram criadas e comunicadas (ULRICH; EPPINGER, 2012).

As seis etapas que correspondem ao PDP genérico apresentado por Ulrich e Eppinger (2012) podem ser descritas da seguinte maneira:

1. **Planejamento (Etapa 1):** atividade muitas vezes referida como “fase zero”, porque precede a aprovação do projeto e o lançamento do processo de desenvolvimento do produto real. Esta etapa começa com a identificação de oportunidades guiada pela estratégia corporativa e inclui a avaliação da evolução da tecnologia e os objetivos de mercado. A saída desta etapa é a declaração de missão do projeto, que especifica o mercado-alvo para o produto, os principais pressupostos e suas restrições;
2. **Desenvolvimento de conceitos (Etapa 2):** nesta etapa as necessidades-alvo do mercado são identificadas, conceitos de produtos alternativos são gerados e avaliados, sendo um ou mais selecionados para o desenvolvimento e a realização de testes. O conceito é uma descrição da forma, da função e das características de um produto, e é geralmente acompanhado por um conjunto de especificações e por uma justificativa econômica do projeto;
3. **Projeto em nível de sistema (Etapa 3):** esta etapa inclui a definição da arquitetura do produto, sua decomposição em subsistemas e componentes, além do projeto preliminar dos componentes chaves. A saída desta etapa geralmente inclui uma disposição geométrica do produto, uma especificação funcional de cada um dos produtos de subsistemas e um diagrama de fluxo de processo preliminar para a montagem final;
4. **Projeto detalhado (Etapa 4):** a etapa do projeto detalhado inclui a especificação completa da geometria, materiais e tolerâncias das peças únicas no produto e a identificação de todas as peças padrão a serem adquiridas a partir de fornecedores. Um plano de processo é estabelecido. A saída desta etapa é a documentação de controle para os produtos (desenhos ou arquivos de computador) que descrevem a geometria de cada peça e seu ferramental de produção, as especificações das peças adquiridas, e os planos de processo para a fabricação e a montagem.

5. **Teste e refinamento (Etapa 5):** esta etapa envolve a construção e a avaliação de várias versões de pré-produção do produto. Os primeiros protótipos são construídos com as características semelhantes às intenções de produção (geometria e materiais). Assim, os protótipos são testados para determinar se o produto irá funcionar assim como concebido e se o mesmo satisfaz as necessidades dos clientes-alvo;
6. **Produção piloto (Etapa 6):** na etapa de produção piloto o produto é feito usando o mesmo sistema de produção que se destina. Produtos produzidos durante esta etapa às vezes são fornecidos a clientes preferenciais e são cuidadosamente avaliados para identificar quaisquer falhas remanescentes. A transição da produção piloto para a produção contínua é geralmente gradual. Em algum ponto nessa transição o produto é lançado e se torna disponível para distribuição generalizada. A revisão do projeto após o lançamento pode ocorrer logo em seguida, cuja avaliação buscará identificar formas de melhorar o processo de desenvolvimento para futuros projetos.

2.3.2 DESENVOLVIMENTO DE CONCEITOS NO PDP

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam a importância que deve ser atribuída a Etapa 2 do PDP, pelo fato da atividade de desenvolvimento de conceitos exigir uma coordenação entre as diversas funções envolvidas e inter-relacionadas. Assim, os autores retratam o conjunto das atividades presentes nesta etapa do processo conforme a Figura 23.



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

Ulrich e Eppinger (2012) argumentam que raramente um PDP progride de forma puramente sequencial, onde se completa cada atividade para posteriormente se iniciar a

próxima. Para os autores, o que é verificado na prática, é que o conjunto das atividades a serem executadas pode ser sobreposto no tempo e que a interação entre elas, muitas vezes, é necessária. As setas tracejadas na Figura 23 apontando para a esquerda refletem a natureza incerta do progresso no desenvolvimento de produtos. Praticamente, em todos os estágios do processo, novas informações podem se tornar disponíveis, ou mesmo resultados aprendidos podem fazer com que a equipe de projeto resolva dar um passo para trás, repetindo uma atividade antes de prosseguir para a próxima. Esta repetição de atividades é normalmente conhecida como desenvolvimento de iteração (ULRICH; EPPINGER, 2012).

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012) o processo de desenvolvimento de conceitos inclui as seguintes atividades e objetivos (Figura 23):

1. **Identificar as necessidades do cliente:** o objetivo desta atividade é entender o que os clientes precisam e comunicar de forma eficaz esta informação para a equipe de desenvolvimento. A saída deste passo é a formalização de um conjunto de declarações, cuidadosamente construídas, com as necessidades do cliente e organizadas em uma lista hierárquica, com ponderações de importância para muitas ou mesmo para todas as necessidades;
2. **Estabelecer as especificações-alvo:** as especificações-alvo fornecem uma descrição precisa acerca do que o produto deverá fazer. É a tradução das necessidades dos clientes em termos técnicos. As metas para as especificações são definidas logo no início do processo. Posteriormente, as especificações são refinadas para que haja coerência com as restrições impostas pela escolha do conceito do produto pela equipe de projeto. A saída deste estágio é uma lista de especificações-alvo. Cada especificação consiste de uma métrica, com os valores ideais para cada uma delas;
3. **Gerar conceitos de produtos:** o objetivo da geração de conceitos é explorar completamente o espaço de soluções que possam atender às necessidades dos clientes. A geração de conceito inclui uma mistura de pesquisas externas, resolução criativa de problemas dentro da própria equipe, e exploração sistemática das várias soluções geradas;
4. **Selecionar conceito(s) de produto(s):** a seleção do conceito é a atividade onde vários conceitos do produto são analisados e sequencialmente

eliminados para identificar o conceito mais promissor. O processo geralmente requer várias iterações;

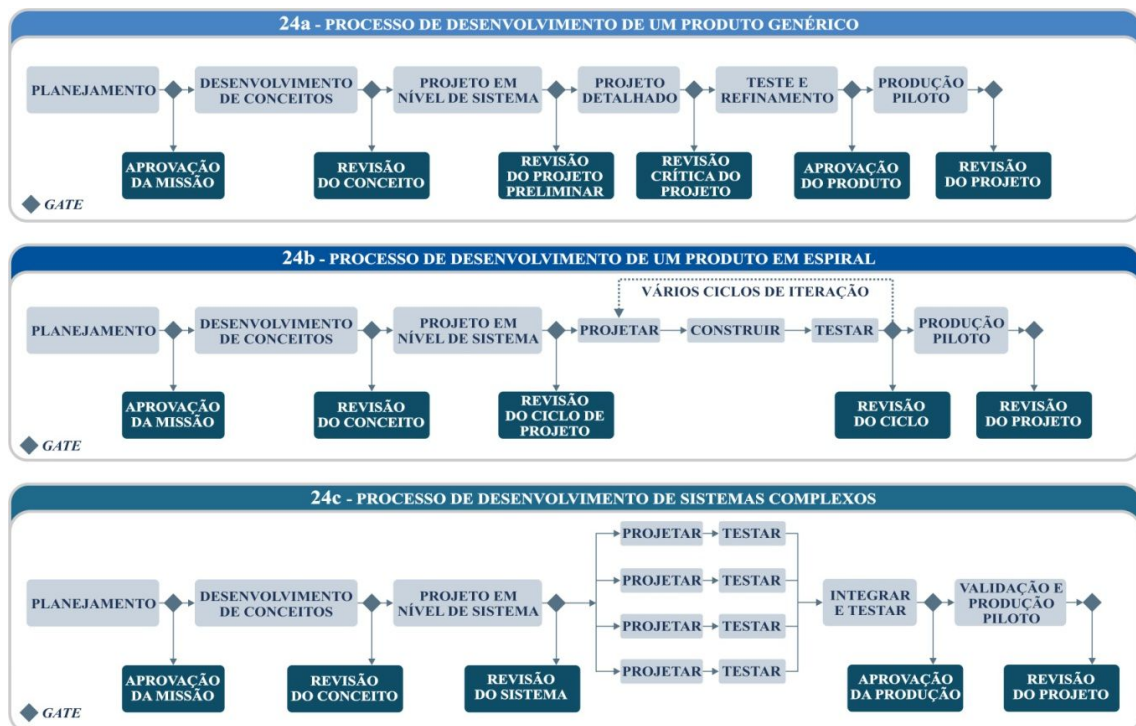
5. **Testar conceito(s) de produto(s):** um ou mais conceitos são então testados para verificar se as necessidades dos clientes foram atendidas. São também identificadas eventuais deficiências que devem ser corrigidas durante o seu desenvolvimento;
6. **Definir especificações finais:** as especificações-alvo definidas no início do processo são revisadas depois de um dos conceitos ter sido selecionado e testado. Neste ponto, a equipe deve se comprometer com valores específicos das métricas, refletindo as restrições inerentes ao conceito do produto, as limitações identificadas através da modelagem técnica e a relação entre o custo e o desempenho;
7. **Planejar o desenvolvimento do projeto:** nesta atividade final do desenvolvimento do conceito, a equipe cria um cronograma de desenvolvimento detalhado, elabora uma estratégia para minimizar o tempo de desenvolvimento, e identifica os recursos necessários para completar o projeto;
8. **Realizar análise econômica:** a equipe, muitas vezes com o apoio de um analista financeiro, constrói um modelo econômico para o novo produto. Esse modelo é usado para justificar a continuação do programa de desenvolvimento global e para resolver questões específicas entre, por exemplo, os custos de desenvolvimento e os custos de fabricação;
9. **Referenciar produtos competitivos:** o entendimento acerca dos produtos competitivos é fundamental para o posicionamento bem-sucedido de um novo produto e pode proporcionar uma rica fonte de ideias para o design do produto e para o processo de produção;
10. **Construir e testar modelos e protótipos:** em todas as fases do processo de desenvolvimento do conceito envolve várias formas de modelos e protótipos. Estes podem ajudar a equipe de desenvolvimento a demonstrar sua viabilidade, avaliar a ergonomia e o estilo, ou mesmo servir como modelo para testes experimentais.

2.3.3 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012) um PDP, geralmente, segue um fluxo estruturado de atividades e informações o que permite criar um desenho chamado de diagrama de fluxo de processo. O diagrama ilustra o processo utilizado para o desenvolvimento do produto. Cada etapa de desenvolvimento deve ser seguida por uma avaliação ou porta denominada de “*gate*”. Essa porta tem por objetivo confirmar que uma etapa iniciada seja concluída, além de marcar o andamento do projeto (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que em alguns modelos de PDP a atividade de prototipagem ou testes de conceitos pode ser repetida diversas vezes (Figura 24b), assim como em processos de desenvolvimento de sistemas complexos as etapas de projeto podem ser decompostas em fases paralelas ou mesmo em diversos subsistemas e componentes, conforme apresentado pela Figura 24c.

Figura 24 – Exemplos de diagramas de fluxo de processos



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que uma vez estabelecido o PDP o diagrama de fluxo é utilizado para explicar o processo a todos os envolvidos. A Figura 25 apresenta um exemplo de modelo de PDP, modificado por uma equipe de projeto, a partir do diagrama de fluxo de processo voltado para o desenvolvimento de um produto genérico (conforme

sugerido pela Figura 24a). No exemplo em questão, o processo foi adaptado para 8 etapas distintas, conforme adequações necessárias ao ambiente de projeto. Verifica-se que cada etapa do modelo é seguida por uma revisão crítica chamada de ponto de reunião (PR), equivalente aos *gates*, cuja necessidade se vincula a obtenção da aprovação da etapa ou atividades correspondentes.

Figura 25 – Exemplo de um modelo de PDP modificado para oito etapas distintas

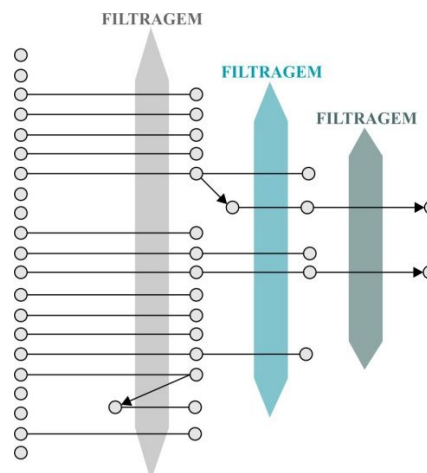


Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

2.3.4 GERAÇÃO DE CONCEITOS E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que as oportunidades de desenvolvimento de produtos variam muito em termos de valor, principalmente em função das incertezas recorrentes nas fases iniciais do projeto. Alguns processos podem gerar dezenas, centenas ou mesmo milhares de oportunidades a serem consideradas e eficientemente retirar aquelas que não valem o investimento. É importante considerar durante o processo uma filtragem que fará a seleção de um subconjunto com as melhores características do produto para que posteriormente sejam lançados maiores esforços para o desenvolvimento do produto completo (Figura 26) (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Figura 26 – Processo de identificação de oportunidades



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

Ulrich e Eppinger (2012) destacam que a atividade 3 (gerar conceitos de produtos) relacionada ao desenvolvimento de conceitos no PDP (Figura 23) tem a função de gerar uma ampla gama de conceitos, e que algumas empresas, durante essa atividade, exploram diversas ideias para os produtos com o recurso do protótipo, buscando o conceito mais promissor para o desenvolvimento do projeto. Para se buscar um grande número de excelentes oportunidades, Ulrich e Eppinger (2012) destacam três formas básicas:

1. **Gerar um grande número de oportunidades:** se for gerado mais oportunidades, mais delas serão vistas como excepcionais. A lógica aqui é simples: quanto mais oportunidades criadas, maior será a probabilidade de se encontrar oportunidades excepcionais;
2. **Procurar pela alta qualidade nas oportunidades geradas:** a adoção de melhores métodos na geração e na seleção das melhores fontes de oportunidades pode aumentar significativamente a qualidade média das oportunidades em estudo, e por consequência aumentar a qualidade das ideias resultantes;
3. **Criar alta variação na qualidade das oportunidades:** isso está diretamente ligado a implicações estatísticas. Se o número de oportunidades for constante e a qualidade média for alta resultará em uma variabilidade excepcional do processo, gerando qualidade na consistência dos resultados. A busca de variabilidade contradiz as abordagens normais à melhoria dos processos, mas é exatamente o que se procura na criação de oportunidades.

Para Ulrich e Eppinger (2012) a atividade de geração de conceitos de um produto geralmente é expressa na forma de um esboço ou modelo tridimensional, onde muitas vezes é acompanhada por uma breve descrição textual. Em síntese, a geração de conceitos seria a descrição aproximada da tecnologia utilizada, dos princípios de trabalho, e da forma do produto, além do conceito de qualidade estar diretamente ligado ao grau em que um produto satisfaz os clientes.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012) o processo de geração de conceitos começa com um conjunto de necessidades e especificações do cliente-alvo e resulta em um conjunto de conceitos de produtos a partir do qual a equipe de projeto irá fazer uma seleção final. A adoção de uma abordagem estruturada na geração de conceitos pode reduzir a incidência de problemas relacionados às disfunções do produto, incentivando a equipe de projeto na

exploração completa de alternativas, além de fornecer um mecanismo para integração de soluções parciais (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Ulrich e Eppinger (2012) recomendam a aplicação de um método de geração de conceitos baseado em 5 passos. Basicamente, o método sugerido quebra um problema complexo em subproblemas mais simples:

Passo 1 - Esclarecer o problema: esclarecer o problema consiste em desenvolver uma compreensão geral e em seguida quebrar o problema em subproblemas, caso necessário. A declaração de missão para o projeto, a lista de necessidades do cliente, e as especificações preliminares do produto são as entradas ideais para o processo de geração do conceito. Os autores ressaltam que alguns desafios de projeto são complexos demais para serem resolvidos como um único problema e podem ser divididos em vários subproblemas mais simples.

O primeiro passo para a decomposição de um problema funcional é representá-lo como uma caixa preta, com a função global do produto. O próximo passo na decomposição funcional é dividir essa “caixa preta” em subfunções com o objetivo de criar uma descrição mais específica do que os elementos do produto pode fazer, a fim de implementar a sua função global. Cada subfunção pode ser dividida em subfunções ainda mais simples. O processo de divisão é repetido até que os membros da equipe concordem que cada subfunção é simples o suficiente para se trabalhar;

Passo 2 - Pesquisar externamente: a busca externa destina-se a encontrar soluções existentes tanto para o problema global quanto para os subproblemas identificados durante a etapa de clarificação problema. Para Ulrich e Eppinger (2012) a pesquisa externa ocorre continuamente durante todo o processo de desenvolvimento e que a implementação de uma solução existente geralmente é mais rápida e barata do que o desenvolvimento de uma nova solução. O uso de soluções já existentes permite que a equipe concentre sua energia criativa sobre os subproblemas críticos para as quais não há soluções anteriores satisfatórias.

A procura externa de soluções é essencialmente um processo de coleta de informações, e há pelo menos cinco boas maneiras de coletá-las a partir de fontes externas, são elas: entrevistas com usuários, consulta de especialistas, pesquisas de patentes, pesquisas bibliográficas, e *benchmarking* competitivo (ULRICH; EPPINGER, 2012);

Passo 3 - Pesquisar internamente: a pesquisa interna é o uso do conhecimento e da criatividade pessoal da equipe para gerar conceitos de solução, onde muitas vezes é chamado de *brainstorming*. Nesse tipo de pesquisa todas as ideias são criadas a partir de conhecimentos

da própria equipe, tanto a partir da extração de informações individuais quanto coletivamente, adaptando as informações para um problema em questão.

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que alguns indivíduos ou equipes experientes podem simplesmente sentar e começar a gerar bons conceitos para um subproblema através do uso de técnicas que estimulam seus pensamentos. Entre essas técnicas estão o uso de analogias, de estímulos relacionados e não-relacionados (que são os impulsos gerados no contexto do problema e sua maneira de usá-los na busca por novas ideias), o estabelecimento de metas quantitativas, e o uso do método de galeria (que é a fixação nas paredes de folhas contendo esboços e/ou figuras que possam fundir os esforços individuais e de grupo);

Passo 4 - Explorar sistematicamente: Ulrich e Eppinger (2012) destacam que como resultado das atividades de pesquisa interna e externa, a equipe de projeto já terá recolhido dezenas ou centenas de conceitos fragmentos de soluções para os subproblemas. A exploração sistemática destina-se a explorar o espaço de possibilidades de forma a organizar e sintetizar esses fragmentos de soluções;

Passo 5 - Refletir sobre as soluções e o processo: a atividade de reflexão deve ser realizada ao longo de todo o processo e que determinadas perguntas devem fazer parte desta atividade. Entre elas destacam-se: o espaço de solução foi totalmente explorado, existem diagramas funcionais alternativos, existem formas alternativas para se decompor o problema, as fontes externas foram exaustivamente perseguidas, entre outras (ULRICH; EPPINGER, 2012).

2.3.5 SELEÇÃO E TESTE DE CONCEITOS

As atividades de seleção e teste de conceitos, atividades 4 e 5 (Figura 23), são essenciais no PDP (ULRICH; EPPINGER, 2012). Para os autores, a seleção do conceito é um processo de avaliação que diz respeito à correta identificação das necessidades dos clientes e outros critérios, comparando os pontos fortes e fracos de forma a selecionar um ou mais conceitos para uma investigação mais aprofundada, teste ou desenvolvimento.

Enquanto outras atividades do PDP possuem como característica o pensamento divergente, a atividade de seleção do conceito é um processo essencialmente convergente, estreitando o conjunto de alternativas disponíveis. Embora a atividade seja convergente ela é frequentemente iterativa, explícita e intimamente relacionada com a sua geração e teste,

podendo não resultar em um conceito dominante imediatamente (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Já os testes de conceito estão diretamente relacionados com a sua seleção, pois ambas as atividades têm por objetivo estreitar ainda mais o conjunto de conceitos em questão (ULRICH; EPPINGER, 2012). De acordo com os autores, os testes estão intimamente relacionados com a prototipagem, pois envolvem algum tipo de representação do produto na forma de um protótipo.

Para Ulrich e Eppinger (2012) testar um conceito é essencialmente uma atividade experimental, e como acontece com qualquer experiência, saber o objetivo é primordial. Em testes de conceitos a equipe de projeto pode apresentar um protótipo do produto ao cliente com objetivo de solicitar um *feedback* sobre a atratividade do conceito.

Outra abordagem que pode ser utilizada pela equipe de desenvolvimento, quando a mesma está tentando decidir entre vários conceitos em questão, é em vez de mostrar um único conceito, optar por solicitar a um cliente potencial selecionar um ou mais conceitos a partir de várias alternativas apresentadas. A maioria dos testes de conceito tem por objetivo comunicar o conceito do produto para em seguida medir a resposta do cliente (ULRICH; EPPINGER, 2012).

2.3.6 ARQUITETURA DO PRODUTO

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012) um produto pode ser considerado tanto em termos funcionais quanto físico. Os elementos funcionais de um produto são as operações individuais e transformações que contribuem para o desempenho global do mesmo. Esses elementos são geralmente descritos de forma esquemática antes de serem traduzidos em tecnologias específicas, componentes, ou princípios físicos de trabalho.

Os elementos físicos de um produto são as peças, os componentes e os subconjuntos, que determinam as funções do produto em si, tornando-se mais definidos à medida que o desenvolvimento progride (ULRICH; EPPINGER, 2012). Esses elementos normalmente são organizados em vários blocos de construção, que são chamamos de pedaços. Cada pedaço é então composto por uma coleção de componentes que implementam as funções do produto.

A arquitetura de um produto é o plano através do qual os elementos funcionais estão organizados na forma de blocos físicos e através do qual os pedaços possam interagir. A característica mais importante da arquitetura de um produto é a sua modularidade, pois

permite alterar a estrutura de um bloco específico sem que exija a mudança de outros pedaços (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Para Ulrich e Eppinger (2012) a arquitetura de um produto começa a surgir durante o desenvolvimento do conceito, Etapa 2 do PDP genérico (Figura 22). Isso acontece informalmente nos desenhos, nos diagramas funcionais, e nos primeiros protótipos do conceito na fase de desenvolvimento, se tornando um elemento central do conceito do produto. Segundo os autores, as questões acerca da arquitetura do produto estão intimamente ligadas a diversas questões relevantes, tais como: variedade de produtos, padronização de componentes, desempenho, e industrialização, ou seja, aspectos relacionados à estratégia de desenvolvimento.

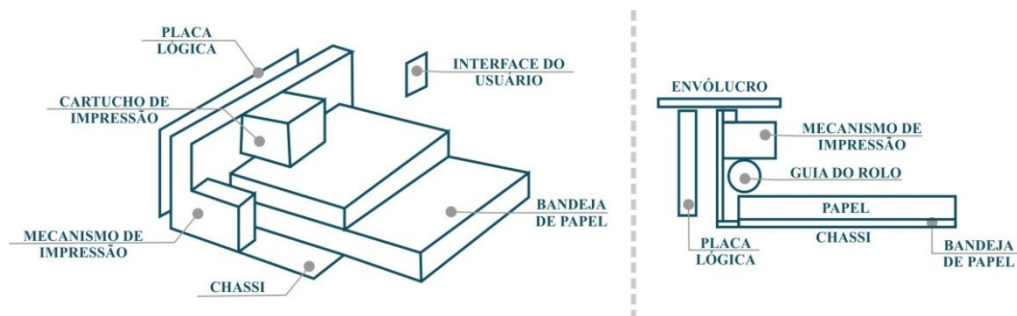
Ulrich e Eppinger (2012) recomendam um método de 4 passos para estruturar o processo de decisão quanto aos aspectos ligados a arquitetura do produto:

1. **Criar um diagrama esquemático (Passo 1):** um esquema é um diagrama que representa o entendimento da equipe dos elementos constituintes de um produto. Alguns dos elementos do esquema são conceitos físicos e outros correspondem a componentes essenciais. No entanto, alguns dos elementos descritos podem apenas permanecer funcionalmente, pois ainda não foram reduzidos a conceitos físicos ou componentes. Os elementos que satisfazem a este último critério são, geralmente, o conceito central do produto;
2. **Agrupar os elementos do esquema (Passo 2):** deve-se atribuir a cada um dos elementos do esquema um pedaço, existindo, contudo, a possibilidade de criar diversas alternativas viáveis;
3. **Criar um layout geométrico (Passo 3):** Ulrich e Eppinger (2012) apontam que uma disposição geométrica pode ser criada em duas ou três dimensões, usando desenhos, modelos de computador, ou mesmo modelos físicos. O uso da disposição geométrica entre os elementos ajuda a equipe de projeto a perceber inconsistências geométricas entre as partes. A criação do layout geométrico deve ser coordenada juntamente com a equipe dos designers industriais, nos casos em que as questões de interface estéticas e humanas do produto sejam importantes e fortemente relacionadas com o arranjo geométrico dos blocos;

4. **Identificar as interações fundamentais e acessórias (Passo 4):** a fim de melhor gerir o processo de coordenação, a equipe de desenvolvimento deve identificar as interações conhecidas entre os pedaços durante a fase do projeto em nível de sistema, Etapa 3 (Figura 22). Para Ulrich e Eppinger (2012) existem duas categorias de interações entre os pedaços (fundamentais e acessórias). As interações fundamentais são aquelas que correspondem às linhas no esquema que conectam os blocos um ao outro, e as interações acidentais são aquelas que surgem devido à execução física particular de elementos funcionais ou por causa do arranjo geométrico entre os blocos.

A Figura 27 mostra um layout geométrico de uma impressora modelo DeskJet, apresentada por Ulrich e Eppinger (2012), onde é possível verificar o posicionamento das várias partes integrantes (pedaços grandes). Os autores defendem que a criação de um layout geométrico força a equipe de desenvolvimento a considerar todas as interfaces geométricas entre os pedaços, e se os mesmos são viáveis de serem executados.

Figura 27 – Layout geométrico de uma impressora DeskJet



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

2.3.7 DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS

Segundo Ulrich e Eppinger (2012) a definição do termo protótipo está ligada a algo como uma aproximação do produto ao longo de uma ou mais dimensões de interesse, exibindo pelo menos um aspecto do produto. Os protótipos podem ser classificados de duas formas: protótipo físico e protótipo analítico. Os protótipos físicos são artefatos tangíveis criados para aproximar o produto da equipe de desenvolvimento com objetivos de teste e experimentação. Entre eles incluem os modelos para visualização e toque e os protótipos de prova de conceito para validar a funcionalidade de um produto (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Os protótipos analíticos representam o produto de uma forma não-tangível, geralmente de uma maneira matemática ou visual para analisar aspectos interessantes do produto, uma vez que ele não é construído. Exemplos de protótipos analíticos incluem simulações de computador, sistemas de equações codificadas de planilhas, e modelos de computador de geometria tridimensional (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Para os autores, os protótipos analíticos são mais flexíveis do que protótipos físicos, porque um protótipo analítico é uma aproximação matemática do produto. Ele contém parâmetros que podem ser variados de modo a representar uma gama de alternativas de design. Na maioria dos casos a alteração de um parâmetro é muito mais fácil do que a alteração de uma propriedade em um protótipo físico, além de permitir alterações muito maiores do que em um protótipo físico. Por estas razões, um protótipo analítico frequentemente precede um protótipo físico, pois ele é utilizado para limitar a gama de parâmetros viáveis para em seguida ajustar ou confirmar o design em um protótipo físico (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Os protótipos físicos são necessários para detectar fenômenos imprevistos, que são divergentes em relação aos objetivos originais do projeto, uma vez que as leis da física estão operando constantemente nos experimentos da equipe com os protótipos físicos. Eles são destinados a investigar questões geométricas, térmicas ou ópticas. O protótipo físico pode servir como uma ferramenta para a detecção de fenômenos prejudiciais inesperados que possam surgir no produto final (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Em contraste com os protótipos físicos, os protótipos analíticos, não podem revelar fenômenos que não fazem parte do modelo analítico subjacente em que o protótipo é baseado. Por esta razão, Ulrich e Eppinger (2012) recomendam que pelos menos um protótipo físico seja construído em um esforço de desenvolvimento de produtos. Em projetos de desenvolvimento de produtos os protótipos são utilizados basicamente para quatro finalidades: aprendizagem, comunicação, integração e marcos (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que diferentes tecnologias de produção são usadas para criar protótipos, e uma delas é a modelagem computacional tridimensional. Desde os anos 90 o modo dominante da representação de projeto mudou drasticamente, passando dos desenhos bidimensionais para os tridimensionais auxiliados por computador. Esses modelos passaram a representar os projetos como coleções de entidades sólidas, representadas a partir de primitivas geométricas, como cilindros e blocos (ULRICH; EPPINGER, 2012). Para os autores, a introdução do desenho tridimensional pode eliminar um ou mais protótipos físicos, inclusive eliminando a necessidade de um protótipo em escala real.

3. OBJETOS DE ESTUDO

3.1 OBJETO DE ESTUDO 1: “BALCÃO SAMBA: COMPATIBILIZANDO ESTÉTICA, FABRICAÇÃO E DESEMPENHO ESTRUTURAL COM O USO DE MODELOS VIRTUAIS E FÍSICOS NO PROCESSO DE PROJETO”

O presente objeto de estudo é um artigo publicado em 2014 intitulado: “Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e Desempenho Estrutural com o Uso de Modelos Virtuais e Físicos no Processo de Projeto”. O material foi desenvolvido pelos autores: Wilson Barbosa Neto, André Araujo, Guilherme Carvalho, e Gabriela Celani. O objetivo era descrever uma experiência integrada de projeto utilizando diferentes tipos de modelos físicos e virtuais a fim de obter um produto final que incorporasse um conjunto de características inicialmente traçadas. Os requisitos iniciais englobavam aspectos como leveza, facilidade de fabricação e montagem, estética e desempenho estrutural. Assim, desenvolveu-se um balcão de recepção para o Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. O princípio gerador do projeto alinhava-se com a promoção e a divulgação da cultura científica e de inovação tecnológica. O exercício de projeto foi desenvolvido pelos alunos da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, nos níveis de graduação e pós-graduação.

A análise desse artigo nos permitiu a sistematização do contexto da concepção integrativa de projeto e da dinâmica processual com a inclusão de fases intermediárias de prototipagem. O artigo vai de encontro às evidências coletadas durante a Fase 1 (referencial teórico) deste trabalho, servindo com uma fonte para a coleta de informações bem como *insights*. O objetivo foi traçar a visão geral do modelo de processo adotado durante o desenvolvimento do Balcão Samba, identificando as estratégias utilizadas para a solução de problemas, bem como suas interfaces projetuais, promovendo a clarificação e o sequenciamento das etapas envolvidas e/ou verificadas no processo.

Para Neto et al. (2014) a experiência do projeto integrado descreve como as diversas características do produto são incorporadas no objeto final. Segundo os autores, a análise e a constante troca de informações realizadas entre os meios físicos e digitais podem fornecer um excelente *feedback* ao projetista, instrumentalizando os processos decisórios de forma contínua e integrada.

Para os autores, os projetistas devem possuir a capacidade de equilibrar as diversas características de um projeto, promovendo o ajuste das reivindicações conflitantes e dos

princípios geradores, sejam de um edifício ou objeto. Os diversos conflitos podem surgir das contraposições entre relações expressas como transparência ou isolamento, resistência ou economia de materiais, forma ou construtibilidade, assim como diversas outras particularidades. Para Neto et al. (2014) a característica dominante será sempre variável e de acordo com as novas demandas impostas para os projetos. Kolarevic (2009 apud NETO et al., 2014) destaca que projetos que possuam em sua essência características integradoras colaboram para a união de diferentes disciplinas, desde as primeiras fases do projeto. Essa multidisciplinaridade favorece o desenvolvimento de produtos inovadores pelo rompimento das fronteiras disciplinares e profissionais.

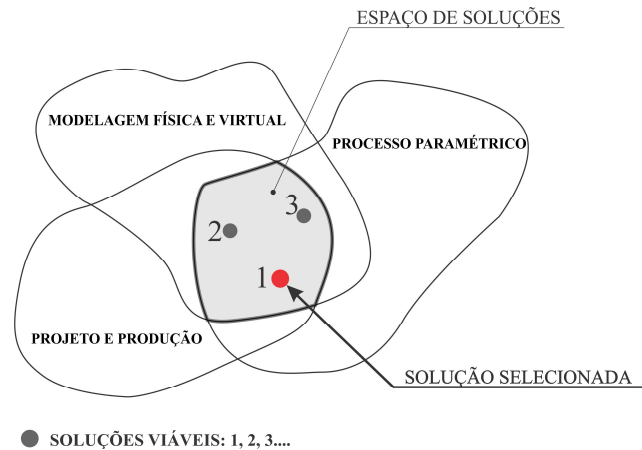
Como forma de organizar o conhecimento adquirido através deste estudo de caso, bem como os resultados apresentados por Neto et al. (2014), a sequência textual a seguir será dividida, organizada e analisada conforme o processo de desenvolvimento de um produto genérico apresentado por Ulrich e Eppinger (2012) (Figura 22). A adoção desse paralelo nos permitirá realizar uma análise comparativa entre o que é sugerido pela literatura científica e o que de fato foi realizado pelos autores durante o exercício projetual.

A proposta da divisão estrutural das informações coletadas durante o estudo tem como objetivo principal destacar as características relevantes de cada macro-fase, etapa e atividades identificadas ao longo do processo de desenvolvimento, desde o planejamento estratégico até a geração, seleção e teste nos modelos físicos e virtuais. Essa iniciativa visa promover uma visão sistêmica do processo, agrupando as informações de modo que um projetista possa replicar o experimento de forma consciente, consistente, e levando em consideração o maior número possível de aspectos importantes para o seu projeto.

3.1.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

A etapa de planejamento do balcão buscou por uma estratégia onde a equipe de projeto pudesse explorar o espaço de soluções em busca de conceitos integrados que poderiam contribuir em melhorias de PDP para futuros projetos. Assim, os autores mapearam três aspectos principais, que correspondiam as metas desejadas para a solução a ser selecionada (Figura 28):

Figura 28 – Planejamento estratégico para o espaço de solução a ser adotada



Fonte: Próprio autor (2015)

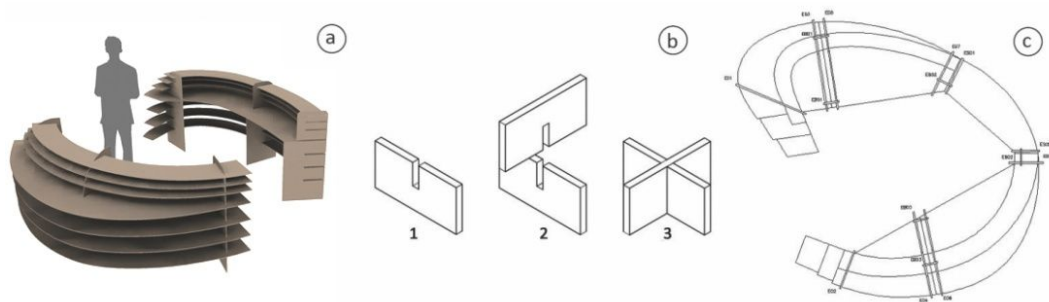
Os objetivos iniciais correspondiam a questões relacionadas à “como” ou “de que maneira” as metas planejadas poderiam ser alcançadas para os três aspectos inicialmente traçados. Cada item foi seguido de uma indagação:

1. **Processo paramétrico:** como o processo de projeto baseado no desenho paramétrico poderia contribuir para obtenção da forma e da interação entre os seus componentes e suas ligações;
2. **Modelagem física e virtual:** de que maneira as informações extraídas de modelos físicos e virtuais poderiam ajudar na tomada de decisão para as características finais esperadas para o produto;
3. **Projeto e produção:** como trabalhar o produto para que sejam antecipados os problemas resultantes dos processos de projeto que irão causar possíveis interferências durante a sua produção.

3.1.2. DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

Durante a etapa de desenvolvimento do conceito do Balcão Samba identificou-se que a necessidade do Museu era criar um mobiliário adaptável para diferentes layouts, assim como para divulgar a cultura científica e tecnológica. O estabelecimento das especificações-alvo levantou diversos critérios relacionados à que o produto deveria incorporar, tais como: adaptabilidade, inovação, interesse visual, leveza, facilidade de movimentação, montagem e produção (Figura 29).

Figura 29 – Desenvolvimento do conceito
(29a – Modelo 3D / 29b – Componente de união / 29c – Planta baixa inicial)

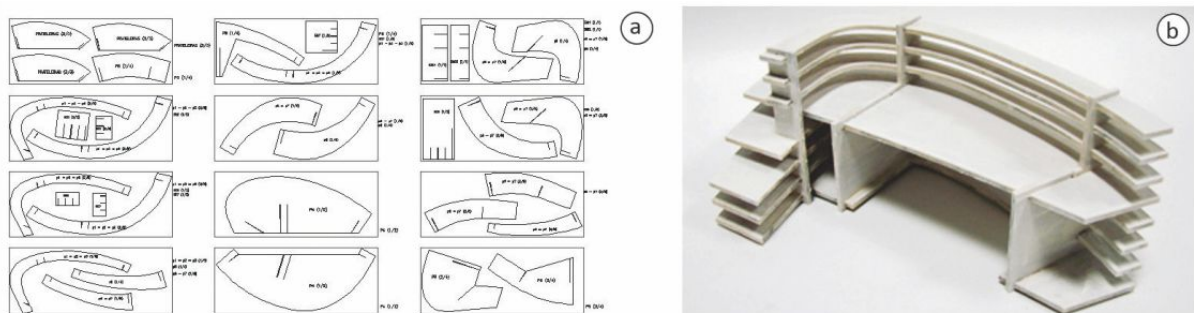


Fonte: Neto et al. (2014)

3.1.3 PROJETO EM NÍVEL DE SISTEMA

A equipe de desenvolvimento do balcão definiu que o produto seria dividido em três partes distintas. Foi então desenvolvido um protótipo físico, executado em escala 1:20, constituído por chapas de MDF (*Medium Density Fiberboard*) (Figura 30b). Para que houvesse economia no uso da matéria prima utilizada no protótipo físico foi realizado o procedimento denominado de “plano de corte”. Esse processo visa racionalizar não só o gasto de chapas a serem utilizadas para execução do projeto como também organizar a produção. O procedimento foi realizado no software CAD em formato 2D (Figura 30a).

Figura 30 – Projeto inicial do balcão
(30a – Plano de corte em 2D / 30b – Modelo físico em MDF)



Fonte: Neto et al. (2014)

A criação do protótipo físico teve como objetivo verificar as articulações e a estabilidade global do conjunto. Esta etapa do processo de projeto é definida por Ulrich e Eppinger (2012) como arquitetura do produto, pois representa o plano do projeto através do qual os elementos funcionais do produto são organizados na forma de blocos físicos e de pedaços que possam interagir entre si. Essa abordagem permite agrupar os elementos constituintes do produto identificando suas interações fundamentais e acessórias. A criação do

modelo físico forçou a equipe de desenvolvimento a considerar todas as interfaces geométricas entre os pedaços, e se os mesmos eram viáveis de serem executados.

O uso do protótipo físico (Figura 30b) mostrou aos projetistas inconsistências nos aspectos como harmonização, interferências no layout geométrico, e problemas de estabilidade do conjunto. Um problema inicialmente identificado no uso desta abordagem foi o fato de que não era possível alterar a espessura do material utilizado no modelo, já que o mesmo utilizava um único tipo de material, o MDF. Uma conclusão extraída dessa experiência foi que o produto apresentava boa estabilidade estrutural, porém, em contrapartida, seria muito difícil a montagem, visto a rigidez das placas de madeira (NETO et al., 2014).

Essa última conclusão levou a equipe de projeto a repensar o tipo de material para execução do balcão, substituindo por algo mais flexível como uma chapa de aço. Porém, era necessário considerar possíveis impactos no todo do projeto, como o aumento de peso ou a capacidade do material em resistir a deflexões em função de um novo layout geométrico. Foi a partir deste ponto que a equipe reconsiderou sua estratégia inicial, e passou a considerar uma nova abordagem, a introdução de um modelo paramétrico. Esse fato ampliou o contexto do exercício projetual para um caráter multidisciplinar.

3.1.4. MODELO PARAMÉTRICO

Com a adoção de uma abordagem de caráter multidisciplinar, ocorreu a necessidade de replanejar todo o processo, pois agora o balcão seria desenvolvido a partir de um modelo paramétrico. Para isso, o software Rhinoceros foi escolhido, juntamente com outros três *plugins* complementares que exerceriam funções de auxílio e suporte na tomada de decisões. Para as definições do estudo da forma e suas conexões foi utilizado o *plugin* Grasshopper. A interface do Rhino 3D permite que uma regra de projeto estabelecida no Grasshopper seja exibida em tempo real na área de trabalho. Como os parâmetros de projeto podem ser facilmente modificados, o modelo tridimensional é também simultaneamente atualizado (NETO et al., 2014).

De acordo com Neto et al. (2014), os softwares de desenho paramétrico são conhecidos também como “softwares de geometria associativa”, no qual o sistema de desenho está diretamente ligado a um extenso banco de dados. Isso possibilita que ao longo do caminho o processo de concepção seja codificado ao mesmo tempo em que a forma é

definida, permitindo ao projetista, a qualquer momento do tempo projetual, atualizar as diversas informações (BURRY, 2003 apud NETO et al., 2014).

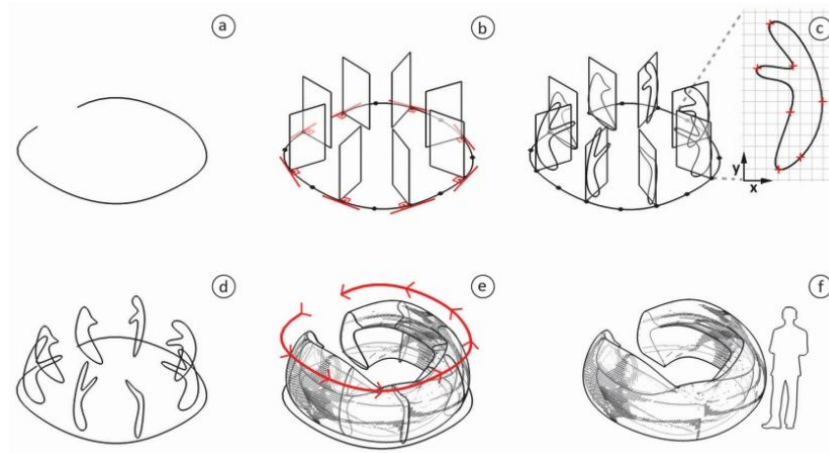
Os outros dois *plugins* exerceram as funções de análise do comportamento estrutural e otimização do plano de corte para fabricação. Vale ressaltar que todos os processos relacionados aos *plugins* anteriores operavam na esfera do virtual. Para o seguimento de análise física do modelo foram utilizados outros recursos, como a prototipagem rápida 3D, e máquinas industriais de corte a laser e corte a plasma. A identificação da nova oportunidade guiada por uma estratégia paramétrica 3D criou um segundo objetivo ao projeto, projetar não só para atender às necessidades do cliente, mas também cumprir com certos desafios da produção automatizada.

3.1.5. PLANEJAMENTO DO PROJETO ALGORÍTMICO

O desenvolvimento de um novo conceito para o projeto, agora baseado no modelo paramétrico, levou a equipe a pensar em uma nova disposição geométrica, porém, uma forma que mantivesse os critérios estéticos e ergonômicos inicialmente traçados.

O planejamento do projeto algorítmico, baseado na criação de regras e codificações de informações, permitiu gerar um grande número de possíveis soluções para o balcão, através da análise de diversas formas baseadas no estudo da massa conceitual. A sequência processual para geração do conceito seguiu as seguintes etapas: criação da curva principal no plano da base (Figura 31a); divisão da curva em oito segmentos iguais (Figura 31b); cada ponto recebeu um plano vertical, perpendicular a curva principal, com um conjunto de pontos que poderiam ser controlados individualmente pelas coordenadas (X,Y) (Figura 31c); posteriormente cada conjunto de pontos foi ligado por uma curva do tipo *spline* (Figura 31e); por fim, uma geometria do tipo *loft* foi gerada através da ligação de todas as curvas *spline* (Figura 31f).

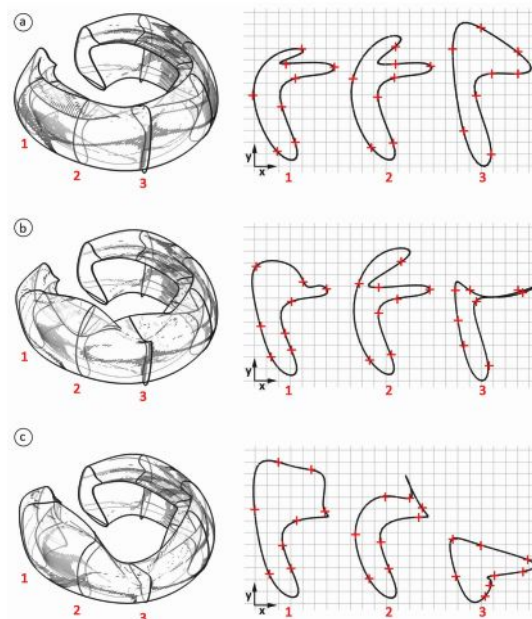
Figura 31 – Parametrização do processo de geração do modelo de massa



Fonte: Neto et al. (2014)

O controle paramétrico do processo de geração de formas permitiu a criação de diversas soluções em um curto espaço de tempo, adequando o projeto as metas projetuais e eliminando rapidamente os conceitos menos promissores. Ulrich e Eppinger (2012) argumentam que o processo de seleção do conceito geralmente requer várias iterações na medida em que as soluções são sistematicamente exploradas. A parametrização dos pontos de controle, que gerariam as formas base do balcão, permitiu aos projetistas um ajuste quase automático das variáveis, algo semelhante ao que ocorre em uma reação em cadeia (Figura 32) (NETO et al., 2014).

Figura 32 – Controle dos pontos (x,y) para geração da massa conceitual do balcão

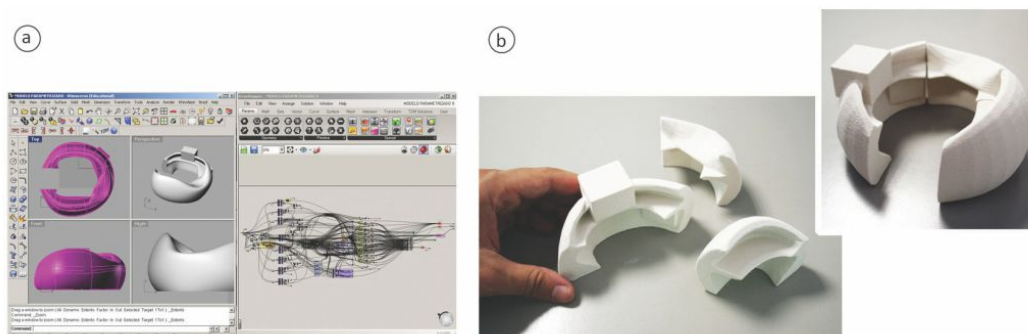


Fonte: Neto et al. (2014)

3.1.6. TESTE DO CONCEITO

Após a seleção final do conceito extraído do modelo paramétrico, passou-se para a etapa de teste do novo conceito. O teste do novo conceito ocorreu através de um modelo físico e tinha como objetivo verificar se todos os requisitos definidos anteriormente atendiam ao projeto. Para isso, utilizou-se uma impressora 3D a fim de testar a estabilidade do conjunto. Ulrich e Eppinger (2012) apontam para o fato de que o teste do conceito verifica eventuais deficiências no plano do projeto, para que sejam corrigidos durante o seu desenvolvimento. O modelo físico apontou para a equipe a necessidade de reajustar a forma do modelo para garantir maior estabilidade ao conjunto, visto que a equipe percebeu que poderia haver uma instabilidade lateral no balcão (Figura 33b). As novas informações foram então reinseridas no modelo paramétrico para um novo ciclo de geração e seleção de conceito.

Figura 33 – Projeto algorítmico (33a) e modelo físico (33b) do balcão



Fonte: Neto et al. (2014)

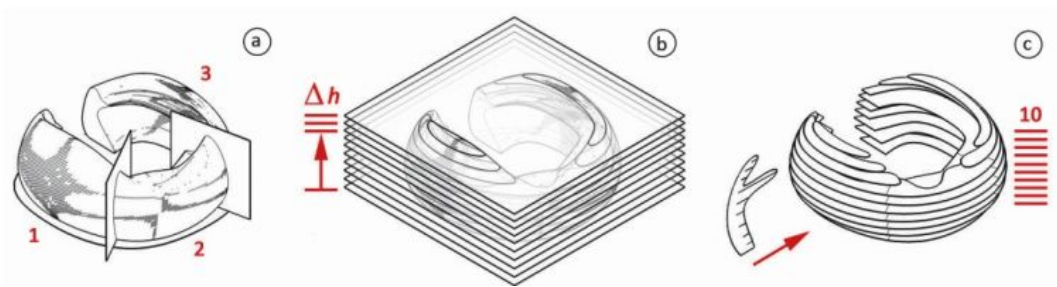
3.1.7 PLANEJAMENTO DA FABRICAÇÃO E MONTAGEM

A etapa de planejamento da fabricação e montagem presente nesse artigo possui correspondência direta com o modelo de PDP utilizado (Figura 22). As descrições que seguem equivalem às etapas de “projeto em nível de sistema” e “projeto detalhado” do referido modelo.

Com o conceito final adotado, partiu-se então para definição da arquitetura do produto (projeto em nível de sistema) decompondo-o segundo critérios funcionais e físicos. Ulrich e Eppinger (2012) argumentam que os elementos físicos de um produto são as peças e os componentes que implementam as funções do produto em si, e são definidos à medida que o desenvolvimento progride. Eles são organizados em blocos de construção, chamados de pedaços.

O estudo da massa conceitual do balcão serviu como um ponto de partida para a definição dos pedaços (Figura 34). Tanto as prateleiras como os apoios verticais foram gerados por meio de seções planas. Dois planos verticais dividiram o balcão em três partes distintas (Figura 34a), assim como uma série de planos horizontais foram lançados para divisão horizontal do modelo de massa (Figura 34b). Como o modelo era totalmente parametrizado as distâncias entre os planos horizontais puderam ser controladas. A interseção entre os planos horizontais e o modelo de massa resultou nas prateleiras do balcão (Figura 34c). A variação do delta h permitiu testar várias alternativas de projeto a fim de alcançar uma utilização apropriada das prateleiras resultantes.

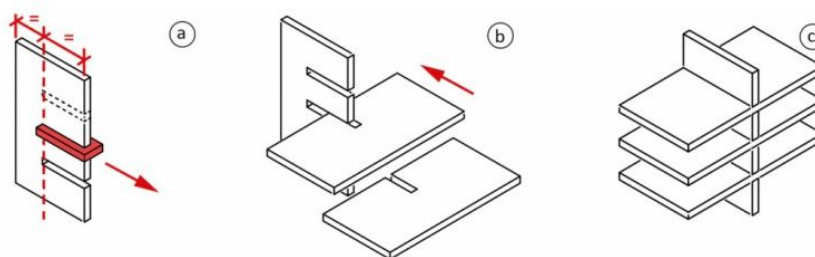
Figura 34 – Definição dos pedaços do Balcão Samba
(34a – Planos verticais / 34b – Planos horizontais com delta h / 34c – Pedaços resultantes)



Fonte: Neto et al. (2014)

Na etapa seguinte (projeto detalhado), cada pedaço resultante foi parametricamente extrudado, possibilitando definir a espessura de cada elemento. Para que o balcão fosse construído sem a necessidade de peças de ligação, a equipe de projeto optou por um sistema de encaixe chamado vulgarmente de estrutura do tipo “caixa de ovo”. A adoção dessa solução favorecia a estratégia utilizada para o modelo paramétrico, pois era possível gerar automaticamente os entalhes nas peças verticais e horizontais através do processo de subtração sólida (Figura 35). Esta estratégia permitiu que todos os pontos subtraídos fossem automaticamente atualizados quando qualquer variável controlável parametricamente fosse alterada.

Figura 35 – Geração dos encaixes por subtração sólida



Fonte: Neto et al. (2014)

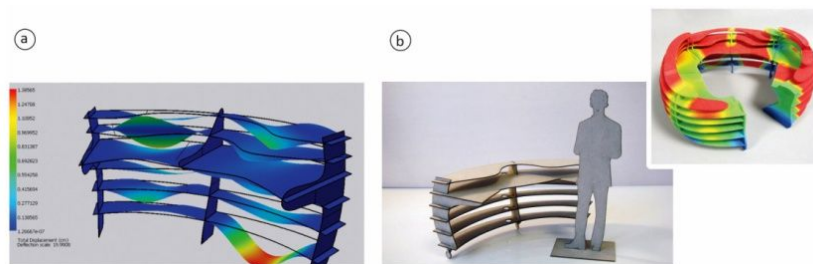
Posteriormente um modelo físico em escala 1:10 foi criado pela equipe de projeto em um cortador a laser com base no arquivo digital do balcão. Os projetistas tiveram que gerar desenhos 2D a partir do modelo 3D e utilizar um *plugin* para gerar os planos de corte, organizando todas as peças na folha do material a ser cortado. Neto et al. (2014) argumentam que diversos layouts tiveram que ser realizados (planos de corte) devido às diferenças nos parâmetros de configuração de cada tipo de máquina a laser disponível no mercado.

3.1.8. ANÁLISE DA ESTRUTURA

Este momento do projeto, equivalente a etapa de “teste e refinamento” do modelo de PDP adotado (Figura 22), envolveu a construção e a avaliação de diversos critérios do produto. Foram construídos modelos, físicos e virtuais, com as características semelhantes às intenções de produção, no intuito de verificar se o produto iria funcionar conforme planejado.

Para a análise da estrutura do balcão, a equipe de projeto utilizou um *plugin* específico para isso. O objetivo era identificar áreas estruturalmente vulneráveis no modelo, tais como possíveis distorções entre a espessura de material e o vão de balanço (Figura 36a). Neto et al. (2014) argumentam que o *plugin* utilizado para análise da estrutura do modelo virtual não conseguiu prever o aspecto de instabilidade lateral no balcão, verificado no modelo físico anterior (Figura 33b). Outra ação tomada pela equipe de projeto foi criar um segundo modelo físico em 3D (Figura 36b). Em um dos modelos físicos criados, foi utilizada uma técnica de impressão em cores, para que a equipe pudesse visualizar facilmente a concentração de forças nas diferentes partes do objeto, apontando para a necessidade de reforço em certos pedaços.

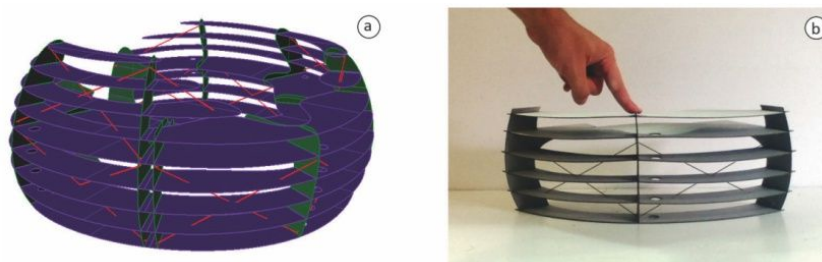
Figura 36 – Testes nos modelos virtuais e físicos
(36a – Análise de elementos finitos / 36b – Modelo físico)



Fonte: Neto et al. (2014)

Os resultados da análise da estrutura identificaram dois problemas estruturais: 1) excesso de deflexão em algumas superfícies horizontais (verificada no modelo virtual); e 2) instabilidade lateral do conjunto (verificada no modelo físico). Ambos os problemas foram resolvidos, mas com duas estratégias diferentes. O primeiro utilizando vigas metálicas sob as prateleiras e o segundo aplicando-se cabos de aço tracionados. O uso dos cabos permitiu também fixar as extremidades das prateleiras em balanço. Para que o modelo paramétrico fosse completo, foram inseridos no modelo tridimensional elementos cilíndricos que representavam os cabos. Assim, foi possível definir corretamente o posicionamento de todas as perfurações que atravessaram as prateleiras intermediárias (Figura 37a).

Figura 37 – Resolução dos problemas estruturais
(37a – Modelo virtual / 37b – Modelo físico)



Fonte: Neto et al. (2014)

Um novo modelo físico, agora em escala 1:5, foi construído para verificar a eficiência dos cabamentos e das vigas sob as prateleiras. Para confecção do modelo foi utilizada uma folha fina de papel cartão e um fio de cobre, assim era possível simular a flexibilidade da folha de metal e as funções de contraventamento dos cabos de aço (Figura 37b).

Neto et al. (2014) argumentam que as soluções adotadas para a resolução dos problemas estruturais do balcão não aumentaram significativamente o peso do produto, fato este que poderia ter ocorrido caso a espessura dos materiais a serem utilizados (aço) fossem

aumentados. Uma segunda questão apontada pelos autores foi que no modelo físico utilizou-se papel cartão como material de teste, já que as chapas de MDF trariam ao modelo maior estabilidade, distorcendo os resultados finais. Para os autores, o uso de softwares de análise estrutural responde bem como alternativas projetuais em ambientes simulados, principalmente quando utilizado durante as etapas do processo de concepção (NETO et al., 2014)

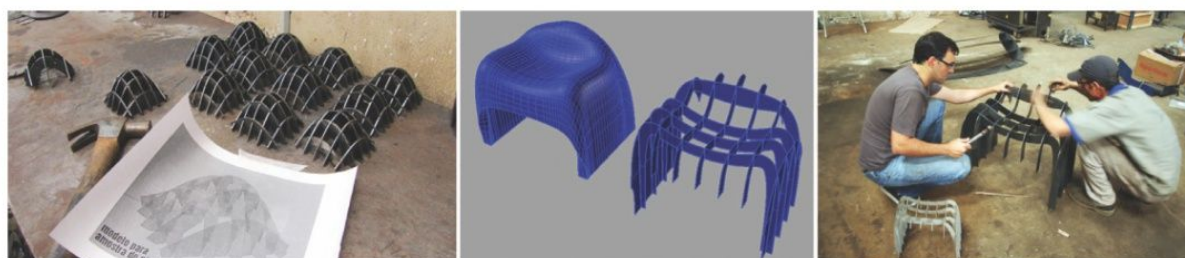
3.1.9 PRODUÇÃO PILOTO

Neto et al. (2014) argumentam que na última década tem aumentado bastante a demanda por uso de máquinas com tecnologia CNC (Comando Numérico Computadorizado), que inicialmente estavam direcionadas para alguns setores aeroespaciais e navais, mas que recentemente voltou-se também para a produção de arquitetura. Kalarevic (2003 apud Neto et al., 2014) argumenta que esta tecnologia de fabricação, somado a modelagem tridimensional e o uso de softwares de melhorias de desempenho, irão criar uma nova abordagem na maneira de projetar.

Neto et al. (2014) ressaltam que grande parte dos projetistas não estão familiarizados com as tecnologias CNC, fato que acaba gerando certa dificuldade na solução de problemas voltados a esse modelo de produção. Para os autores, a intercambiabilidade entre o modelo digital e o processo de produção automatizada necessita de ajustes específicos, tornando a atividade, de certa forma, complicada de ser implantada nos ambientes de projeto.

Kalarevic (2010 apud Neto et al., 2014) aponta que o conhecimento dos sistemas de produção por CNC permite aos projetistas projetarem especificamente para este fim, envolvendo o designer no processo de produção. Para que a equipe de projeto do Balcão Samba tivesse o conhecimento necessário à execução de projetos com máquinas CNC, tanto funcional quanto em nível de propriedades dos materiais, uma série de experimentos paralelos foram realizados (Figura 38).

Figura 38 – Experimentos paralelos



Fonte: Adaptado de Neto et al. (2014)

A etapa de produção piloto permitiu a aplicação do conhecimento obtido no chão de fábrica (precisão dos cortes a plasma, processos de soldagem, encaixes e montagens, diferentes tipos de materiais, entre outros) para que fosse possível concluir o processo do balcão, enviando para a fábrica o arquivo final já com as configurações corretas para a produção (Figura 39).

Figura 39 – Produção e montagem final (Balcão Samba)



Fonte: Adaptado de Neto et al. (2014)

3.1.10 CONSIDERAÇÕES DOS AUTORES

O experimento mostrou a importância de se integrar no processo de projeto modelos físicos e virtuais, a fim de resolver questões estruturais e de fabricação. O uso de modelos físicos permitiu a identificação de problemas no projeto que não foram observados nos modelos virtuais. Os testes realizados nos softwares de análise estrutural permitiram a previsão de vulnerabilidades diretamente no ambiente virtual (NETO et al., 2014). De maneira geral, os autores argumentam que a concepção integrativa foi muito positiva para o processo de desenvolvimento do produto.

Verificou-se também que o uso de modelos virtuais ligados ao processo de projeto causa impacto direto na forma final do objeto. Oxman (2006 apud Neto et al., 2014) destaca que os projetistas atuais interagem constantemente com processos generativos e performativos se tornando um material valioso para os projetistas.

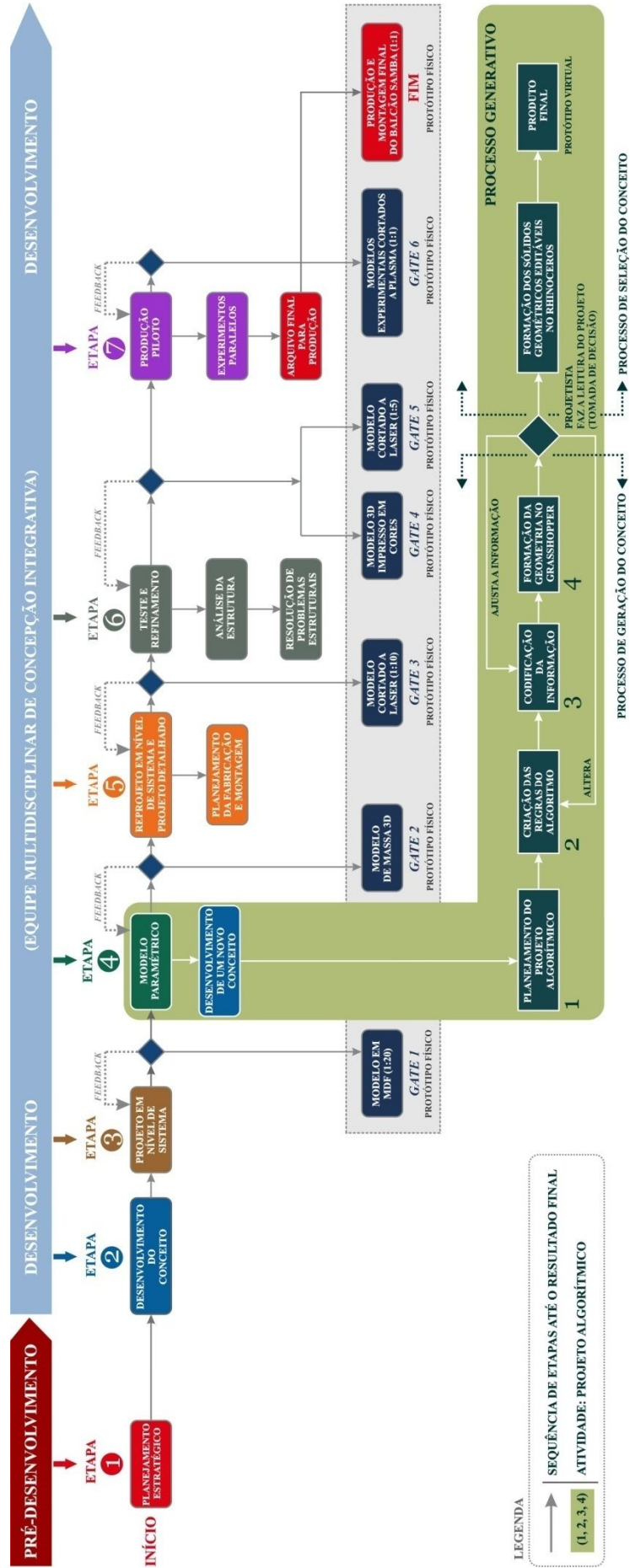
3.1.11 CONCLUSÕES

O processo de desenvolvimento do balcão representa um grande sistema de informações, que aliada com a tecnologia empregada no processo, facilitou que as metas estratégicas inicialmente traçadas fossem atingidas. A Figura 40 apresenta a síntese dos resultados da estrutura metodológica utilizada por Neto et al. (2014) para o desenvolvimento do Balcão Samba. A visão geral do modelo considerou todos os elementos explicitados

durante o desenvolvimento do artigo, incluindo as ações e os resultados de cada etapa do processo.

O diagrama de fluxo, resultado do processo do Balcão Samba, seguiu a sistemática do PDP adotado para esta dissertação (Figura 22). Assim, foi identificado a presença de 2 macro-fases (pré-desenvolvimento e desenvolvimento), 7 etapas e 17 atividades relacionadas ao modelo de processo do balcão, iniciando pelo planejamento estratégico e finalizando com a produção e montagem final do Balcão Samba. O modelo possui 6 *gates*, utilizado por Neto et al. (2014) como um parâmetro relacionado a um *feedback* qualitativo e quantitativo, consequência da produção de protótipos físicos durante o desenvolvimento. Os *gates* agiram como um ponto de referência entre as diversas etapas projetuais para a conferência dos princípios que estavam sendo desenvolvidos e também para reinserção das lições aprendidas no modelo paramétrico.

Figura 40 – Visão geral do modelo de processo (Balcão Samba)



Fonte: Próprio autor (2015)

Os *gates* de 1 a 6 (Figura 40) foram agrupados no bloco de protótipos físicos (retângulo tracejado em cinza claro) por ser considerado um momento processual da análise de desempenho, pois somente depois da coleta de informações o processo seguia para a próxima etapa. A avaliação do desempenho atuou como um marco que antecipava os problemas e gerava o aprendizado necessário para a equipe de desenvolvimento, além de refletir o próprio andamento do projeto.

A faixa delimitada em verde na Figura 40 foi construída com base no referencial teórico adotado para o trabalho, já que durante o artigo não foi mencionado, em quaisquer umas das etapas constituintes, aspectos referentes à construção do processo generativo em si. Assim, a faixa, representa na visão geral do modelo, a sequência de atividades relativas ao processo de geração e seleção de conceitos no modelo paramétrico, Etapa 3 (Figura 40).

Destaca-se no interior da Etapa 3 a figura do projetista, por esse exercer a função de um avaliador. Verificou-se que o projetista é capaz de controlar o desencadeamento formal da geometria através da interface do Rhinoceros, no mesmo instante que o projeto algorítmico vai sendo atualizado. O projeto algorítmico, que vai desde o seu planejamento até a formação da geometria no Grasshopper, define o momento projetual onde as características de geração da forma requerem do projetista um conhecimento específico voltado a este fim (conhecimento das regras aplicáveis). Sem esse conhecimento, a transição entre a representação conceitual do modelo paramétrico e a possibilidade de editar os sólidos geométricos criados (Rhinoceros) não é concretizado. Constatou-se que o uso do processo generativo durante o PDP só é viável se algum participante da equipe de desenvolvimento tiver o conhecimento necessário para operação do sistema.

A abordagem dada ao processo de desenvolvimento do Balcão Samba veio a introduzir um novo tipo de visão projetual, um conceito baseado na dinâmica fluida de trocas de informações constantes entre os meios físicos e digitais. O uso do modelo paramétrico como estratégia de projeto facilitou a geração de ideias em abundância, porém de forma controlada. Evidenciou-se que a forma e o desempenho são resultados de um processo sistemático elaborado pelo projetista, com consequência direta na produção de novas soluções projetuais.

A lógica da composição formal trabalhada no projeto do balcão seguiu o princípio de construção tridimensional baseado em geometrias contínuas que se interagem de modo associativo. Assim, os projetistas poderiam alterar facilmente as características do projeto durante a geração de conceitos. Isso porque, os diversos dados relativos ao projeto (geometria, dimensões, e operações matemáticas) estavam todas armazenadas nos componentes

algorítmicos. Era possível alterar em qualquer momento o conjunto das especificações-meta idealizadas para o produto, verificando quase em tempo real os resultados. Alterações no projeto algorítmico agem conforme uma reação em cadeia, onde a atualização em um único componente é capaz de atualizar todo o modelo simultaneamente.

O uso dos *plugins* durante o exercício (análise estrutural e plano de corte) veio a somar no sentido da concepção integrativa, pois permitiu quantificar o processo e a tomada de decisões. Kalarevic (2010 apud Neto et al., 2014) destaca que o crescimento da interface entre o arquivo digital e a produção (projetistas e fábrica) reduz às etapas do projeto, integrando a equipe de projeto ao aspecto sistêmico do processo, desde o desenvolvimento da ideia até a sua produção, antecipando possíveis problemas e gerando novas possibilidades de soluções.

Com as novas possibilidades projetuais abertas pelos SGP percebe-se uma tendência na direção da automação do PDP, já que novas características formais e tecnologias de produção vêm apoiando nesse sentido. Um fato constatado durante a análise do exercício foi que o aspecto formal do produto resultante originou-se de um modelo tridimensional, e não inversamente como ocorre frequentemente nos desenhos tradicionais, onde faz-se o desenho bidimensional para posteriormente representá-lo em 3D.

Não foi encontrada durante a análise do artigo a produção de esboços conceituais. Para Khabazi (2012) é importante esboçar o problema de projeto com as ideias principais e os elementos funcionais. Para o autor, é preciso compreender analiticamente o projeto antes de partir para o projeto algorítmico. O artigo não explicita durante o seu desenvolvimento a origem do conceito inicial ou mesmo a ocorrência de alguma analogia projetual. O produto já parte da ideia das lâminas horizontais (Figura 29a), não conectando esse conceito, formal ou funcionalmente, a nenhuma outra parte do projeto. A não ocorrência do esboço conceitual no artigo, não significa que ele possa ter existido em algum momento do processo de desenvolvimento.

Apesar da não ocorrência do esboço, acredita-se que o mesmo deva fazer parte de um PDP com SGP, localizando-se na Etapa 2 (desenvolvimento de conceitos) (Figura 22). A análise desse artigo veio a contribuir de forma excepcional para o avanço deste trabalho.

3.2 OBJETO DE ESTUDO 2: “BANCOS PARA LER E CONVERSAR: PARÂMETROS DE PROJETO PARA SISTEMA DE DESIGN GENERATIVO”

O segundo objeto de estudo é uma dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul intitulada: “Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo”. O trabalho foi desenvolvido por Ana Cláudia Vettoretti em 2010 com objetivo de integrar as tecnologias digitais no processo de projeto para bancos de praças e parques públicos. Para isso, foi criado um sistema de informações parametrizadas que aplicado aos softwares Rhinoceros e Grasshopper possibilitou a gerência de um grande volume de dados relacionados às atividades de ler e conversar. Foram levantadas durante a realização do estudo as variações comportamentais e os parâmetros ergonômicos e antropométricos da população alvo. A função do sistema era gerar opções de projeto de acordo com as principais posturas dominantes realizadas pelos usuários.

Para seu desenvolvimento foram utilizadas três fontes de dados: registro fotográfico, questionário, e estudos sobre ergonomia e antropometria. A intersecção dessas fontes configurou a estratégia a ser adotada para o espaço de soluções. O levantamento dos dados posturais foi realizado através de registros fotográficos com a aplicação da técnica de observação indireta e análise por estatística associativa. Os locais de estudo foram os Parques de Farroupilha e Moinho de Vento, e a Praça Carlos Simão Arnt (Porto Alegre), e o Parque Ibirapuera (São Paulo). A observação realizada em campo permitiu verificar as diferenças de uso para cada tipo de usuário, separando por gênero, faixa etária, e tendências posturais para as atividades de ler e conversar. O questionário foi aplicado a estudantes de arquitetura da UFRGS para identificar critérios de satisfação no uso dos bancos para as atividades de ler e conversar, servindo como um comparativo para as posturas observadas durante o registro fotográfico. A ergonomia e a antropometria contribuíram como referências métricas na parametrização das dimensões utilizadas.

A análise da dissertação mostrou a importância da etapa do planejamento estratégico nos resultados finais dos produtos, assim como a correta formulação do espaço do problema pode gerar excelentes oportunidades no desenvolvimento de novos produtos e nichos de mercado. O modelo paramétrico utilizado permitiu criar uma família de produtos adaptados para as diferentes características operacionais das atividades, possibilitando analisar rapidamente os resultados, e optando por um produto melhor alinhado com as funções pretendidas. Outro ponto discutido na dissertação foi o correto balanceamento entre três

aspectos: a técnica do design generativo, a escolha dos parâmetros ergonômicos, e a forma/função resultante. É o que Vettoretti (2010) coloca como “estratégia procedural” (geração de formas utilizando o modelo geométrico com regras de combinação), aliado a parâmetros de desempenho do produto.

Espera-se entender, com este objeto de estudo, o fluxo de informações utilizadas pela autora com relação à estratégia tecnológica adotada para a geração dos protótipos virtuais, assim como a visão geral do modelo de processo traçado para o desenvolvimento dos bancos. Serão analisados as regras de combinações algorítmicas utilizadas, os requisitos e as restrições projetuais. Segundo Vettoretti (2010), a opção por utilizar o sistema paramétrico favoreceu o fluxo de informações durante o processo, além de reduzir o tempo projetual e integrar uma dinâmica fluída entre a edição dos parâmetros, a geração do protótipo e o processo de fabricação.

A sequência textual a seguir foi organizada e analisada conforme o referencial de PDP adotado (Figura 22). O objetivo foi identificar as principais características adotadas pela autora relativas ao processo de desenvolvimento dos bancos.

3.2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO

Para alguns autores da área de desenvolvimento de produtos (ROZENFELD et al., 2006) durante a atividade do planejamento estratégico devem ser consideradas uma série de princípios norteadores com o objetivo de atingir determinados nichos específicos. A ideia é conseguir gerar produtos que tenham a capacidade de atender às necessidades dos clientes.

Uma das observações constatadas por Vettoretti (2010) foi o fato de que os assentos tradicionais de uso público (bancos encontrados em praças e parques urbanos) poderiam ser morfologicamente repensados, algo mais próximo de uma ergonomia funcional, e voltados para diferentes tipos de usuários. Funcional do ponto de vista da eficácia e da comodidade de uso. Para que a informação pudesse ser estruturada na forma de parâmetros de controle, a autora levou em consideração os seguintes aspectos principais: diferentes tipos de comportamentos entre classes de usuários, tais como gênero, faixa etária, e tipo de atividade prevista (ler e/ou conversar). De acordo com Soares (2001 apud VETTORETTI, 2010) os assentos determinam a configuração postural assim como as linhas básicas de movimento do corpo, portanto, as características operacionais das atividades devem ser consideradas no dimensionamento e na configuração do mobiliário, além de uma base de informações relativas a dados antropométricos, biomecânicos, fisiológicos e anatômicos dos usuários-alvo.

Para Vettoretti (2010) os bancos de uso público não vêm sendo considerados por designers da mesma forma que outros objetos de sentar, entretanto, a dinâmica das atividades como ler e conversar, muitas vezes, induz a posturas e a relações entre os usuários diferentes das tradicionalmente utilizadas como referências para projetos de bancos públicos, que partem do pressuposto de que o usuário assume posturas e atividades invariáveis. Segundo a autora, esta dificuldade de projeto poderia ser superada com a integração de informações sobre novas tendências de posturas e comportamentos para uma ampla faixa de usuários.

3.2.2 ESTRATÉGIA TECNOLÓGICA ADOTADA – MODELO PARAMÉTRICO

Após a identificação das necessidades alvo do mercado (metas projetuais) a serem alcançadas, que combinava uma base de dados existente com as novas tendências de uso, partiu-se para a estratégia tecnológica a ser adotada. A solução foi incluir no processo de desenvolvimento softwares de controle paramétrico. Kolarevic (2003 apud VETTORETTI, 2010) argumenta que esses sistemas permitem o controle de uma extensa base de dados no qual é possível reduzir a distância entre as intenções projetuais e os resultados pretendidos.

A autora relata que o uso do software Rhinoceros com o *plugin* Grasshopper estreitou o processo de tomada de decisão quanto às opções geradas, testando quase que instantaneamente uma diversidade de parâmetros pré-selecionados. Essa dinâmica processual (alterar parâmetros de projetos conforme intenções projetuais ou sistemas de produção) só foi possível porque a ferramenta utilizada era capaz de gerar opções de projetos com a utilização de técnicas de design generativo (VETTORETTI, 2010).

Barrios (2006 apud VETTORETTI, 2010) argumenta que a abordagem do design paramétrico no desenvolvimento de produtos é fundamentada na definição dos parâmetros e não na busca pela forma final do objeto. Atribuem-se valores que geram possíveis configurações para o produto, e que cuja alteração, é capaz de modificá-lo. Vettoretti (2010) ressalta que a abordagem utilizada foi capaz de gerar fluidez ao processo de projeto, permitindo rapidez na simulação de adaptações e reconfigurações no modelo geométrico.

Para Kolarevic (2003 apud VETTORETTI, 2010) o que se define no design paramétrico são as relações entre os elementos do sistema, ou seja, a associação entre as partes, e da parte com o todo. A construção dessas relações é definida pela autora como “complexo de interação”. Os parâmetros projetuais são relacionados em um contexto de interdependência, quando determinada variável é alterada todas as demais interdependentes são também alteradas. A capacidade de alteração dos desenhos paramétricos durante o

processo de projeto é a principal diferença entre este e os demais sistemas tradicionais de desenho (KOLAREVIC 2003 apud VETTORETTI, 2010).

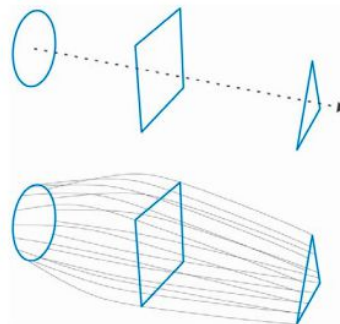
3.2.3 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

O início do desenvolvimento do conceito do projeto foi marcado pela definição de dois aspectos identificados como cruciais pela autora:

1. **Fundamentos matemáticos:** quais os fundamentos matemáticos a serem utilizados para a geometria;
2. **Parâmetros de projeto:** quais os parâmetros de projetos a serem adotados.

Como resposta a estratégia a ser adotada para a geração de formas geométricas dos bancos (adoção de softwares de controle paramétrico), Vettoretti (2010) optou pelos princípios matemáticos conhecidos na literatura como diretriz e geratriz (Figura 41).

Figura 41 – Princípios de geração da forma resultante (diretriz e geratriz)



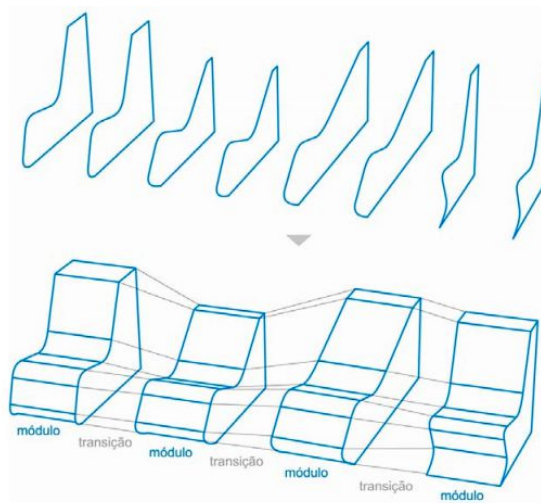
Fonte: Vettoretti (2010)

Para que as soluções geradas fossem delimitadas conceitualmente, a autora definiu uma métrica referencial dimensionada em centímetros, que seria o espaço necessário ocupado por uma pessoa quando sentada em um banco. A esse espaço chamou-se de “módulo + transição”. Para que fosse viável a replicação em todos os testes a serem feitos, a autora estreitou o experimento para um segundo critério complementar: todos os espaços teriam sempre a mesma largura entre si.

Avançando na delimitação dos critérios conceituais partiu-se para a definição de como os módulos poderiam ser gerados. A solução veio através da geração por movimento de translação, cujo perfil gerador de cada postura do usuário (denominados aqui de geratriz) se deslocaria de forma paralela, conservando uma direção constante (diretriz). Para cada postura

(módulo individual) haveria um par de perfis correspondentes. Já as transições seriam formadas pelo resultado da forma gerada entre dois módulos sequenciais. As associações entre os módulos e as transições resultariam na forma final do banco (Figura 42).

Figura 42 – Conceito desenvolvido para a geração de formas: módulos + transições



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

3.2.4 ESTABELECIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES-ALVO

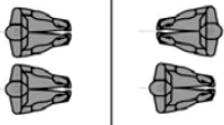
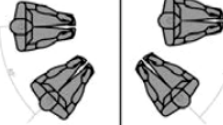
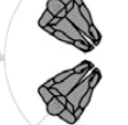
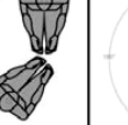
Ulrich e Eppinger (2012) destacam que a atividade de estabelecer as especificações é traduzir a necessidade de se criar algo em termos técnicos, refinando-as para que tenha coerência com as restrições impostas pela escolha do conceito. Vettoretti (2010) relacionou os parâmetros dimensionais do projeto ligados à diretriz com as larguras mínimas sugeridas pela literatura científica no que se refere a estudos para o projeto de assentos em antropometria. A medida considerada para o cálculo do espaço ocupado por um usuário foi a largura de seus ombros. Assim, esta referência foi o critério adotado para a composição das relações entre os módulos e as transições.

Panero e Zelnik (2002 apud Vettoretti, 2010) sugerem a adoção do valor de 52,9cm como sendo o alvo correspondente a largura dos ombros de uma população média (representado pelo maior valor do percentil masculino). Isso permitiria que todos os usuários considerados menores do que a média referencial utilizasse o assento confortavelmente.

Para a definição dos parâmetros de projeto relacionados às possibilidades de rotação entre duas pessoas, a autora dividiu os usuários em dois grupos: os que utilizavam os bancos para ler, e os que utilizavam para conversar. Se baseando no trabalho de Panero e Zelnik Vettoretti definiu os seguintes referenciais para as possibilidades de rotação do corpo: a

atividade de ler, por ser realizada individualmente, a angulação foi fixada em 0°. Para a atividade de conversar foram assumidos os seguintes valores rotacionais: 0°, 45°, 90°, 135° e 180° (combinações determinadas para rotações entre dois usuários conversando). As opções de conversar foram limitadas para soluções que favoreciam a tendência de frontalidade entre os usuários (45°, 90°, 135° e 180°) e reduziam a tendência de paralelismo (0°) (Figura 43).

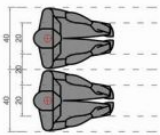
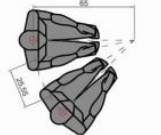
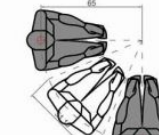
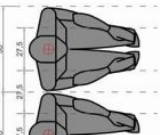
Figura 43 – Critérios adotados para rotação entre dois usuários

angulação	0°		45°		90°	135°	180°
ilustração							

Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

Após testes iniciais para avaliação dos parâmetros adotados, percebeu-se que quando os módulos eram construídos com angulações ocorriam opções de design que inviabilizavam a produção do produto, devido a um estreitamento excessivo de partes do banco (encosto e posicionamento das pernas). Para solucionar este problema novos estudos foram realizados apontando para dois critérios adicionais: para que o produto funcionasse conforme concebido, ou seja, satisfizesse às necessidades propostas inicialmente o dimensionamento total do “módulo + transição” para o menor percentil feminino (5% dos usuários) deveria ser construído com um raio mínimo de 65cm, e quando considerado o maior percentil masculino (95%), o raio gerador do módulo curvo deveria subir para 90cm. Vettoretti (2010) destaca que, preferencialmente, seja sempre utilizado o maior valor, pois isso permite o uso abrangente e diversificado de usuários (Figura 44).

Figura 44 – Parâmetros a serem adotados para o raio gerador dos módulos curvos

ANGULAÇÃO		0°	45°	90°
LARGURA MÓDULO E TRANSIÇÃO	MULHER PERCENTIL 5		 comprimento arco = 51,10cm	 comprimento arco = 102,20cm
	HOMEM PERCENTIL 95		 comprimento arco = 70,85cm	 comprimento arco = 141,60cm

Fonte: Vettoretti (2010)

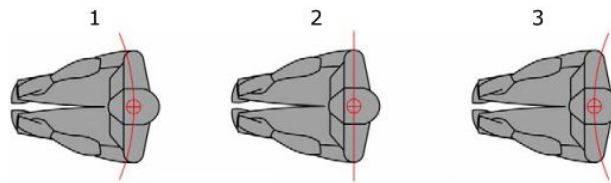
Como conclusão dos testes preliminares a autora ressalta o fato de que os parâmetros traçados inicialmente para os módulos angulados tiveram que ser reavaliados. As posições anguladas precisariam ser recalculadas de acordo com a população estudada (dimensões antropométricas). A largura do “módulo + transição” para o maior percentil masculino, quando considerando uma angulação de 45° entre os usuários, deveria ser de 70,8cm e não 52,9cm como definido por Panero e Zelnik (largura dos ombros de uma pessoa sentada em posição reta). Por exemplo, para uma angulação de 90° os estudos apontaram que a largura deveria ser de 141,6cm. Isso porque a referência de 52,9cm já tinha sido arredondada pela autora para o valor de 55cm, conforme pode ser observado na Figura 44. Para restringir um pouco mais os resultados definiu-se que para os próximos testes a serem realizados com os módulos curvos o parâmetro dimensional a ser adotado seria somente o referente à angulação de 45°.

3.2.5 PROJETO EM NÍVEL DE SISTEMA – VOCÁBULOS E REGRAS DE COMBINAÇÃO

Com a estratégia de desenho da diretriz definida durante o desenvolvimento do conceito, tanto para os módulos retos quanto para os módulos curvos, passou-se para a delimitação do vocabulário base do desenho da diretriz. Vettoretti (2010) ressalta que as regras de geração da diretriz no sistema paramétrico sofreriam restrições de acordo com a atividade a ser realizada (ler e/ou conversar).

O vocabulário projetual foi construído a partir da análise das diferentes possibilidades de angulação entre os módulos. Como se optou durante as especificações-alvo pelos parâmetros de angulação de 45° e também pela largura do ombro do maior percentil masculino, o raio resultante gerador da curva deveria ser de 90cm e a largura do “módulo + transição” de 70,8cm. A relação espacial definida entre o modelo antropométrico, o arco ou reta, e o “módulo + transição” geram o vocabulário para a diretriz (Figura 45).

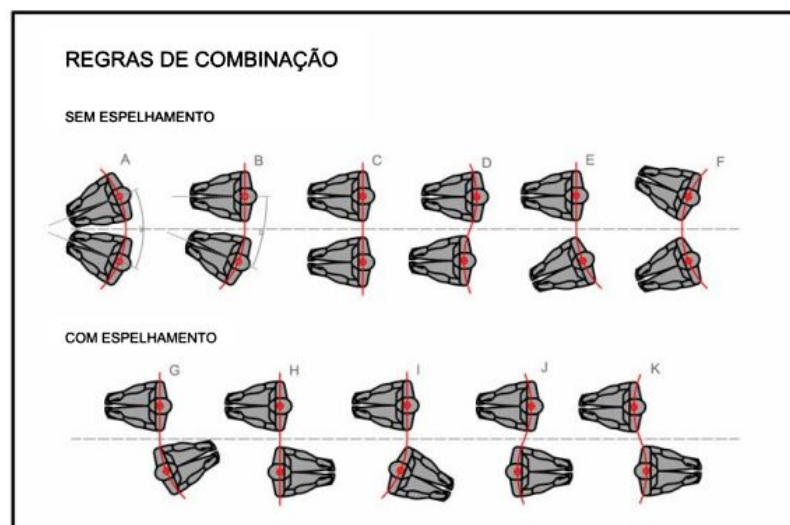
Figura 45 – Vocábulos resultantes conforme a definição das especificações-alvo



Fonte: Vettoretti (2010)

Para as regras de combinação entre os módulos definiu-se que as mesmas seriam aplicadas a cada dois módulos. Isso porque, a autora havia definido previamente que a forma final da geratriz sempre resultasse em uma curva do tipo NURBS. Vettoretti (2010) argumenta que durante a criação das regras para os módulos de leitura, evitaram-se combinações que resultassem em ângulos maiores do que 0° entre os usuários, assim como para os módulos de conversar restringiu-se para opções de combinações que tendiam a circularidade entre os usuários (Figura 46).

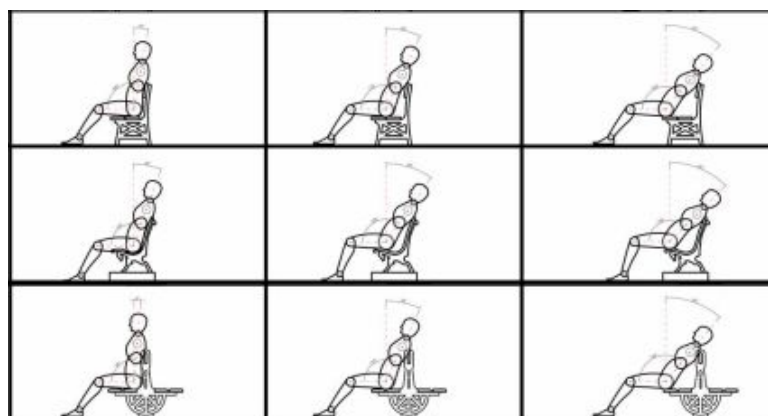
Figura 46 – Regras de combinações entre os vocábulos (com e sem espelhamento)



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

Com o avanço do projeto, o próximo passo foi definir os parâmetros a serem adotados para as composições dos módulos. Esses, por sua vez, iriam acompanhar as diferentes posturas assumidas pelos usuários durante as atividades nos bancos. Os componentes chave definidos (informações técnicas dimensionais) para o projeto paramétrico dos bancos foram: altura do assento em relação ao chão, profundidade do assento, altura do encosto em relação ao assento, profundidade do encosto, ângulo entre encosto e vertical, ângulo entre encosto e assento, ângulo entre assento e base, e espaço livre entre assento e encosto (Vettoretti, 2010). Os parâmetros de inclinação foram relacionados diretamente às diferentes posturas de inclinação do tronco, coxas e pernas assumidas pelos usuários durante o uso. Esses últimos dados foram coletados durante a atividade de campo realizada pela autora (Figura 47).

Figura 47 – Variação do ângulo de inclinação do tronco para diferentes posições e morfologias de bancos



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

A combinação das informações técnicas sugeridas pela literatura científica com os parâmetros de inclinação (perfil dos bancos) identificados durante a coleta de informações em campo (registro fotográfico) foram os referenciais utilizados para a realização dos testes de produção.

3.2.6 PROJETO DETALHADO

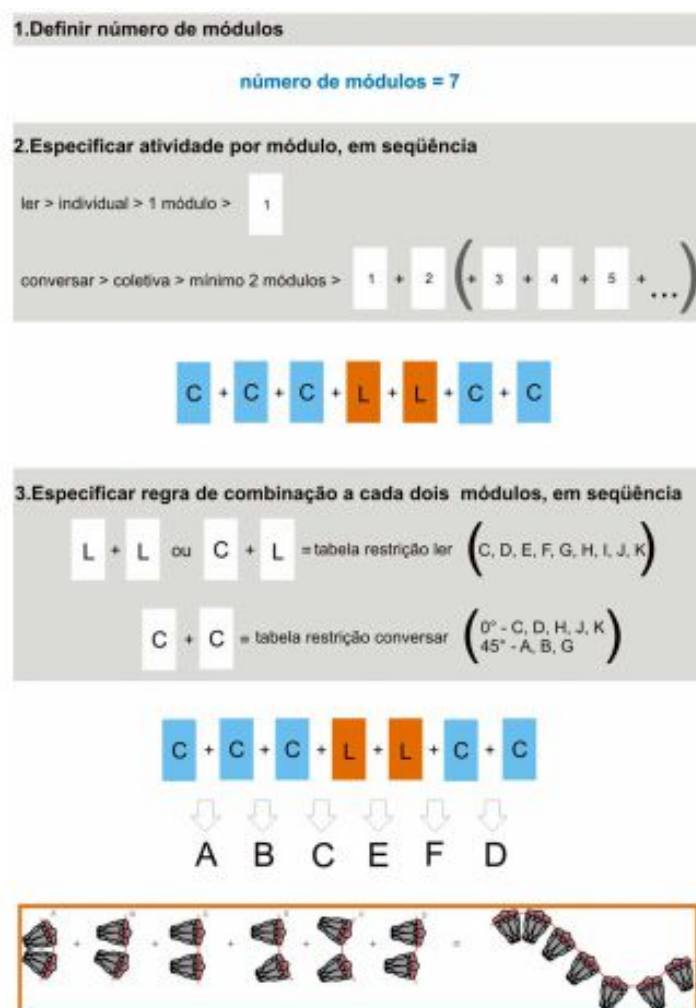
Para que os bancos fossem gerados a construção de uma sequência de instruções foi necessária (VETTORETTI, 2010). Para tanto, o processo de desenvolvimento do produto foi dividido em três etapas. Etapa 1) Detalhamento da diretriz; Etapa 2) Restrições; Etapa 3) Detalhamento do módulo:

Etapa 1: O desenho da diretriz é consequência direta de três atividades a serem realizadas em sequência:

1. Definição do número de módulos do banco;
2. Caracterização de qual atividade será desenvolvida em cada módulo, e em qual sequência;
3. Determinação de quais regras de combinações entre vocábulos serão utilizadas a cada dois módulos em sequência.

Vettoretti (2010) comenta que para cada combinação de parâmetros a ser determinada durante a Etapa 1 haverá um desenho específico para a formação da geratriz. A Figura 48 ilustra uma das possíveis combinações que pode ser utilizada na formação da geratriz. Nela, a autora utilizou uma sequência pré-definida e aleatória composta por 7 módulos, onde foi mesclado as atividades de ler e conversar (3C+2L+2C). Sendo “C” a atividade de conversar e “L” a atividade de ler.

Figura 48 – Plano de projeto para uma possível combinação de 7 módulos



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

Etapa 2: Após definido o plano do projeto para o banco, responsável por determinar as características da diretriz, encaminha-se para a definição dos parâmetros (dimensionais e de inclinação) de cada módulo utilizado. Vettoretti (2010) argumenta que durante esta etapa foi inserido parâmetros restritivos com objetivo de adaptação personalizada aos usuários. As restrições são referentes ao gênero e a faixa etária. A restrição de gênero foi delimitada para aplicar os parâmetros dimensionais para uma população alvo ou para a média populacional. Já a restrição de faixa etária foi utilizada para aplicar os parâmetros de inclinação, também delimitadas para ambas as populações. Uma segunda observação realizada pela autora é que ambas as restrições podem ocorrer ao mesmo tempo, e nos casos que não ocorrerem restrições de uso, os parâmetros escolhidos para o projeto podem ser as referências dimensionais aplicadas a média da população.

Etapa 3: Para finalizar as especificações do projeto detalhado são definidos todos os perfis dos módulos que fazem parte do banco de acordo com as atividades a serem desenvolvidas (ler e/ou conversar). Vettoretti (2010) ressalta que os dados utilizados para esta etapa vieram da coleta das informações realizadas em campo, e que os parâmetros de inclinação foram definidos de acordo com as tendências posturais encontradas para cada uma das atividades.

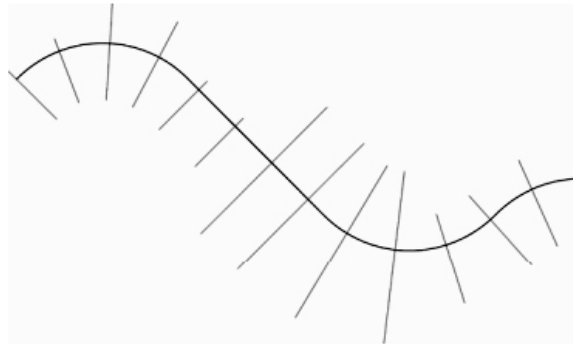
3.2.7 TESTE E REFINAMENTO – APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS

Vettoretti (2010) argumenta que a fase de teste e refinamento foi dividida em duas etapas: a primeira correspondia às ações que deveriam ser tomadas no software Rhinoceros, e a segunda referente à construção do projeto algorítmico no Grasshopper.

A primeira etapa era responsável pela definição dos parâmetros associativos entre os módulos (regras de combinações), ou quais determinavam a forma final da geratriz. Estes, por sua vez, eram diretamente desenhados no Rhinoceros a partir da junção sequencial dos vocábulos. As ligações resultantes entre os diversos seguimentos de linhas e/ou arcos determinavam um caminho específico para a diretriz. Posteriormente, lançavam-se sobre esse mesmo caminho as geratrizes.

A geratriz era responsável pela forma geométrica de cada módulo, e por sua vez, dividia o caminho pelo número de “módulos + transições”. Para que o banco pudesse ser gerado corretamente os perfis dos módulos eram lançados sobre o caminho sempre perpendiculares 90° à diretriz (Figura 49) (VETTORETTI, 2010).

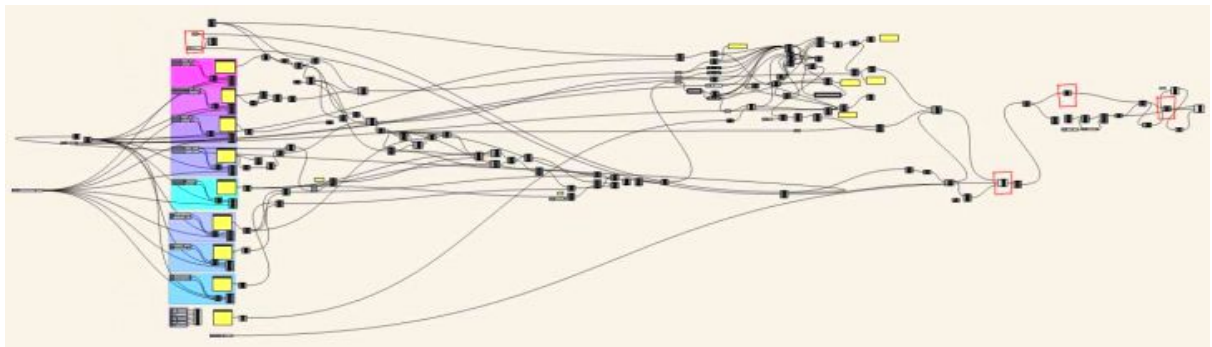
Figura 49 – Vista superior da divisão da diretriz no Rhinoceros em 7 módulos



Fonte: Vettoretti (2010)

A segunda etapa era responsável pela formação dos desenhos dos perfis de cada módulo atribuído ao conjunto do banco. Para isso, foi criando no Grasshopper uma programação algorítmica elaborada com os dados mínimos e máximos dos parâmetros de projeto para o perfil dos módulos (Figura 50). Cada parâmetro dimensional do banco foi definido como um domínio que continha em seu intervalo todos os valores possíveis dentro do limite pré-definido. Vettoretti (2010) argumenta que a vantagem de se utilizar um sistema como o Grasshopper é que a seleção de um valor específico dentro de um domínio poderia ser feita por *input* manual ou através da automação do processo, via seleção aleatória de valores realizada pelo software.

Figura 50 – Projeto algorítmico dos perfis no Grasshopper



Fonte: Vettoretti (2010)

3.2.8 PRODUÇÃO PILOTO – PROTOTIPAGEM FÍSICA E VIRTUAL

Vettoretti (2010) destaca que durante a realização dos testes dos protótipos virtuais no modo de produção aleatório os resultados alcançados apontaram para excelentes possibilidades de desenvolvimento acerca dos produtos gerados, tanto em níveis formais quanto funcionais. Para a primeira parte da produção piloto, a autora optou por uma diretriz

formada em linha reta (vocábulo retos), pois dessa forma era possível, por exemplo, que o fundo do banco fosse mantido em alinhamento com uma parede qualquer (Figura 51).

Figura 51 – Família de bancos gerados com seleção aleatória de parâmetros



Fonte: Vettoretti (2010)

O domínio dos parâmetros utilizados para produção no modo de seleção aleatória seguiu conforme os valores referenciais encontrados na Tabela 2. Para cada unidade de dimensionamento foi realizado um teste equivalente para análise dos resultados (VETTORETTI, 2010). Como descrito anteriormente estes dados quantitativos vieram de estudos científicos realizados nas áreas de ergonomia e antropometria.

Tabela 2 – Domínio utilizado para seleção aleatória

PARÂMETROS SELEÇÃO ALEATÓRIA		MÍNIMO	MÁXIMO
{a}	altura da base em relação ao chão (cm)	39,4	52,8
{b}	profundidade assento (cm)	41,2	52,4
{c1}	altura ponto superior encosto, com inclinação até 30°(cm)	39,4	52,8
{c2}	altura ponto superior encosto, com inclinação após 30°(cm)	70	90
{d}	profundidade encosto (cm)	5	5
{h}	espaço entre encosto e assento (cm)	0	0
{e}	inclinação encosto para trás em relação à vertical (graus)	5	90
{f}	angulação entre encosto e assento (graus)	90	180
{g}	inclinação da base em relação à horizontal (graus)	70	180

Fonte: Vettoretti (2010)

Como forma de complementar os testes de prototipagem virtual e abrir o leque para outras técnicas de verificação dos requisitos projetuais (objetivos do projeto e produção) foi proposto para o processo um teste de prototipagem física com um dos bancos gerados no modo de produção aleatória. O modelo físico foi construído com papelão corrugado cortado em camadas transversais e posteriormente montado (Figura 52).

Figura 52 – Duas partes do banco montadas a partir das seções cortadas



Fonte: Vettoretti (2010)

Para o complemento do mesmo banco foi criando um segundo protótipo, mas desta vez utilizando um modelo físico em termoplástico. Para a autora, os resultados foram considerados bastante satisfatórios, pois sugeriam a possibilidade de fabricação de protótipos em escala. Após a finalização da prototipagem física e montagem das partes que compunham a totalidade do banco foram utilizados manequins articulados em madeira, na mesma escala do modelo (1:10), para a realização de testes posturais (Figura 53).

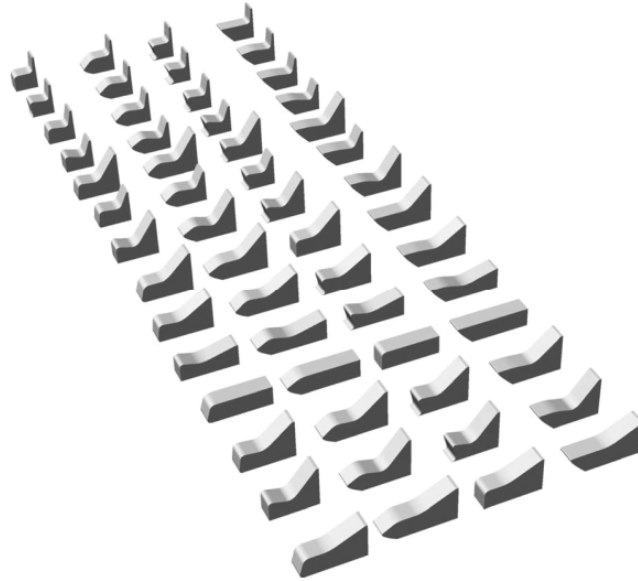
Figura 53 – Modelo montado em papelão e termoplástico com manequins articulados em madeira



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

A segunda parte da produção piloto foi realizada com a entrada dos dados através de seleção por *input* manual. Esta estratégia permitia o controle de todos os valores dos parâmetros a serem aplicados, principalmente os encontrados em campo para as novas tendências de uso. Para a geração dos modelos a autora adotou os parâmetros dimensionais da média populacional, além de restringir a produção para somente vocábulos retos. Já os parâmetros de inclinação foram aplicados de acordo com a atividade prevista e a postura selecionada (VETTORETTI, 2010). A Figura 54 apresenta os protótipos virtuais originados de cada perfil com os diferentes ângulos de utilização.

Figura 54 – Protótipos virtuais dos diferentes módulos gerados no Grasshopper – *Input manual*

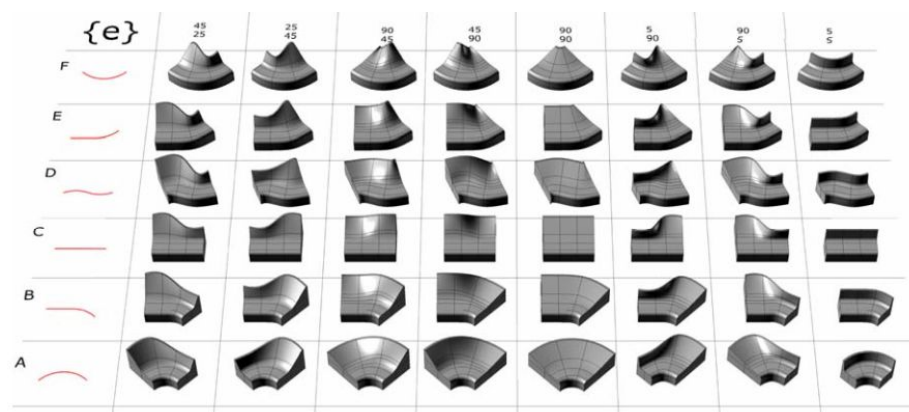


Fonte: Vettoretti (2010)

Durante a produção dos protótipos virtuais dos vocábulos em curva foi verificado a ocorrência de inviabilização de uso em diversos modelos gerados, causado principalmente pelo alargamento e estreitamento excessivo dos módulos. A ocorrência estava diretamente ligada à postura assumida pelo usuário durante as atividades, que refletiam os graus de inclinação do encosto e/ou das pernas (VETTORETTI, 2010).

A autora destaca que foram testadas todas as seis regras de combinações entre os vocábulos, mas somente para as opções “sem espelhamento”. Diferentes valores relativos à inclinação do encosto foram lançados no sistema, utilizando-se dois módulos sequenciais da atividade de conversar. Os resultados encontrados seguem conforme a Figura 55.

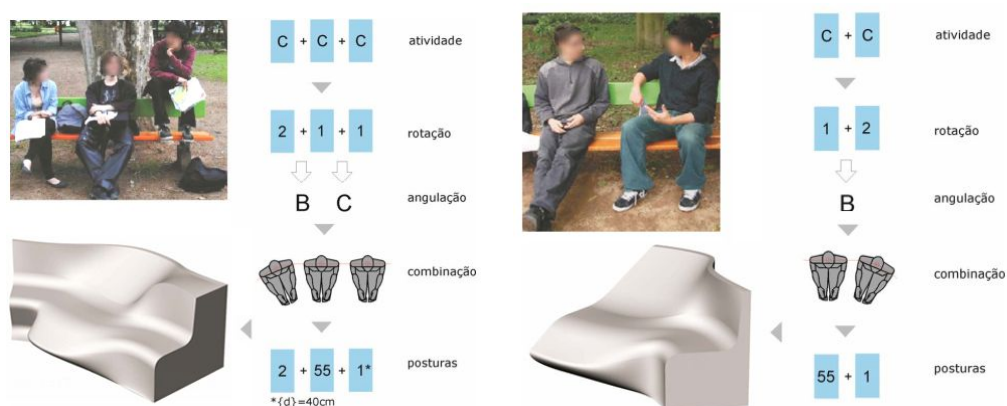
Figura 55 – Protótipos virtuais gerados para diferentes valores de inclinação do encosto
 $\{e\}$ – Ângulos definidos para o 1º e o 2º módulos
 A, B, C, D, E, F – Combinações entre dois vocábulos



Fonte: Vettoretti (2010)

Para finalizar os testes foram aplicados no sistema dados relativos às várias posições sugeridas pelos participantes durante a coleta de informações no estudo de campo. Vettoretti (2010) destaca que algumas posturas sugeridas pelos alunos não puderam ser simuladas pelo sistema, fato este que o mesmo não havia sido projetado para incluir regras de combinação “com espelhamento”. Já outras posições sugeridas, puderam ser testadas normalmente. Os resultados finais encontrados foram bastante satisfatórios, apontando para excelentes oportunidades de desenvolvimento (Figura 56).

Figura 56 – Testes e resultados para algumas das posturas sugeridas – Design final de 2 bancos gerados



Fonte: Adaptado de Vettoretti (2010)

3.2.9. CONSIDERAÇÕES DA AUTORA

Para Vettoretti (2010) as questões relativas ao desenvolvimento de um mobiliário que atenda a grande variedade de usos e posturas assumidas durante as atividades é um problema de difícil solução, visto a diversidade de possibilidades existentes. Outra questão levantada foi que o sistema paramétrico estruturado para a pesquisa não permitiu a reprodução de todas as tendências posturais observadas em campo, sendo necessária a ampliação do sistema de informações utilizado (modificar a programação algorítmica para que possa incluir novas regras de combinações entre os vocábulos).

O auxílio de novas tecnologias de projeto e fabricação permitiu reunir em um sistema de informações uma ampla variedade de dados paramétricos, apontando para a possibilidade de personalização da produção. O uso dos softwares Rhinoceros e do plugin Grasshopper facilitou a geração de uma ampla variedade de conceitos estéticos e funcionais. Fato esse, que contribui para o desenvolvimento de novos produtos, tanto para aspectos de variação formal quanto para um mercado-alvo específico. A autora finaliza as considerações argumentando

que a aplicação do sistema paramétrico no processo de projeto não enrijeceu a criatividade, mais ampliou sua capacidade de identificar novos usos para o produto.

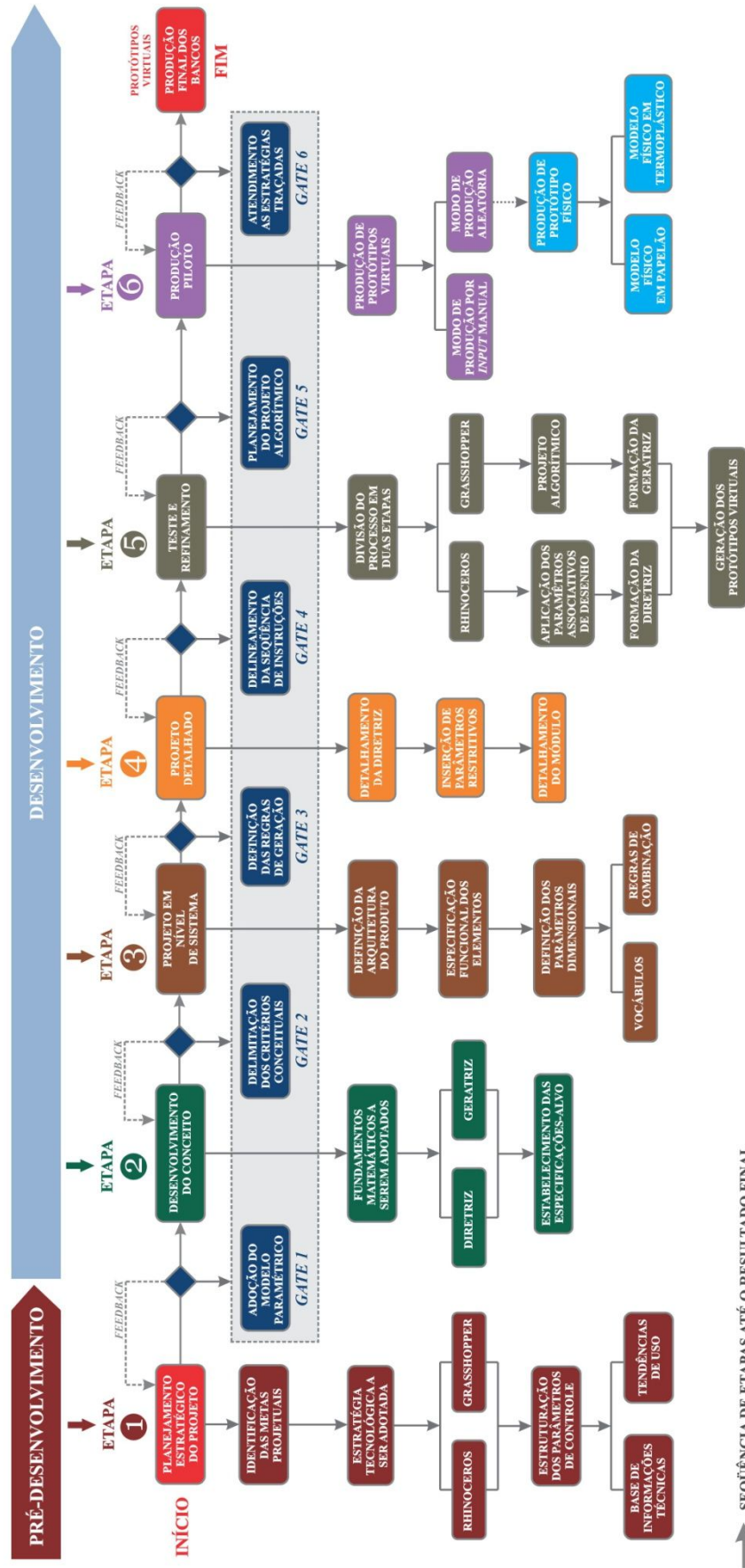
3.2.10 CONCLUSÕES

De acordo com Rozenfeld et al. (2006) a atividade de desenvolvimento de projetos pode apresentar uma série de problemas e dificuldades muito particulares, principalmente quando o volume de informações processadas é relativamente alto e variado. Pratts (2007 apud VETTORETTI, 2010) argumenta que para se obter boas opções de projetos é necessário definir regras claras de geração, e que as mesmas devem ser definidas logo no início do processo. A definição dos requisitos de um projeto pode variar muito com as preferências pessoais dos projetistas ou mesmo com as expectativas dos consumidores, mas verificou-se que são determinantes na formação do processo generativo.

A Figura 57 apresenta a visão geral do modelo de processo utilizado por Vettoretti (2010) para o desenvolvimento dos bancos. O diagrama de fluxo foi criado de acordo com os elementos explicitados pela autora no decorrer da dissertação, que incluem as ações e resultados de cada etapa do processo. O modelo segue a sistemática do PDP adotado como referencial para este trabalho (Figura 22).

Assim, foi identificado a presença de 2 macro-fases (pré-desenvolvimento e desenvolvimento), 6 etapas e 29 atividades relacionadas ao modelo de processo dos bancos para ler e conversar, iniciando pelo planejamento estratégico do produto e finalizando com a produção final dos bancos. O processo de projeto seguiu um fluxo estruturado de atividades e informações buscando desenvolver um produto que repensasse a morfologia atual dos bancos com a aplicação de critérios ergonômicos. Cada etapa do desenvolvimento foi seguida por uma avaliação (*gate*) que tinha o objetivo de confirmar se todos os critérios conceituais estavam sendo atendidos e de acordo as estratégias inicialmente traçadas. O modelo de processo apresentado contém a presença de 6 *gates*, que decorrem conforme o desenvolvimento do produto.

Figura 57 – Visão geral do modelo de processo (Bancos para ler e conversar)



A abordagem dada ao processo de desenvolvimento dos bancos para ler e conversar introduziu uma estrutura metodológica totalmente baseada na formulação de um sistema paramétrico. A técnica utilizada (design generativo) fomentou o desenvolvimento de uma estratégia procedural baseada na geração de formas. Os parâmetros de projeto foram estruturados para a melhoria do desempenho ergonômico e funcional dos produtos (família de opções geradas), atendendo a critérios específicos de uma população-alvo.

A adoção do modelo paramétrico como estratégia de projeto facilitou a introdução da geração de soluções alternativas em abundância e de forma controlada (mesmo quando em modo de produção aleatória), destacando o uso dos softwares Rhinoceros e Grasshopper na busca por estímulos por novas ideias. Ficou evidente que a metodologia utilizada por Vettoretti (2010) reduziu a incidência de problemas relativos às disfunções do produto, já que a realização dos testes (via a geração de protótipos virtuais) e os resultados aconteciam quase que automaticamente. Verifica-se que o uso dos SGP é capaz de promover uma exploração completa de alternativas, se mostrando como uma excelente ferramenta voltada para o aperfeiçoamento das técnicas relacionadas à resolução de problemas de projeto.

3.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO: MESA DINÂMICA – UMA EXPERIÊNCIA DE MOBILIÁRIO GENERATIVO

O estudo foi desenvolvido como o objetivo de entender o fluxo de informações de PDP quando associado aos SGP. A ideia central é conseguir identificar as possíveis variáveis projetuais que os diferenciam de outras abordagens de projeto. Para que essa meta fosse alcançada propôs-se o desenvolvimento de um exercício projetual cuja análise do projeto fosse capaz de evidenciar o ponto de vista do processo, além de clarificar o método utilizado e os princípios lógicos do projeto algorítmico.

Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que a documentação de um processo que envolve a tomada de decisões resulta em um arquivo facilmente compreendido acerca do raciocínio por trás da tomada de decisões. É um registro útil para ser assimilado rapidamente por uma equipe de projeto, além de servir para avaliar o impacto das mudanças nas necessidades dos clientes ou nas alternativas disponíveis.

Para que fosse possível montar um processo estruturado de desenvolvimento de um conceito, porém mantendo a objetividade durante todo o desenvolvimento, definiu-se que o objeto a ser proposto seria um mobiliário, mais especificamente uma mesa de reuniões. Dessa forma, seria possível trabalhar um protótipo virtual dentro da abordagem específica do design

paramétrico identificando as possíveis macro-fases, etapas, e atividades envolvidas no desenvolvimento do produto. Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que um método estruturado torna-se uma linguagem comum entre vários projetistas, resultando na diminuição da ambiguidade e na comunicação mais rápida e eficiente.

Conforme proposto para os objetos de estudos trabalhados anteriormente, a formatação deste estudo também foi organizada conforme o PDP adotado (Figura 22). Assim, seria possível analisar comparativamente as informações do referencial teórico com os dados encontrados durante a realização do exercício. O cruzamento dessas informações poderia ressaltar a existência de equivalências entre as etapas processuais do PDP genérico adotado frente à abordagem do desenho paramétrico (SGP), ou mesmo a necessidade de inclusão de novas etapas ou atividades intermediárias.

Como forma de estabelecer um nome para o estudo exploratório, intitulou-se de “Mesa dinâmica: uma experiência de mobiliário generativo”. Ressalta-se que o embasamento teórico utilizado para o desenvolvimento deste exercício veio do resultado da combinação de três fontes de dados: revisão bibliográfica, objeto de estudo 1, e objeto de estudo 2. A intersecção das fontes propiciou o ponto de partida necessário para se iniciar o projeto.

3.3.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PROJETO

O início do exercício projetual foi marcado por muitas dúvidas, principalmente pela seguinte indagação: por onde começar o projeto? Durante os primeiros momentos surgiram diversas questões diretamente relacionadas à incerteza da real possibilidade de realização desta atividade experimental dentro do cronograma proposto para a dissertação. O desconhecimento da natureza do processo de projeto com os SGP e das estratégias utilizadas pelos designers para a construção do processo foi a primeira barreira, já que durante a revisão de literatura não foi encontrado um modelo de referência que permitisse a aplicação prática dos conceitos em PDP ou mesmo um diagrama de fluxo para processos de desenvolvimento genéricos. Essa dificuldade de se alcançar uma visão sistêmica logo nos primeiros instantes do exercício acarretou em um gasto considerável de energia para solucionar esse problema.

De posse da *expertise* necessária para o desenvolvimento do exercício, o próximo passo foi estabelecer projeções de metas projetuais simuladas, ou seja, sugestões para um determinado contexto real, algo que poderia ser aplicável na prática. Para satisfazer a um princípio gerador definiu-se que o produto deveria se enquadrar em três requisitos básicos:

1. Atender a um público-alvo com necessidades específicas;
2. Ser desenvolvido, exclusivamente, com o uso de tecnologia digital;
3. Ser produzido de forma viável por sistemas de produção automatizados como os centros de usinagem por comando numérico computadorizado (CNC), semelhante ao que foi realizado pelo objeto de estudo 1. A diferença agora estaria no tipo de material utilizado para a composição do mobiliário, onde substituiríamos o uso das chapas de aço por chapas de madeira (MDF).

O produto-alvo, consequência de uma especificação projetada para um determinado contexto simulado, é uma mesa de reunião para 10 pessoas, cuja área de trabalho, deve acomodar confortavelmente espaço suficiente para a inserção da mesma quantidade de cadeiras giratórias. Traçou-se para as especificações-meta características como inovação, diversidade dos aspectos formais que projetassem contemporaneidade no uso dos materiais, e aplicação de chapas de MDF na constituição dos elementos estruturantes (tampo e base). O produto teria ainda três critérios complementares: aplicação voltada para o seguimento de escritórios, ser facilmente executada por indústrias moveleiras com sistema de produção por CNC, e ter seu uso voltado para salas de reuniões executivas.

Para que fosse possível avançar no desenvolvimento do produto dois aspectos complementares, mas extremamente importantes, para o contexto do projeto e a direção estratégica a ser seguida foram delineados:

1. A mesa deveria ser desenvolvida por uma abordagem de projeto baseada nos SGP;
2. Todo conceito gerado deveria partir de um modelo paramétrico a ser elaborado.

As duas diretrizes, trabalhando de forma síncrona, facilitariam a geração de opções projetuais e ao mesmo tempo manteria certo controle sobre a produção de novas lógicas compositivas e formativas para as mesas criadas (Figura 58).

Figura 58 – Abordagem estratégica definida (Desenho Paramétrico)



Fonte: Próprio autor (2016)

3.3.2 ESTRATÉGIA PROCESSUAL

Analisando as informações coletadas durante os dois objetos de estudos anteriores foi possível concluir que os produtos resultantes (protótipo físico no primeiro caso, e virtuais no segundo) estavam relacionados a um mesmo conceito matemático, o da diretriz. A geometria resultante era consequência direta da estratégia processual adotada para o rastreo de soluções. Definia-se um perfil gerador, que controlado parametricamente, era capaz de produzir formas resultantes derivadas de curvas do tipo NURBS. O espaço de possibilidades formais era sintetizado por fragmentos de desenhos (linhas, arcos e círculos) que quando conectados entre si formavam um desenho básico denominado de caminho. A esse último era chamado de diretriz.

Uma observação que deve ser explicitada quanto aos dois objetos de estudos analisados é que os produtos resultantes das técnicas aplicadas são factíveis para a produção em escala real. Verifica-se que em ambos os experimentos os produtos não representavam em si simples abstrações formais ou mesmo produtos que pudessem ser confundidos com obras de arte, mas produtos executáveis do ponto de vista fabril.

O “aparente” problema vinculado a estratégia processual adotada pelos respectivos autores (método de produção) gerou uma segunda indagação ao exercício: qual seria o ponto de partida ideal para o desenvolvimento do produto? A articulação da solução dependia da resposta a essa questão. Se o processo era pensado a partir do planejamento paramétrico do projeto ou se seria necessário a criação de um esboço conceitual que antecederesse a esse planejamento.

Essa dúvida tornou-se mais evidente no segundo objeto de estudo, onde a autora utilizou somente uma base de dados para produzir opções de projeto, sem nenhuma vinculação com esboços conceituais (não foram encontradas evidências documentais ao longo

da dissertação quanto à ocorrência prévia da produção de tais esboços). Vale destacar que todos os parâmetros utilizados para a geração dos bancos foram fundamentalmente justificados e coerentes com a linha de raciocínio da autora. Uma conclusão preliminar que podemos extrair desse último estudo é que a realização do esboço conceitual não é determinante como uma etapa do processo de desenvolvimento de produtos quando associada diretamente a processos generativos digitais.

Embasado pelo conhecimento que foi sendo construído ao longo deste trabalho, foi necessário definir alguns pressupostos adicionais com caráter direcional: se o exercício partisse do planejamento paramétrico, a primeira coisa a ser feita seria definir a arquitetura preliminar da mesa, ou seja, realizar a decomposição funcional de cada uma das partes que a compunha. Essa segmentação dos componentes seria para formatar o projeto algorítmico, cuja construção lógica segue um fluxo sequencial, desde o lançamento da primeira geometria até a produção final das opções de projeto.

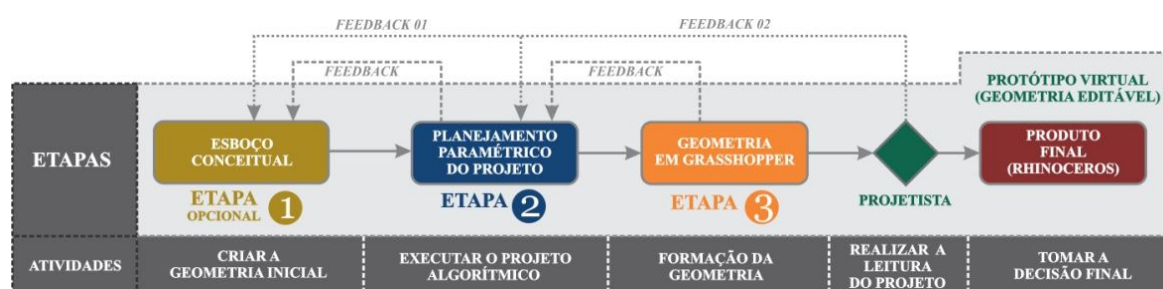
Como o projeto algorítmico opera a partir de parâmetros e regras era necessário definir as especificações técnicas da mesa, como por exemplo, metragem quadrada do tampo, espessura dos materiais, quantidade de matéria prima a ser utilizada, solução geométrica das interferências, forma estrutural da base, entre outros. Caso fosse desenvolvido um esboço, haveria uma capacidade efetiva de visualização do espaço do problema e a definição de qual seria o nível de profundidade que permitiria estabelecer os critérios necessários para desenvolver o produto.

A partir dos dados disponíveis em mãos optou-se por inserir no processo a etapa do esboço conceitual, que seria antecedente ao planejamento paramétrico, fundamentando no fato de que seria interessante visualizar a intenção projetual, e ao mesmo tempo, alcançar consistência no caminho a ser seguido durante o detalhamento das atividades a serem executadas. Porém, ao adotar o caminho do esboço, percebeu-se que uma simples representação da ideia básica do produto não seria suficiente, era necessário realizar um detalhamento dos desenhos. O esboço tinha que representar, além da disposição geométrica do produto, prévias das especificações funcionais com todas as métricas pré-definidas e a serem alcançadas.

Uma segunda conclusão que chegou-se com relação ao esboço conceitual durante os estágios preliminares de desenvolvimento de um produto, considerando aqui a abordagem do desenho paramétrico, é que o mesmo não necessita ser concebido como algo rígido ou mesmo imutável logo no início do processo. Ele representa um meio de expressão vinculado a partida, ao *insight* inicial.

No contexto do desenho paramétrico a questão relativa à alteração do esboço conceitual ocorre basicamente por dois motivos: 1) readequações funcionais visualizadas durante o planejamento paramétrico como, por exemplo, impossibilidades restritivas relacionadas à execução sequencial traçada para o produto; 2) em função dos critérios utilizados pelo projetista na seleção de um conceito promissor, quando referenciado na leitura dos resultados alcançados pelo planejamento paramétrico após a geração da geometria em Grasshopper (Figura 59).

Figura 59 – Estratégias processuais que podem ser adotadas para os SGP (com ou sem a etapa do esboço conceitual)



Fonte: Próprio autor (2016)

3.3.3 ESTRATÉGIA TECNOLÓGICA APLICADA – MODELO PARAMÉTRICO

De acordo com o referencial teórico adotado e com os dados coletados durante os dois objetos de estudos anteriores, foi sugerido que o início de um projeto paramétrico estaria vinculado à produção de um desenho básico no Rhinoceros, onde o mesmo poderia ser representado por diversas entidades geométricas, como um ponto, uma reta, um arco, uma superfície ou mesmo um sólido. Aqui surgiu uma terceira indagação ao exercício: realmente é necessário partir de um desenho básico? Essa dúvida surgiu um pouco antes de começar o planejamento do projeto algorítmico, que associada à incerteza das funções representadas pelos softwares Rhinoceros e Grasshopper exigiu um novo ciclo de aprendizagem.

À medida que as respostas apareciam e as funções iam se tornando mais límpidas essa diferenciação foi sendo resolvida. O fato é que o Rhinoceros exerce basicamente três funções: 1) criar os desenhos básicos (se necessários); 2) visualizar a geometria do Grasshopper; e 3) editar (se necessário) as geometrias resultantes do projeto algorítmico. O Grasshopper entra com a função de gerenciar o projeto algorítmico com todas as especificidades relacionadas à operação dos algoritmos, seja a partir da inserção de novos parâmetros ou da edição dos já

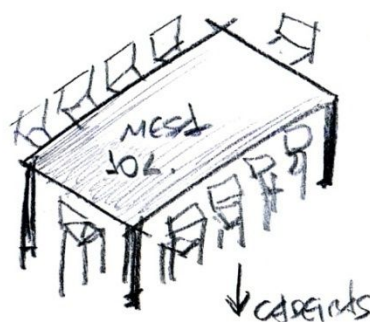
existentes. Ele é responsável pela “automatização” da base geradora de opções projetuais permitindo a simulação virtual da fabricação de uma determinada solução de projeto.

A falta de um modelo de referência de processo para o desenvolvimento de um produto qualquer sem que a ideia geradora partisse do conceito da diretriz criou mais um obstáculo a ser superado no exercício. Isso porque, as intenções projetuais relacionadas ao desenvolvimento da mesa de reunião não estavam ligadas a esse princípio. Um fato relevante que deve ser destacado é que durante o primeiro esboço conceitual da mesa percebeu-se que o produto tinha o potencial se ser totalmente executado dentro do contexto paramétrico, sem a necessidade de criação de um desenho básico inicial, conforme sugerido pela literatura. Isso possibilitaria variar continuamente o modelo virtual na busca por oportunidades excepcionais de forma a aumentar a probabilidade de sucesso do mesmo.

3.3.4 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

Para o planejamento paramétrico do projeto lançou-se a princípio o esboço conceitual do produto. O desenho era a síntese dos conceitos anteriormente definidos materializado em um todo coerente. Os traços iniciais representavam graficamente a forma básica do produto e ao mesmo tempo traduziam a sua função principal. Há que se ressaltar que a ideia preliminar não continha quaisquer tipos de parâmetros dimensionais que apontavam na direção das soluções exigíveis à construção do projeto algorítmico (Figura 60).

Figura 60 – Esboço conceitual da mesa de reunião para 10 lugares



Fonte: Próprio autor (2016)

O fato de se produzir um esboço conceitual sem maiores detalhes não foi suficiente para ser utilizado como *input* inicial no projeto algorítmico. Era preciso desdobrar os desenhos, planejá-los e dimensioná-los até o ponto onde cada uma das partes pudesse ser representada por uma especificação funcional (especificações-alvo). Cada esboço deveria ser

pensado já prevendo a disposição geométrica do produto, incluindo, desde o início, o maior número possível de condicionantes relacionadas à viabilização do mesmo. Esse momento projetual foi marcado pelo estabelecimento do plano do processo paramétrico.

Com o avanço do exercício projetual a percepção da importância da etapa do planejamento paramétrico do projeto foi se tornando cada vez mais clara. Sua presença era essencial para o sucesso do desenvolvimento conceitual do produto e deveria ocorrer, preferencialmente, antes de entrar de “cabeça” no projeto algorítmico (Grasshopper). Um planejamento bem executado dessa etapa ajuda a esclarecer o problema de projeto e permite que o projetista busque por novas soluções que atendam a lista de necessidades do cliente. O planejamento paramétrico é responsável por guiar a sequência de passos a ser seguida determinando às características geométricas de cada pedaço do produto.

Como o projeto encontrava-se ainda em uma condição muito incipiente, o próximo passo foi dado na direção de detalhar o plano do processo paramétrico. Isso ocorreu através da produção de novos esboços, que agora englobavam aspectos funcionais e dimensionais do produto. Um fato interessante foi que durante a execução do projeto algorítmico surgiu a necessidade de criar novos desenhos, eram detalhes construtivos que não tinham sido pensados anteriormente. Uma lição aprendida durante esta etapa foi que não há a necessidade direta de solucionar todos os aspectos que envolvem o planejamento paramétrico, pois a configuração da própria lógica do projeto algorítmico (sequenciamento dos parâmetros) vai “exigir” essas definições.

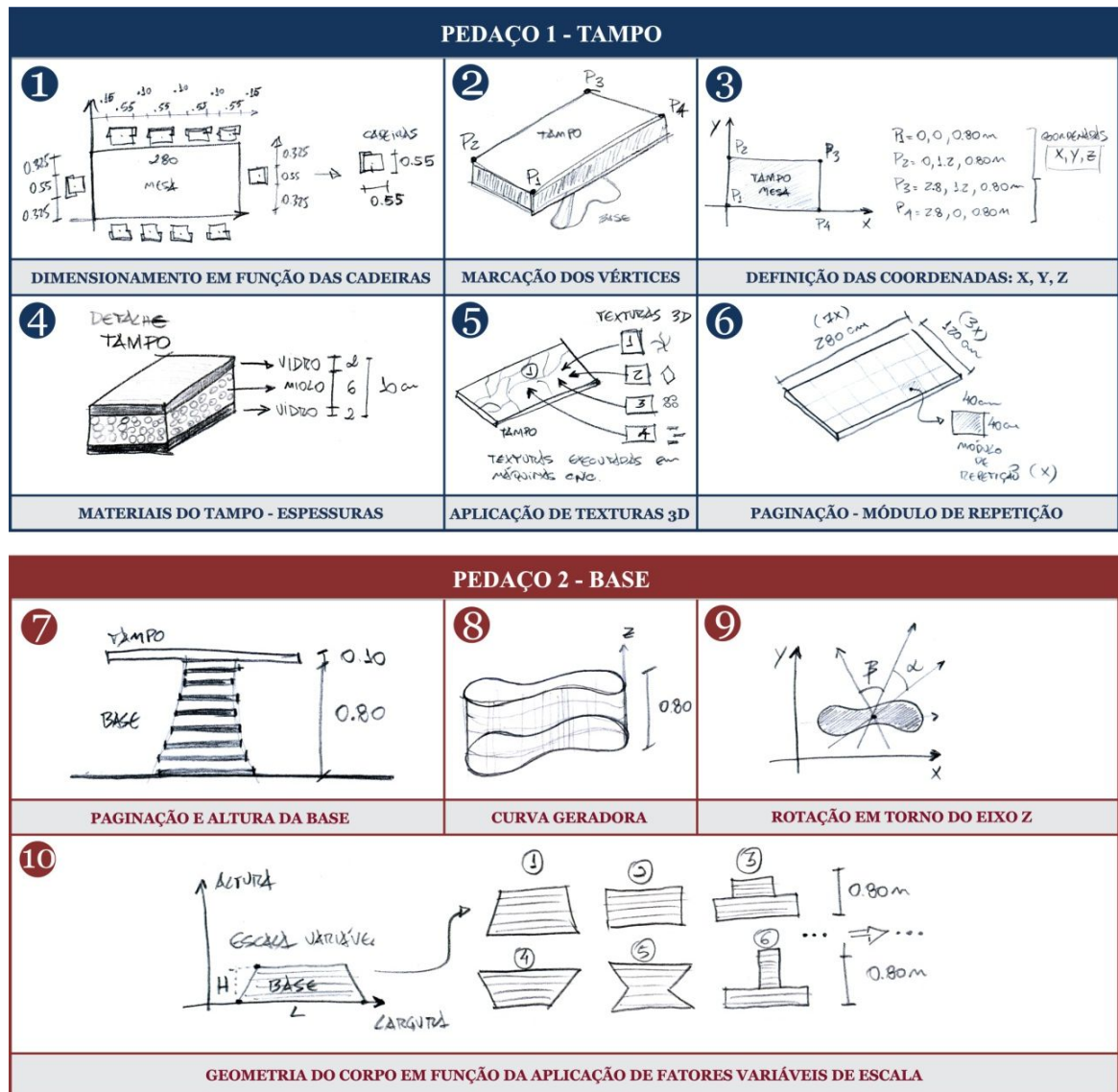
3.3.5. PROJETO EM NÍVEL DE SISTEMA

Com a evolução dos desenhos a mesa começava a tomar forma, pois as definições dos parâmetros geradores traduziam às características do produto em métricas alcançáveis. À medida que o desenvolvimento progredia as informações de projeto já iam sendo formatadas no padrão de *inputs* válidos. Isso quer dizer que os parâmetros a serem definidos deveriam corresponder exatamente à solicitação “exigida” pelo algoritmo correspondente. Se o algoritmo opera um ponto, a informação de entrada deve ser uma coordenada cartesiana, se opera uma superfície, a informação deve ser linhas limítrofes que delimitam um plano, se opera uma geometria tridimensional, a informação deve ser um sólido, e assim sucessivamente. Essa foi a lógica verificada durante todo o projeto algorítmico.

Para facilitar o controle da arquitetura do produto, a mesa foi dividida em duas partes gerenciáveis (Figura 61). A parte que cabia ao desenvolvimento do tampo e a parte que cabia

ao desenvolvimento da base. Isso ajudou a conceber o produto em dois blocos totalmente independentes tendo como desafio somente o de gerenciar as fronteiras entre os dois pedaços.

Figura 61 – Detalhamento do plano do processo paramétrico (Diagramas funcionais)



Fonte: Próprio autor (2016)

A vantagem por ter escolhido a estratégia de desenvolvimento dividido em dois blocos separados refletiu diretamente na qualidade do controle exercido sobre cada pedaço. A separação das partes propiciava à redução do tamanho da programação algorítmica necessária quando vista como um bloco integral de interações (volume de conexões entre os algoritmos). A separação em partes modulares permitiu também que fossem realizadas alterações nos blocos individualmente, sem que mudanças específicas afetassem a concepção do todo.

3.3.6 PROJETO ALGORÍTMICO

Com o detalhamento do plano do processo paramétrico realizado, o próximo passo foi dado na direção de conhecer quais os tipos de algoritmos que poderiam ser utilizados para o desenvolvimento do produto. Essa tarefa demandou muito tempo, porque a quantidade de operadores algorítmicos presentes no Grasshopper é vasta e diversificada, ocasionando, mais uma vez, a busca por novos conhecimentos. A origem das fontes para a coleta dos dados relativa a esta etapa originou-se de trabalhos acadêmicos publicados no exterior (dissertações e teses), além de apostilas, vídeos e tutoriais disponibilizados na internet com conteúdo realizado de forma empírica, somente apoiada por experimentações práticas.

Uma conclusão que chegou-se durante a realização dessa etapa foi que a possibilidade de executar um projeto algorítmico estava condicionada a três tipos de conhecimentos:

1. Conhecimento acerca do processo de funcionamento dos algoritmos dentro do universo de domínio do Grasshopper;
2. Conhecimento acerca das fronteiras projetuais entre o Rhinoceros e o Grasshopper;
3. Conhecimento específico para determinar quais os algoritmos que iriam operar o desenvolvimento do projeto da mesa.

Após testes iniciais foi possível entender a lógica por trás dos softwares e do projeto algorítmico e responder as questões anteriores. O resultado encontrado para os itens 1 e 2 discutidos anteriormente foram sintetizados na Figura 62.

Figura 62 – Gerenciamento dos conhecimentos 1 e 2



Fonte: Próprio autor (2016)

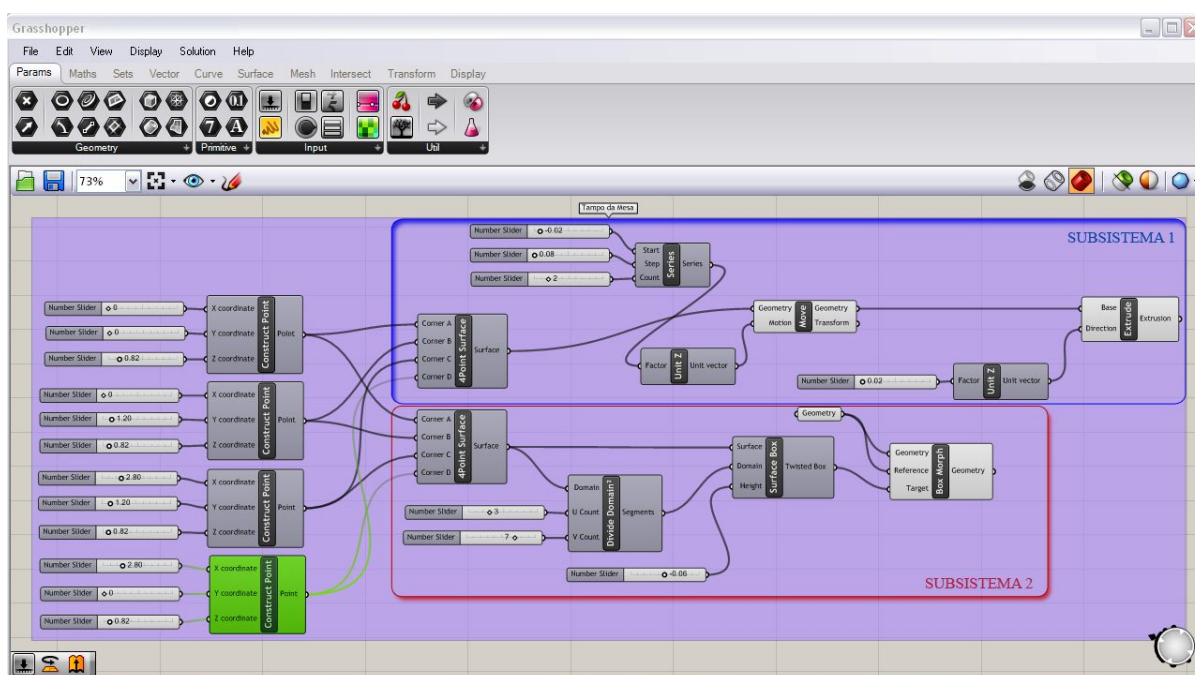
Para determinar quais seriam os algoritmos mais adequados ao desenvolvimento do produto (conhecimento 3) foram realizados testes para as conexões lógicas entre um conjunto

de operadores pré-selecionados, o qual utilizou-se o princípio da similaridade correlacional para construir uma base de comandos que possuíam correspondência direta com outros softwares de modelagem tridimensional. Isso porque, comandos como *move*, *rotate*, *scale*, *extrude*, exercem as mesmas funções em diferentes sistemas 3D. Um fato interessante que surgiu durante essa atividade foi que as complexidades inerentes ao entendimento funcional de cada operador algorítmico não exigiu tanto esforço quanto esperado, consequência de experiências passadas baseadas em conhecimento implícito.

Como a mesa foi dividida em dois pedaços foram criados dois projetos algorítmicos. Um projeto para o tampo e outro para a base. Isso facilitou muito o controle e a rápida identificação dos diversos componentes que faziam parte de cada projeto. Uma especificidade ocorrida durante o projeto algorítmico do tampo foi à necessidade de decompô-lo em dois subsistemas. O subsistema 1, representado pelo retângulo azul (Figura 63), foi responsável por criar dois planos horizontais e espaçá-los em uma distância de 6cm. Esses, por sua vez, representariam dois tampos de vidro sugeridos posteriormente como material de acabamento para o projeto final.

O subsistema 2, representado pelo retângulo vermelho (Figura 63), foi responsável por produzir o miolo do tampo (enchimento intermediário entre as duas placas de vidro). A interação entre os dois subsistemas resultou na composição final do pedaço 1.

Figura 63 – Diagrama de fluxo do processo algorítmico (Pedaço 1 - Tampo)



Fonte: Próprio autor (2016)

Para a composição do projeto algorítmico do pedaço 1 utilizou-se de 34 componentes, responsáveis pela operação de instruções específicas na produção do tampo. São 19 componentes de inserção de dados numéricos, 1 para a entrada da geometria, 2 para definição do eixo cartesiano, e 12 para composição e edição de formas. A quantidade, a identificação e a função de cada componente estão destacadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Componentes e funções utilizadas para o subsistema 1 - (Planos de vidro)

PEDAÇO 1 - TAMPO		
SUBSISTEMA 1		
Quantidade	Identificação do componente	Função
16	Number Slider	Entra com parâmetros numéricos
04	Construct Point	Marca um ponto de coordenada no espaço cartesiano
01	4 Point Surface	Cria uma superfície a partir de 04 pontos
01	Series	Cria uma sequência numérica estabelecida (início, passo e quantidade)
02	Unit Z	Define o eixo de coordenadas
01	Move	Move a geometria no espaço
01	Extrude	Cria uma espessura na geometria, transformando uma superfície em sólido
* Total de componentes utilizados para o (Subsistema 1): 26		

Fonte: Próprio autor (2016)

Reduzindo a operação em formato de diagrama de fluxo temos a seguinte síntese processual para o subsistema 1 (Figura 64):

Figura 64 – Sequência processual para o subsistema 1



Fonte: Próprio autor (2016)

Para o subsistema 2, responsável por definir as características geométricas do miolo do tampo, foi proposta a aplicação de uma geometria externa (sólido) que quando aplicado em uma malha pré-definida geraria uma repetição controlada do objeto, produzindo algo semelhante a uma texturização tridimensional.

Tabela 4 – Componentes e funções utilizadas para o subsistema 2 - (Miolo do tampo)

PEDAÇO 1 - TAMPO		
SUBSISTEMA 2		
Quantidade	Identificação do componente	Função
15	Number Slider	Entra com parâmetros numéricos
04	Construct Point	Marca um ponto de coordenada no espaço cartesiano
01	4 Point Surface	Cria uma superfície a partir de 04 pontos
01	Divide Domain ²	Cria uma malha U, V sobre a superfície
01	Surface Box	Cria um Box sobre a malha U, V com uma determinada espessura
01	Geometry	Entra com a geometria externa (sólido de Rhinoceros)
01	Box Morph	Aplica uma geometria externa dentro do Box criado
* Total de componentes utilizados para o (Subsistema 2): 24		

Fonte: Próprio autor (2016)

Reduzindo a operação realizada para o subsistema 2, semelhante a síntese utilizada para o subsistema 1, tem-se a seguinte sequência processual (Figura 65):

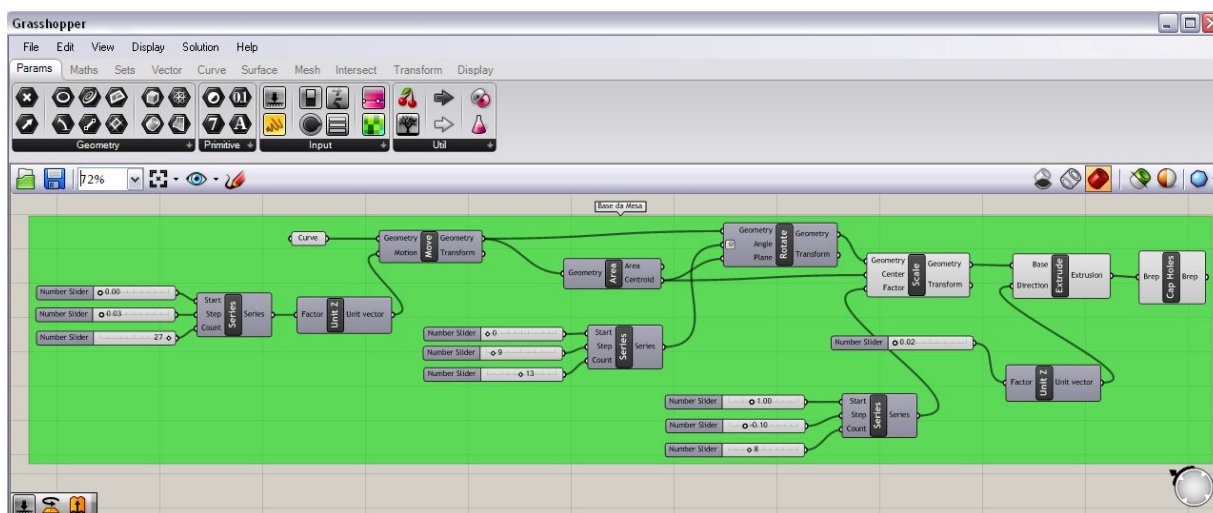
Figura 65 – Sequência processual para o subsistema 2



Fonte: Próprio autor (2016)

Para a produção do pedaço 2 (base da mesa) foi definido um único diagrama de fluxo que continha a ligação de todos os componentes utilizados no projeto algorítmico. Na Figura 66 é possível identificar todas as interações realizadas.

Figura 66 – Diagrama de fluxo do processo algorítmico (Pedaço 2 - Base)



Fonte: Próprio autor (2016)

Para o pedaço 2, utilizou-se de um total de 22 componentes, divididos da seguinte forma: 13 componentes responsáveis pela entrada de dados numéricos, 1 para a entrada da geometria, 2 para definição do eixo cartesiano, 1 para centralização da rotação, e 5 para composição e edição de formas. A quantidade, a identificação e a função de cada componente estão destacadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Componentes e funções utilizadas para o pedaço 2 - (Base da mesa)

PEDAÇO 2 - BASE		
Quantidade	Identificação do componente	Função
10	Number Slider	Entra com parâmetros numéricos
03	Series	Cria uma sequência numérica estabelecida (início, passo e quantidade)
02	Unit Z	Define o eixo de coordenadas
01	Curve	Entra com a geometria externa (curva fechada de Rhinoceros)
01	Move	Move a curva no espaço
01	Area	Utilizado para definição do centro geométrico da curva
01	Rotate	Rotaciona a curva no espaço
01	Scale	Dá uma escala na curva
01	Extrude	Cria uma extrusão na curva, transformando-a em uma superfície fechada
01	Cap Holes	Fecha a extrusão da curva, transformando-a em um sólido

*** Total de componentes utilizados para o (Pedaço 2): 22**

Fonte: Próprio autor (2016)

Sintetizando a operação para o pedaço 2, tem-se a seguinte sequência processual utilizada (Figura 67):

Figura 67 – Sequência processual para o pedaço 2



Fonte: Próprio autor (2016)

3.3.7 PROJETO DETALHADO

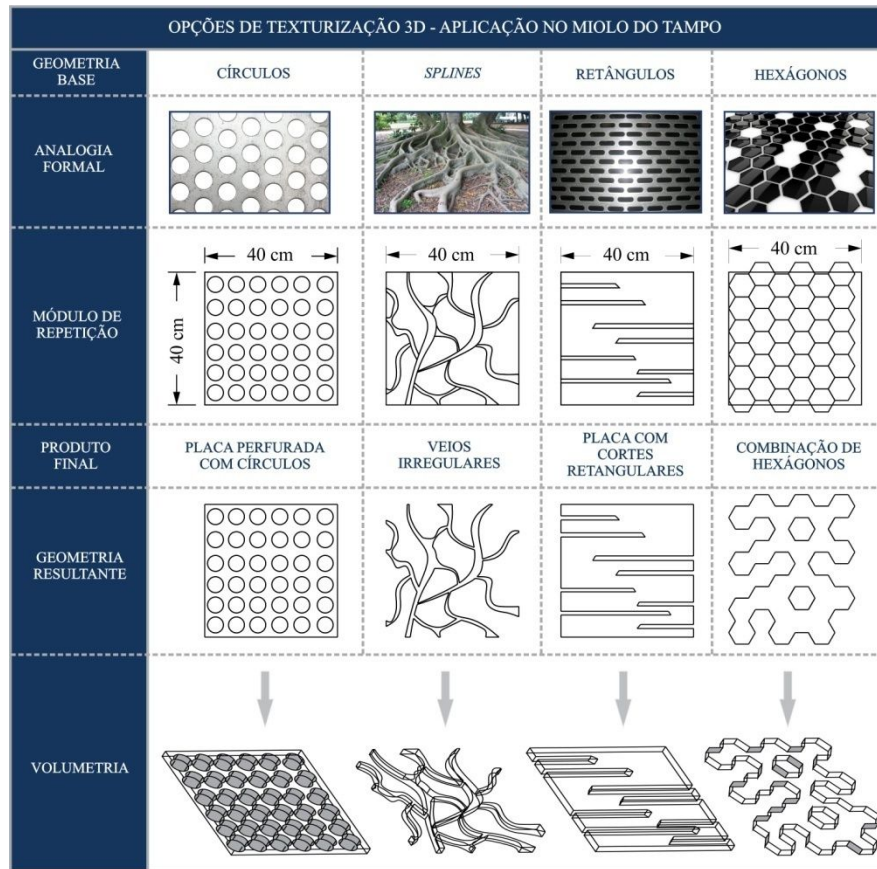
Para que o projeto algorítmico funcionasse conforme esperado era preciso detalhar dois aspectos complementares:

1. A geometria do sólido que seria aplicada entre as duas placas de vidro;
2. A curva responsável por gerar a forma da base.

Como esta etapa do projeto inclui o detalhamento e a especificação completa da geometria, foi necessária a criação de um plano de processo para geração de formas. Uma estratégia adotada para restringir a quantidade de opções de projetos gerados durante o exercício projetual foi definir um limite para a quantidade de alternativas a serem trabalhadas. Assim, foram criadas 4 opções para o miolo do tampo e 1 opção para a curva da base.

A Figura 68 representa o plano do processo desenvolvido para a geração das 4 volumetrias que foram utilizadas para a produção do miolo do tampo. São geometrias resultantes dos seguintes elementos: círculos, *splines*, retângulos e hexágonos. Cada um dos sólidos foi referenciado por uma analogia formal que aplicados pelo sistema paramétrico desenvolvido foi capaz de gerar estruturas tridimensionais.

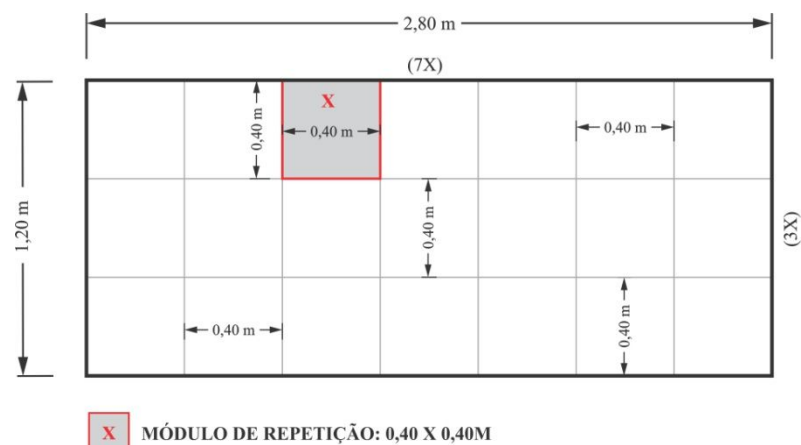
Figura 68 – Plano de processo para a geração de formas (miolo do tampo)



Fonte: Próprio autor (2016)

A malha (U,V) criada para as volumetrias a serem aplicadas durante o projeto algorítmico possuía as seguintes características: $U=7$ e $V=3$. Isso porque a mesa foi dimensionada para ter 2,80m de largura e 1,20m de profundidade. Dividindo-se a largura pelo módulo de repetição (0,40m x 0,40m) temos os valores finais para U e V (Figura 69).

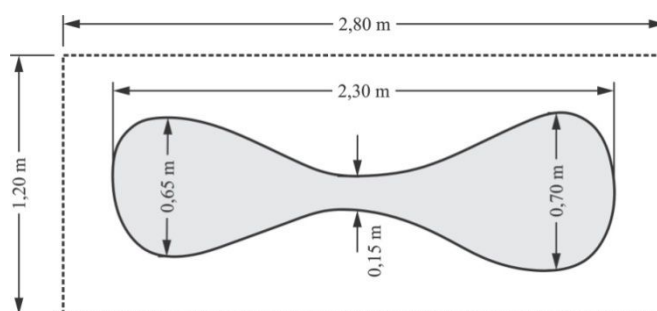
Figura 69 – Malha U,V aplicada ao tampo (Vista superior)



Fonte: Próprio autor (2016)

A curva responsável por gerar a forma da base foi executada sem maiores critérios dimensional. A forma resultante foi consequência de uma livre expressão onde se buscou por uma geometria mais orgânica, uma forma livre, intuitiva e sem maiores traços de rigidez. O único aspecto restritivo era o limite do tempo. Basicamente o desenho tinha 2,30m de largura com uma borda de 0,65m de profundidade do lado esquerdo e 0,70m de profundidade do lado direito, e centro de aproximadamente 0,15m (Figura 70).

Figura 70 – Curva da base



Fonte: Próprio autor (2016)

Para a fabricação do miolo do tampo pensou-se em utilizar duas placas de fibra de madeira de média densidade (*Medium Density Fiberboard* - MDF) de 30mm de espessura cada, sobrepostas entre si. Essa técnica de montagem é usualmente referida pelo setor moveleiro de engrossamento de tampo ou tampo duplo. O ferramental a ser utilizado para a produção do miolo seria o corte através de centros de usinagem por CNC.

Uma grande vantagem dos centros de usinagem é que esse tipo de processo de fabricação trabalha com três preceitos básicos: velocidade de corte, economia de materiais e qualidade no acabamento, ou seja, um conjunto de características que vão de encontro a requisitos exigíveis pelo mercado atual (Figura 71). Para a produção da base seria utilizado o mesmo sistema de produção, porém, com chapas de 20mm de espessura.

Figura 71 – Sistema de corte por CNC



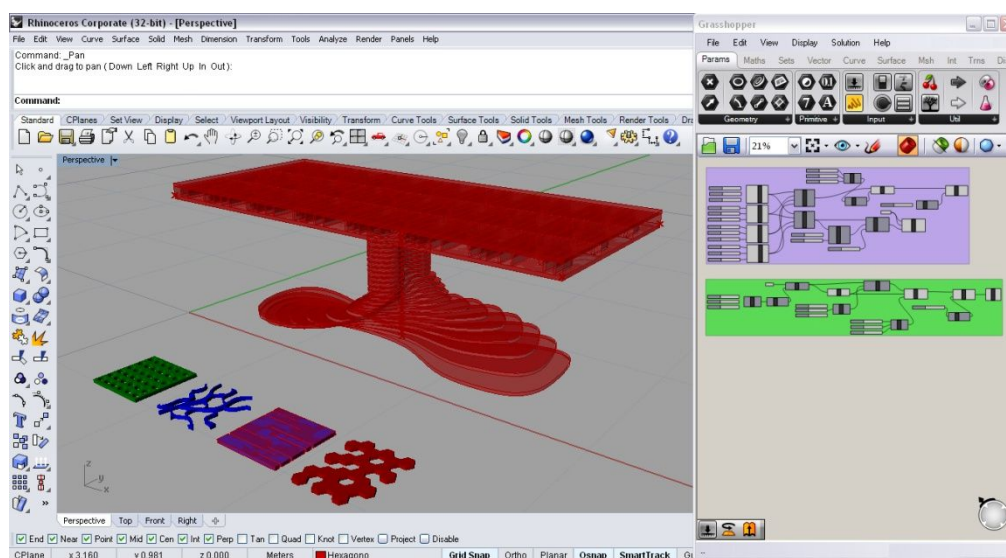
Fonte: Disponível em: <http://www.instructables.com/id/Building-a-CNC-router/>
Acesso em: 07 fev. 2016.

3.3.8 TESTE E REFINAMENTO – PROTOTIPAGEM ANALÍTICA

Após a finalização de todas as etapas relacionadas à definição dos parâmetros necessários a construção do projeto algorítmico, o próximo passo foi testar os conceitos. Para isso, iniciou-se a produção de protótipos analíticos. Esta etapa permitiu avaliar várias versões de pré-produção do produto. Um fato que se destaca durante esta etapa foi que os primeiros protótipos criados possuíam as características exatas às intenções iniciais do produto (geometria e materiais), verificando se o produto final iria funcionar em todos os seus aspectos conforme planejado.

A Figura 72 mostra uma das mesas produzida por um grupo específico de parâmetros de projeto, onde é possível visualizar a geometria conceitual do Grasshopper, ainda na forma de projeto algorítmico. Verifica-se também os 4 módulos de repetição utilizados (sólidos) para a produção da texturização do miolo do tampo. Um detalhe que se percebe na imagem é a sua divisão em duas partes (propositalmente posicionadas): à esquerda localiza-se a interface do Rhinoceros e a direita a do Grasshopper. Na interface do Grasshopper é possível visualizar os dois projetos algorítmicos, o lilás representando o projeto do tampo e o verde o da base.

Figura 72 – Interface projetual do Rhinoceros e Grasshopper



Fonte: Próprio autor (2016)

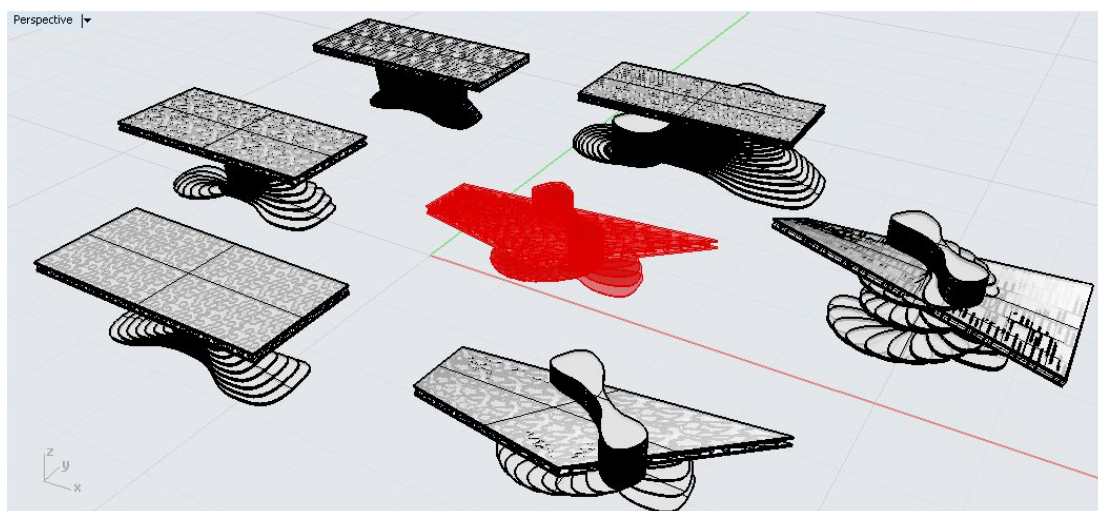
Como a curva da base tinha um conceito de geração mais livre os *inputs* de entrada foram lançados aleatoriamente, porém, respeitando uma altura pré-delimitada entre a primeira curva lançada, próxima ao piso, e a última, localizada na face inferior da primeira placa de vidro. Desde as primeiras especificações-alvo acerca do conceito a ser desenvolvido para a

base da mesa, sua fabricação estava relacionada à execução por placas de MDF. Assim, as opções projetuais deveriam incorporar características formais que se adequavam a este conceito.

Um diferencial encontrado durante a realização dos testes com os protótipos virtuais foi que depois que era formatado o projeto algorítmico novas ideias iam surgindo, tanto na direção de novas possibilidades formais quanto funcionais. A Figura 73 apresenta alguns dos modelos produzidos pela variação de determinados parâmetros, entre os quais podemos destacar para a base: quantidade de placas sobrepostas, distância entre os eixos verticais, ângulos de rotação, e aplicação de escala variável na curva geradora.

Para o tampo, foram alterados parâmetros relativos à forma da geometria aplicada no miolo, inclinação, e também diferentes posicionamentos para as coordenadas (X,Y,Z). Cada mudança de parâmetro refletia diretamente no design final do produto.

Figura 73 – Produtos resultantes das alterações de parâmetros – visualização no Rhinoceros



Fonte: Próprio autor (2016)

A volumetria destacada em vermelho no centro da Figura 73 é a representação tridimensional de uma combinação específica de parâmetros geradores definidos pelo projeto algorítmico. Sua forma está diretamente conectada a sua “programação” paramétrica. Para as demais opções de projeto, representadas em preto, foram testadas e exploradas várias alternativas, sempre buscando um produto formalmente diferenciado em contraponto com as mesas encontradas no mercado.

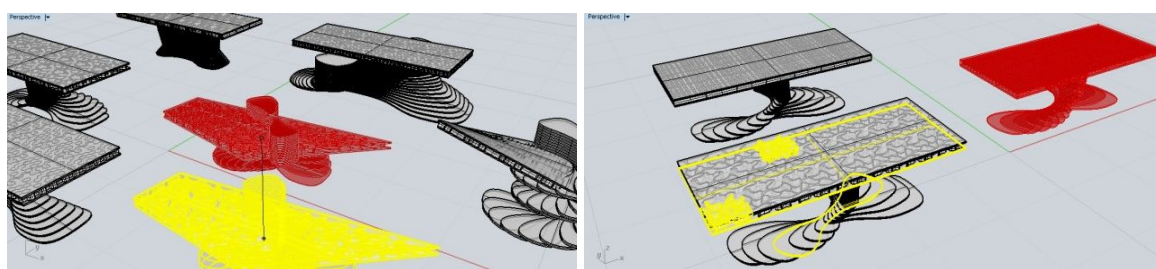
Os testes avançaram, inclusive, na direção de projetos que funcionalmente não deveriam ser executados, como foi o caso da aplicação de distorções na horizontalidade do tampo, através da alteração das coordenadas (X,Y,Z) dos pontos (P1, P2, P3, P4) localizados

nas extremidades (vértice) do tampo. Em outros modelos, foram testadas variações na quantidade de placas utilizadas na base, que de forma arbitrária ultrapassaram o limite do tampo, extravasando em altura. Essas placas que passaram dos limites do tampo poderiam indicar prováveis oportunidades relacionadas à inclusão de acessórios no produto original, algo semelhante a um módulo de apoio sobre o tampo, indicando a possibilidade de que esse acessório poderia vir integrado no produto ou mesmo ser adquirido posteriormente como complemento.

O fato é que o projeto algorítmico abre um mundo de oportunidades a serem exploradas, mesmo dentro do contexto paramétrico. Uma simples alteração de variável no sistema pode ocasionar o surgimento de uma ideia totalmente abstrata, mas com grande potencial de se tornar um produto real. Verificou-se que o projeto algorítmico permite a exploração continuada de vários conceitos, mesmo aqueles que não haviam sido pensados durante o planejamento paramétrico do projeto.

Quanto à transformação da geometria de Grasshopper em geometria de Rhinoceros o processo é basicamente simples, bastando acionar um único comando (*bake*). Isso significa que a geometria será “assada”, ou seja, deixará de ser uma representação conceitual tridimensional para se tornar um conjunto de sólidos editáveis no Rhinoceros (Figura 74).

Figura 74 – Processo de “assar” a geometria transformando-a em sólidos editáveis



Fonte: Próprio autor (2016)

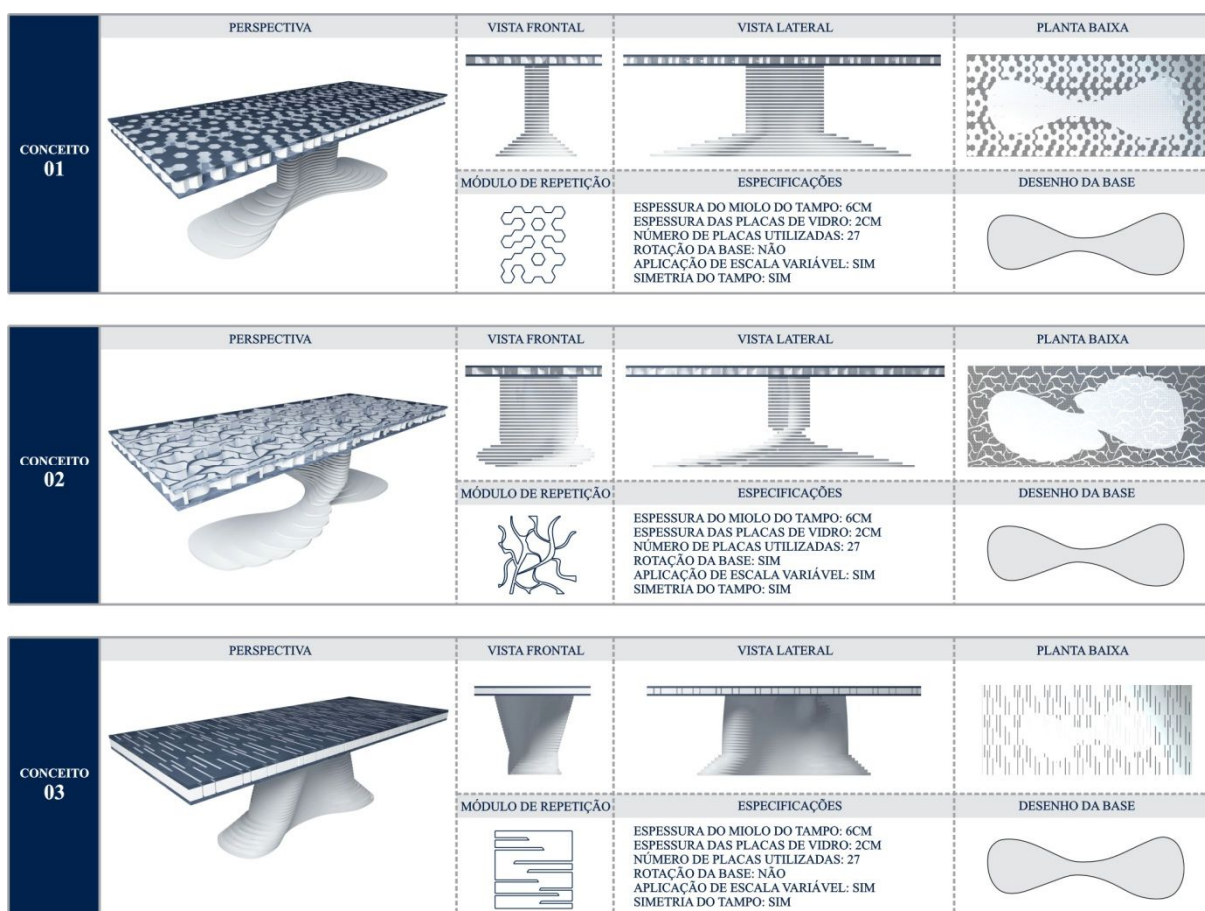
3.3.9 PRODUÇÃO PILOTO – PROTÓTIPOS VIRTUAIS

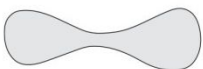
Após a aplicação de diversos parâmetros, combinados de várias formas possíveis, concluiu-se que todos os produtos gerados durante a etapa de testes poderiam contribuir efetivamente na identificação de oportunidades de futuros desenvolvimentos. A seleção por um conceito ou outro seria apenas uma questão de definição de critérios, sejam eles estéticos, funcionais, ou mesmo por uma expressão relacionada à inovação. Verifica-se na prática que mesmo quando se define inicialmente todas as características esperadas para o produto,

ocorrem situações, principalmente relacionadas à forma e a função, que provocaram o desmembramento da ideia principal em outras ideias não previstas durante o planejamento do projeto.

Como forma de avançar o exercício no sentido de criar protótipos virtuais mais detalhados, propõe-se o desenvolvimento mais detalhado de seis dos conceitos gerados durante a etapa de testes. A intenção foi apresentar correlações entre o planejamento do projeto algorítmico e os produtos finais alcançados. Para os conceitos 1, 2, e 3 foi proposto uma estrutura formal e funcional mais próxima da realidade de produção, enquanto para os conceitos 4, 5, e 6 adotam-se um critério de certa abstração formal quanto a suas exequibilidades. A ideia por trás da geração dos conceitos é mostrar o potencial da ferramenta para o desenvolvimento de novos produtos. A Figura 75 apresenta os resultados finais quanto aos produtos gerados dentro dos limites da formatação do sistema paramétrico projetado.

Figura 75 – Conceitos gerados para a mesa (01 a 06)



CONCEITO 04	PERSPECTIVA	VISTA FRONTAL	VISTA LATERAL	PLANTA BAIXA
		 MÓDULO DE REPETIÇÃO 	 ESPECIFICAÇÕES ESPESSURA DO MIOLO DO TAMPO: 6CM ESPESSURA DAS PLACAS DE VIDRO: 2CM NÚMERO DE PLACAS UTILIZADAS: 20 ROTAÇÃO DA BASE: SIM APLICAÇÃO DE ESCALA VARIÁVEL: SIM SIMETRIA DO TAMPO: NÃO	 DESENHO DA BASE 
CONCEITO 05	PERSPECTIVA	VISTA FRONTAL	VISTA LATERAL	PLANTA BAIXA
		 MÓDULO DE REPETIÇÃO 	 ESPECIFICAÇÕES ESPESSURA DO MIOLO DO TAMPO: 6CM ESPESSURA DAS PLACAS DE VIDRO: 2CM NÚMERO DE PLACAS UTILIZADAS: 25 ROTAÇÃO DA BASE: SIM APLICAÇÃO DE ESCALA VARIÁVEL: NÃO SIMETRIA DO TAMPO: NÃO	 DESENHO DA BASE 
CONCEITO 06	PERSPECTIVA	VISTA FRONTAL	VISTA LATERAL	PLANTA BAIXA
		 MÓDULO DE REPETIÇÃO 	 ESPECIFICAÇÕES ESPESSURA DO MIOLO DO TAMPO: 6CM ESPESSURA DAS PLACAS DE VIDRO: 2CM NÚMERO DE PLACAS UTILIZADAS: 26 + 1 MACIÇO ROTAÇÃO DA BASE: SIM APLICAÇÃO DE ESCALA VARIÁVEL: SIM SIMETRIA DO TAMPO: NÃO	 DESENHO DA BASE 

Fonte: Próprio autor (2016)

Para finalizar o PDP apresentado durante esse exercício projetual resolveu-se que seria produzida, a caráter ilustrativo, uma renderização de um dos conceitos gerados para posteriormente inseri-lo no contexto corporativo pretendido. A intenção foi demonstrar sua viabilidade, avaliar sua ergonomia e estilo, servindo como um protótipo de apresentação. Assim, escolheu-se o conceito 2 por apresentar um equilíbrio funcional e distribuição geométrica dos pedaços facilmente executável pela indústria moveleira.

Posteriormente um cenário genérico foi criado onde foi inserido o produto final (mesa) com as 10 cadeiras giratórias inicialmente propostas. A primeira renderização apresenta a mesa no contexto geral no ambiente, e a segunda dá um destaque específico ao produto. Ressalta-se que as escolhas acerca dos materiais utilizados no cenário são meramente ilustrativos, podendo ser alterados conforme demandas específicas relacionadas a solicitações de clientes externos (Figura 76).

Figura 76 – Cenário criado para o protótipo de apresentação



Fonte: Próprio autor (2016)

3.3.10 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste estudo exploratório concluiu-se que há três aspectos básicos relacionados ao conhecimento e a abordagem do desenho paramétrico, são eles:

1. O projeto algorítmico envolve a manipulação e o conhecimento de conteúdos práticos e teóricos;
2. O conhecimento prévio, por parte do projetista, acerca do ambiente projetual que rege a prática do projeto paramétrico pode contribuir efetivamente na compreensão sistemática do processo de modelagem algorítmica;
3. O conhecimento das regras funcionais e estruturais dos algoritmos é essencial, pois são eles os responsáveis por gerarem as diversas operações geométricas desejadas. A falta desse conhecimento pode ocasionar um enorme investimento de tempo tentando construir um projeto que no final pode não produzir os resultados desejados ou sequer executar uma simples operação matemática.

A falta de um dos conhecimentos listados anteriormente, por parte do projetista, poderá causar efeitos diretos na forma de se executar um projeto. Um designer pode levar mais ou menos tempo projetual em função de sua capacidade de síntese processual. Identificou-se durante o estudo que não existem caminhos certos ou errados, mas caminhos que levam à assertividade em um maior ou menor tempo de desenvolvimento. Tudo depende da estratégia adotada durante o planejamento algorítmico do projeto.

Outro fato verificado no exercício se refere ao impacto causado nos aspectos de tempo projetual resultante de programações algorítmicas complexas. Um excesso de operadores algorítmicos pode resultar em desordens funcionais, levando o projetista a se perder na quantidade e na função executada por cada componente, mesmo em simples operações

matemáticas. Sem o conhecimento dessas funções fica difícil construir a lógica processual, pois às vezes, um único algoritmo é capaz de realizar a função de dois ou três algoritmos em sequência. É importante destacar aqui que a construção do projeto algorítmico ocorre de forma gradual, segundo uma coerência conectiva que é sempre escrita da esquerda para a direita.

Quanto aos aspectos relacionados às representações gráficas, verificou-se que a geometria conceitual produzida pelo projeto algorítmico exerce a função relacionada ao contexto imaterial, ou seja, ela projeta um resultado gráfico e tridimensional resultado de uma combinação específica de parâmetros, que vinculada a sua “programação” se expressa visualmente na interface do Rhinoceros. Essa geometria conceitual não pode ser editada por comandos computacionais associados à modelagem tridimensional, tais como: mover, rotacionar ou escalar, nem mesmo ser renderizada.

Para que a geometria de Grasshopper possa ser editável, é necessário que ela passe por um processo de “transformação”. A atividade relacionada a esta “conversão” é denominada de “assar” a geometria (*bake*). É o momento que a geometria deixa de ser paramétrica e passa ser uma geometria convencional de Rhinoceros. É importante ressaltar que uma vez aplicado o comando *bake*, quaisquer alterações no projeto algorítmico não afetarão a geometria criada anteriormente no Rhinoceros, pois uma vez convertida, ela se tornará estática. Será preciso apagá-la para que uma nova geração de geometrias possa ser criada.

O grande diferencial encontrado no projeto algorítmico não está na facilidade de geração de opções de projetos, mas à construção de um pensamento projetual não-linear. No processo algorítmico não temos a atividade relacionada à tarefa de “reconstrução 3D”, como ocorre normalmente em outros softwares tridimensionais. O surgimento de um novo parâmetro não está vinculado a uma reconstrução processual, pois uma simples alteração de variável é capaz de alterar todo um sistema. É o que alguns profissionais da área de design generativo chamam de “histórico projetual explícito”. Softwares com essa característica, como é o caso do Grasshopper, permite que os projetistas retornem em etapas anteriores modificando parâmetros. Em qualquer momento da linha projetual é possível realizar mudanças sem que isso exija um enorme trabalho reconstutivo, pois quem executa os novos cálculos é o computador e não o designer.

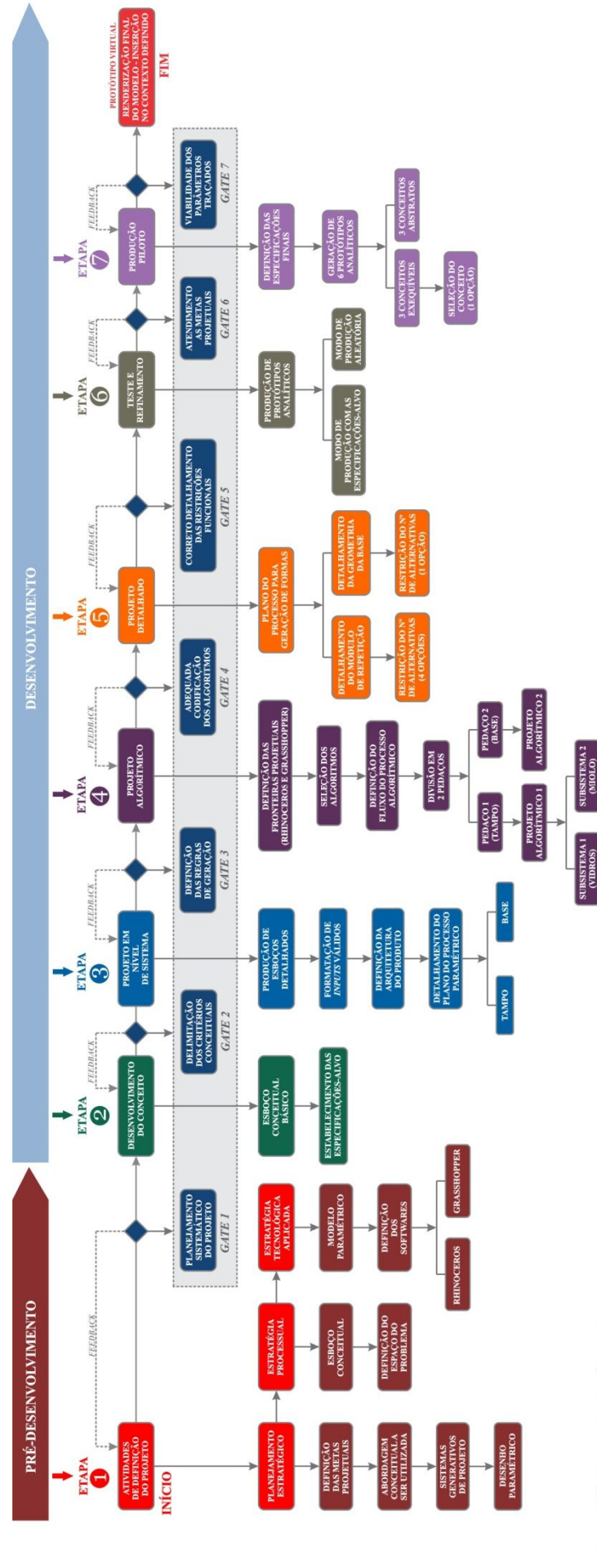
O histórico projetual explícito se destaca também no fato do projetista conseguir visualizar graficamente o passo a passo projetual. Isso facilita que um possível usuário externo, ao pegar o arquivo original, entenda como o processo foi construído, procedendo a intervenções conforme necessárias. Uma vez executado o projeto algorítmico em

Grasshopper a ordem sequencial dos passos fica salva no arquivo. Esta característica facilita, por exemplo, que caso a geometria inicial seja apagada ou substituída por outra, o projeto algorítmico proceda a uma nova geração de geometria, porém, agora, baseada no novo elemento “informado”.

A Figura 77 apresenta a síntese dos resultados verificados durante o desenvolvimento do exercício projetual. A visão geral do modelo de processo foi criada de acordo com as etapas identificadas ao longo do estudo, incluindo o conjunto de ações e resultados encontrados em cada etapa do processo. O diagrama de fluxo segue a sistemática do PDP adotado como referência para esta dissertação (Figura 22). Assim, foi identificado a presença de 2 macro-fases (pré-desenvolvimento e desenvolvimento), 7 etapas e 38 atividades relacionadas ao processo de desenvolvimento da mesa de reunião, iniciando pela atividade de definição do projeto e terminando com a renderização final do modelo inserido no contexto definido.

Cada etapa de desenvolvimento foi seguida por uma avaliação (*gate*) com o objetivo de confirmar se todos os critérios definidos estavam sendo atendidos e de acordo as estratégias traçadas. O modelo do processo apresentado contém 7 *gates*, que decorrem conforme o andamento do projeto.

Figura 77 – Visão geral do modelo de processo (Mesa de Reunião)



Fonte: Próprio autor (2016)

A ocorrência do pensamento não-linear associado ao histórico projetual explícito característicos do projeto algorítmico possibilitou trabalhar o fluxo do processo de forma otimizada, indo desde a mensuração da flexibilidade das soluções (definição dos valores iniciais e dos limites do espaço a ser explorado) até a redução do tempo gasto em reprojetos (derivações da ideia principal). Basicamente, o ciclo operacional típico de um modelo paramétrico pode ser representado por seis passos sequenciais: 1) criar uma geometria genérica; 2) lançar valores iniciais; 3) aplicar restrições; 4) gerar projetos; 5) selecionar opção; 6) refinar opção. Assim, é possível produzir vários modelos em um curto espaço de tempo apenas definindo-se um domínio de variáveis paramétricas.

Ficou evidente que durante o exercício projetual o uso da abordagem paramétrica de projeto não detém por si próprio o monopólio da criação. É necessário certo grau de experiência do projetista, suas habilidades em concretizar ideias, em manipular as técnicas algorítmicas, e também a capacidade de selecionar formas que melhor contribuam para o desenvolvimento de soluções excepcionais. Assim, conclui-se que o exercício proposto foi capaz de promover a exploração estruturada de uma série de conceitos respondendo perfeitamente as expectativas iniciais projetadas.

4. CONCLUSÕES

Conforme exposto ao longo de todo o trabalho, o conhecimento das características intrínsecas que regem os Sistemas Generativos de Projeto exige um esforço significativo no sentido de tornar esse conhecimento acessível a todos os profissionais que trabalham nas áreas de projetos, essencialmente nos processos de desenvolvimento de produtos. A metodologia adotada pelo trabalho possibilitou a proposição de um modelo de referência adaptado às características desses sistemas, permitindo a compreensão da sua estrutura principal e do conjunto de etapas e atividades relacionadas ao desenvolvimento processual. Rozenfeld et al. (2006) argumentam que tornar um processo visível a todos os atores envolvidos é o primeiro passo para a execução eficiente de um PDP.

A coleta dos dados ao longo do trabalho, obtidos a partir do *Design Science Research*, buscou compreender melhor os conceitos de histórico projetual explícito e de processos não-lineares. Ulrich e Eppinger (2012) ressaltam que a apresentação dos resultados na forma de um diagrama de fluxo de processo facilita a sua compreensão descrevendo a sequência de passos a serem seguidas até a apresentação dos resultados. Acredita-se que o modelo de referência proposto pode servir como ponto de partida na orientação dos projetistas,

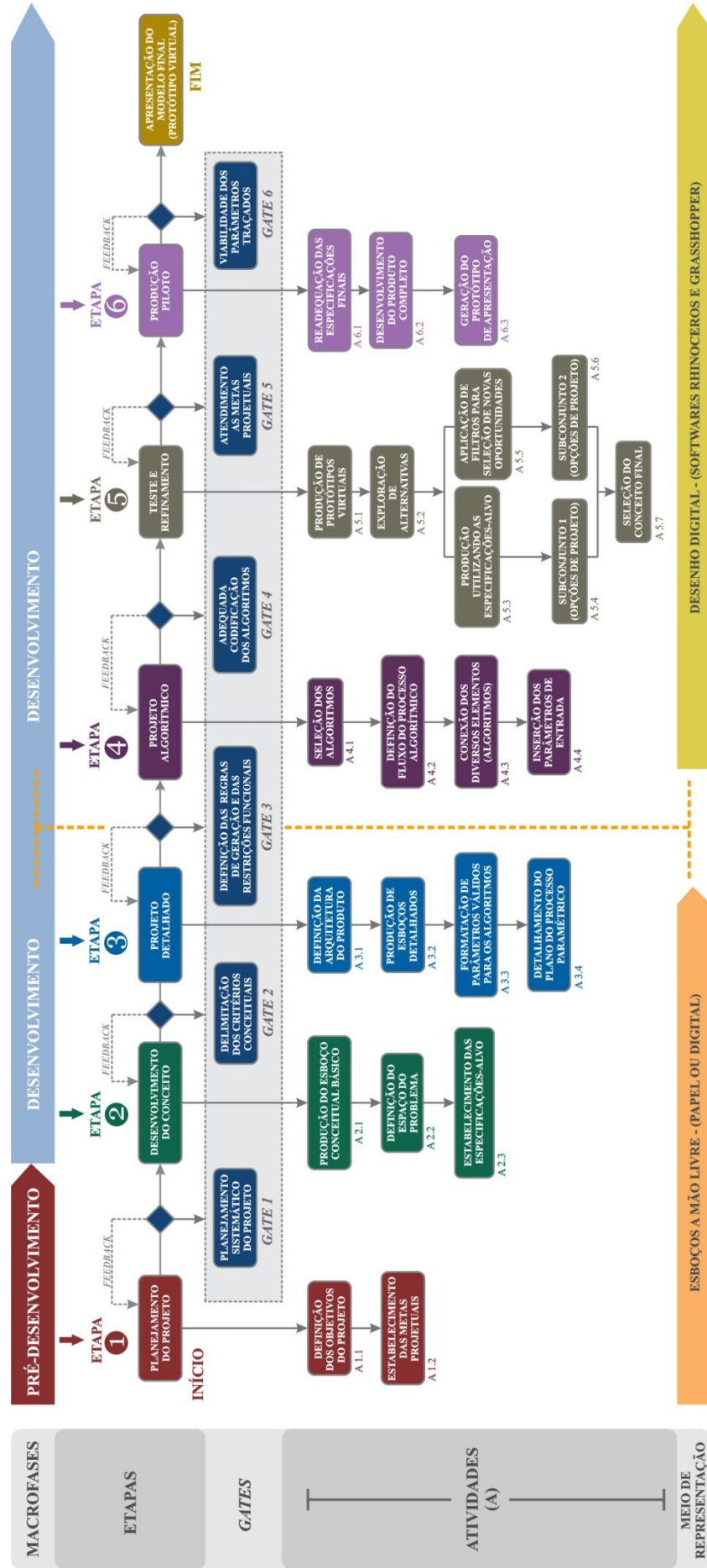
profissionais e/ou acadêmicos, no desenvolvimento de futuros projetos com os SGP, tornando o processo visível e compreensível na tomada de decisão referente a uma determinada tarefa ou problema de projeto.

Apesar do modelo de referência conter em sua estrutura um grupo de informações mapeadas durante o desenvolvimento deste trabalho, que se baseou na literatura e na análise de três objetos de estudo, destaca-se que podem surgir, em certos projetos específicos, particularidades relacionadas ao desenvolvimento de um tipo de produto ou outro. Ulrich e Eppinger (2012) apontam que em alguns casos é necessário que o projetista ou a equipe de projeto proceda a adequações necessárias conforme as especificidades de um projeto em particular, adaptando o processo a seu ambiente de trabalho.

A organização do Modelo de referência de processo integrado com os SGP foi resultado da construção e avaliação dos artefatos precedentes (modelo de processo). Assim, estabelecendo a forma como os objetivos de projeto serão atingidos, discriminando as dependências entre as atividades e as funções de cada etapa na definição dos resultados esperados, reunindo em uma única base de dados informações que possam ser acessadas por todos os envolvidos no projeto. A avaliação final do artefato não dispensou que, em cada etapa do método do *Design Science Research*, fossem realizadas avaliações parciais dos resultados. Isso se fez necessário, para se certificar de que a pesquisa estava na direção dos objetivos propostos.

Espera-se facilitar a geração de projetos, com base na abordagem paramétrica, promovendo uma comunicação mais eficiente e estabelecendo uma linguagem comum entre as pessoas envolvidas. Rozenfeld et al. (2006) destacam que nem todas as pessoas envolvidas em um projeto têm uma visão mínima do processo como um todo.

Figura 78 – Modelo de Referência de Processo integrado com os SGP



Fonte: Próprio autor (2016)

De acordo com o referencial teórico e com as premissas apresentadas, a Figura 78 mostra o modelo de referência final já integrado com os conceitos dos SGP. O modelo possui a presença de 2 macro-fases, 6 etapas, 6 revisões (*gates*), 23 atividades e 2 meios de representação do projeto. Em concordância com o PDP genérico sugerido por Ulrich e Eppinger (2012) (Figura 22) o modelo apresentado permaneceu com as mesmas seis fases, porém, com mudanças relacionadas a dois aspectos principais: 1) ocorreu à fusão entre duas fases sequenciais (projeto em nível de sistema e projeto detalhado) e 2) foi incluída a etapa do projeto algorítmico.

Durante o desenvolvimento do exercício verificou-se que as etapas correspondentes ao “projeto em nível de sistema” e “projeto detalhado” poderiam ser desenvolvidas como uma única etapa, constituindo um mesmo bloco de soluções. Isso porque, no contexto do projeto paramétrico, essas etapas de projeto podem ser complementares e executadas sequencialmente. Logo, a nova etapa denominada aqui de “projeto detalhado” inclui em sua lista de atividades elementos como: a arquitetura do produto com a sua possível decomposição em subsistemas, a produção de desenhos detalhados, a especificação completa da geometria, os possíveis materiais a serem utilizados, e as interferências entre as diversas partes constituintes do produto. A atividade final do projeto detalhado corresponde agora ao estabelecimento do plano do processo paramétrico, pois nessa saída temos todas as documentações de controle do produto, que incluem suas especificações técnicas preliminares, sua forma base e também o plano de fabricação e montagem.

A inclusão da etapa do projeto algorítmico no modelo de referência marca o limite e a passagem entre os meios de representação a mão livre (esboços) e o início da execução dos desenhos digitais. Essa transição é quando o projetista passa a desenvolver o projeto utilizando os softwares Rhinoceros e Grasshopper, e para isso, é necessário o desenvolvimento de uma série de atividades relacionadas com os meios digitais, como a seleção de algoritmos, definição do fluxo do processo algorítmico, além de conexão e inserção de parâmetros de entrada no sistema. A etapa do projeto algorítmico é um dos principais diferenciais dos SGP, correspondendo ao controle paramétrico do processo de geração de opções de projetos.

As demais etapas, que são equivalentes ao modelo genérico utilizado, como planejamento, desenvolvimento do conceito, teste e refinamento, e produção piloto, foram todas mantidas por apresentarem similaridade aos conceitos trabalhados nos SGP. Para isso, as atividades relacionadas ao desenvolvimento do modelo genérico foram adaptadas ao novo contexto, que incluem desde a definição dos objetivos do projeto, passando pelas metas

projetuais, desenvolvimento de conceitos, definição do espaço do problema, produção de protótipos, exploração de alternativas até a geração do protótipo de apresentação.

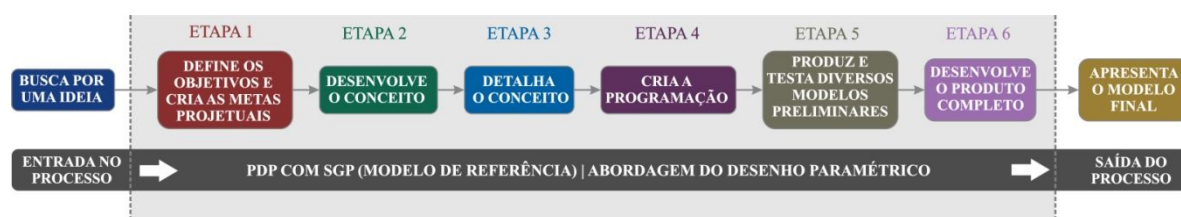
As duas macro-fases relacionadas ao desenvolvimento do modelo de referência são as de pré-desenvolvimento e desenvolvimento. Destaca-se a presença de somente uma etapa do modelo de referência apresentado ligada a macro-fase de pré-desenvolvimento (Etapa 1). As cinco etapas restantes (Etapas 2, 3, 4, 5, 6) estão relacionadas à macro-fase de desenvolvimento. É importante destacar que em cada etapa do modelo de referência foi sugerido um *gate* com o intuito de orientar o projetista ou a equipe de projeto no sentido de confirmar que todas as atividades necessárias a alguma etapa específica do modelo sejam cumpridas.

O modelo final possui um total de 23 atividades, das quais cada grupo de atividades específicas foi representado pela letra (A) seguida de por dois números (1.1, 2.3, 6.2, entre outros) que identificam a necessidade de realização de uma determinada atividade dentro de uma etapa particular. Apesar de o modelo final apresentar-se de forma linear e sequencial, chama-se a atenção para o fato de que o projeto algorítmico possui uma natureza dinâmica, o que pode levar a características de desenvolvimento não-lineares, modificando o fluxo de informações dependendo da etapa ou da atividade em que o projetista atuar. A vantagem do projeto algorítmico é que depois de construído qualquer alteração nos parâmetros ou nas metas projetuais são facilmente atualizadas pelo sistema, apontando que o uso dessa ferramenta é uma excelente oportunidade para o aumento da produtividade, pois afetam aspectos relacionados ao tempo de desenvolvimento dos projetos, abundância na produção ideias, capacidade de explorar o novo e o inesperado, inovação e controle sistemático do processo de projeto.

É importante ressaltar também que projetos menores geram menos desenhos, detalhes, especificações, e processos de fabricação e montagem, conseqüentemente, geram também projetos algorítmicos menores. Projetos pequenos utilizam poucos componentes, o que pode facilitar o desenvolvimento de certos produtos, ao contrario de projetos grandes e complexos, que podem gerar projetos algorítmicos com uma quantidade imensa de componentes. Nesses casos, talvez seja necessário a construção de fases intermediárias no modelo de referência, produzindo ou detalhando aspectos relevantes ao projeto em questão.

A sistemática do processo de modelagem tridimensional nos softwares Rhinoceros e Grasshopper, quando considerada a abordagem do desenho paramétrico, pode ser expressa da seguinte forma (Figura 79):

Figura 79 – Processo de modelagem tridimensional (Rhinceros e Grasshopper)



Fonte: Próprio autor (2016)

Como sugestão para trabalhos futuros destaca-se dois aspectos relacionados ao enriquecimento desse modelo de referência no sentido de torná-lo mais abrangente. Seria a inclusão de mais duas etapas que não foram trabalhadas em função do tempo limitado para o desenvolvimento desse trabalho. São as etapas correspondentes a melhoria do desempenho (otimização da *performance* do produto) e da prototipagem rápida. Ambas, seriam desenvolvidas após a saída da Etapa 6 do modelo de referência.

Em uma provável Etapa 7 (otimização da *performance*) o produto final passaria por um processo de otimização progressiva das variáveis de desempenho, recorrendo a algoritmos de otimização, para o conjunto de aspectos que se pretende melhorar. Seria o mesmo que incluir no sistema um *feedback* de desempenho que seria responsável por desencadear no sistema um processo de geração onde as soluções seriam progressivamente otimizadas aproximando-se de funções-objetivos previamente estabelecidas.

A inserção de outra etapa correspondente a prototipagem rápida (Etapa 8) poderia complementar o processo de desenvolvimento do produto permitindo aos projetistas criarem modelos físicos a partir de seus desenhos tridimensionais. Os protótipos físicos poderiam auxiliar a equipe, por exemplo, em um melhor entendimento visual do produto ou mesmo utilizá-lo em uma reunião com colaboradores ou clientes.

Outro ponto que pode ser discutido em trabalhos futuros é a aplicação do modelo de referência em um ambiente de projeto controlado como, por exemplo, uma sala de aula. Assim, seria possível verificar se todos os critérios sugeridos no modelo, incluindo os conceitos práticos e/ou teóricos, lista de etapas e/ou atividades, são suficientes para o desenvolvimento de um produto completo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. L. V. X; RUSCHEL, R. C; MOREIRA, D. C. **O processo e os métodos.** In: KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et. al. O Processo de Projeto em Arquitetura. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 80-100.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos;** tradução Itiro Iida. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BENTLEY, P. **An Introduction to Evolutionary Design By Computers,** in Bentley, P. (ed.), Evolutionary Design by Computers, Morgan. Kaufmann Publishers Inc, San Fransisco, 1999, pp. 1-73.

CALDAS, L; NORFORD, L. **“A Genetic Algorithm Tool For Design Optimization”** In: Media and Design, Salt Lake City: ACADIA’99, 29, 1999. pp. 260-261.

CANDY, L; BILDA, Z. **Understanding and Evaluating Creativity,** in ACM SIGCHI Conference on Creativity & Amp; Cognition, Washington, DC, p. 303-304, 2007.

DE BERG, M. et al. **Computational geometry.** Springer. Berlin: Heidelberg, 2000.

ELOY, S; CRUZ, A. **“Será o digital um equívoco na arquitetura?”** In proceedings of the 2nd Seminário de Arquitetura, urbanismo e Design da Academia de Escolas de Arquitetura e Urbanismo de Língua Portuguesa – Os Palcos da Arquitetura, 5-7 Nov 2012, FAULT. Volume I, pp. 45-52, 2012.

FASOULAKI, E. **Genetic Algorithms in Architecture: a Necessity or a Trend?,** in: 10th Generative Art International Conference, Milan, Italy. 2007.

FISCHER, T. **Enablement or Restriction? On supporting others in making (sense of things).** CAADFutures, 07 Conference Proceedings, Sydney, 2007, p. 585-598.

FLORIO, W. **Analogias no processo criativo em arquitetura: Uma experiência no atelier de projeto.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CRIATIVIDADE E INOVAÇÃO, 2011, Manaus. Anais – trabalhos completos... Manaus: UFAM, 2011. p. 588-604.

HANNA, R; BARBER, T. **Digital Processes in Architectural Design: A Case Study of Computers and Creativity,** IJAC, 4(2), 2006, p. 95-120.

HAZAN, V. M. **Os Reflexos do Mundo Virtual na Cidade Real.** Jun 2001, Disponível na Web. URL: < <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.013/880>>. Acesso em 05 fev. 2015.

HENSEL, M; MENGES, A; WEINSTOCK, M. **Emergent Technologies and Design: towards a biological paradigm for architecture**. New York, Routledge, 2010.

IORDANOVA, I. et al. **Parametric Methods of Exploration and Creativity During Architectural Design**. CAADFutures, p. 424-439, 2009.

JANSSEN, P; FRAZER, J; TANG, M. X. **Evolutionary design systems: A conceptual framework for the creation of generative processes**. Design Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, 2000, p. 190-200.

KALAY, Y. **Architecture's New Media: Principles, Theories and Methods of Computer-Aided Design**. Cambridge (Mass.): MIT Press, 2004.

KHABAZI. Z. **Generative Algorithms using Grasshopper**. Book produced e published for public use, London, 2012.

KOLAREVIC, B. **Digital Morphogenesis and Computational Architectures** in: Constructing the Digital Space 4th SIGRADI Conference Proceedings, Rio de Janeiro: PROURB, 2000, p. 98-103.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A; JÚNIOR, J. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LAWSON, B. **How designers think: the design process demystified**. 4 ed. Oxford: Elsevier/Architectural, 2005.

LEACH, N. **A Anestética da Arquitetura**. Lisboa: Antígona, ISBN: 9726081807. 153p, 2005.

LUBART, T., **Psychologie de la créativité**, Cursus, Paris, Armand Colin, 2003.

MENGES, A. **Material Computation**, AD special issue, March/April 2012, London, Wiley-Academy, 2012.

NETO, W. B. et al. **Samba Reception Desk: Compromising Aesthetics, Fabrication And Structural Performance with the use of Virtual and Physical Models in the Design Process**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 9, n. 2, 2014, p. 53-69.

OXMAN, R. **Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium**, *Design Studies*, 29(2), 2008, p. 99-120.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

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

TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. Cambridge: Architectural Press, 2006.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design And Development**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2012. 432p.

VETTORETTI, A. C. **Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo**. Porto Alegre, 2010. Dissertação (Mestrado em Design). Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZANELLI, J. C. **Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas**. Estudos da Psicologia, n. 7, 2002, p. 79-88

WIERINGA, R. Design science as nested problem solving. In: **Proceedings of the 4th international conference on design science research in information systems and technology**. ACM, 2009. p. 8.