

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

ESTUDO DE FERRAMENTAS DE COMPUTAÇÃO
GRÁFICA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
CONCEITUAL DE PRODUTOS

Lucas Stein da Silva

Passo Fundo



UPF

Lucas Stein da Silva

**ESTUDO DE FERRAMENTAS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA NO
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE PRODUTOS**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2020

CIP – Catalogação na Publicação

S586e Silva, Lucas Stein da
Estudo de ferramentas de computação gráfica no processo
de desenvolvimento conceitual de produtos [recurso
eletrônico] / Lucas Stein da Silva. – 2020.
2,243 Kb ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber.
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Computação gráfica. 2. Projeto de produto. 3. Processos
de fabricação. 4. Software de sistemas. I. Walber, Márcio,
orientador. II. Título.

CDU: 621.9

Lucas Stein da Silva

**ESTUDO DE FERRAMENTAS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA NO
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE PRODUTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 08/05/2020.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Everton Sidnei Amaral da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Professor Doutor Luiz Airton Consalter
Universidade de Passo Fundo - UPF

Professor Doutor Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar
Universidade de Passo Fundo - UPF

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos e reconhecimento aos meus pais que me motivaram de forma incondicional a alcançar este objetivo, sendo eles a minha maior fonte de inspiração. Também agradeço imensamente o auxílio do meu orientador Professor Dr. Márcio Walber que me guiou, durante todo o trajeto, com muita sabedoria e paciência.

“Continue com fome, continue bobo.”
Steve Jobs.

RESUMO

Em virtude da importância do processo de criação e integração no desenvolvimento de produtos, torna-se necessário o estudo e implantação de procedimentos e ferramentas eficazes para a concepção de boas soluções. A presente dissertação mostra o estudo de aplicação da Computação Gráfica (CG) no Processo e Desenvolvimento de Produtos (PDP). O estudo tem por intuito selecionar técnicas e ferramentas computacionais a fim de auxiliar nas atividades de projeto de produtos através da modelagem tridimensional. A pretensão do estudo é, além de auxiliar o projetista na atividade de desenvolvimento conceitual de um produto, que a boa aplicação das ferramentas de computação gráfica traga benefícios para outras etapas do processo de desenvolvimento de produto, levando informações íntegras aos outros membros da equipe de projeto. O desenvolvimento deste trabalho baseia-se nos estudos de metodologias de projeto e modelagem tridimensional, a partir dos quais foram gerados parâmetros para a seleção de ferramentas voltadas para aplicação em projeto, especificamente no desenvolvimento conceitual do produto, resultando em considerações para sua utilização. Posteriormente, foi realizado estudo de caso, no qual foi desenvolvido um produto do segmento de máquinas agrícolas, através da aplicação das ferramentas propostas. Os principais resultados se resumem no processo de seleção das ferramentas computacionais e na sua aplicação, em que os *softwares* de modelagem 3D com o fluxo de modelagem mais livre acabaram se sobressaindo devido às possibilidades que eles proporcionam em relação à criação rápida e intuitiva de modelos. Através disso, foi possível concluir que existem grandes diferenças entre os *softwares* que, de forma genérica, são considerados da mesma categoria, o que torna importante sua classificação criteriosa, beneficiando as etapas subsequentes do projeto mecânico do produto.

Palavras-chave: Processo criativo. Seleção de *softwares*. Modelagem 3D. Desenvolvimento de produto.

ABSTRACT

Due to the importance of the creation process, and integration in product development, it is necessary to study and implement effective procedures and tools for designing good solutions. The present dissertation shows the study of a procedure for applying Computer Graphics (CG) in Process and Product Development (PDP). The procedure is intended to serve as a basis for selecting computational techniques and tools to assist in product design activities through tridimensional modeling. The pretension of the procedure is that besides helping the designer in the conceptual development activity of a product, that the good application of the computer graphics tools brings benefits to other stages of the product development process, bringing integral information to the other members of the team of project. The development of this project is based on the studies of three-dimensional modeling and design methodologies, from which parameters were generated for the selection of tools aimed at application in design, specifically in the conceptual development of the product, resulting in considerations for their use. Later, a case study will be carried out, in which a product of the agricultural machinery segment will be developed, through the application of the tools and the proposed procedure. The main results are summarized in the process of selecting the computational tools, and in their application, where the 3D modeling *software* with the freest modeling flow eventually stood out due to the possibilities they offer regarding the fast and intuitive model creation. Thus, it was possible to conclude that there are large differences between the *software* that are generally considered the same category, which makes their careful classification important, benefiting the subsequent steps of the mechanical design of the product.

Keywords: Creative process; *software* selection; 3d modeling; Product development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método proposto por Löbach.....	22
Figura 2 – Método proposto por Pahl e Beitz.....	24
Figura 3 – Método proposto por Back.....	26
Figura 4 – Comparação entre a Engenharia Simultânea e a Engenharia Sequencial.....	28
Figura 5 – Plano 2D.....	35
Figura 6 – Espaço 3D.....	37
Figura 7 – Modelo 3D ao lado do desenho 2D.....	37
Figura 8 – Modelo 3D wireframe.....	39
Figura 9 – Vértices, arestas, faces.....	40
Figura 10 – Modelagem poligonal, malha.....	41
Figura 11 – Pontos de Controle.....	42
Figura 12 – Compactação.....	42
Figura 13 – Operações Booleanas.....	44
Figura 14 – Modelagem por CSG.....	45
Figura 15 – Relação paramétrica.....	47
Figura 16 – Parâmetros.....	47
Figura 17 – Método de seleção.....	49
Figura 18 – Método de projeto.....	61
Figura 19 – Objeto de estudo.....	63
Figura 20 – Gráfico do modelo de Berlyne.....	66
Figura 21 – Simbologia do Produto.....	68
Figura 22 – Simbologia dos Produtos da Empresa.....	69
Figura 23 – Painel Visual.....	71
Figura 24 – Esboços iniciais.....	73
Figura 25 – Geração de Alternativas.....	74
Figura 26 – Partes do Modelo.....	75
Figura 27 – Alternativas Finais.....	75
Figura 28 – Alternativa escolhida.....	77
Figura 29 – Modelo adaptado para impressão.....	79
Figura 30 – Processo de impressão das peças.....	79
Figura 31 – Modelo montado.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do projeto, processo criativo e os resultados	32
Quadro 2 – Lista de <i>Softwares</i>	53
Quadro 3 – Graus de Importância.....	56
Quadro 4 – Relação entre carros e tratores.....	64
Quadro 5 – Funções do produto	65
Quadro 6 – Palavras-conceito.....	71
Quadro 7 – Lista de Requisitos.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação dos <i>Softwares</i>	57
Tabela 2 – Avaliação das Alternativas	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDP	Processo e Desenvolvimento de Produtos
CG	Computação Gráfica
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
ES	Engenharia Simultânea
IDA	<i>Institute for Defense Analysis</i> (Instituto de Análise de Defesa)
WIMP	<i>Window-Icon-Menu-Pointer</i> (Janela-Ícone-Menu-Ponteiro)
CSG	<i>Constructive Solid Geometry</i> (Geometria sólida construtiva)
B-rep	<i>Boundary Representation</i> (Representação de limite)
NURBS	<i>Non Uniform Rational Basis Spline</i> (Spline de Base Racional Não Uniforme)
NeDIP	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade virtual)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo Geral.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 Estrutura da Pesquisa	11
1.4 Delimitação da Pesquisa.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Computação Gráfica e o Projeto de Produto	13
2.2 Processo e Desenvolvimento de Produto	15
2.2.1 Metodologias de Projeto de Produto.....	18
2.2.2 Engenharia Simultânea	27
2.2.3 Design e o Projeto Conceitual	29
2.3 Computação Gráfica	33
2.3.1 CAD 2D e CAD 3D	34
2.3.2 Modelagem Geométrica.....	38
3 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS	49
3.1 Definição da Premissa de Seleção	50
3.2 Triagem dos <i>Softwares</i>	52
3.3 Classificação dos <i>Softwares</i>	54
3.4 Recomendações para Projeto	59
4 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS.....	61
4.1 Definição do Problema.....	62
4.2 Geração de Ideias	69
4.3 Seleção do Conceito	76
4.4 Verificação de Conceito	77
5 CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos resultantes das últimas décadas permitiram a informatização de diversos setores da indústria. A computação gráfica está amplamente difundida, sendo adotada por empresas de todos os portes, em decorrência de seu fácil acesso, compreendendo uma irreversível evolução do processo de desenvolvimento de produtos. Os sistemas *Computer Aided Design* (CAD) permitem maior agilidade e precisão nos projetos, que geram qualidade, redução de custo e tempo.

Os *softwares* de computação gráfica não são apenas uma tendência, e sim uma necessidade para as equipes de projeto, fazendo parte do cotidiano das empresas como um item indispensável (FOGGIATTO *et al.*, 2007). Contudo, assim como qualquer outra ferramenta, ela pode não ser utilizada da maneira mais eficiente, não usufruindo totalmente dos benefícios que pode oferecer, o que acontece, geralmente, devido à falta de processos de seleção das ferramentas.

Junto às evoluções tecnológicas, que compreendem o processo interno da indústria, o mercado e outros fatores externos também se transformaram. E, por sua vez, forçaram mudanças de postura da indústria em relação ao mercado. O departamento de engenharia, que antes dominavam todo o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), acabou abrindo espaço para profissionais de outras áreas, como *design* e *marketing*.

Essa divisão das atividades referentes ao desenvolvimento de produto, no entanto, trouxe problemas relacionados à comunicação e integração do projeto de forma geral. De maneira prática, esses problemas se resumem em descaracterização ou erros de projeto, e quanto mais avançado o estágio do projeto, mais dispendiosa se torna a correção.

Na engenharia, os sistemas CAD são muito aceitos e valorizados, tendo substituído outras técnicas de desenho, que utilizam instrumentos manuais. Entretanto, no *design*, o uso do papel se mantém como uma ferramenta importante do projetista. Se essas duas formas de representação não dialogam e o desenho bidimensional tendo grandes desvantagens em relação aos modelos tridimensionais gerados através da computação gráfica, a transmissão das informações entre os membros da equipe se torna deficiente.

Pahl *et al.* (2005) e Groover (2011) incitam o uso de sistemas CAD para auxiliar na agilidade, na criatividade e no detalhamento de projetos. Porém, as metodologias de PDP

mais difundidas não integram ou somente abordam de forma superficial a aplicação dos sistemas CAD, em decorrência da natureza da metodologia.

Contudo, o benefício de um método otimizado para aplicação da computação gráfica no PDP está no engajamento dos profissionais que compõem a equipe de projeto, permitindo que consigam avaliar o modelo de forma mais eficiente, definindo maior parte do produto na virtualidade, desde as etapas iniciais, a avaliação do design e a otimização do modelo em todos os aspectos, acelerando o processo e restando para as etapas seguintes o desenvolvimento técnico e as verificações finais do produto.

1.1 Justificativa

No projeto de produto, a representação gráfica do objeto é algo essencial no desenvolvimento dos produtos, porém com abordagens diferentes para a engenharia e para o *design*. De forma genérica, o projeto de *design* contempla a etapa conceitual do desenvolvimento, na qual são geradas concepções na forma de ilustrações, que, posteriormente, seguem para o projeto de engenharia, que contempla a etapa de detalhamento.

Em empresas de pequeno porte, o projeto de *design* na maioria das vezes é inexistente, sendo feito de forma empírica. Já em empresas de médio e grande porte, o projeto de *design* e o projeto de engenharia são concebidos por setores e equipes diferentes ou, ainda, o projeto de *design* pode ser terceirizado através de um escritório especializado. Ocorre que essas atividades de projeto acontecendo sem integração por vezes resultam em perda de informações valiosas de uma etapa para a outra, em decorrência da linguagem técnica que cada equipe especializada utiliza em sua área de atuação.

Essa perda de informações é capaz de descaracterizar o projeto de *design*, impedindo que o produto atinja seus objetivos da perspectiva mercadológica. Outro ponto importante é que as concepções ilustradas geradas pela equipe de *design* não possuem teor técnico da parte de engenharia.

Na indústria automotiva, por exemplo, o conceito final é avaliado com um protótipo em escala real, que possui extrema confiabilidade, porém exige muito tempo para ser produzido. Em uma indústria de máquinas agrícolas que não possui os mesmos recursos que uma grande montadora de veículos, seria economicamente inviável a equipe de *design* usar o mesmo método.

Nesse sentido, a fim de atender a essa necessidade de integração entre o *design* e a engenharia, nos setores que compõem a indústria local, este estudo visa, através da aplicação de ferramentas de computação gráfica, a geração e a otimização da transição entre a etapa de conceituação e a etapa de detalhamento do processo e desenvolvimento de produto.

1.2 Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos estipulados para o presente estudo, iniciando de forma geral, seguindo a especificidade individual.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um estudo para aplicação de ferramentas computacionais no projeto conceitual de produtos.

1.2.2 Objetivos Específicos

De modo a auxiliar o atendimento do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver processo de seleção de técnicas e ferramentas computacionais para auxílio em projeto conceitual de produto.
- b) Aplicar ferramentas selecionadas em um estudo de caso, utilizando estas no auxílio do desenvolvimento de um produto voltado ao setor de máquinas agrícolas.
- c) Validação do conceito do produto para a sequência projetual, na transição entre o projeto conceitual e o projeto mecânico.

1.3 Estrutura da Pesquisa

Esta pesquisa estrutura-se em cinco capítulos.

O primeiro capítulo é introdutório, no qual são apresentadas temáticas que envolvem a pesquisa, informações pertinentes para situar o leitor sobre o que será abordado, além dos objetivos que se pretende alcançar.

No segundo capítulo, descreve-se a fundamentação teórica, tendo como base a revisão bibliográfica das áreas contempladas pela temática da pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta os processos utilizados para o desenvolvimento da proposta metodológica, contemplando todo o processo de seleção das ferramentas e técnicas. Da mesma forma,

Posteriormente, no quarto capítulo, são apresenta o procedimento proposto por meio de um estudo de caso, que abrange o setor de máquinas agrícolas, um setor pertinente da indústria local.

E, finalizando, no quinto capítulo é apresentada a conclusão e as considerações finais em relação aos resultados do estudo, encerrando-o.

Além dos cinco capítulos descritos brevemente, as referências e os anexos utilizados durante o desenvolvimento da pesquisa constituem este estudo.

1.4 Delimitação da Pesquisa

O estudo realizado trata de uma pesquisa de desenvolvimento, que utiliza de maneira sistemática os conhecimentos existentes com o objetivo de desenvolver novas técnicas ou aperfeiçoar existentes.

A proposta da pesquisa volta-se para a seleção de *softwares* de computação gráfica para aplicação no processo de desenvolvimento de produto, especificamente em etapas mais avançadas do projeto conceitual, direcionado à realidade da indústria local.

Entre os enfoques a serem abordados, destaca-se o estudo de metodologias de desenvolvimento de produto e ferramentas de computação gráfica, bem como sua aplicação no desenvolvimento conceitual de um tracionado agrícola.

Ressalta-se que não é intuito deste estudo substituir ou minimizar a importância de outras micro etapas, ou ferramentas tradicionais que compreendem o projeto conceitual, mas sim auxiliar projetistas e suas equipes nas etapas mais avançadas através do uso consciente de ferramentas de computação gráfica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos teóricos relacionados à elaboração desta pesquisa, com a finalidade de nivelar as informações das diferentes áreas correlatas que a envolvem e que são pertinentes ao desenvolvimento do estudo. O capítulo está dividido em subcapítulos que tratam da Computação Gráfica 3D Aplicada ao Projeto, do Processo e Desenvolvimento de Produto e da Computação Gráfica e o Projeto de Produto.

2.1 Computação Gráfica e o Projeto de Produto

A onipresença que as ferramentas computacionais exercem sobre as atividades projetuais vem sendo estudada de diversas formas por pesquisadores que buscam otimizar a aplicação de tais ferramentas. Segundo Brière-Côté (2012), com os avanços do *software* de modelagem 3D, o uso do CAD 3D no projeto de produtos mecânicos tornou-se uma prática padrão. Métodos e ferramentas estão sendo continuamente desenvolvidos para melhorar a eficiência dos projetistas na criação, modificação e análise de modelos CAD 3D. Entre outras vantagens, comparar modelos CAD 3D para avaliar sua similaridade de forma relativa ou identificar suas diferenças leva a benefícios em várias áreas relacionadas ao CAD, como reutilização de *design*, gerenciamento de alterações de engenharia e troca de dados.

Diagne (2016) descreve que *design* e desenvolvimento de produtos complexos evoluíram nos últimos anos para utilizar novas tecnologias e aplicar novas práticas para criar produtos de forma melhor e mais rápida. Para Jaiswal (2016), o CAD desempenha um papel significativo em todas as etapas do processo de *design*. Esse papel desempenhado na cadeia de valor do projeto de engenharia provavelmente influenciará no escopo, na escala e na sua complexidade. Apesar disso, as ferramentas CAD disponíveis atualmente permitem um grau significativo de controle na criação de formas 3D, exigindo que o usuário especifique parâmetros de forma exata de maneira estruturada, não sendo adequadas para atividades de exploração e ideação de projeto conceitual.

Para o projeto conceitual, os sistemas CAD atuais têm duas grandes desvantagens: (1) incapacidade de reutilizar soluções de *design* existentes como inspirações e (2) suposição de que o usuário conhece parâmetros exatos e detalhes geométricos do modelo 3D. O processo de exploração de projeto conceitual consiste em um processo criativo e aberto, no qual o

projetista inicialmente não tem uma imagem mental clara de como é seu *design*; eles só têm uma ideia aproximada do *design* e, através de mudanças inesperadas de direção durante a geração dos componentes da solução, criam o conceito da solução final (JAISWAL, 2016).

Arysoy (2012) complementa essa ideia afirmando que, no *design* de produto, os projetistas geralmente criam uma série de esboços conceituais como parte do processo de ideação e exploração. Transformar esses esboços em modelos digitais 3D requer especialização, devido à falta de ferramentas intuitivas de CAD adequadas para modelagem rápida. Avanços recentes em interfaces de usuário baseadas em esboços e ambientes imersivos introduziram novos métodos de projeto de curva que facilitam a transformação de tais esboços em modelos digitais 3D. No entanto, o surgimento rápido de tais dados continua sendo um desafio aberto.

Nessa linha, no sentido de minimizar essas desvantagens relatadas em relação aos sistemas CAD, alguns experimentos que integram técnicas de esboço 2D com o espaço 3D foram explorados por Xu (2018) e Cheon (2012), Shah (2017) dedicou-se ao reconhecimento de modelos 3D. Porém, ainda não se obteve um avanço realmente significativo. Em contrapartida, outras propostas voltadas a um *design* modular obtiveram bons resultados, como Zaujec (2018), que demonstra que, para certas aplicações, o CAD desempenha um papel interessante no projeto conceitual.

Outros estudos recentes vão além dos sistemas CAD e desenvolvem buscas em torno de outras ferramentas computacionais relacionadas com a computação gráfica 3D, como a impressão 3D e a realidade virtual. Greenhalgh (2016) desenvolveu um estudo avaliando o impacto da impressão 3D no aprendizado de estudantes de *design* e concluiu que esse tipo de impressão pode ter um impacto nas experiências dos alunos e que eles podem experimentar o aprendizado do processo de *design* de forma diferente. Essa pesquisa mostrou que a tecnologia de impressão 3D melhorou significativamente os modelos dos alunos, particularmente em sua capacidade de replicar uma escala consistente e precisa na exibição de detalhes e habilidade, bem como a qualidade geral do projeto, quando comparada às técnicas manuais tradicionais de modelagem.

De acordo com Feeman (2018), a tecnologia de realidade virtual (VR) experimentou uma recente onda de popularidade e está encontrando mais aplicações além do entretenimento, sendo que a modelagem tridimensional é uma aplicação na qual a integração com a tecnologia VR ainda está em fase de desenvolvimento. De Araújo (2013) descreve um

ambiente virtual semi-imersivo voltado para a modelagem tridimensional no projeto conceitual, mesmo reconhecendo a estreita relação que existe entre a modelagem 3D com os tradicionais *desktops*.

Entretanto, com o espaço que essas tecnologias vêm ganhando, várias aplicações surgem, como a utilização de modelos paramétricos humanos para um *design* centrado no usuário, mais assertivo do ponto de vista ergonômico e antropométrico (LUXIMON, 2015; CHU, 2017; LI, 2013; HARIH, 2013). Outras aplicações interessantes de ferramentas computacionais foram exploradas por Tilford (2018) no desenvolvimento de uma abordagem de modelagem substituta para auxiliar o projeto de estruturas de embalagem eletrônica impressas em 3D, juntamente com uma visão geral detalhada da fabricação e confiabilidade da estrutura de teste representativa.

Dentro de todo esse contexto atual de pesquisa, percebe-se que ainda se pode repensar as ferramentas existentes e desenvolver novas aplicações para elas.

2.2 Processo e Desenvolvimento de Produto

Perante a exponencial evolução tecnológica e uma sociedade cada vez mais consumista, a busca por produtos e soluções inovadoras, seja no âmbito pessoal ou empresarial, tem trazido desafios para o desenvolvimento de novos produtos. É por esse fato que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) se tornou um elemento essencial para a competitividade e sobrevivência das empresas.

Uma empresa bem estruturada deve possuir em seu sistema de planejamento um processo de desenvolvimento de produto (PDP) diretamente relacionado às estratégias e à política da empresa, conforme afirmam Pahl *et al.* (2005). Para que haja um investimento consciente, deve existir planejamento, em que fatores mercadológicos e estratégicos precisam estar associados a fatores técnicos e de produção, possibilitando traçar um meio entre a concepção inicial do produto e sua comercialização.

Uma estratégia de negócio que vem sendo fortemente considerada pelas empresas é o fator inovação, que oferece um diferencial de grande eficiência. Baxter (2011) distingue quatro posturas básicas de empresas em relação ao fator de inovação:

- I) Ofensiva, para empresas que objetivam a liderança do mercado, com grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento, enfatizando a patente de seus produtos e assumindo riscos;
- II) Defensiva, quando há a subjetividade de seguir empresas líderes, deixando que elas arquem com os custos na tentativa de lançamento de novos produtos, porém dependem de agilidade nos processos para lançamento posterior no mercado;
- III) Tradicional, cujas empresas atuam em mercado e com produtos estáveis, havendo pouca demanda para mudanças, com irrelevância para inovações;
- IV) Dependente, para empresas que não têm autonomia para lançamento de produtos próprios, normalmente subsidiárias de outras, e a inovação se limita aos processos.

Empresas com um posicionamento ofensivo, sobretudo, devem reagir prontamente às mudanças que o cenário propõe referente à concorrência, tecnologia e às exigências do consumidor. Essas condições exigem das organizações e seus gestores agilidade, grande produtividade e um padrão de qualidade que está condicionado ao investimento que a empresa faz no processo de desenvolvimento de seus produtos (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Diante do papel essencial que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) desempenha, não só dentro da indústria, mas como em todo o ciclo de vida do produto, surge a importância de realmente compreender o que é projetar.

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é um processo complexo que envolve todas as áreas funcionais de uma empresa e exige o trabalho simultâneo de uma equipe multidisciplinar (EL MARGHANI, 2011; ROZENFELD *et al.*, 2006). Com isso, um projeto pode demandar o envolvimento dos mais diversos profissionais, como gestores, engenheiros, designers, técnicos e outros, dependendo da sua especificidade.

Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam uma definição mais abrangente: desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades, que, a partir das necessidades do mercado, das possibilidades e restrições tecnológicas, das estratégias competitivas e de produto da empresa, com as quais se objetiva chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção. Assim, pode ser produzido pela manufatura, lançado no mercado e acompanhado após o lançamento.

Baxter (2011) destaca que o desenvolvimento do produto começa na decisão de inovar ou não. Partindo disso, as atividades de desenvolvimento passam por um processo chamado de “Funil de Decisão”, no qual é mensurado o grau de risco e incerteza ao longo do processo

de desenvolvimento, com o objetivo de amenizar fracassos em futuros produtos. Baxter (2011) ainda afirma que existem três fatores que podem determinar o sucesso ou fracasso de um produto: orientação para o mercado; planejamento e especificação prévia; e os fatores internos da empresa.

A estratégia voltada para a inovação do produto deve, portanto, partir de um planejamento bem definido, observando as pesquisas de mercado, a descoberta de oportunidades e a especificação prévia do projeto. De acordo com Baxter (2011), a especificação da oportunidade – apresentando o compromisso comercial da empresa – e a especificação do projeto – com o compromisso técnico do produto – são essenciais para que o sistema gestor da empresa possa compreender, avaliar e submeter o produto ao andamento do processo.

Segundo Clark e Wheelwright (1993), o bom desempenho do processo de desenvolvimento de produto depende de características, como objetivos claros dos projetos, tempo de desenvolvimento e no mercado, integração interna ao projeto e entre as áreas da empresa envolvidas no desenvolvimento do produto, protótipos de alta qualidade e forte liderança de projeto. Com isso, busca-se um desenvolvimento rápido e eficiente, resultando em produtos mais competitivos.

De forma breve, o desenvolvimento de projetos requer um meio de orientar os envolvidos por etapas definidas hierarquicamente, ou seja, através de uma ordem predefinida para alcançar a solução adequada. Seguindo esse pensamento, vários estudos foram realizados com o objetivo de sintetizar metodologias de forma esquemática. Essas estruturas atentam ao raciocínio lógico pelo direcionamento do projeto, apresentando relações ou ligações para que o observador compreenda os passos que deve seguir (WEBER, 2010).

Embora os modelos se modifiquem quanto à ocorrência e denominação de suas divisões internas, todos os modelos apresentam uma lógica comum. E a busca pelas soluções dos problemas é resolvida sequencialmente ao longo do processo, de modo que as informações geradas nas fases anteriores contribuam para a geração das soluções para o projeto (EL MARGHANI, 2011; PAHL, 2005; ROMEIRO FILHO, 2010).

Tendo em vista as particularidades das ferramentas técnicas para aplicação em um projeto de produto, esses modelos de métodos se tornam estruturas adaptáveis. Para o desenvolvimento de um projeto específico (exemplo: automóvel, eletrodoméstico, móveis,

etc.), devem-se determinar parâmetros em relação às exigências do projeto para que se possa prosseguir no seu andamento.

Partindo desse embasamento, os próximos tópicos visam abordar metodologias e práticas de projeto e desenvolvimento de produto.

2.2.1 Metodologias de Projeto de Produto

Pahl *et al.* (2005) afirmam que uma metodologia de projeto representa um conjunto de procedimentos com indicações concretas para ações de projeto. Essas metodologias têm por objetivo a representação dos conhecimentos e sistemas, constituindo a forma estruturada que possibilita a compreensão de tudo que é descoberto e produzido em qualquer parte do mundo.

Bonsiepe (1978) afirma que uma metodologia não deve possuir o fim em si mesmo e deve auxiliar não apenas o desenvolvimento de produtos através da orientação durante o processo, mas também deve conduzir o projetista a novas interferências e indagações sobre a continuidade do projeto. Para que esses métodos de projeto funcionem e atendam o objetivo de deixar a empresa competitiva, é necessário que sejam eficazes e eficientes. Desse modo, a escolha da metodologia deve basear-se na capacidade de organização dos projetos, na capacidade de controle e de aperfeiçoamento que a empresa necessita durante a execução das etapas.

Uma metodologia pronta pode apresentar qualidades como as citadas, mas cada empresa ou profissional pode utilizar-se de novas ferramentas ou execução de fases anteriores ou posteriores às definidas para atender objetivos definidos em seus planejamentos. A formalização de uma metodologia de desenvolvimento de produto customizada possibilita que todos os envolvidos possam ter uma visão comum do projeto, tendo acesso aos objetivos, às informações vindas do mercado e aos critérios de decisão (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Romano (2003) entende que a formalização do processo de desenvolvimento de produtos aumenta a probabilidade de sucesso dos projetos em virtude de todos os envolvidos estarem cientes das metas de projeto estabelecidas e apresenta um plano que socializa o caminho, definindo as responsabilidades e os marcos de medição do progresso do processo de modo a criar uma comunicação constante e efetiva entre as partes.

De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o gerenciamento do processo de desenvolvimento de produtos deve ser baseado na escolha de uma metodologia que permita

uma visão geral do conjunto de atividades a serem realizadas, bem como uma visualização dos fluxos de informações dentro do processo de desenvolvimento de produtos. Uma metodologia é utilizada para expor as informações do processo da empresa, do negócio e também serve como base no desenvolvimento ou avaliação de modelos específicos ao desenvolvimento de novos produtos. Para Carvalho (2008), as empresas adotam a metodologia como base para orientar o padrão de trabalho desejado em relação ao desenvolvimento de produtos.

As metodologias existentes para processo de desenvolvimento de produtos envolvem doutrinas e conceitos que representam distintas visões de mundo. Jung *et al.* (2009) afirmam que as abordagens sobre as metodologias para o desenvolvimento de produtos encontrados na literatura são muitas vezes desconexas e apresentam diferenças em função das distintas visões dos autores e das aplicações mercadológicas. Kasper (2000) afirma que os conceitos, as definições e experiências assimiladas ao longo do tempo formam um modelo mental a partir do qual são desenvolvidos procedimentos metodológicos e várias linguagens para descrever os fenômenos, as situações e os problemas.

Diferentes abordagens aparecem no processo de desenvolvimento de produtos, cujas características compõem os diferentes tipos de modelos. Dentre os modelos, cabe ressaltar que alguns se focam ao processo de projeto, enquanto outros abordam o processo de uma perspectiva de negócio, indo além das questões técnicas. Na linha da Engenharia, por exemplo, os aspectos referentes ao desenvolvimento técnico do produto recebem destaque; já para o *design*, a preocupação concentra-se na caracterização do problema e na investigação de alternativas possíveis (EL MARGHANI, 2011; ROMEIRO FILHO, 2010).

As metodologias têm por finalidade a representação dos conhecimentos, fenômenos e sistemas, constituindo a forma estruturada que possibilita a compreensão de tudo que é descoberto e produzido em qualquer parte do mundo (JUNG *et al.*, 2009). É evidente a grande dificuldade de escolher qual método/autor utilizar na resolução de problemas projetuais na concepção de novos produtos ou mesmo na melhoria de projetos anteriores. Tanto quanto à forma mais adequada ao desenvolvimento do produto quanto ao modo de pensar do projetista que está à frente do projeto, costuma-se dizer que “a melhor metodologia é a própria” (GOMEZ, 2003).

Apesar dessa afirmação, pode-se constatar que as fases de desenvolvimento projetual, de certa forma, são semelhantes. Há posicionamentos, fases e abordagens diferentes, porém,

mantém-se um esboço geral de problema, análise, criação e execução, de forma clara, ou subentendida em um só nome. Burdek (2006) afirma que “cada produto é o resultado de um processo de desenvolvimento, cujo andamento é determinado por condições e decisões”.

É essa premissa que rege a maioria das metodologias de projeto. Nem sempre as condições são bem definidas e as decisões em um projeto de produto podem ser tomadas de maneira racional ou não. Segundo Schroeder (2010), os estudos de metodologias ajudam a organizar o processo de desenvolvimento de produto, mas não definem o produto em si, que está sujeito à “caixa preta” do “criar artístico” e não só à resolução técnica abordada na metodologia. Resolver um problema projetual não significa apenas organizar e analisar as informações coletadas de forma estruturada, passo a passo, como define a metodologia e, principalmente, quando o projeto está focado no conceito de um novo produto.

No processo de resolução dos problemas projetuais, o ato de projetar é intrínseco à atividade. Essa afirmação é feita de forma simplista, mas não é objetivo aqui entrar na discussão conceitual do que é a atividade de desenvolvimento de projeto e nem mesmo nos diversos pontos de vista dessa prática discutidos nas mais distintas áreas do conhecimento. O que interessa é que pesquisa, processo e resolução de problemas implicam, de alguma forma, projetar. De acordo com Burdek (2006), “o desenvolvimento projetual de produtos é uma atividade ligada a conceitos de criatividade, mas não a uma criatividade ‘livre’, onde se brinca livremente com cores, formas e materiais em um ambiente descontextualizado”. Corroborando essa afirmação, Bomfim (1995) expõe que “no desenvolvimento de qualquer projeto, estará sempre presente um determinado método, seja ele um conhecimento sistemático lógico ou intuitivo”.

Esses métodos intuitivos, originados de configurações subjetivas e emocionais, não condizem com a atividade projetual de produtos industriais, que se tornou bastante complexa e multidisciplinar logo após a Segunda Guerra Mundial, necessitando, portanto, de meios e métodos que a organizasse para a nova realidade (SCHROEDER 2010).

Nesse caso, a discussão é apenas sobre métodos dentro de uma lógica de projeção. Ou seja, organizados e estruturados formando uma determinada metodologia, que, segundo Bomfim (1995), “é a ciência que se ocupa do estudo de métodos, técnicas ou ferramentas e de suas aplicações na definição, organização e solução de problemas teóricos e práticos”.

De acordo com Barbosa (2007), as soluções de projeto apresentam como principais características:

- a) existência de um exaustivo número de soluções possíveis;
- b) não existência de soluções ótimas para problemas projetuais;
- c) frequência das respostas holísticas;
- d) contribuição para o conhecimento;
- e) constituição como parte de outros problemas projetuais.

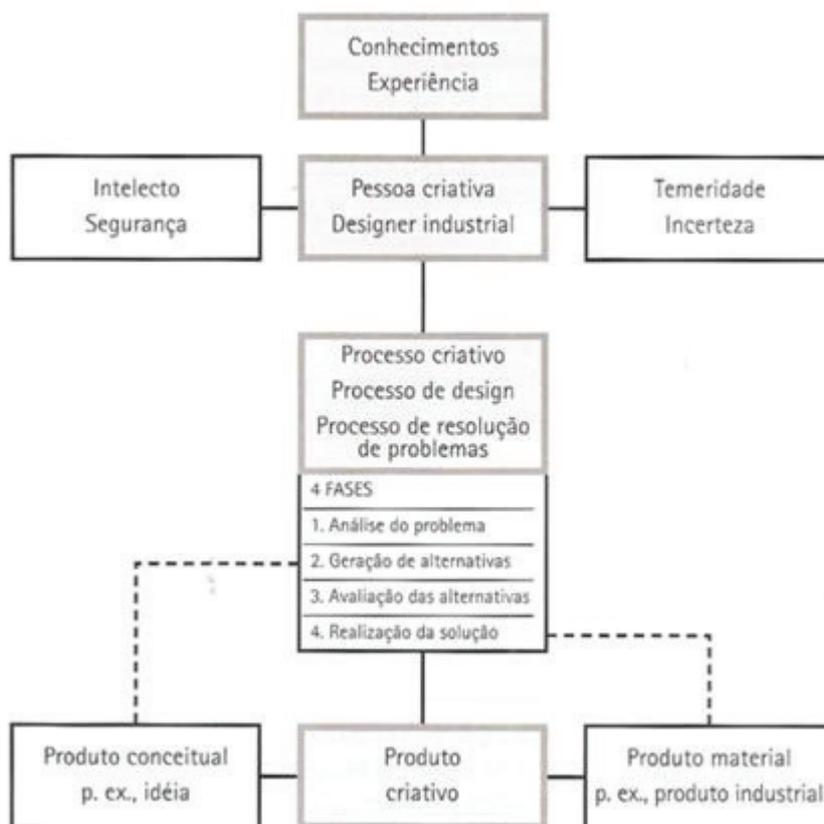
Tendo como base essas afirmações, é possível afirmar que as soluções de projeto são influenciadas pelo ambiente histórico, cultural e tecnológico da época em que são desenvolvidas, bem como a área do conhecimento relacionada ao projeto que está executando cada tarefa, a exemplo do *design* e das engenharias. Considera-se, ainda, que, além desses itens relacionados pelo autor, a orientação para o mercado, bem como características empresariais – porte da empresa e modelagem dos departamentos responsáveis pelo projeto de produto, por exemplo – influenciam significativamente no resultado final do conceito desses produtos industriais. Tais definições e considerações sobre a Prática Projetual ainda não definem qual a melhor metodologia usar, sendo necessário investigar na literatura autores que abordem e descrevam ferramentas que auxiliem no desenvolvimento de projetos de produto.

a) Método proposto por Löbach (2001)

Para Löbach (2001), o método de *design* é um processo criativo que busca a solução de problemas, concretizado através de um projeto de produto industrial que incorpore características para a satisfação das necessidades humanas de forma duradoura. Como elemento criativo, o designer percorre quatro diferentes fases para o desenvolvimento de um produto inovador que contemple as características valorizadas pelos usuários (Figura 1).

Embora o modelo apresente sua estrutura com quatro fases distintas – análise do problema, geração de alternativas, avaliação das alternativas e realização da solução –, o autor afirma que as fases na prática não são exatamente separáveis, elas se entrelaçam umas nas outras, com avanços e retrocessos.

Figura 1 – Método proposto por Löbach



Fonte: Löbach, 2001.

Análise do problema: corresponde à fase de preparação do processo criativo. A atividade começa com a identificação ou percepção do problema. Nessa etapa, devem-se recolher todas as informações que possam contribuir para a construção da solução. Nesse processo, inúmeros fatores podem ser analisados, como: análise das necessidades; análise da relação social; análise da relação com o ambiente; análise do mercado; análise da função; análise estrutural; análise da configuração; análise de materiais e processos de fabricação; desenvolvimento histórico; patentes; legislação e normas; análise de sistema de produtos; distribuição; montagem; serviço a clientes; manutenção; descrição das características do novo produto; e exigências para o novo produto.

Geração de alternativas: fase da produção de ideias baseadas nas análises realizadas. Para a produção de ideias é importante que a mente do designer possa trabalhar livre, sem restrições, para gerar a maior quantidade possível de alternativas sem o processo de julgamento. Nessa fase criativa, é importante que o designer execute esboços de ideias ou

modelos tridimensionais de todos os detalhes das alternativas mais promissoras, que podem, posteriormente, ser combinadas em novas alternativas e preparadas para a fase de avaliação.

Avaliação das alternativas: para essa fase, é necessário que sejam fixados os critérios de aceitação e que a solução se apresente de acordo com os critérios elaborados previamente. Existem diversos procedimentos para a avaliação de alternativas, mas, em geral, a resposta a duas perguntas contempla todos os critérios de avaliação: que importância tem o novo produto para o usuário, para determinado grupo de usuários e para a sociedade? Que importância tem o novo produto para o êxito financeiro da empresa? De acordo com os objetivos de desenvolvimento do produto, pode-se dar um peso maior a uma delas.

Realização da solução: último passo do processo de *design*. Caracteriza-se pela materialização da alternativa escolhida, que deve ser revista, retocada e aperfeiçoada. A alternativa apresentada na forma de um produto industrial é convertida através de diversas etapas em um protótipo e cabeça de série. O projeto deve apresentar a estrutura, as dimensões físicas, os acabamentos, elementos de manejo, enfim, todos os desenhos necessários nos seus mínimos detalhes e os textos explicativos. Essa documentação sofre uma avaliação final pela alta administração, que decide se o produto será ou não colocado em linha de produção.

b) Método proposto por Pahl *et al.* (2005)

Os autores Pahl *et al.* (2005) definem o desenvolvimento e projeto de um produto como um processo de planejamento que se desdobra em quatro etapas de trabalho principais, conforme se observa na Figura 2.

Figura 2 – Método proposto por Pahl e Beitz



Fonte: Adaptado de Pahl *et al.*, 2005.

De acordo com esse modelo, o desenvolvimento inicia-se com a etapa de planejamento e esclarecimento da tarefa. Essa etapa consiste na análise da situação do mercado, da empresa e da conjuntura, com o objetivo de coletar informações sobre os requisitos a serem colocados nos produtos, identificar e selecionar ideias para a formulação da proposta de um novo produto. O resultado é a definição informativa de uma lista de requisitos que deve estar sempre atualizada e sintonizada às necessidades do desenvolvimento do projeto para ser enviada à etapa de trabalho subsequente.

A segunda etapa do modelo é chamada de concepção, cuja ideia principal é o desenvolvimento de um princípio de solução através da lista de requisitos elaborada pela etapa anterior. O princípio de solução pode ser obtido quando a estrutura de funcionamento do produto assume uma forma mais concreta. Essa concretização inclui certa ideia dos materiais a serem utilizados, um dimensionamento prévio e aproximado do produto e também a consideração de recursos tecnológicos.

Em seguida, o princípio de solução é avaliado com base em critérios técnicos e econômicos, e as características que não satisfazem as exigências da lista de requisitos são eliminadas, definindo, assim, o conceito do produto.

A próxima etapa – o anteprojeto – determina de forma clara e completa a estrutura de construção de um produto, partindo da estrutura de funcionamento ou da solução preliminar, baseando-se também em critérios técnicos e econômicos. O anteprojeto global definitivo já representa um controle da função da durabilidade, da compatibilidade espacial e materiais, sendo que custos aplicados devem se mostrar viáveis para que o projeto possa ir para a próxima etapa.

A quarta e última etapa do modelo é o detalhamento, que consiste em prescrições definitivas sobre forma, dimensionamento e acabamento superficial do produto, definição de todos os materiais, verificação das possibilidades de produção, bem como os custos definitivos. Essa etapa complementa a estrutura de construção do produto, e o resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção e da solução. É elaborada também a lista de componentes do produto e suas respectivas instruções para produção e montagem.

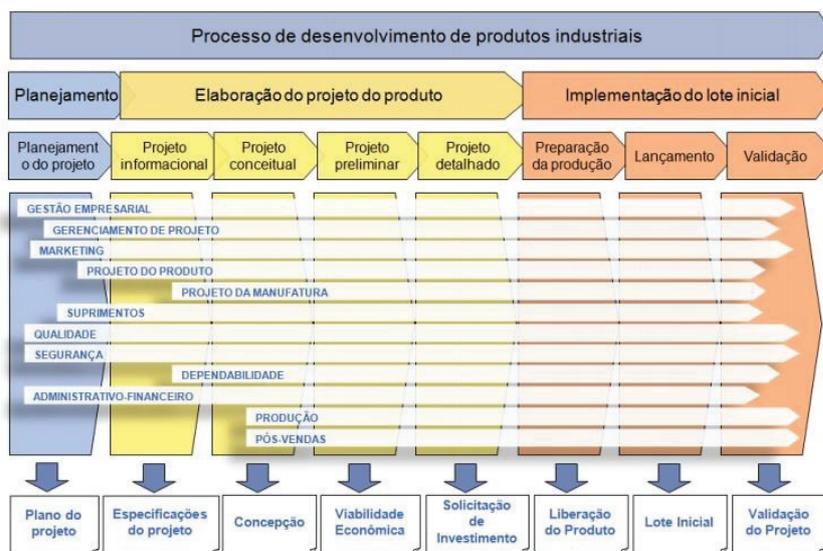
Trata-se, portanto, de um método prescrito com retornos predeterminados, em que prevalece o racionalismo e o tecnicismo através da configuração das fases desdobradas em etapas e tarefas.

c) Método proposto por Back *et al* (2008)

Através de pesquisas e experiências realizadas pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), Back *et al.* (2008) propõem um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos industriais.

O método projetual de Back *et al.* busca explicitar as características e peculiaridades no entendimento do engenheiro projetista para o projeto de produto direcionado ao processo fabril. Back *et al.* formularam entendimento de método para o desenvolvimento de projeto de produto. Eles focaram a aplicação para o Engenheiro Projetista, demonstrando os passos no gerenciamento das atividades, tais como criatividade, desempenho, custo e data de entrega do produto, como se observa na Figura 3.

Figura 3 – Método proposto por Back



Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008.

Baseado nos princípios da engenharia simultânea e no gerenciamento de projetos, o modelo proposto por Back *et al.* (2008) divide-se em três principais momentos: planejamento do projeto, elaboração do projeto do produto e implementação. E as demais etapas se dividem em oito subfases; ao final de cada fase, o resultado obtido é avaliado, permitindo, assim, a continuação do processo.

De acordo com Back *et al.* (2008), a primeira fase é o planejamento do projeto, que tem como base as estratégias de negócio da empresa. A declaração do escopo do projeto é elaborada e detalhada com informações relevantes, tais como justificativa e restrições do projeto, objetivos, característica do produto que será desenvolvido, decomposição do projeto e avaliação dos riscos para as áreas envolvidas na organização. O resultado é o plano do projeto do produto que orientará as demais etapas do processo de desenvolvimento.

A segunda fase é o projeto informacional, no qual são definidas as especificações de projeto do produto. A partir disso, são elaborados os requisitos do projeto, considerando alguns atributos funcionais, ergonômicos, de segurança, de modularidade, estéticos e legais. A estrutura funcional é atividade em que se define a função global e as subfunções do produto quando ele estiver sendo utilizado pelo cliente (PAULA, 2011).

A fase do projeto preliminar começa com a determinação do *layout* final do produto, que é feito pela determinação dos requisitos de forma (dimensões, posição, material, segurança, ergonomia e manufatura), dos componentes a serem utilizados e do processo de fabricação, para que o produto atenda às necessidades do mercado. Em seguida, realiza-se o

desenvolvimento do plano de fabricação, o teste de protótipo e a definição da estrutura preliminar do produto. Por último, se faz a análise de viabilidade econômica, que é avaliada para atender o plano estratégico da empresa.

O projeto detalhado destina-se ao teste e à aprovação do protótipo. Na etapa que compreende a preparação da produção, ocorre a obtenção de recursos para a fabricação do produto, envolvendo atividades como liberação para construção do ferramental, compra, recebimento, instalação, teste e preparação das máquinas operatrizes, dos dispositivos e das ferramentas para implementação da linha de produção (PAULA, 2011).

A penúltima fase do modelo denomina-se lançamento do produto, na qual acontece a produção do lote inicial. Na última fase de validação do produto, o projeto é encerrado, realizando-se a avaliação da satisfação do cliente, o monitoramento do desempenho do produto, levantamento de informações sobre segurança na utilização e operação, permitindo sua validação junto ao cliente final (PAULA, 2011).

Conforme descreveram Back *et al.* (2008), trata-se de uma filosofia de trabalho que, através de seus princípios, procura suportar o desenvolvimento de ferramentas para melhorar a prática de desenvolvimento do produto, incluindo, também, como elementos operacionais, a metodologia de projeto e a disciplina de gerenciamento de projeto.

2.2.2 Engenharia Simultânea

Devido ao processo de evolução na elaboração de projetos, mencionados anteriormente, ainda há uma cultura inserida no mercado, em que a atividade projetual é baseada na segmentação e no sequenciamento das atividades. E este fato acarreta uma perda da visão sistêmica no desenvolvimento do produto e de seus possíveis conflitos com as diversas disciplinas.

Na atualidade, em geral, cada projetista desenvolve sua atividade isoladamente, trabalhando numa espécie de revezamento, que consiste numa sucessão hierárquica, em que o projeto é a soma das contribuições isoladas dos diversos projetistas e agentes de decisão. Por isso, esse esquema de trabalho também é conhecido como modelo de projeto hierárquico.

Aos poucos, porém, com muita expectativa, vem sendo incorporada uma nova visão que se baseia no desenvolvimento integrado dos projetos, visto que as necessidades de compatibilização são realizadas concomitantemente à realização da tarefa, trazendo consigo

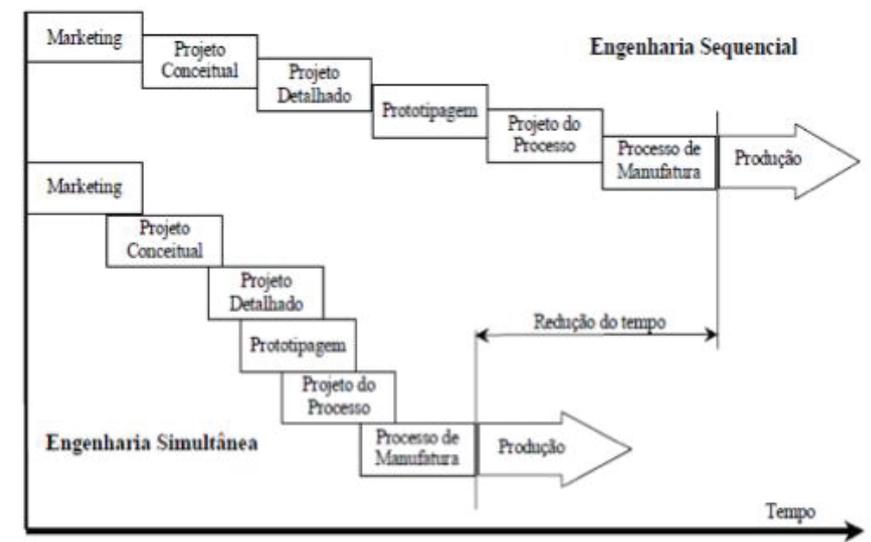
um novo conceito no que diz respeito à elaboração de projetos. Surge, então, o modelo de projeto colaborativo.

Essa tendência abre caminho para a Engenharia Simultânea, que começou a ser utilizada no setor a fim de antecipar os conflitos de projetos, assim como para desenvolvê-los mais rapidamente. Dentre os resultados obtidos com a utilização desse método, estão a otimização do tempo na fase de elaboração de projetos (principal objetivo) e a agilização na parte de execução (SAES FILHO; SILVA, 2006).

Segundo Fabrício (2002), a denominação “*Concurrent Engineering*” ou Engenharia Simultânea (ES) foi sugerida e caracterizada originalmente pelo *Institute for Defense Analysis* (IDA) do governo norte-americano. Entretanto, muitas de suas características podem ser localizadas na indústria japonesa a partir da década de 1970. É comum encontrar na literatura os termos “Engenharia Concorrente” ou “Engenharia Paralela”.

Fabrício (2002) destaca que o paralelismo de atividades presente no modelo integrado busca otimizar o processo construtivo, através da simplificação de produtos, eliminação de etapas e interfaces de processos, além de reduzir o tempo na concepção de novos produtos (de acordo com a Figura a seguir).

Figura 4 – Comparação entre a Engenharia Simultânea e a Engenharia Sequencial



Fonte: Adaptado de Back *et al*, 2008.

Ao contrário do processo de projeto tradicional, na visão da Engenharia Simultânea a integração é considerada como algo indispensável para uma melhoria no resultado final da tarefa. De acordo com IDA (1998), entende-se que:

Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para integrar, simultaneamente projeto do produto e seus processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem é buscada para mobilizar os desenvolvedores (projetistas), no início, para considerar todos os elementos do ciclo de vida da concepção até a disposição, incluindo controle da qualidade, custos, prazos e necessidades dos clientes.

Dessa forma, o desenvolvimento integrado das diversas dimensões do projeto envolve a formulação conjugada do programa de necessidades, da concepção e tecnologia do produto e do projeto para a produção. E é efetivado por meio da colaboração entre os projetistas, bem como as contribuições de outras partes interessadas.

2.2.3 Design e o Projeto Conceitual

A indústria confronta-se com um processo de produção complexo, inerente não só a sua natureza e às peculiaridades do produto a ser produzido, mas também a sua organização e ao modo de gestão. As diferentes partes envolvidas no processo de desenvolvimento do produto apresentam-se de maneira fragmentada, cada uma com seus próprios interesses, às vezes conflitantes, no que diz respeito às características e aos objetivos do produto.

Conforme descrito no item que apresentou as características das metodologias projetuais, são perceptíveis etapas em comum, como o planejamento, concepção, configuração e detalhamento. Dentro dessas etapas, o *design* se concentra mais nas atividades de planejamento e conceitualização, e a engenharia, na configuração e no detalhamento. Embora essa divisão não deva ser tomada como regra, dentro de uma equipe multidisciplinar é comum ocorrer.

Mesmo existindo métodos de projeto que possuam uma filosofia mais integrada das atividades, ocorrendo de forma concomitante, como já descrito no item que apresenta o conceito da Engenharia Simultânea, ainda assim não é possível destituir a atividade de *design* dos *designers* ou a atividade de engenharia dos engenheiros. A troca de informações e diferentes percepções sobre o projeto é construtiva, porém a execução da atividade e a tomada

de decisão dentro de uma determinada etapa devem ser realizadas pelo profissional especializado.

Nesse sentido, torna-se interessante revisar a história e as responsabilidades que o profissional da área do design desempenha. O *design* como profissão surgiu recentemente em relação a outras áreas tecnológicas, como a engenharia, e somente nos últimos vinte anos o *design* adquiriu maturidade na área acadêmica.

Entre as várias definições para o termo “*design*”, grande parte dos autores concorda sobre uma em especial, a de ser uma atividade que confere uma forma física ou material aos conceitos intelectuais. Ou, em outras palavras, desenvolve projetos que concretizam ideias com o intuito de solucionar algum problema específico, em que, normalmente, visa-se projetar algo em escala industrial (DENIS, 2000).

O profissional em *design* possui uma responsabilidade e ocupa uma posição relativa ao planejamento e desenvolvimento projetual. É quem define inicialmente os conceitos estéticos, físicos e funcionais em um projeto, sendo comprovadamente fundamental sua participação em uma equipe multidisciplinar ou engenharia simultânea. A geração e busca por informações específicas ligadas ao projeto, com a influência de várias áreas de formação e conhecimento, podem tornar o planejamento projetual ainda mais efetivo, já que o *designer* agrega esses atributos em sua formação. Gomes (2004) apresenta alguns fatores imprescindíveis direcionados a estes profissionais, como criatividade, domínio de processos, atitudes e comportamentos presentes no desenvolvimento do pensamento produtivo.

Complementando, Mintzberg e Quim (2001) relatam a importância do *designer* em uma organização, pois gera uma influência realmente marcante no processo produtivo e estratégico da empresa. Explica ainda que as funções determinadas a um *designer* se tornam, muitas vezes, irreconhecíveis ou simplesmente invisíveis, e isso se deve ao fato de que suas operações ocorrem normalmente nos bastidores da empresa ou em seu setor.

O *designer*, portanto, deve ter propósito em suas ideias, ter visão e constituir uma relação coligada às outras áreas, principalmente com a Engenharia Mecânica, possibilitando o pensamento integrado de soluções, ou até mesmo a Engenharia Simultânea, como citam Back *et al.* (2008).

Para que um produto obtenha sucesso comercial, é necessário que possua um valor percebido, e isso se materializa, grande parte das vezes, no produto, através da estética e outros fatores relacionados ao *design*. Do ponto de vista do consumidor de um produto, ocorre

de maneira primária o julgamento do valor percebido por fatores ligados à visão e/ou aspectos tridimensionais do produto (forma). O apelo estético é um dos principais fatores que auxiliam na escolha e determinação de compra de um produto, tanto quanto os aspectos ligados aos fatores sociais, culturais e comerciais.

Atrelado a isso, se encontra uma das especialidades do profissional da área do *design*, que é aliar forma, estética, função e estrutura a um produto com finalidades específicas (GOMES FILHO, 2000). Tendo em vista as características e habilidades do *designer* relacionadas à criatividade, justifica-se a ocupação desse profissional na etapa de projeto conceitual do produto, etapa que se refere à geração de alternativas de solução.

No projeto conceitual, a geração de alternativas se propõe a desenvolver linhas básicas de forma e função do produto, construindo um conjunto de princípios funcionais e de estilo que derivaram da especificação da oportunidade percebida. Segundo Julián e Albarracín (2010), a sequência criativa é um fator fundamental no processo criativo do *designer*. É durante o projeto conceitual que o pensamento e o desenho encontram-se intimamente ligados, incentivando o desenvolvimento de novas ideias e descrevendo o desenvolvimento de um conceito através da representação visual. Utilizando desenhos rápidos, o *designer* testa as possibilidades de formas, cores e materiais que começam a esboçar o novo produto em desenvolvimento.

As alternativas apresentadas possuem algumas características físicas técnicas, como as sugestões de materiais a serem utilizados, dimensões principais, tipos de acabamento (texturas, pinturas), entre outros. Essas determinações acompanharão o produto por toda sua vida e terão um impacto direto nas questões relacionadas à estética, funcionalidade, qualidade, durabilidade, eficiência, ao modo de produção e descarte. Ou seja, as decisões tomadas no projeto conceitual serão responsáveis pelos impactos que o produto causará ao longo de sua existência (BAXTER, 2011; EL MARGHANI, 2011).

O projeto conceitual apresenta em sua estrutura interna etapas que seguem os princípios gerais de criatividade. O Quadro 1 apresenta a correlação entre as etapas do projeto conceitual, as fases do processo criativo e os resultados que são obtidos em cada uma delas.

Quadro 1 – Etapas do projeto, processo criativo e os resultados

PROJETO CONCEITUAL	FASES DO PROCESSO CRIATIVO	RESULTADOS OBTIDOS
Determinação dos objetivos do projeto conceitual	Análise e definição do problema	Proposição dos benefícios de acordo com as metas fixadas na especificação do projeto
Geração de conceitos possíveis	Geração de ideias sobre conceitos	Geração de muitos conceitos
Seleção do conceito de acordo com a especificação do projeto	Seleção das ideias sobre conceitos	Seleção do melhor conceito em comparação com as especificações de projeto

Fonte: Adaptado de Baxter, 2011.

Na literatura, existem inúmeras práticas desenvolvidas ao longo dos anos para o processo criativo de produtos. Baxter (2011) identifica três elementos-chave das fases do processo criativo: a preparação, a geração de ideias e a seleção das ideias.

A etapa da preparação corresponde ao problema de *design*, em que se busca atender uma grande faixa de consumidores, explorar canais de *marketing*, distribuição e vendas, atender aos requisitos de projeto, como fornecedores e processos de produção, e gerar lucro para a empresa, considerando as metas e restrições do projeto. Segundo o autor, uma boa preparação do problema deve contar com o questionamento de todos os seus aspectos, independentemente de como eles são apresentados, e não deve se restringir à primeira solução que ocorra. O importante é que o problema seja definido de maneira simples e concisa e que todos os participantes envolvidos no projeto possam entendê-lo. A definição do problema auxilia no desenvolvimento dos objetivos do projeto conceitual, que devem ser coerentes com os objetivos e a estratégia da empresa, assim como deve ser ampla o suficiente para comportar diversas alternativas de soluções, mas com um objetivo claro e limites preestabelecidos.

A geração de ideias dentro do projeto conceitual exige intuição, imaginação e raciocínio lógico do *designer*. Baxter (2011) sugere três métodos estruturados de pensamento para analisar os diferentes aspectos do projeto conceitual e gerar um grande número de alternativas para a solução do problema: análise da tarefa; análise das funções; análise do ciclo de vida. Através de observações, a análise da tarefa explora a interação entre o produto e o seu usuário. A análise da função é um método de análise sistemática das funções do

produto e como elas são percebidas pelos usuários. A análise do ciclo de vida é utilizada, principalmente, quando se pretende diminuir os impactos ambientais dos produtos.

A seleção dos conceitos é o procedimento mais rigoroso do processo criativo. Os atuais métodos de seleção de conceitos são baseados no trabalho de Stuart Pugh (1991), no qual os conceitos gerados vão convergindo sistematicamente para um único conceito selecionado. Deve-se identificar, entre todas as alternativas geradas, aquela que melhor atende as soluções do problema proposto, combinando e adaptando as ideias às necessidades de soluções e mesclando os vários aspectos positivos das diferentes ideias, podendo até gerar uma nova proposta conceitual. Essa técnica possibilita, em pouco tempo, o refinamento e o desenvolvimento dos conceitos, que, quando bem elaborados, agregarão mais valor ao produto (BAXTER, 2011; LÖBACH, 2001).

De acordo com as especificações do projeto conceitual apresentadas, é no processo de geração de ideias que o *designer* começa a dar vida ao produto. Baxter (2011) e Löbach (2001) enfatizam que a atividade de geração de ideias é um processo dinâmico e pode apresentar características diferentes em cada projeto. Os métodos utilizados podem variar de acordo com os objetivos de projeto e também com o tipo de produto em desenvolvimento, como um produto novo para o mercado ou o *redesign* de um produto já existente.

O processo de geração de ideias é o núcleo do projeto conceitual e, sendo assim, torna-se fundamental que a mente do *designer* esteja livre dos bloqueios consequentes do pensamento convencional. O mais importante é que o *designer* tenha um bom entendimento do problema e esteja aberto à criatividade, evitando ao máximo o julgamento das ideias durante a sua geração para que eles não interfiram no processo criativo (BAXTER, 2011).

2.3 Computação Gráfica

Ainda que as tecnologias emergentes não estejam sendo utilizadas plenamente, é inegável que, com o advento da computação gráfica, obteve-se uma revolução no instrumental de representação do projeto. Na engenharia, os sistemas CAD proporcionaram uma revolução, substituindo o uso da prancheta, que já não acompanhava os novos processos de projetos e se mostrava de desempenho lento, realizado artesanalmente. Essas ferramentas oferecem um suporte de grande confiabilidade às empresas, oportunizando redução de tempo de projeto, processo e produção, permitindo trabalhar o projeto, avaliação técnica e sua confecção.

As novas tecnologias sendo introduzidas nos produtos, nos processos e nos sistemas de informação influenciam a competição das empresas no mercado globalizado. Como atingem melhores patamares de qualidade, funcionalidade e satisfação dos consumidores, os fabricantes de um mesmo setor industrial, ou até de setores alternativos, devem se atualizar diante dessas mudanças (SERTEK *et al.*, 2011).

Pahl *et al.* (2005) e Groover (2011) incitam o uso de sistemas CAD para auxiliar na agilidade, na criatividade e no detalhamento de projetos, avaliando até mesmo uma sistemática ou método para tal. Eles podem determinar cálculos e avaliações através do conceito de elementos finitos da área da engenharia.

Speck (2001) relata que o primeiro sistema de Computação Gráfica, denominado *Sketchpad*, foi desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), em 1963, propondo uma forma de interação muito semelhante ao que hoje chamados de interfaces WIMP (*Window-Icon-Menu-Pointer*), que se trata das janelas, ícones, menus e cursores.

Esta publicação chamou a atenção das indústrias automobilísticas e aeroespaciais americanas. Os conceitos de estruturação de dados de Computação Gráfica Interativa levaram a *General Motors* a desenvolver o precursor dos primeiros programas de CAD. Logo em seguida, diversas outras grandes corporações americanas seguiram esse exemplo e, no final da década de 60, praticamente toda a indústria automobilística e aeroespacial se utilizava de *softwares* CAD.

Mesmo tendo grande parte de seu desenvolvimento proporcionado pela engenharia, a computação gráfica evoluiu bastante nas décadas seguintes devido à popularização dos microcomputadores. A computação gráfica, de forma ampla, é um campo da computação destinada à geração de imagens em forma de representação de dados e informação, cujo resultado final é 2D ou 3D, ou seja, está presente em várias áreas com aplicações distintas. Desse modo, o enfoque desta revisão se volta aos campos da computação gráfica que coincidem com os objetivos do estudo.

2.3.1 CAD 2D e CAD 3D

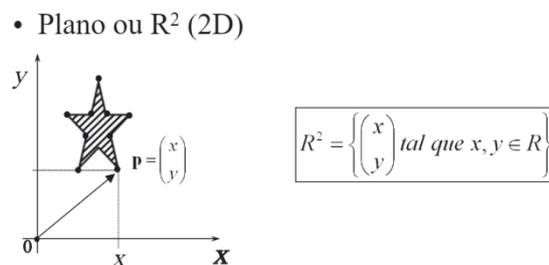
O CAD é um campo da computação gráfica que tem como objetivo fazer descrição precisa e comunicação (documentação) de objetos feitos pelo homem no mundo real. O CAD pode se utilizar dos sistemas 2D e/ou 3D. Antigamente, na área de projetos mecânicos, era

utilizado apenas o desenho técnico para projetar objetos, usando vistas básicas, como superior, inferior, esquerda e uma vista isométrica. O CAD 2D apenas digitalizou esse processo (PIPES, 2010).

De acordo com Ayres Filho e Scheer (2008), embora tenha se tornado padrão para a indústria, o CAD 2D sempre foi um obstáculo para a comunicação eficiente entre os diversos agentes e os processos envolvidos na produção. Esse pensamento é considerado como entendimento de que houve uma substituição de uma ferramenta por sua equivalente mais nova, sem que houvesse reformulação no processo de produção. O suporte da tecnologia desse CAD 2D direciona para a “solução do problema da representação digital da geometria, e não necessariamente para a transmissão de informação através do desenho”.

Na Figura 5, são ilustrados o Plano e o ponto (P) constituinte do desenho formado. Os sistemas CAD 2D promoveram uma modernização na elaboração dos desenhos, ao substituírem a tinta nanquim do processo artesanal anterior por arquivos digitais e plotagens, eliminando tarefas repetitivas e complicadas e facilitando a correção dos desenhos (AYRES FILHO e SCHEER, 2008).

Figura 5 – Plano 2D



Fonte: Gattass, 2013.

Entretanto, de acordo com Ayres Filho e Scheer (2008), o suporte que eles oferecem ao processo de projeto vai pouco além de uma prancheta melhorada, pois o desenho é agora feito na tela do computador, porém a geração da informação é a mesma. Ou seja, as ferramentas CAD 2D digitalizaram o processo de desenho, antes realizado na prancheta.

Já o CAD 3D permite a redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde sua concepção até sua venda e possibilita a personalização de produtos, elaboração de protótipos ou fabricação em pequenas séries, sem uma penalização exagerada nos custos. Há uma

influência em todo o processo de projeto, desde os esboços preliminares até o modelo final e *marketing* dos produtos, cruzando por todas as complexas etapas de *design* e engenharia. Do ponto de vista técnico, ressaltam-se as seguintes contribuições da modelagem (SPECK *et al.*, 2001):

- a) Redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos;
- b) Utilização conjunta de várias ferramentas de projeto;
- c) Pré-montagem digital;
- d) Visualização do produto;
- e) Modelos rápidos e baratos;
- f) Possibilidade de variar o *design*;
- g) Melhora da comunicação com clientes e fornecedores.

Segundo Speck *et al.* (2001), os atuais modeladores sólidos estão revolucionando o desenvolvimento de novos produtos, visto que, com a elaboração de um modelo eletrônico, podem-se visualizar cores, formas, volume, simular movimento, aplicar testes de impacto, entre outros.

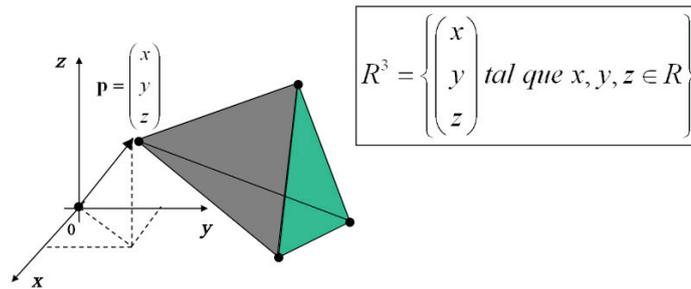
Ferreira (2007) descreve que a elaboração de projetos utilizando CAD 3D é mais demorada e complexa, quando comparado com o método bidimensional. Entretanto, o maior tempo gasto nesta etapa se transforma em redução de tempo na fase de detalhamento e documentação, principalmente em projetos de maior complexidade.

De acordo com Florio (2007), durante a atividade projetual deve-se reconhecer o problema, reestruturá-lo e manipular ferramentas para a sua solução, tanto nos aspectos estéticos e funcionais como técnico-construtivos. Isso porque, no ambiente 3D, a visualização espacial do que está sendo concebido é melhorada sensivelmente, e a reflexão durante a ação torna-se um tipo de experimentação que pode contribuir para aquisição de novas compreensões e descobertas no processo de projeto.

Dessa forma, o modelo tridimensional permite uma melhor visualização e maior coerência entre os elementos, antecipando, assim, a resolução dos problemas ainda no modelo virtual. Existe a possibilidade da análise de diversas soluções, o que ajuda a definir o escopo do projeto de modo mais refinado. A Figura 6 ilustra o espaço 3D e o ponto (P) constituinte do modelo gerado.

Figura 6 – Espaço 3D

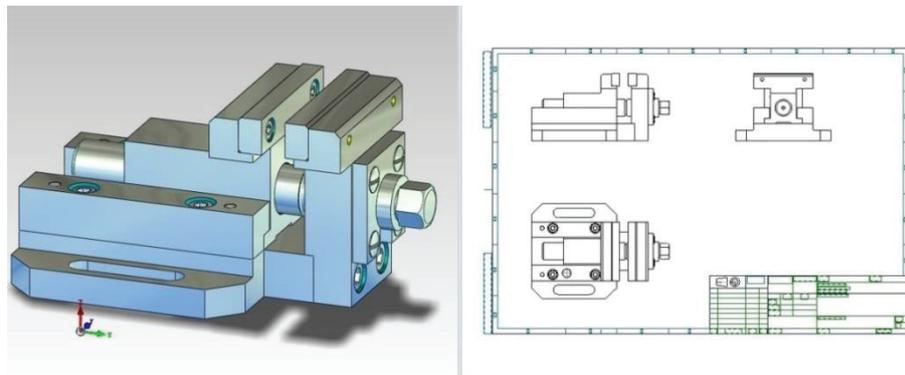
- Espaço ou R^3 (3D)



Fonte: Gattass, 2013.

Segundo Souza (2009), os modelos 3D permitem que a compreensão do projeto seja acessível a um público maior, não se restringindo apenas aos que conhecem as simbologias e representações de desenho. Isso facilita o entendimento do cliente e do usuário final, ajudando na formulação de soluções mais alinhadas às suas necessidades. Assim, na visualização de um elemento, torna-se desnecessário o exercício de imaginação constante que o 2D obriga aos usuários, como demonstra a Figura 7.

Figura 7 – Modelo 3D ao lado do desenho 2D



Fonte: MegaCAD, 2019.

Ainda na apresentação, pode-se recorrer a recursos como criação de animações com passeios virtuais e interativos em tempo real, projeto de geometria complexas ou, ainda, renderizações que proporcionam imagens foto realistas. Outra vantagem é a criação de seções instantâneas concebidas em qualquer parte do modelo, podendo fornecer um maior número de

ilustrações do projeto, além de questões de representação gráfica. O CAD 3D possibilita a aplicação de sistemas CAE/CAM.

2.3.2 Modelagem Geométrica

No item anterior, foi abordado o CAD 3D e suas vantagens em relação ao CAD 2D. O CAD, de forma geral, foi a área em que a computação gráfica evoluiu mais rapidamente, a ponto de muitas pessoas confundirem o conceito de CAD com a computação gráfica propriamente dita. Na verdade, o CAD representa apenas um dos componentes da a computação gráfica, sendo normalmente utilizada como meio de comunicação de dados entre máquina e usuário e vice-versa. Já a modelagem geométrica como um todo, engloba os sistemas CAD 3D dentro do conceito de computação gráfica.

Segundo Pipes (2010), na computação gráfica, modelagem geométrica ou tridimensional é o processo de desenvolvimento de uma representação matemática de qualquer superfície tridimensional de um objeto, através de *software* especializado. O produto é chamado de modelo geométrico ou tridimensional. É basicamente a criação de formas, objetos, personagens, cenários.

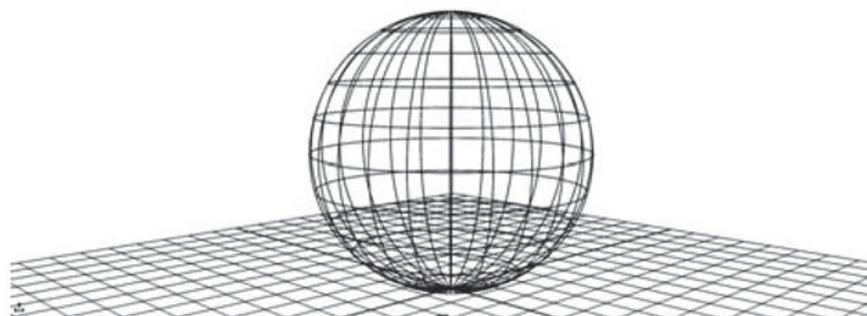
Os modelos geométricos podem ser classificados pelo tipo de representação no qual foram desenvolvidos: *wireframe*, superfície e sólido. Existem ainda os modelos híbridos que possuem características tanto dos modelos sólidos como dos modelos por superfície.

Segundo Foggiato et. al. (2007), existem vários métodos de modelagem de superfície e sólida, que serão abordados nos próximos tópicos. Os principais são: *Constructive Solid Geometry* (CSG); *Boundary Representation* (B-Rep); *(Non Uniform Rational Basis Spline* (NURBS); Híbrida; por *Features* e Paramétrica.

a) Modelagem por Wireframe

A modelagem por *wireframe* (armação em arame) baseia-se na união de linhas entre pontos no espaço 3D, criando modelos espaciais. Não há superfícies em um modelo *wireframe*, só vértices, linhas, retas e curvas que representam as arestas de um objeto 3D, conforme apresenta a Figura 8.

Figura 8 – Modelo 3D wireframe



Fonte: PyMesh, 2018.

Este tipo de modelagem utiliza menos processamento do que as outras, porém, segundo Chang et. al. (2005), não é completa e livre de ambiguidades por causa da sobreposição das arestas, e nem é possível a determinação de seções, volume ou massa do objeto a partir do modelo, sendo impossível realizar estudos de CAE/CAM. Os modeladores *wireframe* foram os primeiros que surgiram, porém, hoje, não são mais utilizados, dando lugar aos outros dois (superfície e sólidos). Outro ponto é que todo modelador de superfície ou modelador de sólido consegue gerar imagens do *wireframe* do modelo, inutilizando por completo qualquer modelador exclusivamente de *wireframe*.

b) Modelagem por Superfície

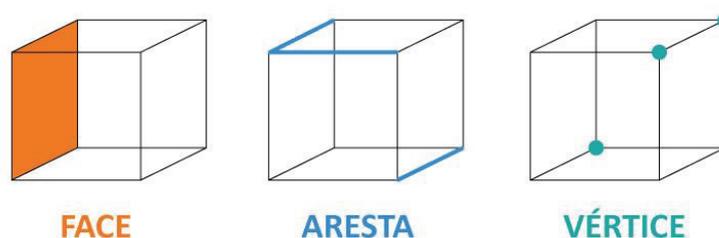
A modelagem por superfícies é indicada quando o modelo possui curvas complexas ou superfícies livres. Zeid (2005) confirma sua aplicação para a representação de objetos com geometrias complexas, pois, dessa forma, pode-se descrever o objeto mais precisamente. Para Alves (2002), uma superfície pode ser definida como um elemento matemático que separa o interior do exterior de um objeto. Os objetos tridimensionais gerados pela técnica de modelos de superfície diferem dos modelos por *wireframe*, por usarem superfícies tridimensionais, definindo o contorno de um objeto. Esse tipo de modelagem é amplamente utilizado em áreas nas quais tudo que importa é o visual da imagem gerada, como em filmes, jogos eletrônicos, de modo geral, em áreas utilizadas por artistas digitais.

As principais técnicas dos sistemas de modelagem por superfície são a Modelagem Poligonal/ B-rep e a Modelagem NURBS/Curvas.

A modelagem poligonal trata-se da criação de uma malha poligonal, que é um conjunto de faces que definem um objeto tridimensional. As faces geralmente são constituídas de triângulos ou quadriláteros, uma vez que essas formas simplificam o processo de renderização, no entanto, também podem ser compostas por formas geométricas complexas.

Com esse método de modelagem, basicamente se trabalha com o princípio de vértices, arestas e faces, como demonstra a Figura 9. Partindo de dois pontos ligados, se obtém uma reta; a partir de três retas, é possível se obter uma forma triangular; com vários triângulos, com orientações diferentes no espaço, se obtém um volume, que é o objeto tridimensional.

Figura 9 – Vértices, arestas, faces

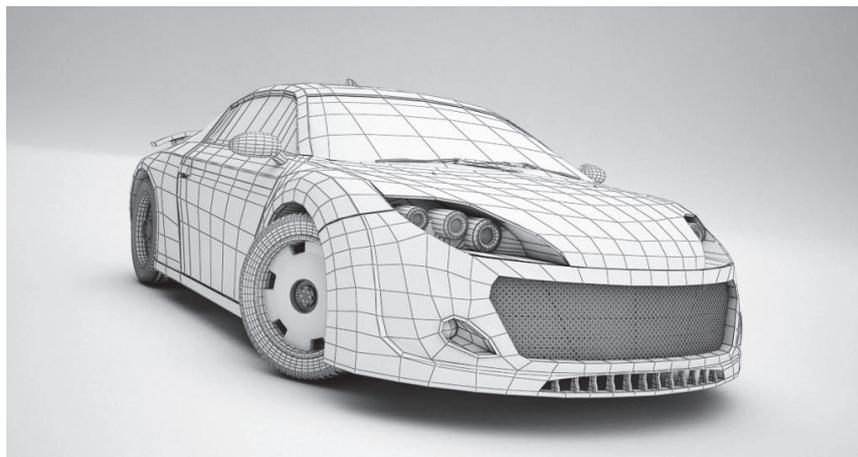


Fonte: EDM, 2018.

A modelagem poligonal não é difundida na engenharia, pois os vértices, as arestas, e as faces não têm espessura nem volume, com isso é possível criar modelos não “sólidos”, ocasionando algumas complicações se futuramente o modelo for utilizados em *softwares* de CAE/CAM, contudo criar modelos sólidos com essa técnica também é possível, apenas exige cuidado por parte do usuário.

De acordo com Pipes (2010) A vantagem desse tipo de modelagem é a facilidade com a qual se trabalha o volume do objeto, não requisitando entrada de dados, pois o usuário trabalha diretamente na malha, agilizando o processo de modelagem e dando mais liberdade. Isso torna esse tipo de modeladores muito atraentes para artistas digitais, em que a imagem final é o importante, independentemente de o modelo ser fisicamente fidedigno ou não. Outro ponto positivo é que, devido a essas características, a modelagem de formas orgânicas se torna mais simples (Figura 10), quando comparado à modelagem por CSG.

Figura 10 – Modelagem poligonal, malha

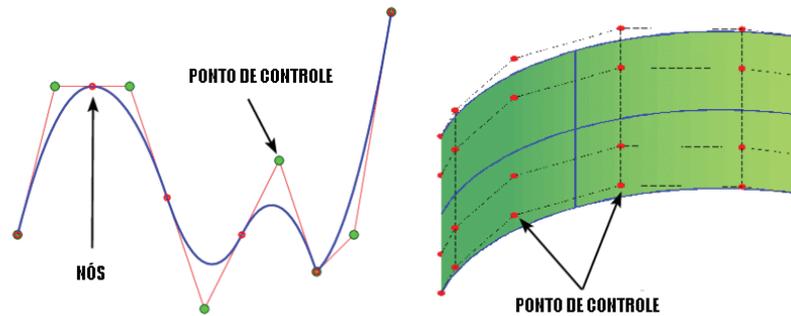


Fonte: Fenabrave, 2017.

Quanto às superfícies geradas através da técnica de curvas como NURBS, curvas Bézier, e B-spline, elas estão quase onipresentes em sistemas CAD, tanto que na engenharia e na maioria das indústrias é usada em grande parte como tecnologia padrão. Seu desenvolvimento começou na década de 50 por engenheiros que precisavam de uma representação matemática para superfícies livres. Um dos pioneiros nesse tipo de desenvolvimento foi Pierre Bézier, que trabalhou como engenheiro da Renault. No início, NURBS foram apenas utilizadas em pacotes de CAD para empresas automotivas. Mais tarde, elas tornaram-se parte de pacotes de programas gráficos em tempo real.

Diferentemente dos modelos gerados através de uma malha de polígonos, as superfícies curvas são geradas através de uma função matemática, são funções de dois parâmetros mapeados para uma superfície tridimensional. Essa forma da superfície é determinada por pontos de controle, como demonstra a Figura 11.

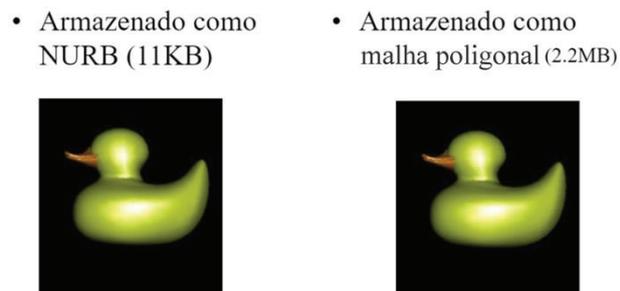
Figura 11 – Pontos de Controle



Fonte: Nguyen, 2013.

De forma geral, pode-se dizer que editar superfícies curvas é altamente intuitivo e previsível. Os pontos de controle são sempre conectados diretamente à curva/superfície ou agem como se estivessem conectadas. Elas podem ser eficientemente moldadas por programas de computador e ainda permitem uma fácil interação com o utilizador. Essa tecnologia permite representação de formas geométricas de uma forma compacta, como é possível observar na Figura 12, na qual se tem um modelo armazenado como superfície NURBS e outro, ao lado, armazenado como malha poligonal.

Figura 12 – Compactação



Fonte: Blaxxun Inc., 2002.

Enquanto num modelo de malha poligonal é necessário armazenar informações sobre cada vértice da malha, levando em conta que a malha pode ter milhares ou milhões de vértices, já nas superfícies curvas não é necessário, pois como citado anteriormente, sua forma é gerada através da função.

Além da compactação dos arquivos, outra vantagem da modelagem por superfícies curvas é que elas geram curvas reais, diferentemente da malha poligonal, na qual existe o “facetamento” da curva, que é composta por várias retas dispostas em angulações distintas, dando a impressão de existir uma curva.

Outro método para modelagem de superfícies difundido no campo da computação gráfica é a escultura digital, em que o processo de construção do modelo se assemelha muito à escultura em argila, por isso o nome escultura digital. A superfície do objeto, também formada por polígonos, é deformada de forma mais intuitiva, acrescentando ou retirando volume do objeto passando o ponteiro do mouse sobre a superfície.

Essa técnica de modelagem tem sido grandemente empregada na indústria cinematográfica devido à facilidade de criação de modelos com superfícies irregulares detalhadas, como personagens e terrenos. Por esse motivo, mesmo sendo um método interessante, não condiz de forma satisfatória com os objetivos deste estudo.

c) **Modelagem por Sólidos**

A modelagem por sólidos é realizada a partir de formas simples bidimensionais, como polígonos, círculos ou a combinação destes. Conforme a geometria desejada, o sólido pode ser gerado fazendo-se a forma bidimensional percorrer uma trajetória ou, ainda, pela conexão de duas ou mais dessas formas, desenhadas em planos diferentes. Para a modelagem de sólidos mais complexos, é possível a utilização de comandos baseados em operações *booleanas*, como união, subtração e interseção.

A modelagem sólida não armazena só a geometria do objeto final, mas também todas as formas primitivas e operações usadas para a sua construção. Zeid (2005) define um modelo sólido como uma representação completa, única e livre de ambiguidades, possuindo informações de volume e massa, possibilitando a análise em CAE/CAM, o que torna os modeladores de sólidos atrativos do ponto de vista da engenharia. As principais técnicas de modelagem dos sistemas de modelagem de sólidos é a Geometria Sólida Construtiva (CSG) e a Modelagem por *Features*.

Geometria Sólida Construtiva (CSG) é uma das técnicas para modelagem de sólidos por meio de operações *booleanas*. O princípio básico implica a construção de um modelo complexo a partir de um conjunto de primitivas, recorrendo-se a uma série de operações

booleanas sequenciais alternadas ou não, tipicamente a União, Intersecção e a Diferença, como demonstra a Figura 13.

Figura 13 – Operações Booleanas

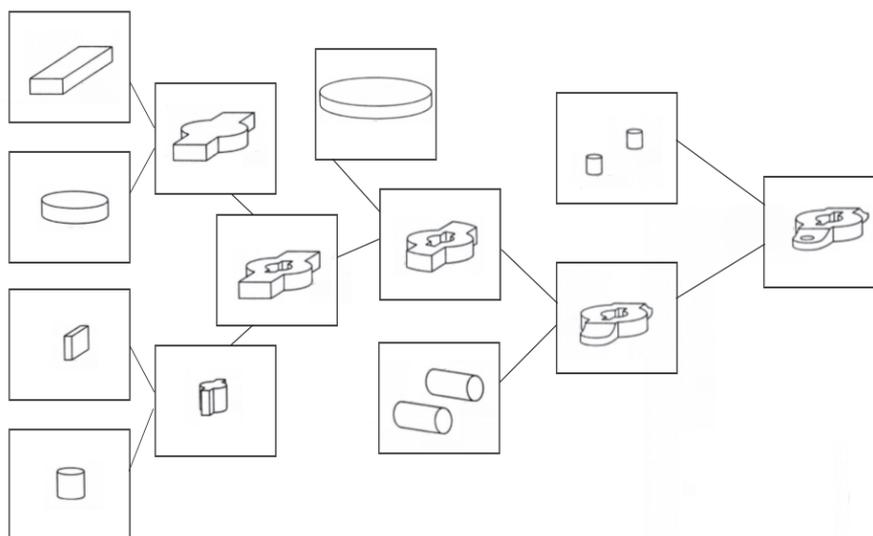


Fonte: GuiaCAD, 2018.

As operações *booleanas* foram amplamente utilizadas em *softwares* CAD por dois motivos: os modelos gerados por essa técnica são “sólidos”; e seu processo é passível de “parametrização”. Como “sólidos”, entendem-se modelos fisicamente possíveis, fechados e com volume, diferentemente da modelagem poligonal, em que podem existir modelos vazados, sem “volume”.

Nesse tipo de modelagem, é necessário que o usuário já tenha o modelo final totalmente definido, tendo total ciência das operações necessárias para obter o modelo, como no exemplo da Figura 14.

Figura 14 – Modelagem por CSG



Fonte: PyMesh, 2018.

É importante observar que cada operação foi devidamente realizada com um objetivo claro, sendo que esse tipo de modelagem exige entrada de dados, como dimensões, o que, do ponto de vista da engenharia, é algo essencial, porém deixa muito restrito qualquer tipo de processo criativo durante o desenvolvimento do modelo.

A modelagem CSG também é indicada para modelos inorgânicos e geométricos, como componentes mecânicos, pois suas restrições dificultam a modelagem de objetos orgânicos. Esse é outro motivo pelo qual os sistemas CAD utilizam essa técnica de modelagem.

A modelagem baseada em *Features*, por sua vez, é muito semelhante à modelagem CSG, e os modelos são gerados a partir de operações entre elementos, porém não se limitam às primitivas. De acordo com Foggiato *et al.* (2007), um *feature* pode ser definido como um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia. *Features* podem ser pensados como “primitivas de engenharia” relevantes a alguma tarefa. A modelagem por *features* vem ganhando espaço, principalmente na engenharia mecânica. O método permite criar furos, chanfros, rasgos, etc., para serem associados com outras entidades ou faces.

A modelagem por *features* é baseada na ideia de se desenhar utilizando blocos de construção. Em vez de se usar formas – paralelepípedos, cilindros, esferas e cones – como primitivos, o usuário cria o modelo do produto usando primitivos de maior nível, que são mais relevantes para sua aplicação específica.

Essa abordagem deveria fazer com que os sistemas de modelagem sólida ficassem mais fáceis de ser usados. A modelagem por *features* vem, de certa forma, substituir a modelagem CSG. Pode-se considerar que é a evolução da CSG, pois segue os mesmos princípios de funcionamento, desempenhando o mesmo serviço, de forma mais eficiente, fazendo muito mais.

d) Modelagem Paramétrica e Livre

A modelagem paramétrica não é diretamente uma técnica para modelagem, e sim um agregado que trabalha associado a uma técnica de modelagem; por exemplo, a modelagem NUBRS paramétrica ou modelagem por *features* paramétrica. Entende-se que toda modelagem que não é paramétrica é livre, ou seja, o modelo não está ligado a parâmetros.

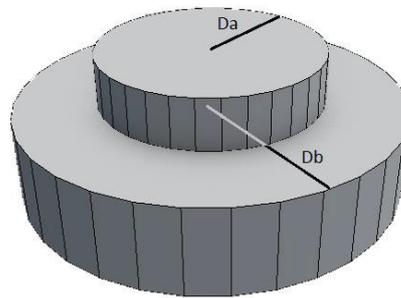
Basicamente, a modelagem paramétrica permite que se criem modelos de produtos com dimensões variacionais. As dimensões podem ser ligadas através de expressões. Ligações bidirecionais entre o modelo e o esquema de dimensionamento permitem a regeneração automática de modelos depois de mudanças nas dimensões e atualização automática das dimensões relacionadas.

A maioria dos sistemas de CAD 3D atuais incorporaram em seus núcleos os métodos de modelagem por *features* e paramétrica. Segundo Speck (2001), a modelagem sólida paramétrica permite a geração de modelos com dimensões vinculadas a variáveis, permitindo a regeneração automática do modelo após cada modificação.

Embora esse sistema esteja se estabelecendo como padrão na maioria das empresas, existe uma carência de informações sobre a maneira correta de se gerar os modelos. Devido à complexidade envolvida, o projetista pode ser penalizado, pois ele tem que pensar na estruturação das ligações dimensionais antecipadamente, sem o que a alteração do modelo pode implicar que ele seja refeito.

Na figura 15, observa-se um modelo de eixo escalonado em que a dimensão do diâmetro menor depende do diâmetro maior através da equação $D_a = D_b/2$. Caso a dimensão do diâmetro maior seja alterada, a dimensão do diâmetro menor é automaticamente alterada. Caso a dimensão do eixo menor seja alterada, a dimensão do eixo maior pode ser automaticamente calculada pela inversa da função relacionamento.

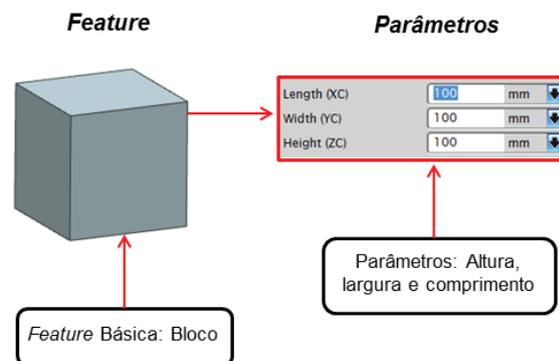
Figura 15 – Relação paramétrica



Fonte: PyMesh, 2018.

Durante a modelagem, definem-se os parâmetros para a criação de geometrias. Parâmetros podem ser definidos como valores ou propriedades que determinam a forma e o tamanho de uma geometria. Ao modelar um bloco, por exemplo (Figura 16), precisa-se primeiro definir sua altura, largura e comprimento, essas medidas serão, então, os parâmetros desse objeto. A principal função dessa propriedade é ajustar o tamanho e a forma de um determinado objeto de acordo com as necessidades do projetista. Esse ajuste pode ser feito diretamente sobre o objeto ou ser consequência de alterações de forma ao redor dele.

Figura 16 – Parâmetros



Fonte: GuiaCAD, 2017.

A modelagem paramétrica é um sistema que facilita o trabalho do projetista, no sentido de edição do projeto. Para fazer uma modelagem paramétrica, o projetista deve optar por manter todos os parâmetros iniciais de cada objeto, ou seja, ele mantém todas as medidas iniciais de cada componente, podendo, assim, no futuro, alterar facilmente o seu valor ou forma.

Esse sistema de modelagem exige mais tempo e dedicação do projetista no começo do trabalho, mas poupa um tempo enorme e facilita muito quando se precisa fazer alguma modificação no componente. A modelagem 3D paramétrica também requer conhecimentos avançados para utilizar os comandos adequados no local correto, pois todos os comandos ficam salvos na árvore de comandos do arquivo.

Podemos, então, definir como modelagem paramétrica a técnica na qual o objeto é criado de maneira interligada por parâmetros que podem ser alterados a qualquer momento, visando uma maior facilidade e praticidade na modificação do projeto. Por esse motivo, a modelagem por *features* paramétrica é o que existe de mais avançado em termos de CAD, sendo que esses *softwares* possuem uma boa compatibilidade com *softwares* CAE/CAM.

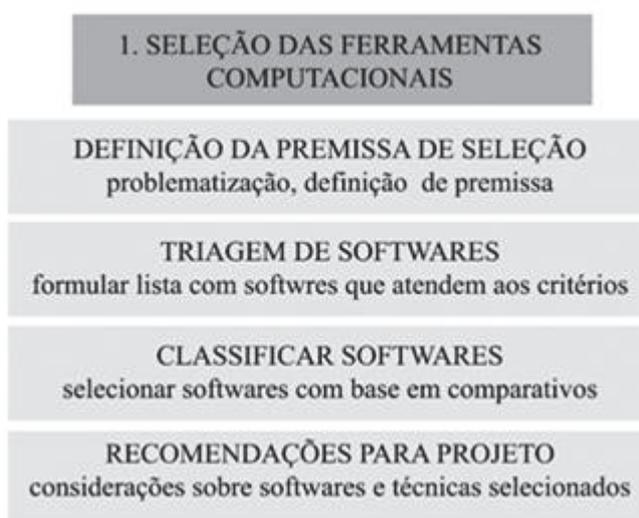
Como abordado no início deste tópico, a modelagem livre é exatamente o oposto da modelagem paramétrica. Na modelagem livre, os parâmetros não são mantidos, fazendo com que qualquer alteração feita no projeto precise ser modelada novamente. Nesse tipo de modelagem, não temos a opção de alterar somente os valores dos parâmetros e obter os consequentes ajustes dos objetos como na modelagem paramétrica. A modelagem livre proporciona ao projetista uma maior liberdade e rapidez no desenvolvimento do projeto, porém dificulta bastante a edição ou modificação do componente.

Ressalta-se a importância desta revisão bibliográfica para o desenvolvimento deste estudo, pois os estudos dos métodos de projeto são fundamentais para a concepção de um produto consciente e fundamentado, auxiliando o projetista na tomada de decisões que tendem a ser mais apropriadas. Nesse sentido, os estudos relacionados à computação gráfica colaboram com os métodos de projeto, auxiliando na avaliação dos conceitos, representando de forma digna o produto em desenvolvimento e possibilitando que os projetistas tenham ampla visão dos mais diversos aspectos do projeto. Dessa forma, os temas abordados são de relevância para o desenvolvimento deste estudo, permitindo bom discernimento dos métodos e das ferramentas aplicadas ao projeto.

3 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS

Este capítulo apresenta os métodos propostos para o desenvolvimento deste estudo e o processo de seleção das ferramentas computacionais, seguindo as etapas apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Método de seleção



Fonte: Autor, 2020.

O modelo proposto para a seleção das ferramentas busca trabalhar paralelamente às fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, atuando durante o projeto conceitual, etapa em que a simultaneidade das áreas de engenharia e *design* podem gerar resultados mais eficazes no processo de desenvolvimento de produtos.

As etapas para seleção das ferramentas computacionais foram sugeridas com base no estudo de método de seleção de *softwares* para gerenciamento de projeto do PDP por Costa et. al. (2008). A seguir são detalhadas as etapas que compõem o desenvolvimento do método proposto para este estudo.

A primeira etapa compreende o aprofundamento em torno da temática do estudo e algumas indagações sobre alternativas de caminhos para otimização do atual modelo de trabalho dentro da indústria, a fim de estabelecer uma premissa que oriente o desenvolvimento deste estudo.

A segunda etapa consiste em, a partir das diretrizes, realizar uma busca de *softwares* de computação gráfica que contemplem os requisitos, com o intuito de criar uma lista para fazer sua classificação.

Já a terceira etapa, trata-se da classificação definitiva, na qual, partindo de critérios preestabelecidos, com graus de importância definidos, os *softwares* são classificados com base nas pontuações que recebem para cada critério e relacionados com o seu grau de importância.

Na última e quarta etapa, são feitas as considerações sobre o resultado da classificação e recomendações a respeito desse resultado. Ainda são levantadas outras questões sobre técnicas e ferramentas complementares que se referem às diretrizes firmadas na primeira etapa e que podem colaborar para o processo de desenvolvimento do conceito do produto.

3.1 Definição da Premissa de Seleção

Os estágios iniciais do desenvolvimento de produtos têm sido objetos de atenção, pois o sucesso nesta fase preliminar pode trazer grandes benefícios nos estágios seguintes. Sob esse enfoque, Nobelius *et al.* (2001) propõem uma síntese de diversos modelos estudados para o gerenciamento do PDP nas suas fases avançadas, os quais unem o planejamento estratégico da empresa à especificação de conceito do produto. Essa síntese contém os seguintes elementos: declaração da missão do produto; geração, projeção e definição do conceito do produto; análise do negócio; planejamento do projeto.

A definição do conceito do produto é a primeira fase a ser superada e deve ser tratada separadamente. Palavras e números geralmente não são bons meios de apresentar conceitos. Se o conceito de uma ideia não for bem assimilado, como obter o comprometimento das pessoas? Percepções incorretas do conceito levarão a ações indevidas, a maus planejamentos, a más decisões e, conseqüentemente, a maus resultados em produtos.

Algo comum entre todas as metodologias em relação ao projeto conceitual é que todos possuem a mesma saída, um conceito expresso em forma de representação gráfica. Em alguns métodos, isso pode significar um esboço, protótipos físicos; em outros, até incitam o uso da modelagem geométrica para protótipos virtuais, contudo, não especificam o método pelo qual deve ser realizada essa representação e nem como isso deve ser socializado com os demais integrantes da equipe.

O propósito da representação é expor a ideia corretamente, com o envolvimento do pensamento criativo. Uma comunicação clara, que apele para a sensibilidade ou para os sentidos apropriados, é a chave da inovação. Em uma equipe de desenvolvimento de produto com profissionais de várias especialidades, o “expor a ideia corretamente” é um grande obstáculo, em razão das diferentes formas que cada especialidade tem de fazer isso.

Os *designers*, em sua maioria, expressam as ideias através de esboços bidimensionais, seja por meios tradicionais ou por meios digitais. Um esboço compreende uma representação sem teor técnico, uma espécie de representação artística, que, com certeza, em um primeiro momento é válido, para discutir alguns aspectos iniciais do projeto.

No entanto, representações tridimensionais possuem vantagens em relação às representações bidimensionais, que, por vezes, podem conter ambiguidades e visões distorcidas do produto. Podem ser, assim, uma caricatura do produto, em que o desenhista pode manipular a perspectiva, a luz/sombra, para dar ênfase nos detalhes que deseja e ocultar detalhes desinteressantes.

Esses aspectos são úteis em uma propaganda ou para atrair investidores, porém, quando se trata de comunicação interna da equipe de desenvolvimento, é importante que todos vislumbrem o mesmo produto, o mesmo objetivo. Pois isso, por sua vez, gera o comprometimento e engajamento da equipe, tornando o desenvolvimento do produto realmente colaborativo. O benefício de um conceito bem estruturado para o resto do desenvolvimento do produto é fundamental, evitando retrabalhos, reduzindo tempo, perda de recursos materiais, mesmo que, para isso, seja investido mais tempo na etapa de projeto conceitual.

Todavia, desenvolver em uma empresa uma cultura de simulação, seja ela de *design* ou engenharia, não é uma tarefa simples. Algumas empresas não possuem uma mentalidade voltada para a simulação. Sem simulação e construção de protótipos, às vezes, é difícil separar as ideias boas das ruins. Quanto à simulação e à prototipagem, a maioria das empresas falha ao prover investimento insuficiente para treinamento e ferramentas.

A literatura relata que a modelagem geométrica não é um processo criativo, e sim um meio de expressar ideias previamente definidas. Relacionando essa afirmação ao desenvolvimento de produto, os sistemas CAD são engessados, custando tempo no processo de criação dos modelos.

Levando-se em consideração a fase de projeto conceitual, os modelos desenvolvidos são descartáveis, o que acaba, em um primeiro momento, não compensando a utilização de sistemas CAD e desestimulando o uso da computação gráfica nessas etapas iniciais. Já o desenho tradicional, além de um meio para representação, também é considerado um processo criativo, reflexivo, devido à agilidade para exteriorizar o pensamento.

De forma a definir a premissa para a sequência do processo de seleção, entende-se que o processo de modelagem deve propiciar a aplicação de técnicas de criatividade, que seja livre e que permita criar um grande número de modelos em um curto intervalo de tempo. Deve, ainda, explorar o trabalho em equipe, estimular o relacionamento entre todas as partes envolvidas no processo de projeto de produtos, nas quais a equipe de projeto interagirá na construção do conhecimento de maneira mais efetiva durante sua aplicação.

3.2 Triagem dos *Softwares*

Antes de iniciar essa busca preliminar de *softwares* para criação da lista, as diretrizes foram resumidas em um grande requisito, que engloba de forma ampla os demais requisitos, desempenhando um papel de núcleo da problemática. O intuito disso é não restringir de forma muito severa a triagem dos *softwares*. Para definir o requisito central foi usado o método de abstração:

1ª etapa – apresenta requisitos considerados importantes:

- Propiciar a aplicação de técnicas de criatividade;
- Possuir processo de modelagem que seja livre;
- Criar vários modelos em pouco tempo;
- Explorar o trabalho em equipe;
- Estimular o relacionamento entre todas as partes envolvidas.

2ª etapa – amplia-se o que é importante:

- Liberdade de criação;
- Eficiência produtiva;
- Integração e colaboração.

3ª etapa – formulação do núcleo da problemática:

- *Software* não paramétrico.

Partindo desse requisito, é possível gerar uma lista com um número considerável de *softwares* que abrangem métodos de modelagem distintos, eliminando somente *softwares* que, segundo as informações colhidas, não condizem com os propósitos de aplicação deste estudo.

Com base em ferramentas de busca online, foi gerada a lista em que constam os *softwares* de modelagem geométrica, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – *Softwares*

3ds Max
Autodesk Alias
Autodesk AutoCAD
Autodesk Fusion 360
Autodesk Maya
Blender 3D
Cinema 4D
SketchUp
Rhinoceros 3D

Fonte: Autor, 2020.

Essa lista que constitui o Quadro 2 representa uma gama diversificada de *softwares*, modeladores de superfície, modeladores de sólidos, que são sistemas CAD ou não. *Softwares* muito difundidos na indústria, como o SolidWorks, e outros, como o Autodesk Inventor, SolidEdge e Siemens NX ficaram fora da lista por serem de modelagem paramétrica, como foi justificado anteriormente. Outros *softwares* de modelagem, como Autodesk Mudbox, Zbrush, e Sculptris não entraram na lista, porque são de escultura digital, técnica que também não diz respeito aos objetivos do estudo.

O 3ds Max é um *software* de modelagem e renderização com muito prestígio entre os artistas digitais, em jogos e maquetes eletrônicas; em termos de modelagem, ele é o carro-chefe da Autodesk e um dos *softwares* de modelagem mais utilizados no mundo. Já *softwares*

como o Maya e o Cinema 4D, possuem um enfoque na parte de animação e efeitos visuais, além da modelagem tridimensional.

O Alias e o Rhinoceros possuem sua funcionalidade voltada para o sistema NURBS. O Alias é muito utilizado no setor automotivo na parte de *design*, enquanto o Rhinoceros é utilizado numa variedade maior de aplicações que necessitem uma modelagem orgânica, com curvas de precisão. O tradicional AutoCAD, ainda amplamente utilizado na engenharia civil, possui ferramentas de modelagem 3D, porém são muito limitadas, se destacando mesmo somente em desenhos 2D. O SketchUp é um *software* bastante utilizado na área da arquitetura, muito simples e intuitivo, e é uma ótima ferramenta para iniciantes em modelagem.

O Fusion é uma ferramenta recente desenvolvida pela Autodesk, e seu princípio vem ao encontro dos objetivos deste estudo. Ele contempla ferramentas de modelagem livre, “*freeform*”, modelagem poligonal, além de conter ferramentas CAD/CAE/CAM. A ideia do *software* é abordar todo o processo de desenvolvimento do produto, desde o conceito até o detalhamento, sendo que os arquivos ficam compartilhados na nuvem, sempre atualizados na versão mais recente para toda a equipe de trabalho.

O Blender é um *software* de modelagem tridimensional, também chamado de suíte 3D, pois ele possui ferramentas para realizar qualquer trabalho em termos de computação gráfica. Uma das principais vantagens do Blender consiste em ser de código aberto, possuindo uma comunidade mundial de desenvolvedores. É um dos *softwares* que mais cresce atualmente em termos de inovação.

De forma geral, é possível afirmar que todos os *softwares* da lista são ferramentas consolidadas e estáveis, constituindo-se bons candidatos para os propósitos do estudo.

3.3 Classificação dos *Softwares*

No objetivo de avaliar os méritos em diversos aspectos de cada um dos *softwares*, foram elencados critérios pertinentes para a avaliação, divididos basicamente em duas categorias: características gerais e características técnicas.

As características gerais são as seguintes:

Linguagem de Programação – linguagem pela qual o *software* foi desenvolvido;

Sistema operacional – Windows, MacOS e Linux – sistemas operacionais em que o *software* trabalha;

Custo da Licença – valor para aquisição do *software*, em planos anuais de licença comercial;

Comunidade – quantidade de pessoas que usam o *software* e facilidade de encontrar conteúdo sobre ele, tutoriais e treinamento;

Requisitos de Hardware – memória, disco rígido, placa de vídeo e processamento recomendados para operar o *software*.

As características técnicas são as seguintes:

Interface – facilidade e intuitividade na forma em que o *software* se apresenta e dispõe as ferramentas para modelagem e o processo de interação como um todo;

Atalhos – utilidade e influência dos atalhos no processo de modelagem;

Customização – personalização e modificação da interface;

Métodos – sistemas que o *software* faz uso para seu processo de modelagem;

Portabilidade – variedade de formatos para exportação e importação, garantindo maior integração com outros *softwares*.

Entende-se que, para os fins deste estudo, alguns critérios de seleção são mais importantes que outros e, estando eles em pé de igualdade, podem camuflar o resultado na hora da avaliação. Para resolver essa questão, os critérios receberam graus de importância: baixo, médio e alto, que equivalem a peso 1, 3 e 5, respectivamente. De forma geral, priorizaram-se os critérios ligados ao processo de modelagem, seguidos de critérios que dão suporte aos outros e, por último, os critérios de menor influência.

Quadro 3 – Graus de Importância

CRITÉRIO	GRAU DE IMPORTÂNCIA
Linguagem de Programação (LP)	Baixo
Sistema operacional (SO)	Médio
Custo da Licença (CL)	Alto
Comunidade (CM)	Médio
Requisitos de <i>Hardware</i> (RH)	Alto
Interface (I)	Alto
Atalhos (A)	Alto
Customização (CT)	Médio
Métodos (M)	Baixo
Portabilidade (P)	Alto

Fonte: Autor, 2020.

Com todos os critérios definidos e suas ponderações, é possível proceder com o processo de seleção. Todos os critérios devem ser considerados na avaliação e notas (N) devem ser atribuídas para cada um deles, considerando-se uma escala de 0 a 5, em que 0 não atende ao critério e 5 atende completamente. Assim que a avaliação for concluída, a comparação dos *softwares* pode ser iniciada. O grau de importância dado aos critérios, como definido anteriormente, serão utilizados para ponderar a importância do critério na nota final de cada *software* de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Nota final} = \text{Soma (N*GI)} / \text{NC}$$

N = Nota dada ao critério

GI = Grau de importância

NC = quantidade total de critérios

A seguir, a Tabela 1 apresenta as pontuações de cada *software*.

Tabela 1 – Avaliação dos *Softwares*

		<i>Softwares</i>								
Critérios	Importância	3ds	Alias	AutoCAD	Fusion	Maya	Blender	Cinema	Sketch	Rhino
LP	B	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SO	M	1	3	3	3	5	5	5	3	3
CL	A	3	1	3	4	3	5	2	4	3
CM	M	4	2	4	3	4	5	4	5	4
RH	A	2	1	2	4	3	5	2	3	3
I	A	3	3	3	4	3	4	4	4	4
A	A	3	3	3	5	3	5	3	4	3
CT	M	4	3	3	5	4	5	5	5	5
M	B	3	3	2	4	3	5	3	3	3
P	A	4	4	3	5	4	5	5	5	5
NOTA FINAL		11,0	9,2	10,7	15,1	12,7	17,0	13,0	14,7	13,4

Fonte: Autor, 2020.

Finalmente, com definição da lista classificatória dos *softwares*, tem-se suporte que serve como referência para a decisão de qual *software* deve ser implantado. Segundo a tabela, o mais adequado para os objetivos deste estudo é o Blender 3D, o que, obviamente, não significa que ele seja superior aos outros, mas foi o que se sobressaiu para as condições estipuladas. Qualquer um dos *softwares* seria capaz de desempenhar a atividade e, numa seleção mais ampla, mais critérios poderiam ser avaliados, como fatores internos da empresa a qual estaria se aplicando a seleção.

É importante entender também que a tabela fornece mais informações no que diz respeito aos *softwares* avaliados. É possível observar que os de menor pontuação são os da linha da Autodesk. Isso pode ser justificado pelo fato de que a vertente da Autodesk é sistema CAD, então a influência desse sistema sobre a gama dos produtos da Autodesk se reflete no processo de modelagem, que, por sua vez, está ligado com a interface do programa e como ele interage com o usuário. Enquanto os outros *softwares* que tem sua origem na vertente da arte digital possuem interfaces mais amigáveis e comandos simplificados. A Autodesk possui esse leque de produtos justamente para atender as mais variadas especificidades de projeto e, por causa da deficiência relatada anteriormente, recentemente desenvolveram o Fusion 360, que tem como público-alvo *designers* e equipes multidisciplinares. Ele tem uma interface mais

acolhedora, intuitiva e métodos de modelagem livres, o que o levou a ficar com a segunda melhor pontuação.

Mesmo o Fusion 360 tendo um grande potencial, ainda é uma ferramenta nova e, por isso, ainda tem muito a evoluir. Sua comunidade ainda está em formação e esse foi um dos fatores que o impediu de receber a melhor pontuação.

Já o Blender levou vantagem por ser um *software* mais antigo e por ser de código aberto, possuindo uma comunidade mundial de desenvolvedores, sendo que essas pessoas não são apenas desenvolvedores, e sim usuários do *software*, o que simplifica seu processo de otimização, pois qualquer um tem acesso ao seu código e pode aperfeiçoá-lo, criando novas funcionalidades e corrigindo erros.

Além disso, por ser um *software* livre e tão poderoso quanto os demais do mercado, grandes empresas vêm adotando o Blender, e parte do dinheiro que iria para aquisição de licenças de *softwares* proprietários se destina a doações para desenvolvimento do *software* na área de interesse da empresa doadora.

Dessa forma, o Blender se sobressaiu nos critérios de Custo de licença e Comunidade. Outros critérios em que se destacou também foram os de Sistema operacional e Requisitos de *Hardware*, uma vez que o Blender opera tanto no Windows, quanto Mac e Linux, além de outras distribuições. Ele foi o *software* com o menor requisito de *hardware*, pelo fato de os demais *softwares* possuírem ferramentas em demasia, que, em grande parte das vezes, não são utilizadas, como funcionalidades de CAE/CAM, que são complexas e não compreendem o foco deste estudo.

O Blender destacou-se ainda nos demais critérios, porque sua principal funcionalidade é puramente modelagem 3D; então, sua interface e seus atalhos são direcionados a facilitar esse processo. Em questão de customização, por ele ser de código aberto, as possibilidades são infinitas. No quesito portabilidade, por não envolver interesses comerciais, ele exporta e importa os mais diversos formatos de arquivos 3D.

Destaca-se que, mesmo todos os *softwares* sendo modeladores 3D, a maior parte deles não representa concorrência direta um com o outro. Isso porque os propósitos pelos quais eles se originaram são distintos. Alguns são voltados para engenharia; outros, para arquitetura; outros, para o cinema, jogos eletrônicos, etc. e então, a forma como eles abordam a modelagem 3D se distingue.

3.4 Recomendações para Projeto

Concluiu-se na etapa anterior que, em se tratando de modeladores 3D, existem muitas especificidades que os tornam diferentes, por mais que sejam construídos em cima do mesmo conceito de computação gráfica, mesmos sistemas e técnicas, possuem propósitos e funcionam de formas distintas. Pode-se fazer uma analogia com veículos automotores, um carro e um barco: ambos se utilizam de um motor a combustão, seu princípio de locomoção é o mesmo, porém o propósito de um é trafegar em terra e do outro, na água.

As premissas foram estipuladas com o intuito de selecionar o *software* que mais proporcionasse a liberdade de criação, numa forma de introduzir a computação gráfica de forma impactante logo nas primeiras fases de projeto, auxiliando, mas não substituindo as atuais ferramentas e métodos, como o desenho tradicional. A intenção é que o modelo seja construído de forma colaborativa entre os membros da equipe.

O modelo tridimensional, como já descrito ao longo desta dissertação, tem várias vantagens em relação aos desenhos bidimensionais, porém não é necessário limitar-se ao modelo tridimensional nessa etapa. Com o desenvolvimento do conceito do produto e o modelo 3D pronto, se torna possível ir além do modelo através de ferramentas adjacentes da computação gráfica. Essa afirmação se refere à prototipação rápida e à realidade virtual.

A impressão 3D permite uma forma rápida de criar um modelo físico, fidedigno ao conceito gerado, diferentemente de técnicas de prototipação manuais. Geralmente na prototipação artesanal, o profissional responsável pela criação do modelo não é o mesmo que desenhou o conceito e, dessa forma, o resultado do modelo físico está condicionado ao fator humano, ficando dependente das interpretações do profissional. Assim sendo, a prototipação rápida, além da qualidade, traz agilidade ao processo e também redução de custos na fabricação do modelo, pois descarta o uso de moldes e ferramentas.

Dentro de uma relação custo benefício, a impressão 3D possui algumas limitações em relação à escala do objeto impresso. Para compensar essa limitação, sugere-se a utilização da realidade virtual, viabilizando a avaliação interna do produto, em casos em que isso se aplica, por exemplo, o *cockpit* de veículos, permitindo uma experiência imersiva, que proporciona uma ampla percepção do objeto em questão. A realidade virtual obteve grandes avanços na última década, sendo possível ter acesso a ela somente com um *smartphone*, embora existam equipamentos mais complexos, dependendo de quanto se pretende investir.

Acredita-se que a utilização da modelagem tridimensional, juntamente com a prototipagem rápida e a realidade virtual, traga grandes benefícios para o projeto conceitual. Tais benefícios traduzem-se, de forma prática, na melhor comunicação entre os integrantes da equipe de projeto, maior agilidade e assertividade no conceito do produto, que, por consequência, proporcionará benefícios às demais etapas do processo de desenvolvimento do produto.

4 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS

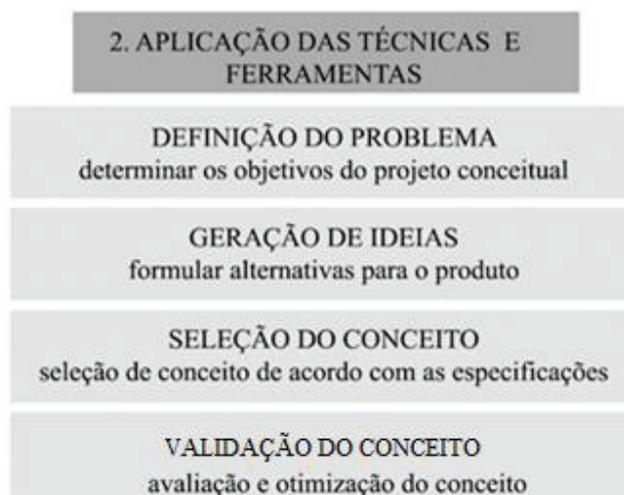
Com as ferramentas selecionadas e considerações sobre sua aplicação, segue-se para o segundo momento, no qual ocorre a aplicação das ferramentas através de um estudo de caso voltado ao setor de máquinas agrícolas, no qual será desenvolvido o *design* de um trator.

As técnicas e ferramentas de computação gráfica recomendadas foram selecionadas para serem utilizadas durante a fase em que as informações obtidas no projeto são transformadas pelo designer e através da geração de ideias, em características para o produto em desenvolvimento. Como já estabelecido anteriormente, essa fase se dá representada pelo projeto conceitual.

A utilização das ferramentas propostas para este estudo se deu dentro da dinâmica desse processo, auxiliando o *designer*, durante o processo criativo, a desenvolver produtos no momento da atividade de geração de ideias, buscando o refinamento das ideias iniciais. Neste estudo de caso, se dá o desenvolvimento de um maquinário agrícola, através dos meios propostos previamente.

Escolheu-se este tema para o estudo de caso pela relevância que esse setor da indústria representa em nível regional e nacional, tendo em vista que a agricultura é uma das principais bases da economia brasileira. Esse desenvolvimento se dá a partir de três etapas ilustradas na Figura 18, que foram baseadas em metodologias voltadas ao *design* em fases propostas por Baxter (2011), Löbach (2001), e, na engenharia, por Pahl et. al. (2005).

Figura 18 – Método de projeto



Fonte: Autor, 2020.

Na primeira etapa, deve ser realizada a análise e definição do problema, tendo em vista uma proposição dos benefícios de acordo com as metas fixadas na especificação do projeto.

Na segunda etapa, deve-se fazer a geração de ideias através da utilização das ferramentas computacionais selecionadas, pelas quais devem ser gerados inúmeros conceitos de possíveis soluções de acordo com os objetivos do projeto conceitual.

Na terceira etapa, deve-se identificar, entre todas as alternativas geradas, aquela que melhor atende as soluções do problema proposto, combinando e adaptando as ideias às necessidades de soluções e mesclando os vários aspectos positivos das diferentes ideias, podendo até gerar uma nova proposta conceitual, e findando na solução final.

4.1 Definição do Problema

A fim de desenvolver um estudo de caso plausível, estabeleceu-se uma situação problema hipotética a partir da qual se delimitou os objetivos de *design*. Entende-se que, para existir um projeto de *design*, precisa necessariamente existir uma situação, seja real ou hipotética, na qual haja um problema a ser resolvido. Neste estudo a situação é a seguinte:

A empresa Stara necessita desenvolver um novo trator, o qual será apresentado num grande evento do ramo agrícola no próximo semestre. Esse produto precisa reafirmar os valores da empresa e definir a nova linha de *design* que vai guiar todo o leque de produtos da marca. Ao mesmo tempo, esse produto deve reutilizar o máximo possível da parte estrutural do atual produto, para evitar grandes investimentos e modificações na atual linha de produção em relação aos materiais e processos de fabricação.

Dentro dessa situação, o problema é uma espécie de redesenho do produto atual. Trata-se de um produto com viés mercadológico, e não um produto conceitual e intangível. Esse desenho deve, através do seu apelo estético, criar identificação com o consumidor e transparecer características do produto e da marca. Pode-se afirmar, assim, que o trabalho se volta a uma linha de *styling*, cujo intuito é criar maior valor percebido por parte do consumidor.

O produto em específico a ser trabalhado é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Objeto de estudo



Fonte: Stara, 2020.

Para facilitar o entendimento sobre os objetivos deste trabalho e conseguir atender e transformar esses objetivos em uma representação visual, faz-se necessário conhecer o produto em si, o espaço que ele ocupa no mercado, a marca e seus padrões.

Trata-se de um veículo automotor utilizado para fins agrícolas, que, por muito tempo, foi visto como uma ferramenta, uma máquina para executar atividades no campo, e não como um objeto de *design*, passível de apelo estético. Considerava-se como se o consumidor escolhesse o produto simplesmente baseado em fatores técnicos, diferentemente de um automóvel de passeio, em que há *glamour* e significado em relação ao prestígio e *status* social que o carro representa. Dessa forma, o estilo estético dos tratores sempre andou na sombra do estilo estético dos carros, conforme é possível observar no Quadro 4.

Quadro 4 – Relação entre carros e tratores

ÉPOCA	TRATOR	CARRO
ANOS 40		
ANOS 80		
ATUAL		

Fonte: Autor, 2020.

Como é possível observar, os traços dos tratores são ditados pelos traços presentes nos carros. Em virtude de os carros serem considerados bens de consumo, recebem grande investimento em *marketing* e apelo estético, pois se sabe que eles são escolhidos mais pelo lado emocional do consumidor do que pelo lado racional. Porém, atualmente, um trator é escolhido da mesma forma que um carro.

Sendo assim, não teria por que os tratores seguirem fielmente os traços dos carros como se fossem meras adaptações de um carro para o campo, pois um carro possui funções e valores distintos em relação aos tratores. Um carro, de forma geral, através da sua estética, deve passar valores e sensações, como velocidade, pois sua função é locomoção. Já um trator deveria passar uma sensação de força, robustez, pois sua função é tracionar, ou seja, a forma deve seguir a função, sendo que a estética deve potencializar as percepções do consumidor em torno das qualidades do produto.

Para conceituar melhor a função de um produto, Lobach (2001) descreve que um produto possui três funções básicas: função prática, função estética e função simbólica. A prática refere-se à capacidade do produto em atender a uma necessidade de uso; no carro, por exemplo, a função prática seria a locomoção. A função estética é a relação entre um produto e

um usuário no nível dos processos sensoriais. E a função simbólica diz respeito ao significado cultural expresso pelo produto e identificado pelo usuário. No Quadro 5 é possível expressar de forma ilustrativa a função que cada produto prioriza.

Quadro 5 – Funções do produto

Função Prática	Função Estética	Função Simbólica
		

Fonte: Autor, 2020.

Como pode ser observado, os três carros possuem uma mecânica funcional, que se relaciona com a função prática do produto. Todos possuem uma função estética e possuem uma função simbólica, porém essas funções são trabalhadas de formas distintas em cada produto. No caso do primeiro carro, a função prática prevalece, pois ele foi desenvolvido deixando fatores estéticos de lado; é um carro leve, econômico, voltado para um público com menor poder aquisitivo.

Já o segundo carro prioriza fatores estéticos, como forma, acabamentos, detalhes do interior e revestimentos. Seu público tem maior poder aquisitivo, tendo parte do seu valor percebido atribuído ao prestígio do produto. O terceiro carro foi utilizado num filme de grande sucesso, tornando-se um ícone, transcendendo, portanto, as funções práticas e estéticas que foram primeiramente pensadas no seu desenvolvimento.

O terceiro carro não precisa se locomover, não precisa ser considerado bonito pelo senso comum, ele só precisa ser ele, cujo valor é incalculável, pois colecionadores estão dispostos a pagar preços variáveis. A função simbólica do produto acaba se tornando algo imprevisível e difícil de trabalhar, porque o produto está relacionado a esses aspectos sociais que atribuem valores positivos ou negativos a ele.

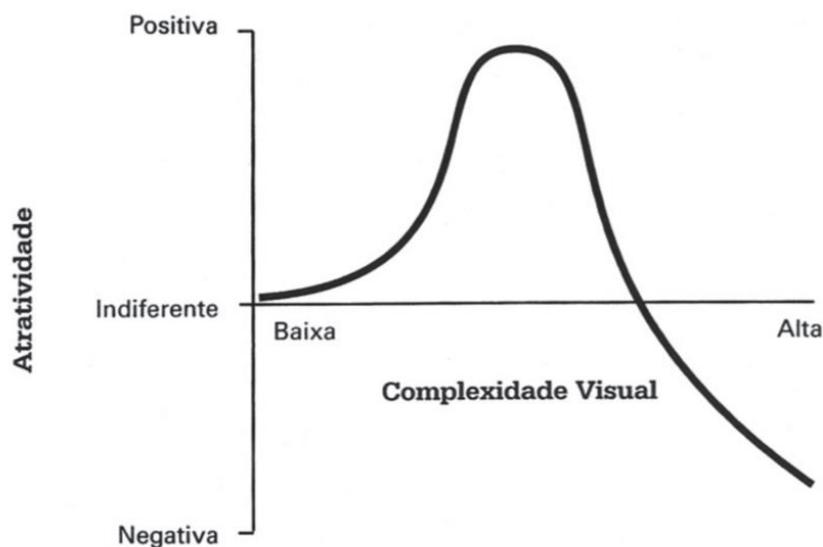
Em relação ao trabalho foco deste estudo, a situação estabelecida foi de que se deve manter a parte estrutural do produto, sua mecânica, não sendo necessário o desenvolvimento

de novidades relacionadas à função prática do produto. Trata-se de um redesenho da carenagem, desenvolvendo de forma consciente a função estética e simbólica do trator, para criar uma linguagem visual própria dos tratores, passando seus próprios valores e potencializando suas características para os consumidores, tornando o produto mais atrativo e mais competitivo no mercado.

Outro fator relevante é que, por não se tratar de um produto conceitual, deve-se levar em consideração o grau de inovação do produto. Num produto conceitual, a intenção é causar impacto no público, seja positivo ou negativo; ele nos faz refletir sobre conceitos já consolidados no mercado, no intuito de lançar novas tendências. Porém, um produto com viés comercial não deve causar estranheza no consumidor, e sim identificação, trazendo evolução, e não revolução ao mercado, habituando o público pouco a pouco às novidades tecnológicas.

Tendo em vista o contexto relacionado à percepção, há um quesito em que o apelo visual gera uma harmonia de formas e aceitação prévia do observador, chamada simplicidade visual. Essa característica, segundo Baxter (2011), oferece resultados de excelente estética e, muitas vezes, ótima funcionalidade. Na Figura 20, o gráfico de Berlyne, desenvolvido através de pesquisas sobre a atratividade de objetos pelo ser humano, percebe-se que a atratividade atinge o ápice quando a complexidade está nem muito baixa e nem muito alta.

Figura 20 – Gráfico do modelo de Berlyne



Fonte: Baxter, 2011.

O conceito de simplicidade é importante pela sua constância no intelecto humano, que, por si, tende a criar uma organização harmoniosa e unificada daquilo que é visto/observado. O processamento da mente atua em reduzir o número de informações ou unidades visuais levando formas mais básicas para serem assimiladas ou lidas, podendo, assim, distinguir o que é considerado agradável ou não.

Do ponto de vista do consumidor, simpatizante ou observador de um produto, ocorre, de maneira primária, o julgamento do produto por fatores ligados à visão e/ou aspectos tridimensionais do produto, sua forma. O apelo estético é um dos principais fatores que auxiliam na escolha e determinação de compra de um produto, tanto quanto os aspectos ligados aos fatores sociais, culturais e comerciais.

Segundo Baxter (2011), um produto industrial pode ter uma forma nunca vista e assim mesmo não causar tanta estranheza. Ele pode ser familiar, porque simboliza algo ligado a nossa percepção, classificando-o imediatamente em nosso cérebro como atraente ou sem atrativo. Essa percepção é feita instintivamente, buscando, na memória, emoções e sentimentos ligados a outros objetos semelhantes.

Com essas orientações em relação ao produto esclarecidas, ainda é necessário fazer uma breve introdução sobre a linguagem visual atual da empresa, avaliando seu leque de produtos para complementar essas premissas que guiarão o desenvolvimento do novo produto.

Os objetivos de estilo podem ser derivados de outros produtos da empresa, identificando-se com a marca da empresa e os aspectos semânticos e simbólicos do produto. Ao determinar a forma do produto baseado no estilo da empresa selecionada, deve-se levar em consideração que os produtos industriais projetados transmitem um significado simbólico. A compreensão do conteúdo simbólico dos objetos alarga bastante o entendimento sobre o estilo e a forma dos novos produtos projetados.

Quando se trata da linguagem dos produtos de uma empresa, entende-se que eles devem dar uma continuidade dentro das estratégias propostas pela empresa. Na Figura 21, é possível observar como um produto pode ser identificado além da marca da empresa, através da sua simbologia que se mantém de geração em geração, criando uma identidade para o produto, passando uma ideia de estabilidade e confiança para o consumidor.

Figura 21 – Simbologia do Produto



Fonte: Autor, 2020.

De forma geral, o traço e o estilo mudaram, a proporção das formas também; o que se manteve foi a relação dos elementos visuais, como os quatro faróis redondos e duas grades centrais. Em outras montadoras e outras indústrias de bens de consumo, acontece o mesmo processo, porém existem casos em que esse princípio não foi considerado, o que causou impacto negativo no público, gerando incerteza, desconfiança, não passando credibilidade ao produto.

Em relação à empresa definida para o estudo, pode-se observar, na Figura 22, que não existe uma linguagem comum dos traços e da forma; o principal elemento visual são as cores dos produtos, representadas pelo verde e o alaranjado.

Figura 22 – Simbologia dos Produtos da Empresa



Fonte: Stara, 2020.

Por não existir uma linguagem padrão nas formas dos produtos, o estilo que será desenvolvido para este estudo fica livre para sugestão, baseado nas outras diretrizes descritas anteriormente. Os elementos visuais que ficam restritos se resumem nas cores e na marca, mantendo essa identidade característica da empresa.

A importância deste entendimento sobre os objetivos do *design* refletem diretamente na qualidade do *design* e na sua assertividade, pois sem a clareza do que será criado, o que for criado não é de utilidade alguma, podendo até mesmo prejudicar o desempenho do produto no mercado.

4.2 Geração de Ideias

Segundo Baxter (2011), no projeto conceitual, o objetivo é desenvolver princípios de estilo para o novo produto. Isso significa uma definição da forma global do produto, não sendo necessário preocupar-se com o projeto de cada componente nesse estágio. Dessa forma, esta etapa de geração de ideias é o momento em que se expressa todo o conhecimento adquirido na primeira etapa. O intuito é utilizar as ferramentas computacionais relacionadas à

computação gráfica sugeridas anteriormente, com o objetivo de agilizar o processo de desenvolvimento e otimizar a comunicação entre a equipe de projeto, através de uma visualização mais clara do produto em desenvolvimento.

A preparação para geração de ideias inicia-se com a definição do conceito, a qual deve compreender um pensamento divergente, de modo que permita explorar uma ampla gama de alternativas para solucionar o problema, examinando todos os ângulos possíveis de sua solução. A definição do conceito pode ser suficientemente ampla, para comportar diversas alternativas de solução, mas deve ter um objetivo claro e fronteiras bem estabelecidas.

Dessa forma, então, se descreve um conceito que indaga a ideia geral do produto, o que ele quer representar em sua essência, e isso guiará a geração das ideias. Esse conceito deve ser criado levando-se em consideração as premissas definidas no item anterior.

Conceito do Produto:

O trator simboliza a força do campo, a mecanização e a evolução da atividade de cultivar, a independência do homem em relação à força dos animais. As máquinas agrícolas representam que o homem, agora, está à frente, ele é a própria força, e as máquinas podem ser vistas como as ferramentas que movem a terra.

Um trator deve passar ideia de força, de robustez e de solidez. Deve possuir certa imponência, pois sua função prática é tracionar, diferentemente dos carros, cuja função prática é locomoção, e sua forma passa a ideia de velocidade. Dito isto, a forma de um trator não precisa seguir princípios aerodinâmicos; primeiro, porque não teria efeito prático; segundo, porque não condiz com o próprio ideal do trator.

Então, essa dependência formal entre tratores e carros deve ser repensada. Obviamente, existem tendências que transcendem um produto específico e atingem todo um segmento, como os eletrodomésticos, em que, por vezes, o estilo se reproduz em produtos distintos, traços semelhantes são usados em uma geladeira, micro-ondas, máquina de lavar, liquidificadores e cafeteira, mesmo sendo produtos com funções práticas totalmente diferentes.

Outro ponto levantado no item anterior foram os elementos visuais da marca. As cores devem se manter como no atual padrão, pois elas são os principais aspectos de identificação da marca. Enfim, o produto deve conseguir transparecer todos esses conceitos através da sua configuração, composta por todos os elementos visuais, forma, cores, materiais e tudo que envolve a percepção do consumidor.

O Quadro 6 ilustra as características definidas no conceito de um modo mais objetivo e de fácil visualização e por consequência ligação.

Quadro 6 – Palavras-conceito

Robustez	Materiais
Solidez	Tração
Força	Segurança
Marca	Simplicidade
Cores	Praticidade

Fonte: Autor, 2020.

Com o conceito definido, inicia-se o processo de inspiração. Segundo Baxter (2011), considera-se o processo de inspiração inicial como parte essencial na estilização do conceito de novos produtos, com analogias direcionadas, por exemplo. Portanto, oportuniza-se um painel visual (Figura 23) que orienta o desencadeamento criativo relacionado ao conceito definido, fomentando a incubação da ideia e organizando, dessa forma, um processo mental mais orientado para o resultado, como também é explicado por Back *et al.* (2008), gerando uma introspecção ao idealizador.

Figura 23 – Painel Visual



Fonte: Autor, 2020.

O painel apresentado oferece um entendimento de estilo e esquematização de ideais para o produto. Ele ilustra características do conceito definido, no qual se podem elencar elementos relacionados à força, ao campo, entre outros atributos que podem ser vinculados ao pensamento criativo e respectivo a cada um destes.

Antes do início das atividades de geração de ideias e conceitos, devem-se estabelecer requisitos para início das modelagens, ilustrados no Quadro 7. Esses requisitos servem de referência para o controle da qualidade do desenvolvimento do projeto, determinando as principais características de forma e função do produto e estabelecendo os critérios para que um produto insatisfatório seja descartado durante a fase do desenvolvimento. Para Baxter (2011), essa ferramenta serve como guia para a equipe de projeto, de modo que nada seja esquecido durante seu desenvolvimento.

Quadro 7 – Lista de Requisitos

Requisitos	Obrigatórios	Opcionais
Faróis	X	
Cockpit	X	
Retrovisores		X
Sinaleiras		X
Paralamas	X	
Capô	X	
Escadas		X
Cores		X

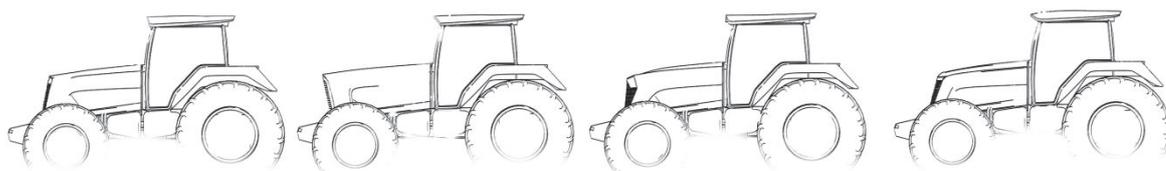
Fonte: Autor, 2020.

Alguns componentes que formam a estrutura do conceito do veículo tracionado agrícola devem obedecer a certas especificações, pois influenciam diretamente no desenvolvimento do projeto. De acordo com as diretrizes antes determinadas em consonância com especificidades deste trabalho, os requisitos do projeto não têm caráter quantitativo nem tampouco são mensuráveis, de forma que determinam apenas os aspectos obrigatórios e opcionais para o desenvolvimento do produto industrial.

Posteriormente a essas definições, parte-se para o desenvolvimento de alternativas ou conceitos, pois, como afirmam Baxter (2011) e Back *et al.* (2008), os princípios do

pensamento criativo já estão em progressão devido aos estudos elaborados e ao conhecimento adquirido do produto, que, neste caso, é o trator agrícola. Sendo assim, a Figura 24 apresenta uma técnica que busca por linhas expressivas do produto, expondo os conceitos em formas de traços da silhueta do trator que nortearão o resto do processo de criação.

Figura 24 – Esboços iniciais



Fonte: Autor, 2020.

O resultado das técnicas de expressão da criatividade aparece melhor quando representado graficamente. Os desenhos já esquematizados, rascunhados e até mesmo esboçados ainda não permitem que sejam totalmente compreendidos, o que torna relevante outras modelagens que permitam tirar um problema da situação inicial e levá-lo a situação final desejada.

Em metodologias tradicionais, o direcionamento nesta etapa é criar inúmeras variações dos primeiros esboços, sempre aprimorando até se chegar a um desenho selecionado, a partir do qual, então, será criado o modelo, seja físico ou virtual, para análise e otimização. Dessa forma, a computação gráfica só entra como um recurso após o processo de concepção inicial do produto, não compreendendo uma etapa de criação, mas somente representação de algo existente. Neste estudo, a proposta é, a partir dos esboços iniciais, desenvolver os conceitos já de forma tridimensional, com a finalidade de melhorar e agilizar o processo de geração de alternativas.

Então, após a este momento criativo dos primeiros esboços, elabora-se a volumetria dos traços já no *software* 3D, trabalhando em cima da base estrutural original do veículo, possibilitando, assim, descartar alternativas inexequíveis. Baseando-se numa volumetria inicial, cria-se uma cópia dela para cada pequena alteração, mantendo-se, dessa forma, toda a trajetória do desenvolvimento, sendo possível voltar para estágios mais iniciais ou resgatar traços dos outros estágios e rearranjá-los, criando novos.

A Figura 25 apresenta uma imagem tirada do *software*, a qual demonstra as várias etapas da criação de uma alternativa final, em que, através da modelagem tridimensional, foram testados vários aspectos em relação à forma do produto, ao dimensionamento. Todos esses modelos que traçam o passo a passo do desenvolvimento ficam arquivados para fins de consulta.

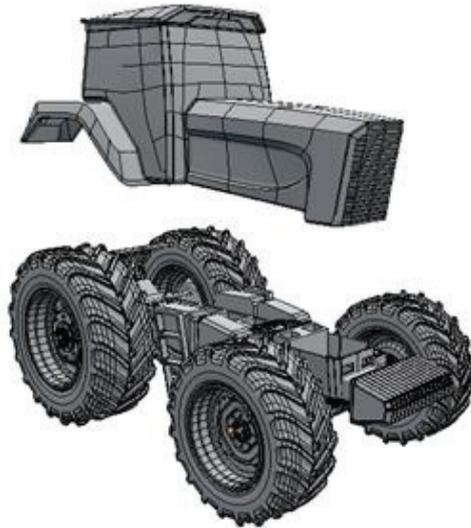
Figura 25 – Geração de Alternativas



Fonte: Autor, 2020.

Desse modo, o projetista consegue explorar de forma eficiente o pensamento criativo, gerando um grande número de variações. Os outros membros da equipe podem acompanhar toda a evolução e o raciocínio por trás de cada alternativa, visualizando a trajetória e podendo colaborar de forma muito mais efetiva para a sequência do desenvolvimento. Basicamente, o modelo pode ser dividido em duas partes, a que sofreu processo de desenvolvimento e a estrutura que se manteve, facilitando, assim, a alternância de alternativas para melhor visualização. A Figura 26 ilustra as partes separadamente.

Figura 26 – Partes do Modelo



Fonte: Autor, 2020.

Depois de gerar quantidade suficiente de traços e estilos que expressassem o conceito, os quais passaram por adaptações e recombinações, chega-se a alternativas finais, mais elaboradas e assertivas, como demonstra a Figura 27.

Figura 27 – Alternativas Finais



Fonte: Autor, 2020.

A partir dos conceitos gerados, começa a seleção, na qual um é escolhido dentre os outros para a continuação do desenvolvimento do produto.

4.3 Seleção do Conceito

Depois do desenvolvimento de alternativas, há a necessidade de seleção de uma alternativa e, para tal, pode-se usufruir de diversos parâmetros e ferramentas, como menciona Baxter (2011). Uma das técnicas mais expressivas é por votação em um grupo composto por membros selecionados de acordo com seus cargos e/ou experiência em relação ao produto, com visão comercial e de mercado.

Para fundamentar a escolha do conceito, neste estudo, quantificaram-se atributos qualitativos através de um quadro de pontuações, numa escala de 1 a 5, conforme apresenta a Tabela 2. Os atributos apresentados foram extraídos a partir do conceito e das intenções de projeto definidas em relação ao produto, e avaliados conforme seus elementos de linguagem visual.

Tabela 2 – Avaliação das Alternativas

ATRIBUTOS	ALTERNATIVAS			
	UM	DOIS	TRÊS	QUATRO
Robustez	5	4	4	3
Força	5	4	5	2
Estabilidade	4	3	5	4
Simplicidade	4	3	5	5
Harmonia	4	2	4	4
Imponência	4	5	5	3
TOTAL	26	21	28	21

Fonte: Autor, 2020.

Mesmo que todas as alternativas tenham seguido por base o mesmo conceito, elas se diferem na forma pela qual expressam o conceito, e isso deve ser levado em consideração na hora da seleção. A alternativa de número três, em especial, expressa muito bem a ideia de força e robustez, embora todas as demais alternativas também expressem.

Ainda a respeito da alternativa de número três, ela possui traços simples, e a parte frontal do capô é inclinada para frente, se associando à ideia de tração. Os traços horizontais da grade passam uma ideia de estabilidade, além de garantir a entrada de ar adequada para o interior do capô. Os para-lamas e o teto também acompanham com traços fortes e horizontais. Esses fatores justificam a seleção da alternativa três, apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Alternativa escolhida



Fonte: Autor, 2020.

Além de corresponder com os ideais propostos pelo conceito, o modelo selecionado resgata traços de tratores antigos, linhas retas e agudas, fazendo uma conexão com os produtos da marca. Ressalta-se também que o produto visualmente não é tão “inovador” ou “complexo” ao ponto de um consumidor não reconhecer que se trata de um trator, como mencionado anteriormente. Afinal, é extremamente importante que grandes mudanças sejam feitas de forma suave quando se trata de um produto que tem boa aceitação no mercado.

4.4 Verificação de Conceito

Antes de encerrar o desenvolvimento do conceito e seguir para as etapas de detalhamento, em que se trabalha na parte de engenharia do produto, são realizadas as últimas considerações em torno do modelo selecionado, tanto em questões estético-formais, quanto

em questões adjacentes, relacionadas à funcionalidade da solução. O intuito dessa verificação é dar um respaldo significativo ao modelo, antes de avançar para as próximas fases de projeto, evitando-se ao máximo o retrabalho nas fases em que ajustes se tornam mais dispendiosos.

Em grande parte da indústria, essa etapa é quando se criam *mock-up*, protótipos, modelos em escala real ou não, com o material definitivo ou não, com o intuito de avaliar aspectos desejados. Dependendo da especificidade do projeto, essa etapa geralmente possui um custo elevado, em virtude dos materiais e das ferramentas para execução, e, por isso, algumas empresas deixam a etapa de prototipação posteriormente ao detalhamento. Ou seja, o produto é testado na prática, mesmo isso contendo um alto risco, o que acontece comumente. Isso acaba ocasionando os *recalls* ou as alterações custosas no projeto.

Portanto, o intuito em aplicar o 3D e suas vantagens já nas etapas iniciais do projeto é de evitar esse tipo de problema. Contudo, mesmo que o modelo seja construído em cima da estrutura final, já garantindo uma considerável assertividade, a probabilidade é que haja alguns ajustes menores que devem ser revisados na etapa de detalhamento do projeto. O que se espera, entretanto, é que não sejam ajustes que venham a gerar grandes alterações no produto.

Para isso, a verificação pode se dar através do meio virtual, avaliando o modelo no ambiente tridimensional do próprio *software* ou explorar outras tecnologias como as sugeridas anteriormente, a realidade virtual e a prototipação rápida. Ambas se aproveitariam do modelo 3D já desenvolvido, não sendo necessários maiores investimentos de tempo para a utilização dessas técnicas. Com isso, todos os integrantes da equipe conseguem ter uma ampla visão de todos os detalhes do modelo e podem otimizá-lo no que for necessário e satisfatório, pois alterações nessa etapa são fáceis e de baixo custo.

Referente ao modelo tridimensional desenvolvido neste estudo, ele foi adaptado para a impressão 3D, dividindo-se em peças e componentes maiores e menores, organizados na dimensão da impressora (Figura 29), que possui uma base de impressão de 25cm x 30 cm. Dessa forma, resultou em dois arquivos de impressão, possibilitando melhor aproveitamento para obter-se a maior escala de modelo possível.

Figura 29 – Modelo adaptado para impressão



Fonte: Autor, 2020.

A partir da impressão dos modelos, obteve-se o conjunto de peças impressas, as quais passaram por um processo de acabamento manual. O resultado da impressão pode ser visualizado na Figura 30.

Figura 30 – Processo de impressão das peças

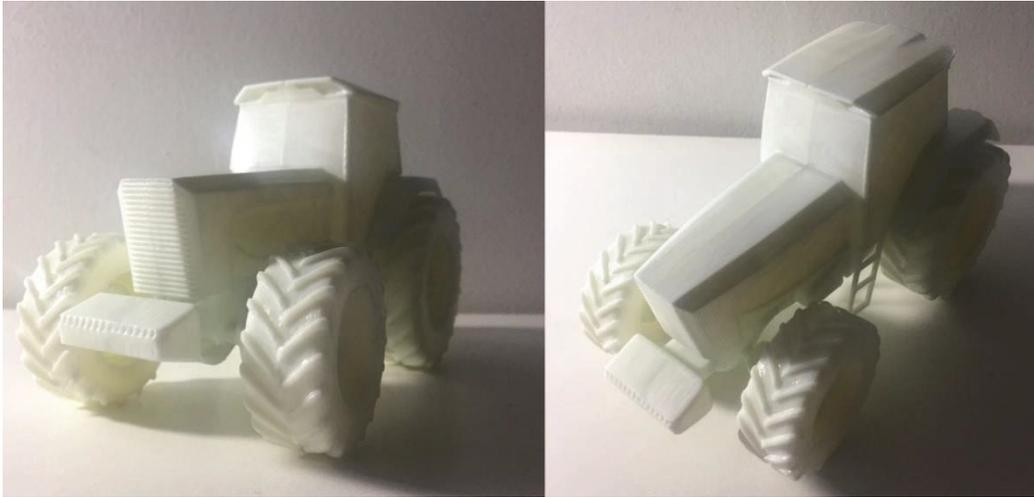


Fonte: Autor, 2020.

Posteriormente ao processo de impressão e acabamento das peças, foi realizada a montagem do conjunto. Como esperado, não houve imprevistos significativos, e as peças se

encaixaram adequadamente, em consequência da verificação no ambiente virtual e da precisão da máquina de impressão. A Figura 31 demonstra o modelo montado.

Figura 31 – Modelo montado



Fonte: Autor, 2020.

Com o modelo físico, a percepção sobre ele se torna muito mais ampla do que as projeções virtuais, pois, além de estímulos visuais, é possível receber estímulos táteis. O modelo torna o conceito acessível para todas as pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento do produto – engenheiros, *designers*, demais funcionários e potenciais consumidores. Assim como no modelo virtual, o modelo físico também está separado em duas partes, permitindo que, em caso de alteração, somente a parte que sofreu *redesign* seja substituída, ou, ainda, permitindo que outras alternativas sejam impressas, caso se julgue necessário.

Outro ponto relevante é que depois da revisão e verificação do modelo, há possibilidade de reutilizá-lo nas fases posteriores. Isso significa que deve existir portabilidade entre o *software* através do qual o modelo foi gerado e o *software* através do qual será realizado o detalhamento do produto/projeto mecânico, que consiste em um *software* paramétrico, como já mencionado anteriormente, dentre eles o SolidWorks, SolidEdge, Autodesk Inventor. Sugere-se que o modelo seja desenvolvido com a modelagem NURBS, em vez de um modelo de malha poligonal, pois o reaproveitamento do modelo se torna muito mais efetivo.

Com essas medidas, a informação em torno do produto na relação *design* e engenharia se torna íntegra e sem ambiguidades, não só nas atividades posteriores relacionadas ao detalhamento do projeto, mas também no que diz respeito à concepção, no desenvolvimento colaborativo do produto.

A partir da alternativa selecionada e da verificação final, o modelo ainda deve seguir para avaliações mais precisas e dedicadas, quando se confirmam a exequibilidade produtiva e a conveniência comercial. E, então, ser convertido em um projeto detalhado que pode ser transferido para o planejamento de manufatura e montagem. Assim é possível compreender a importância da comunicação interna e a inter-relação entre os setores envolvidos, pois há uma necessidade de troca de informações que podem orientar e atribuir melhorias nos processos do desenvolvimento do produto.

Com o estudo de caso encerrado, os resultados do trabalho são remetidos a uma seleção de ferramentas e técnicas que podem ser usufruídas para aplicações em diversos ramos da indústria, auxiliando o desenvolvimento de segmentos de produtos, seja qual for sua categoria.

O objetivo não é criar uma nova metodologia, mas incentivar o uso de ferramentas computacionais, adaptando as metodologias existentes para a utilização de novas tecnologias. No entanto, é possível ainda modificar a proposta para a necessidade de projeto específico. O estudo de caso foi adotado para demonstrar a aplicação e a abrangência das ferramentas e sua colaboração para a eficiência do processo de concepção do produto.

Conforme afirmam Pahl *et al.* (2005), ao apresentarem a importância do desenvolvimento de produto de forma que seja atrativo e disposto na ocasião devida no mercado, o produto também deve ser conduzido por procedimentos de boas soluções, planejável, flexível, otimizável e passível de verificação. Sendo assim, o processo pode facilitar o desenvolvimento do produto.

Considerando ainda a praticidade projetual e adequação do *design* para o exterior do veículo, de forma que facilite o processo de fabricação, o resultado deste estudo também apresenta um meio de modularizar esse processo. É o que se demonstra na Figura 25, que apresenta as alternativas cuja base é a mesma, alternando somente as partes da carenagem. Então, sem dificuldades, é possível criar grandes variações no design do produto.

Assim, obteve-se um novo modelo do produto original proposto, passando unicamente por uma atualização morfológica e pouca alteração estrutural que não exija do fabricante grandes mudanças no processo de fabricação, que era a proposta do estudo de caso.

5 CONCLUSÕES

No decorrer deste estudo, constatou-se seu caráter exploratório, que permite compreensão do pensamento projetual, ferramentas computacionais, como as tridimensionais, para o processo de desenvolvimento de produtos. Também se relacionam as perspectivas profissionais das áreas do *design* e da engenharia através das informações de projeto interligadas no desenvolvimento de um produto, principalmente na concepção.

O objetivo desta dissertação ocorre na seleção de ferramentas computacionais, com seu desenvolvimento permeando os capítulos 3 e 4, em que apresenta seu resultado, o qual se avalia como cumprido. As ferramentas computacionais foram selecionadas e avaliadas e, posteriormente, aplicadas em um estudo de caso.

Em resumo, o estudo desenvolvido caracteriza-se da seguinte forma:

- Seleção de *softwares* voltados para a etapa de projeto conceitual, com intuito de geração e compreensão de dados relacionados ao *design* do produto;
- Aplicação na indústria, idealizado com o foco em novas tecnologias, devido aos benefícios relacionados à redução de tempo;
- Flexibilidade por permitir alterações, atualizações, modificações ou expansões conforme seja necessário;
- Possibilidade de uso em diversas áreas ou produtos, assim como pode ser utilizado de forma mais específica, dependendo da necessidade de projeto.

Um aspecto importante a se relatar como concluinte é que apresenta um meio que presume praticidade pela organização das etapas e ferramentas técnicas, através da leitura contínua de seus dados. Essa estrutura permite usufruir de métodos teóricos para melhoria de processos em âmbito industrial, pois busca ser flexível e tende à melhoria contínua para sua atualização e uso eficiente.

Atendendo à realidade do mercado e ao seu nível competitivo, agregar valor percebido ao produto é uma questão fundamental. Adicionar ao produto atributos e características que o diferencie dos demais de maneira objetiva, visível e concreta é uma tarefa que exige planejamento de forma precisa e que pode ser alocada às ferramentas selecionadas, dando suporte ao seu desenvolvimento.

Ainda é conveniente mencionar que a seleção resultante deste estudo pode ser aplicada e utilizada em outros ramos da indústria, o que permite a adaptação dos critérios e graus de

importância, conforme a necessidade do projeto. Apesar da aplicação exemplificada para o conceito exterior da carenagem de um tracionado agrícola, o processo pode ser vinculado também para outras partes e componentes, como o interior do veículo. Isto, portanto, pode ser indicação de um trabalho futuro – a simulação do interior do *cockpit* do veículo, tanto quanto a programação computacional do detalhamento do produto a partir do modelo apresentado nesta dissertação.

Por fim, consideram-se atendidos os objetivos a que se propõe este estudo, como a compreensão de algumas metodologias de projeto e modelagem tridimensional, através do referencial bibliográfico, que auxiliou no desenvolvimento da estrutura resultante deste estudo, assim como o processo de desenvolvimento do tracionado agrícola e suas imprescindíveis condicionantes.

A vinculação do raciocínio criativo à metodologia de desenvolvimento de projeto conceitual permitiu a construção de variados modelos com alterações mais simples de serem realizadas e também analisadas. Por exemplo, através de uma idealização, a aplicação das ferramentas computacionais em um processo de projeto conceitual de tracionado agrícola, usufruindo de técnicas oportunizadas pela teoria de alguns autores, comprovando a funcionalidade das ferramentas selecionadas com ênfase em resultados.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. **Técnicas de CAD**. Apostila Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

AYRES FILHO, C.; SHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD do processo de projeto arquitetônico**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.

ARISOY, E.; ORBAY, G.; KARA, L. Free Form Surface Skinning of 3D Curve Clouds for Conceptual Shape Design. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**. September 2012, Vol. 12(3), pp.031005-1-031005-13.

BACK, N. *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BARBOSA, J. **Projetar não é criar, nem criar é projetar: um estudo sobre metodologias projetuais em relação ao pensamento projetual**. CEFET/PE. Artigo apresentado no CIDI, 2007, Curitiba - PR.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BONSIEPE, G. **Metodologia experimental: desenho industrial**. Brasília: CNPq /Coordenação Editorial, 1978.

BÜRDEK, B. E. **Design. História, Teoria e Prática do Design de Produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BOMFIM, G. A. **Metodologia para o desenvolvimento de projetos**. João Pessoa: UFPB, 1995.

BRIÈRE-CÔTÉ, A.; RIVEST, L.; MARANZANA, R. Comparing 3D CAD Models: Uses, Methods, Tools and Perspectives. **Computer-Aided Design and Applications**. 01 January 2012, Vol. 9(6), p.771-794.

CARVALHO, A. B. A. **Gestão de Projetos Cooperados no Desenvolvimento de Máquinas e Implementos Agrícolas no Brasil: uma abordagem entre empresa, clientes e fornecedores**. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CHANG, T.; WYSK, R.; WANG, H. **Computer-Aided Manufacturing**, 2005.

CHU, C.; WANG, I.; WANG, J.; LUH, Y. 3D parametric human face modeling for personalized product design: Eyeglasses frame design case. **Advanced Engineering Informatics**. April 2017, Vol. 32, pp. 202-223.

CHEON, S.; KIM, B. C.; MUN, D.; HAN, S. A procedural method to exchange editable 3D data from a free-hand 2D sketch modeling system into 3D mechanical CAD systems. **Computer-Aided Design**. 2012, Vol. 44(2), pp. 123-131.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Revolutionizing Product Development: quantum leaps in speed, efficiency and quality**. New York: Free Press, 1992b.

COSTA, J. M. H.; AMARAL, C.S.T.; ROZENFELD, H. Method of analyzing and selecting *software* to support NPD process management: experiences and lessons learned. **IPDMC**, Hamburg, Germany, 29 de junho e 1º julho de 2008.

DE ARAÚJO, B.R.; CASIEZ, G.; JORGE, J.A.; HACHET, M. Mockup Builder: 3D modeling on and above the surface. **Computers and Graphics**, 2013, Vol. 37(3), pp.165-178

DENIS, R. C. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

DIAGNE, S.; COULIBALY, A; De Bertrand De Beuvron, F. Complex product modeling based on a Multi-solution eXtended Conceptual Design Semantic Matrix for behavioral performance assessment. **Computers in Industry**. January 2016, Vol. 75, pp.101-115.

EL MARGHANI, V. G. R. **Modelo de Processo de Design**. São Paulo: Blücher Acadêmico, 2011.

FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2002.

FEEMAN, S. M.; WRIGHT, L. B.; SALMON, J. L. Exploration and evaluation of CAD modeling in virtual reality. **Computer-Aided Design and Applications**. November 2018, Vol. 15(6), p.892-904.

FLORIO, W. Tecnologia da informação na construção civil: contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura. **III FÓRUM DE PESQUISA FAU, MACKENZIE**, 2007.

FERREIRA, R.; SANTOS, R. Limitações da representação 2d na compatibilização espacial em projetos de edifícios e a aposta no cad 3d como solução. **III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil**. Porto Alegre, 2007.

FOGGIATTO, J. A.; VOLPATO, N.; BONTORIN, A. C. B. Recomendações para modelagem em sistemas CAD-3D. **COBEF**, São Paulo, de 15 a 18 abril de 2007.

GOMES, L. V. N. **Criatividade: projeto < desenho > produto**. Santa Maria, RS: sCHDs Editora, 2004.

GOMES FILHO, J. **Gestalt do Objeto, Sistema de Leitura Visual da Forma**. São Paulo: Escrituras, 2000.

GOMEZ, L. S. R. **Os 4P's do Design: uma proposta metodológica não linear de projeto.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

GREENHALGH, S. The effects of 3D printing in design thinking and design education. **Journal of Engineering, Design and Technology.** 2016, Vol. 14(4), pp.752-769.

GROOVER, M. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

HARIH, G.; DOLSAK, B. Tool-handle design based on a digital human hand model. **International Journal of Industrial Ergonomics.** July 2013, Vol. 43(4), pp.288-295.

JAISSWAL, P.; HUANG, J.; RAI, R. Assembly-based conceptual 3D modeling with unlabeled components using probabilistic factor graph. **Computer-Aided Design.** May 2016, Vol.74, pp. 45-54.

JULIÁN, F.; ALBARRACÍN, J. **Desenho para designers industriais.** 2. ed. Lisboa: Estampa, 2010.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento:** aplicada a novas tecnologias, produtos e processos. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2009.

KASPER, H. **O processo de pensamento sistêmico:** um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LI, L.; LIU, F.; PENG, C.; GAO, B. Computer-aided 3D human modeling for portrait-based product development using point- and curve-based deformation. **Computer-Aided Design.** February 2013, Vol. 45(2), pp. 134-143.

LÖBACH, B. **Desenho Industrial: base para configuração dos produtos industriais.** 1 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2001.

LUXIMON, Y.; BALL, R. M.; CHOW, E. H.C. A design and evaluation tool using 3D head templates. **Computer-Aided Design and Applications.** September 2015, p. 1-9.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis:** os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MINTZBERG, H.; QUIM, J. B. **O processo da estratégia.** 3. ed. Trad. James Suderland Cook. Porto Alegre: Bookman, 2001.

NOBELIUS, D.; TRYGG, L. Stop chasing the Front End Process – management of the early phases in product development projects. **International Journal of Project Management,** Gothemburg, v. 20, p. 331-40, March 2001.

PAHL, G. *et al.* **Projeto na engenharia:** fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Blucher, 2005.

- PAULA, O. J. **Análise do processo de desenvolvimento de produtos. Um estudo de caso em uma empresa do setor de autopeças.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2011.
- PIPES, Alan. **Desenho para Designers.** São Paulo: Blucher, 2010.
- ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- ROMEIRO FILHO, E. **Projeto do produto.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINE, F.A; AMARAL D.C; TOLEDO J.C.; SILVA S.L.; ALLIPRANDINI D.H.; SCALICE R.K. **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAES FILHO, J. P.; SILVA, M. J. Análise comparativa de metodologias: Abordagem orientada para a pesquisa das engenharias simultânea e convencional no âmbito de edificação residencial, com estudo de caso ilustrativo. **XIII SIMPEP.** Bauru, SP, Brasil, 2005.
- SHAH, S. A. A.; BENNAMOUN, M.; BIYSSAUD, F. Keypoints-based surface representation for 3D modeling and 3D object recognition. **Pattern Recognition.** April 2017, Vol. 64, pp.29-38.
- SERTEK, P.; GUINDANI, R. A.; MARTINS, T. S. **Administração e planejamento estratégico.** Curitiba: Ibplex, 2011.
- SCHROEDER, M. A. **Análise da percepção de uma metodologia não linear em design gráfico.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2010.
- SOUZA, L.; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. M. Impactos do Uso do BIM em escritórios de Arquitetura: Oportunidades no Mercado Imobiliário. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 4, novembro 2009b.
- SPECK, H. J. **Avaliação Comparativa das Metodologias Utilizadas em Programas de Modelagem Sólida.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- SPECK, H. J.; SOUZA, A. C.; ROHLEER, E.; GÓMEZ, L. A.; Proposta de conteúdo para uma disciplina de modelagem sólida para os cursos de engenharia, **COBENGE**, 2001.
- TILFORD, T.; STOYANOV, S.; BRAUN, J.; JANHSEN, J. C.; BURGARD, M.; BIRCH, R.; BAILEY, C. Design, manufacture and test for reliable 3D printed electronics packaging. **Microelectronics Reliability.** June 2018, Vol. 85, pp. 109-117.
- WEBER, A. V. P. **Modelo de ensino de métodos de design de produtos.** Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

XU, P.; FU, H.; ZHENG, Y.; SINGH, K.; HUANG, H.; TAI, C. Model-Guided 3D Sketching. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, 26 July 2018, p.1.

ZAUJEC, P.; GULANOVÁ, J.; GULAN, L. Methodology of modular design of construction machines. **Computer-Aided Design and Applications**. November 2018, Vol. 15(6), p. 927-934.

ZEID, I. **Mastering CAD/CAM**. New York: McGraw Hill, 2005.



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br