



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

GLAYBERTHON GONÇALO DOS SANTOS

**MODELAGEM PARAMÉTRICA ESTRUTURAL
DA SUSPENSÃO WISHBONE**

Recife

2018

GLAYBERTHON GONÇALO DOS SANTOS

**MODELAGEM PARAMÉTRICA ESTRUTURAL
DA SUSPENSÃO WISHBONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto
à Universidade Federal de Pernambuco, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. MSc. Adson Beserra da Silva

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S237m Santos, Glayberthon Gonçalo dos.
Modelagem paramétrica estrutural da suspensão WISHBONE / Glayberthon Gonçalo dos Santos. - 2018.
59 folhas, il., sigl.

Orientador: Prof. MSc. Adson Beserra da Silva.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Mecânica, 2018.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Engenharia Mecânica. 2. Modelagem tridimensional. 3. Metodologia de projeto. 4. Detalhamento. 5. *Wishbone*. I. Silva, Adson Beserra da (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-354

GLAYBERTHON GONÇALO DOS SANTOS

**MODELAGEM PARAMÉTRICA ESTRUTURAL
DA SUSPENSÃO WISHBONE**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco.

Recife, ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. MSc. Adson Beserra da Silva - UFPE/Demec
(Orientador)

Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima - UFPE/Demec

Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira - UFPE/Demec

AGRADECIMENTOS

Ao professor Adson Silva pela orientação e apoio tanto neste presente trabalho quanto no âmbito acadêmico e profissional.

A toda minha família. Em especial a minha mãe Geruza Gonçalo dos Santos por me dar todo o suporte possível para que eu pudesse chegar até este ponto.

A Camila Jacob, minha companheira, que sempre me apoiou e me incentivou durante toda a minha graduação.

Ao meu avô, Júlio Sebastião dos Santos, a quem sou eternamente agradecido e agradeço, por sempre estar comigo, onde quer que eu vá.

E por fim, a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação acadêmica.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia de projeto de modelagem tridimensional para conjuntos mecânicos aplicada na criação de uma estrutura de bandejas de suspensão do tipo *wishbone*. Este projeto empregou diretrizes de representação gráfica normatizadas para obter modelos sólidos para projetos de construção mecânica. O método parte da concepção de um esboço preliminar, baseado em medidas previamente estabelecidas, passando pelo modelamento tridimensional e é finalizado com seu detalhamento, apresentando informações importantes como: material a ser utilizado, processo de união das partes e acabamentos. É demonstrado que, através de um software paramétrico, modelos tridimensionais de peças criadas separadamente podem ser unidas com o intuito de obter uma montagem final, a qual, após todo o processo de detalhamento e 2D, o projeto possui todas as informações necessárias para sua futura fabricação. É também objetivo do trabalho, a criação de um modelo paramétrico detalhado que permita a edição e visualização prévia do sistema idealizado. Ao final, parâmetros como, restrições, tolerâncias, ajustes, materiais utilizados e processos de soldagem foram adicionados ao projeto, para que assim, o modelo tenha informações suficientes para a sua reprodução e análise. Com o auxílio do *software Autodesk Inventor®*, um modelo de bandejas de suspensão *wishbone* será apresentado de forma a exemplificar cada etapa da metodologia utilizada para obtenção do modelo sólido acabado.

Palavras-chave: Modelagem tridimensional. Metodologia de projeto. Detalhamento. *Wishbone*.

ABSTRACT

This work presents a methodology for the design of three-dimensional modeling for mechanical assemblies applied in the creation of a structure of suspension trays of the wishbone type. This project used normalized graphing guidelines to obtain solid models for mechanical construction projects. The method starts from the design of a preliminary sketch, based on previously established measurements, through three-dimensional modeling and finalized with its detailing, presenting important information such as: material to be used, process of joining of parts and finishes. It is demonstrated that, through parametric software, three-dimensional models of separately created parts can be joined in order to obtain a final assembly, which, after all the detailing and 2D process, the project has all the necessary information for its future manufacturing. It is also objective of the work, the creation of a detailed parametric model that allows the previous edition and visualization of the idealized system. At the end, parameters like, restrictions, tolerances, adjustments, materials used and welding processes were added to the project, so that the model has enough information for its reproduction and analysis. With the help of AutoDesk Inventor® software, a wishbone suspension tray model will be presented in order to exemplify each stage of the methodology used to obtain the finished solid model.

Keywords: Three-dimensional modeling. Project methodology. Detailing. Wishbone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Fluxograma de projeto de um produto.....	14
Figura 2	- Representação em CAD de componentes mecânicos.....	17
Figura 3	- Desenhos e detalhamentos de projeto mecânico.....	18
Figura 4	- Abordagem utilizada na modelagem.....	20
Figura 5	- Esquema de montagem de um conjunto de componentes.....	20
Figura 6	- Etapas de obtenção de um modelo detalhado.....	21
Figura 7	- Aplicação do <i>AutoDesk Inventor</i> ®.....	24
Figura 8	- Suspensão <i>wishbone</i>	25
Figura 9	- Chassi veicular.....	26
Figura 10	- Chassi veicular com suspensão <i>wishbone</i>	31
Figura 11	- Partes de uma suspensão.....	31
Figura 12	- Croqui.....	32
Figura 13	- Planos de referência XY no <i>software</i>	33
Figura 14	- Feature base.....	34
Figura 15	- Concentricidade entre os cilindros das buchas.....	35
Figura 16	- Planeza entre os planos de trabalho dos cilindros.....	35
Figura 17	- Inclinação entre os cilindros de suporte.....	35
Figura 18	- Perpendicularidade entre as superfícies dos cilindros.....	36
Figura 19	- Planeza entre os planos de trabalho.....	36
Figura 20	- Perpendicularidade entre as superfícies das chapas.....	36
Figura 21	- Paralelismo entre as linhas de centro.....	37
Figura 22	- Tolerância de posição entre vários pontos.....	37
Figura 23	- Soldagem dos tubos da bandeja superior no <i>software</i>	38
Figura 24	- Soldagem dos tubos da bandeja inferior no <i>software</i>	38
Figura 25	- Conjunto montado.....	40
Figura 26	- Formato da folha utilizada.....	41
Figura 27	- Lista de peças numeradas da bandeja superior.....	42
Figura 28	- Lista de peças numeradas da bandeja inferior.....	42
Figura 29	- Cortes realizados nas uniões dos tubos.....	42
Figura 30	- Corte A-A realizado na bandeja inferior.....	43

Figura 31	- Aplicação de linhas e cotas na modelagem.....	44
Figura 32	- Aplicação de tolerâncias na modelagem.....	47
Figura 33	- Folha de impressão 1/3 – modelo geométrico em perspectiva.....	50
Figura 34	- Folha de impressão 2/3 – Detalhamento da bandeja superior.....	51
Figura 35	- Folha de impressão 3/3 – Detalhamento da bandeja inferior.....	52

LISTA DE SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	-	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAD	-	<i>Computer Aided Design</i>
CADD	-	<i>Computer Aided Design and Drafting</i>
CATIA	-	<i>Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application</i>
DEMEC	-	Departamento de Engenharia Mecânica
DIN	-	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EUA	-	Estados Unidos da América
ISO	-	<i>International Organization for Standardization</i>
MIT	-	<i>Massachusetts Institute of Technolog</i>
NBR	-	Norma Brasileira Regulamentadora
SLA	-	<i>Short-long Arm</i>
SMAW	-	<i>Shielded Metal Arc Welding</i>
TCC	-	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPE	-	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Metodologia de Projeto de um Produto	14
2.1.1	Representação Gráfica no Projeto	15
2.1.2	CAD - <i>Computed Aided Design</i>	16
2.2	Modelagem Tridimensional	17
2.2.1	Metodologias de Modelagem	19
2.2.2	Modelo Detalhado	21
2.3	Normalização do Desenho de Fabricação	21
2.4	AutoDesk Inventor®	23
2.5	Suspensão Wishbone	25
3	ESTADO DA ARTE	27
4	METODOLOGIA	30
4.1	Considerações Iniciais Adotadas na Modelagem	30
4.2	Modelagem da Suspensão Wishbone – Desenho Geométrico	31
4.2.1	Crerios Iniciais para Criação do Modelo	32
4.2.2	Referenciamento do Modelo 3D nos Planos Principais	33
4.2.3	Criação da Geometria 2D para <i>Sketch</i> dos Modelos 3D	33
4.2.4	Criação dos Sólidos Básicos - <i>Features</i> Iniciais	34
4.2.5	Colocação das Restrições na Geometria	34
4.2.6	Adição de Relações de Parentesco entre as <i>Features</i>	38
4.2.7	Divisão dos Níveis de Organização das Camadas do Modelo	39
4.2.8	Usar as Peças ou <i>Features</i> Disponíveis em Bibliotecas	39
4.2.9	Utilizar Famílias de Peças e de Montagens	39
4.3	Modelagem da Wishbone – Detalhamento do Modelo	40
4.3.1	Folha, Sistema de Projeção, Escala e Legenda	40
4.3.2	Lista de Peças Numeradas	41

4.3.3	Cortes e Seções.....	42
4.3.4	Linhas e Cotas.....	43
4.3.5	Tolerâncias.....	44
4.3.6	Acabamento Superficial – Rugosidade.....	47
4.4	Material.....	48
4.5	União das partes.....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
6	CONCLUSÃO.....	53
6.1	Conclusão.....	53
6.2	Sugestão para trabalhos futuros.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A – MODELOS GEOMÉTRICOS CONSTRUÍDOS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Define-se engenharia como conjunto de técnicas e métodos para aplicar o conhecimento técnico e científico na planificação, criação e manutenção de estruturas, máquinas e sistemas para benefício do ser humano (PRIBERAM, 2017).

A criação de modelos geométricos é essencial na engenharia de projetos, pois descrevem de forma numérica e gráfica sistemas complexos, o qual é realizado fundamentalmente segundo a perspectiva estrutural, funcional e comportamental. A junção destes três modelos deve fornecer a descrição completa de um sistema.

De forma genérica, a ferramenta utilizada na confecção de modelos geométricos é chamada de CAD (*Computer Aided Design*), Projeto Auxiliado por Computador. Esta ferramenta é muito poderosa e oferece muito mais que apenas o modelo geométrico. É na ferramenta CADD (*Computer Aided Design and Drafting*), que geralmente se inicia a confecção de um produto após as determinações mecânicas. Nele inicia-se a determinação da geometria e das projeções que vão ser usadas para a determinação do modelo geométrico.

Neste trabalho, o modelo geométrico a ser determinado é um modelo tridimensional baseado em uma geometria oriunda de uma peça real. O estudo está dividido em três partes principais, a primeira é a determinação da geometria a ser modelada; em segundo vem sua planificação; e por fim procedeu-se a modelagem que, com isso, pode-se apresentar um conjunto de documentos que contém o desenho técnico das peças, um modelo geométrico tridimensional correspondente a peça e suas especificações, tais como: material, ajustes, tolerâncias, dimensões e características mecânicas.

O trabalho aqui detalhado, parte de vários conceitos estudados no curso de engenharia mecânica, pode-se citar: engenharia reversa, metodologia de projeto, metrologia, desenho técnico, soldagem, etc. Assim sendo, o trabalho se inicia com a escolha de uma determinada peça a ser estudada, depois, é determinada suas relações geométricas e com isso suas dimensões, assim podendo proceder com a etapa de planificação e desenho projetivo, determinando-se as operações de fabricação associadas a cada elemento envolvido, e por fim, a determinação de um modelo geométrico tridimensional desta peça.

1.1 Objetivos

Fazem parte dos objetivos, o Geral e o Específico, onde foram determinados para estes:

1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo principal:

- Construir um modelo paramétrico estrutural de uma suspensão *wishbone*.

1.1.2 Objetivos Específicos

Mais especificamente, visa-se:

- Aplicar a metodologia de projeto para criação de um produto;
- Determinar a geometria de um sistema de suspensão *wishbone*;
- Utilizar uma metodologia de modelagem tridimensional de conjuntos mecânicos;
- Aplicar normas de desenho técnico para criação do modelo.
- Modelar e planificar o modelo em um *software* paramétrico CAD;
- Determinar um modelo detalhado para fabricação;
- Encontrar um material que se adeque aos requisitos do projeto;
- Escolher um processo apropriado para a união das partes do conjunto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Metodologia de Projeto de um Produto

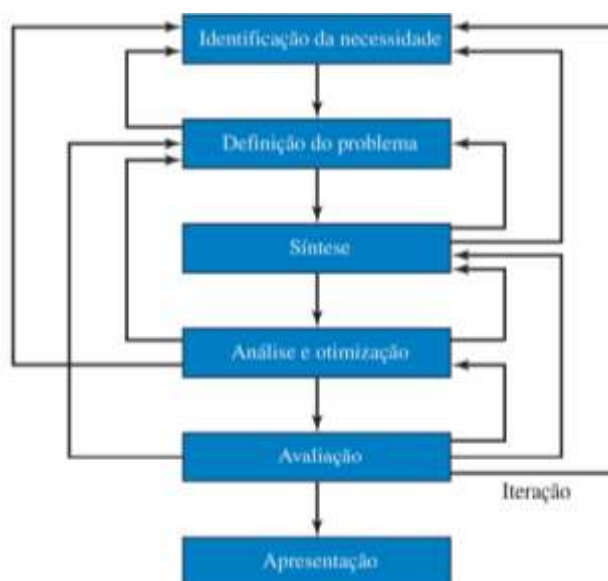
De acordo com Budynas e Nisbett (2015), um projeto se inicia com a identificação de uma necessidade e com a decisão a ser tomada para sanar esta necessidade. Logo após, tem-se a definição do problema, que é algo mais específico e deve conter todas as especificações pertinentes ao problema.

Em seguida, tem-se a síntese, onde se buscam as soluções cabíveis, pensando na necessidade e expressando claramente o problema. Geralmente, neste momento, aparecem várias propostas de solução. Então, através de cálculos, esboços e desenhos completos forma-se uma pré-seleção das propostas apresentadas.

As soluções selecionadas passam por análises, onde se verifica se as mesmas atendem as perspectivas de resolução dos problemas ou se servem como ajuda para melhorar as que já estão em execução. Esta avaliação indicará quais propostas deverão ser aproveitadas e/ou descartadas.

No fluxograma da Figura 1, é possível observar todas estas fases apresentadas anteriormente. Ele mostra também que pode haver a necessidade de retorno a qualquer uma das fases anteriores, de qualquer ponto do projeto. Quanto mais cuidados o engenheiro tiver em cada fase, menos necessidade ele terá de retornar.

Figura 1: Fluxograma de projeto de um produto



(Fonte: Budynas e Nisbett)

Hoje, o engenheiro tem uma grande variedade de ferramentas e recursos disponíveis para auxiliar na solução de problemas e na redução do tempo gasto na estruturação do projeto. *Hardwares* e *softwares* robustos oferecem grande capacidade a equipe de projeto, a modelagem e a análise de sistemas de mecânicos.

A influência da representação gráfica na modelagem para projetos pode ser encontrada em diversas etapas da sua construção, desde sua síntese até a apresentação. Nestas fases, análises de engenharia e revisão do projeto e documentação são realizadas e servem tanto para controle e monitoramento como de suporte à fabricação do produto.

2.1.1 Representação Gráfica no Projeto

CAD – *Computed Aided Design* ou Projeto Assistido por Computador – é o nome genérico de sistemas computacionais (*softwares*) utilizados na concepção de projetos de Engenharia, Arquitetura, *Design*, entre outros (Narayan, 2008). Esses softwares consistem de programas de computador voltados ao projeto, reunindo diversas ferramentas destinadas aos mais variados fins.

As ferramentas CAD tiveram seu início, registrado, na década de 60, século XX, onde Ivan Sutherland desenvolveu, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), um sistema inovador de edição gráfica chamado “*Sketchpad*” (Sutherland, 2003).

Nos primeiros anos, os *softwares* CAD eram mais comumente utilizados em empresas do setor aeroespacial e grandes montadoras automobilísticas, como a *General Motors*.

Durante a década de 1970, os *softwares* de CAD deixaram de ser somente objetos de pesquisas e passaram a ser comercializados. Nesta mesma época, foram desenvolvidos *softwares* de CAD 3D, sendo o primeiro deles o *Computer Aided Three Dimensional Interactive Application* (CATIA), desenvolvido em 1977 pela empresa francesa *Avions Marcel Dassault*.

Já em 1982, a empresa americana *Autodesk* lançou o que até hoje é dos mais populares softwares de CAD do mundo, o *AutoCad®*.

Chegando na década de 90, mais especificamente em 1995, a empresa *SolidWorks® Corporation* lançou o promissor *SolidWorks® 95 3D CAD*, que demonstrou ser um *software* com uma boa relação de custo-benefício quando comparado aos concorrentes, que eram excessivamente caros, o que levou a ser adquirida em 1997 pela *Dassault Systèmes S.A.*

Atualmente, o desenvolvimento desta ferramenta está generalizado, com diversas empresas melhorando métodos e até criando seus próprios sistemas CAD. Desta forma esta tecnologia vem sendo aprimorada a cada dia e sendo cada vez mais difundida e compartilhada, o que a tornou extremamente acessível.

2.1.2 CAD - *Computed Aided Design*

O CAD vem avançando com o passar dos tempos, na engenharia, sua aplicação está cada vez mais difundida, tornando-se uma ferramenta indispensável na modelagem computacional de sistemas mecânicos.

Os *softwares* CAD permitem aos projetistas interagirem com os diversos sistemas que estão sendo projetados, permitindo sua fácil edição, modificação, visualização e otimização em pequenos passos, portanto, não é apenas um mero desenho, mas sim, um modelo computacional que retrata o objeto ou conjunto projetado de forma virtual.

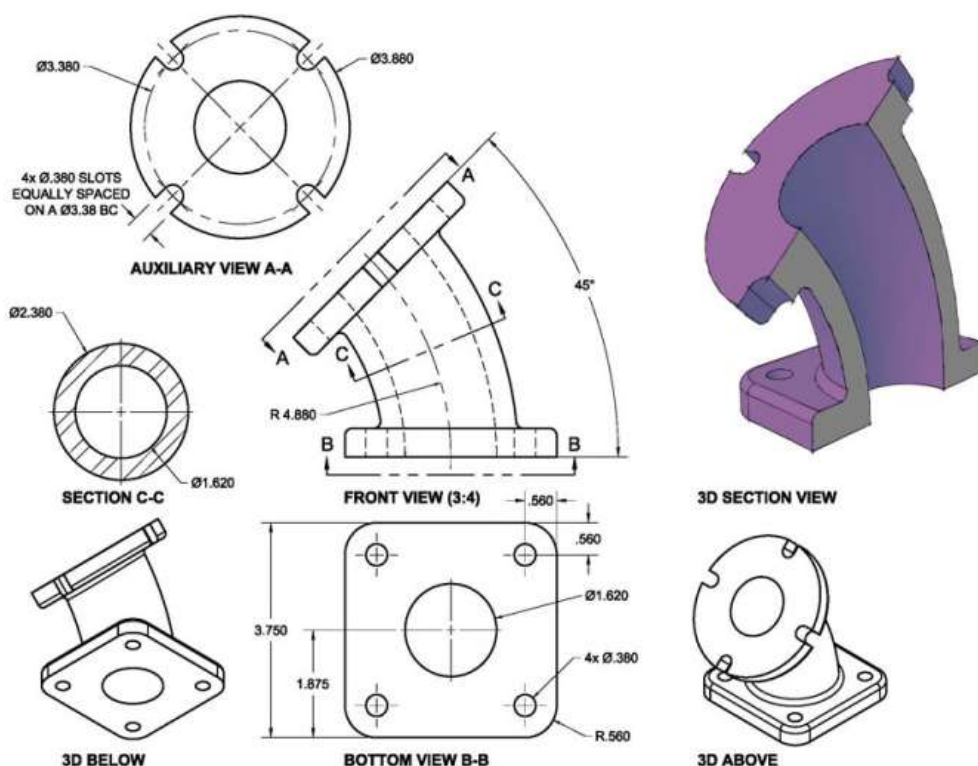
As aplicações em CAD estão em constante evolução e, com o avanço dessa tecnologia, nos *softwares* voltados para mecânica computacional, o usuário pode realizar não só a modelagem, mas também simulações mecânicas a partir de modelos gerados. Quando não, *softwares* específicos que utilizam o método numérico de elementos finitos e/ou o método numérico de volumes finitos tem como *input* modelos construídos com auxílio de *softwares* de CAD.

Estes projetos baseados em *softwares* CAD, apoiados à normatização da representação geométrica, servem como principal instrumento para criação e padronização gráfica que permite que diversos setores produtivos interpretem a representação ali apresentada.

Os desenhos em CAD, como apresentados na Figura 2, são baseados em geometria descritiva, o que trouxe um grande aproveitamento na construção de sólidos baseados em recursos (*features*). O *software* CAD é baseado em *features*.

Features são formas genéricas com contornos característicos de um produto que são associadas a informações necessárias para execução de outras atividades relacionadas ao projeto. São dados relacionados a parâmetros do desenho, tais como: forma, montagem e tolerância, que serão apresentados mais à frente no desenvolvimento deste trabalho (SHAH, 1992).

Figura 2: Representação em CAD de componentes mecânicos

(Fonte: Drawing art pop¹)

Um método baseado em *features* permite, de maneira fácil, relacionar e criar furos, chanfros, rasgos, entre outros, nas peças. Estes sistemas são chamados de paramétricos, onde os parâmetros são propriedades que definem as *features* e são características geométricas atribuídas para a criação de um produto de forma a obter uma constituição física para a peça e que tem propriedades que podem ser *features* de forma, montagem e tolerância.

2.2 Modelagem Tridimensional

A modelagem tridimensional (3D) é a representação tridimensional de uma peça, conjunto ou sistema que se quer reproduzir. Ela é feita utilizando-se de softwares que permitem a criação de modelos em três dimensões, de objetos de geometria simples e até mesmo sistemas complexos que incluem várias peças que formam uma montagem ao final do conjunto.

De acordo com Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007, apud Speck, 2001), o modelamento sólido paramétrico torna possível a confecção de modelos com referências dimensionais vinculadas às variáveis. Isso permite uma atualização automática do modelo após qualquer tipo de modificação feita em qualquer ambiente do software.

¹ <https://drawingartpop.com/3d-mechanical-drawing/>

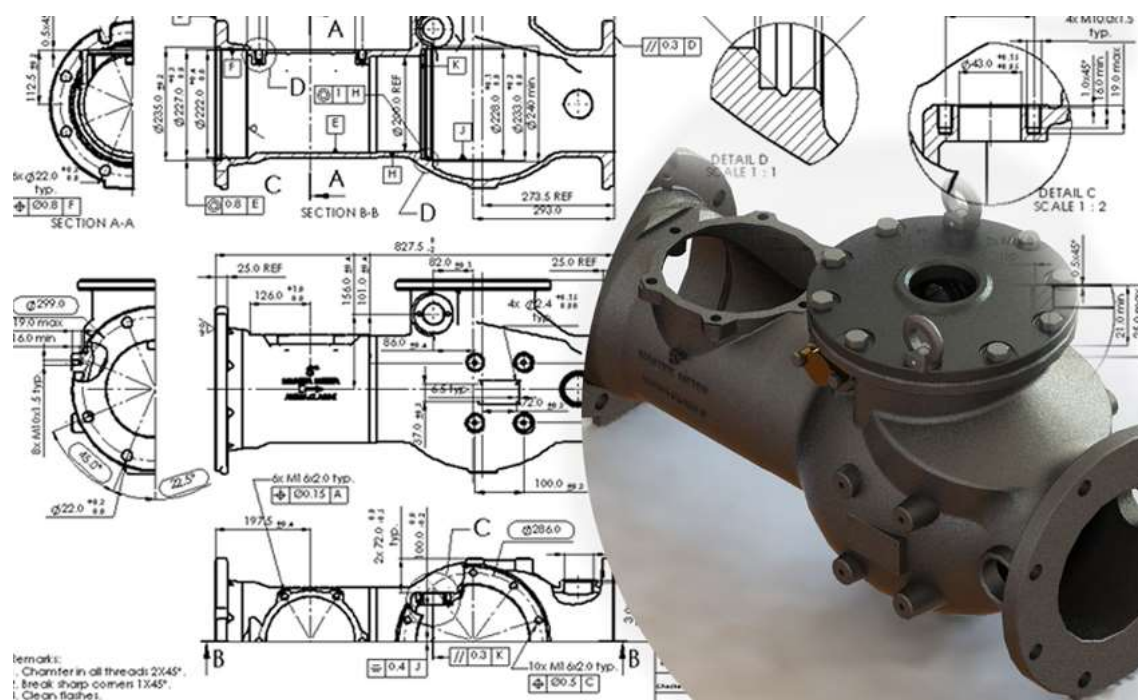
A modelagem 3D oferece muitas vantagens, podem-se citar, por exemplo, uma diminuição dos custos e uma maior confiabilidade ao projeto, além de garantir uma maior segurança ao produto final.

Na modelagem, muitas propriedades podem e devem ser determinadas, entre elas: dimensões nominais, tolerâncias dimensionais e geométricas, estados de superfície, tratamentos térmicos, dados de montagem, processos de fabricação, materiais, etc.

O modelo é então concluído quando os detalhamentos são gerados para que então se possa dar prosseguimento às novas etapas do projeto, que visam sua fabricação. Na Figura 3, por exemplo, é possível visualizar um equipamento com seus respectivos detalhamentos necessários para sua obtenção.

Na Figura 3, é possível observar também que, a partir da modelagem de conjuntos sólidos, pode-se obter posteriormente, representações renderizadas dos conjuntos, os quais reproduzem os objetos de forma realística, o que permite uma melhor visualização do produto acabado, além de possibilitar a reprodução de materiais e publicações referentes ao produto.

Figura 3: Desenhos e detalhamentos de projeto mecânico



(Fonte: True CADD²)

² <https://www.truecadd.com/mechanical-projects.php>

2.2.1 Metodologias de Modelagem

Existem tipos diferentes de abordagens para as modelagens tridimensionais, a *bottom-up*, onde cada um dos elementos do sistema é modelado separadamente no mais alto nível de detalhe, e a *top-down*, que desenvolve todas as partes do equipamento ou sistema no ambiente de montagem.

Na abordagem *bottom-up*, os componentes são detalhados posteriormente e depois incorporados à montagem individualmente a partir de conexões de montagem entre as peças. Pelo fato de ser desenvolvido desta forma, na abordagem *bottom-up*, os dados são descentralizados e cada parte do conjunto deve ser unida individualmente à fonte de parâmetros (CHEN, 2008; SHAH; MANTYLA, 1995).

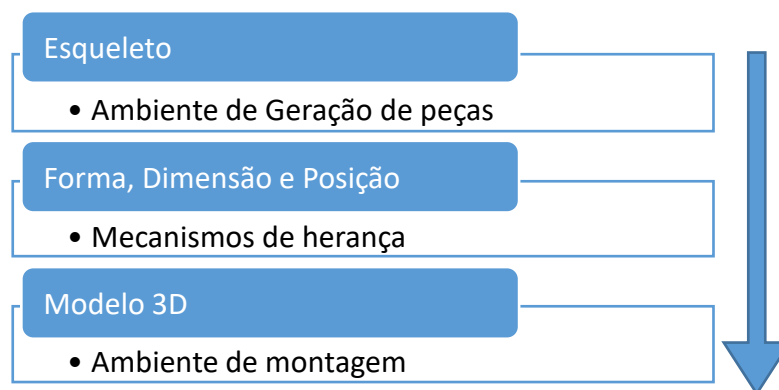
Já a abordagem *top-down* trabalha com arquivos em esqueleto e que são construídos de forma mais simples nos ambientes de montagem. Nesta modelagem, os arquivos são desenvolvidos num ambiente em que as peças possuem características geométricas funcionais com parâmetros dimensionais e posições relativas entre as mesmas dada em função das coordenadas globais adotadas. Esta abordagem é mais apropriada para sistemas sem partes móveis (SHAH; MANTYLA, 1995).

Os sistemas mecânicos possuem partes móveis e, às vezes, é mais interessante para o seu desenvolvimento uma modelagem que aborde uma mistura entre as metodologias *bottom-up* e *top-down*, visto que é importante que o sistema tenha uma quantidade adequada de graus de liberdade para que os estudos cinemáticos e simulações dinâmicas possam ser desenvolvidas posteriormente.

Nesse tipo de abordagem, arquivos chamados de esqueleto são desenvolvidos no ambiente do software e são constituídos de elementos simples em 2D criados nas posições de montagem através de vínculos geométricos entre perfis e/ou restrições.

Quando o conjunto é modelado no mesmo ambiente de montagem, todo ele compartilha o mesmo sistema de coordenadas globais, herdando assim suas posições definidas. O diagrama apresentado na Figura 4 mostra como funciona esta abordagem.

Figura 4: Abordagem utilizada na modelagem

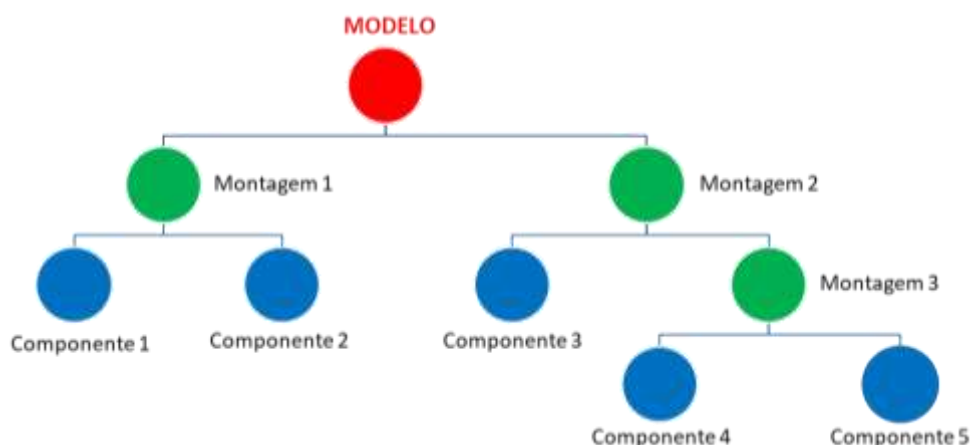


(Fonte: Autor, 2018)

Este método possibilita a estruturação e criação de uma base de arquivos que serão utilizados no CAD, ou seja, é criado um arquivo principal no ambiente de montagem, onde posteriormente são criados submontagens, que compartilham o mesmo sistema de coordenadas globais. (BURATO; SANTOS 2014).

Para cada parte ou peça do conjunto é criado uma submontagem do modelo 3D. Se necessário, são criadas mais submontagens, que variam com a complexidade do elemento até que se tenha a montagem completa do conjunto. Como pode ser observado no esquema de montagem apresentado na Figura 5.

Figura 5: Esquema de montagem do conjunto de componentes



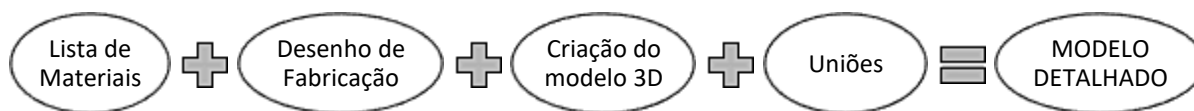
(Fonte: Autor, 2018)

É possível concluir que a modelagem a partir de sistemas CAD permite aos projetos a introdução de novos conceitos para desenvolvimento de produtos, onde podem ser definidos, além dos aspectos geométricos do produto, outras várias informações que antes só poderiam ser determinadas com a construção de protótipos.

2.2.2 Modelo Detalhado

No esquema da Figura 6 estão listadas as principais etapas para a obtenção do modelo detalhado de um produto.

Figura 6: Etapas para obtenção de modelo detalhado



(Fonte: Autor, 2018)

A escolha do material mais adequado aos requisitos do projeto é uma das partes fundamentais na modelagem, pois determina a confiabilidade do projeto em termos de aspectos industriais e econômicos.

A etapa de construção dos desenhos de fabricação e a criação do modelo 3D são construídas conforme normas vigentes de representações do desenho técnico, entre elas, as que regulamentam os sistemas de tolerância, escala, linhas, cotação, layout, cortes, entre outros

Para finalizar, tem-se as informações do processo de união das partes do conjunto de montagem. Esta etapa deve conter todas as características necessárias para execução do processo adotado na produção. É informado o método, o equipamento, espessura de chapas e outros itens que caracterizam o processo, seguindo sempre as especificações e procedimentos normatizados.

2.3 Normalização do Desenho de Fabricação

Seguindo a normalização para criação do desenho de fabricação e considerando a regulamentação nacional pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), tem-se que os princípios gerais de representação são regidos pela NBR 10067, que trata das condições gerais para o método de projeção ortográfica. Ela determina, entre outras coisas, as posições relativas ao diedro, as respectivas vistas, detalhes ampliados, linhas de interseção, simetria, cortes, seções, hachuras e rebatimentos.

Mas não só estas informações são necessárias para determinar um desenho de fabricação. Apoiada nesta norma, são aplicadas outras que visam criar um documento que consegue reunir informações suficientes para execução da peça/produto com qualidade, em seus mínimos detalhes, como por exemplo:

- NBR 10067 – Princípios gerais de representação em desenho técnico.

Esta Norma fixa a forma de representação aplicada em desenho técnico, ou seja, determina o método de projeção ortográfica e a cor de representação do desenho. Ela fixa o sistema de projeção ortogonal pelo 1º diedro e pelo 3º diedro para a representação de peças, que consideram os princípios da geometria descritiva.

No Brasil, o 1º diedro é mais utilizado, já nas indústrias oriundas dos EUA, da Inglaterra e do Japão podem aparecer desenhos criados no 3º diedro.

- NBR 10582 – Apresentação de folha para desenho técnico.

Esta norma fixa as condições exigíveis para a localização e disposição do espaço para desenho, espaço para o texto e espaço para legenda e respectivos conteúdos, nas folhas de desenhos técnicos.

- NBR 8196 – Representação por meio de escala.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para o emprego de escalas e suas designações em desenhos técnicos.

- NBR 10068 – Folha de desenho - layout e dimensões.

Esta Norma padroniza as características dimensionais das folhas a serem aplicadas em todos os desenhos técnicos.

- NBR 13272 – Elaboração das listas de itens.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a elaboração das listas de itens em desenho técnico, onde existe a necessidade de identificar claramente cada uma das peças individuais.

- NBR 12298 – Representação na área de corte por meio de hachura.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para representação de áreas de corte em desenho técnico.

A utilização dos recursos de corte e seções numa modelagem faz-se necessário quando a peça a ser representada possui uma geometria complicada ou então quando detalhes importantes para a definição da peça ficam de difícil identificação, por estarem em arestas não visualizadas.

- NBR 8403 – Aplicação de linhas em desenho técnico.

Esta Norma fixa tipos e o escalonamento de larguras de linhas para uso em desenhos técnicos e documentos semelhantes.

As diversas larguras e espaçamentos entre as linhas servem para as mais diversas aplicações, que demonstram, por exemplo, se são contornos visíveis, não visíveis, se são centros de geometrias, posições limites, entre outros.

- NBR 10126 – Princípio de cotação em desenho.

Esta Norma fixa os princípios gerais de cotação a serem aplicados em todos os desenhos técnicos.

- NBR 6409 – Tolerâncias geométricas;

Esta Norma estabelece os princípios gerais para indicação das tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento, e, ainda, as definições geométricas apropriadas.

- NBR 8404 – Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos

Esta Norma fixa os símbolos e indicações complementares para a identificação o estado da superfície em desenhos técnicos.

2.4 AutoDesk Inventor®

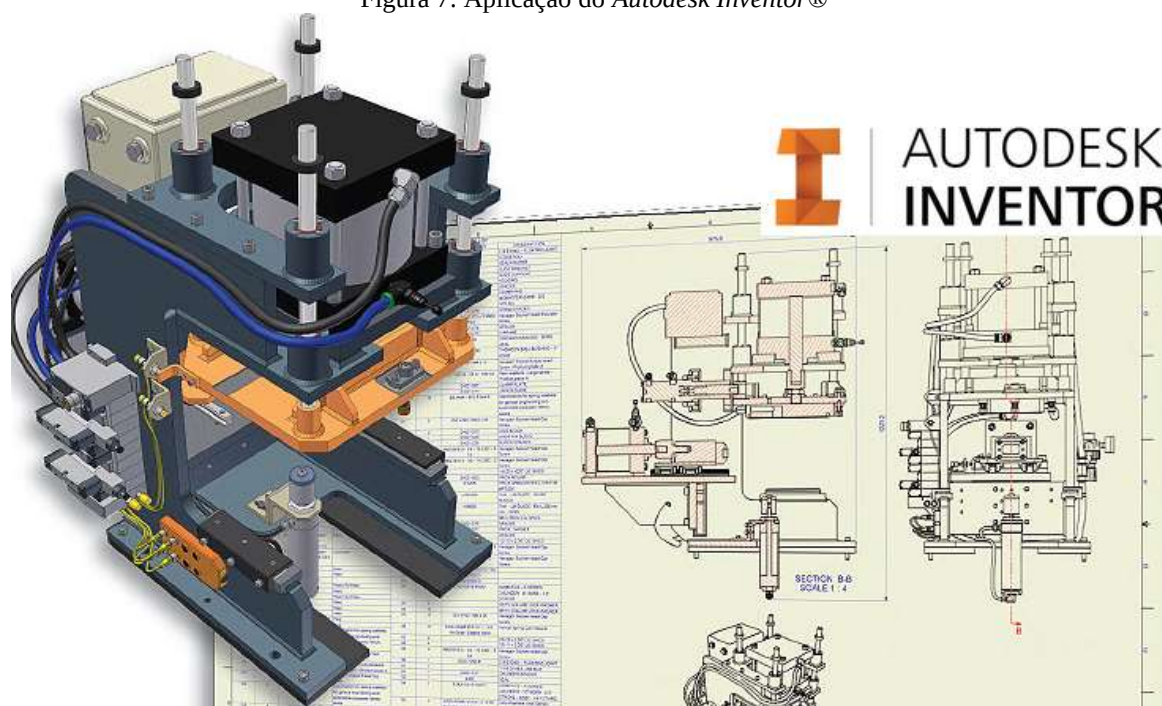
A modelagem paramétrica, a partir da modelagem geométrica de sólidos tridimensionais, permite que seja implantada ao desenho dimensões e parâmetros entre os elementos do conjunto através de expressões que proporcionam a criação de uma estrutura de dados, onde serão armazenados dados referentes à geometria do modelo para possíveis alterações futuras em seus parâmetros (SANTOS, 2011).

O software utilizado para demonstrar o estudo abordado neste trabalho foi o *AutoDesk Inventor®*, que está enquadrado na classificação conhecida no ambiente de projetos computacionais como *mid-end* (VILLERMANN, 2008), sendo capaz de criar modelos tridimensionais, gerar detalhamento 2D a partir do modelo, além de realizar simulações dinâmicas (CRUZ, 2009).

Softwares paramétricos trazem grandes vantagens por serem *mid-end*, dentre estas vantagens, pode-se destacar: a definição das dimensões do modelo por *features*, a análise da previsão das consequências do processo de fabricação, a determinação de um modelo 3D com propriedades físicas definidas e a possibilidade da renderização das imagens e vídeos do projeto.

A Figura 8, por exemplo, apresenta um exemplo de uma modelagem realizada utilizando o software *AutoDesk Inventor*®.

Figura 7: Aplicação do *Autodesk Inventor*®



(Fonte: nchsbands³)

O software *AutoDesk Inventor*® foi desenvolvido pela companhia de software *Autodesk, Inc.* em 1999. Ele é um software baseado em computação paramétrica capaz de criar formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares no ambiente do programa, criando uma topologia definida entre a conectividade geométrica e os vértices e curvas do modelo.

Sendo baseado na tecnologia paramétrica, no modelo em 3D do *AutoDesk Inventor*®, o projeto deve ser construído definindo restrições e condições para cada elemento do modelo projetado.

³ <http://nchsbands.info/new/autodesk-inventor-designs.html>

2.5 Suspensão *Wishbone*

O modelo de suspensão adotado no projeto tem sua principal aplicação voltada para os veículos de competição. Chamada de duplo A, braços sobrepostos, *double wishbone*, SLA (*Short-long Arm*) ou simplesmente *wishbone*, esse tipo de suspensão é caracterizada pelo uso de dois braços transversais sobrepostos. Os braços possuem formato triangular, também muito parecido com o um A, por esse motivo é chamado também de duplo A.

Embora o conceito denote ter dois braços de suspensão, em termos de sua cinemática, a suspensão braços sobrepostos nada mais é do que um mecanismo de quatro barras.

Tais sistemas são fabricados em aço, por estampagem ou utilizando tubos de aço soldados e reforçados. Os braços são expostos a solicitações de compressão e tração, que surgem devido as forças verticais oriundas da roda. Sobre um dos braços de suspensão são montados os amortecedores, onde este deve ter o esforço de sustentar o amortecedor contabilizado durante o seu desenvolvimento.

Na suspensão *Wishbone* (Figura 8), a fixação entre a manga de eixo e a carroceria é feita por dois pontos no lado da carroceria que permitem movimentos verticais e limitam o deslocamento longitudinal, durante as acelerações e frenagens, através de buchas, como pode ser observado na figura a seguir:

Figura 8: Suspensão *Wishbone*



(Fonte: Repair Company⁴)

⁴ <http://repaircompany.com.br/>

Quando comparada a outros tipos de suspensão, a *Wishbone* se destaca pelo fato de um melhor controle da geometria da suspensão de acordo com o curso vertical da roda e rolagem da carroceria em curvas, aceleração e frenagem. Apenas a suspensão do tipo *multi-link* consegue comportamento equivalente e ocupando menor espaço, porém a um custo e complexidade maior.

Na atualidade, a *wishbone* é encontrada principalmente em carros de rua de alto desempenho, e em competições automobilísticas, como a Fórmula 1 e a Stock Car (ANDRADE, 2013). Com ela é possível ter uma suspensão eficiente com diversas possibilidades de regulagem e baixo peso, aspectos extremamente importantes no desempenho dos veículos.

Existem duas variações na sua configuração, uma delas possui uma configuração na qual os braços possuem comprimentos iguais, no outro modelo os braços possuem comprimentos desiguais, sendo o superior menor que o inferior, e o tipo de aplicação do veículo vai determinar sua utilização. No projeto executado neste trabalho a segunda geometria se faz presente.

Esse tipo de suspensão é largamente utilizado em carros de categoria *prototype* (Figura 10), pois a facilidade dos braços transversais em compartilhar espaço com demais componentes do carro e seu manuseio, poupam bastante tempo no trabalho com elas.

Figura 9: Chassi veicular



(Fonte: Fabrica do Projeto⁵)

⁵ <http://blocos.fabricadoprojeto.com.br/blocos-fp-conjunto-chassi-gaiola-formula-3d/>

3 ESTADO DA ARTE

Segundo Almacinha (2013), o desenvolvimento do produto pode ser definido como o conjunto completo de atividades, dentro do ciclo de vida do produto, que começa com uma necessidade e uma ideia de produto e termina com o início da sua produção em série para o mercado.

Ainda de acordo com Almacinha, as atividades desenvolvidas durante o processo de desenvolvimento do produto podem ser divididas em: análise e estudo conceitual (*conceptual design*), concessão base (*basic design*) e concessão detalhada (*detail design*).

Ele define também que o processo de modelagem começa com esboços à mão livre, posteriormente são estabelecidas as especificações de concessão do modelo, em seguida é criado um conceito base normatizado criado em um ambiente virtual para posteriormente ser criado o documento detalhado de informações para fabricação também segundo Normas vigentes.

Já segundo Burato e Santos (2014), um projeto é um sistema de soluções criativas para solução de problemas, onde a modelagem de um equipamento em um *software* é capaz de unir informações como: listas de orçamento, materiais, desenhos de fabricação, fichas de corte, mapas de solda e relatórios de inspeção. Junto à uma metodologia *top-down*, a qual é mais atrativa para criação do modelo, é possível projetar um esqueleto e com uma sequência de comandos construir modelo 3D.

Neste mesmo contexto temos Viaro et al. (2014), que diz que a fabricação digital consiste na utilização de técnicas de produção de produtos, objetos e protótipos a partir de modelos virtuais.

Segundo estes, a modelagem digital parametrizada divide-se em duas etapas principais: modelagem e exploração do conceito de produto; e definição e preparação para produção do protótipo. Para eles, a partir das medidas determinadas para o produto na ideia inicial, são definidos os pontos de controle no espaço tridimensional para formar o perfil do produto.

Numa segunda etapa da modelagem do produto, realiza-se o refinamento no modelo 3D, definindo-se raios, encaixes e demais detalhes necessários para adequar o produto para a fabricação.

Em 2014, Borges, em seu artigo sobre o uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica, disse que a modelagem tridimensional paramétrica pressupõe que o artefato será representado como um modelo sólido que traduz uma contrapartida virtual do seu correspondente físico.

Ele afirma também que as estratégias para a modelagem devem considerar que cada peça individual de um equipamento seja reproduzida virtualmente em um modelo sólido, onde não só com suas características geométricas, mas também suas propriedades específicas, relativas ao material, sejam associadas ao modelo.

Borges (2014) ainda diz que a maioria dos modeladores paramétricos tridimensionais disponíveis estão estruturados em três ambientes principais: o de peças, de montagem e de desenho. Sendo assim, a progressão da modelagem do equipamento pode ser feita peça a peça e com a elaboração de submontagens parciais até se chegar à montagem final.

Marques et al. (2016), afirmaram que elaborar um projeto é, antes de tudo, contribuir para a solução de problemas, transformando ideias em ações, onde o resultado obtido ao se projetar é tudo o que é necessário para o desenvolvimento de um conjunto de peças a serem fabricadas.

Segundo eles, um projeto segue uma sequência de etapas para a sua realização, que são: I - Idealização de como será o equipamento, usualmente denominado de esboço, juntamente com uma descrição, para futuramente desenvolver os desenhos das peças; II – Dimensionamento da estrutura do equipamento; III - Construção em software CAD da estrutura principal de acordo com o dimensionamento, planejando a instalação dos demais componentes que serão utilizados; IV - Modelagem dos demais componentes; V – Realização da montagem em software CAD de todas as partes construídas, verificando possíveis ajustes dimensionais das peças para um correto arranjo físico e mecânico; VI – Aplicação de carga sobre a estrutura principal, por intermédio de uma ferramenta específica do software tendo por base o método dos elementos finitos, e por fim, VII – O detalhamento no formato 2D das peças para a fabricação.

Então, o procedimento de trabalho possui a seguinte estrutura: 1º. Inserção do primeiro componente (movimento relativo); 2º. Inserção dos demais componentes (submontagens). Estes podem ter movimento relativo as suas referências; 3º. Simulação e mecanismo; 4º. Criação de desenho de impressão: Desenho de montagem em formato 2D normalizado.

Por último, apresentado em um congresso de fabricação mecânica em 2007, Foggiatto, Volpato e Bontorin, que posteriormente seria utilizado por Junqueira, Patrocínio e Corrêa (2013) e Borges (2014) em seus respectivos artigos, afirmam que os modelos tridimensionais construídos em sistemas CAD 3D sejam produzidos de maneira a agilizar o desenvolvimento de produtos, permitindo uma fácil edição, onde algumas recomendações devem ser obedecidas, como no esquema a seguir:

- 1 - Planejar a Modelagem 3D
- 2 - Referenciar os modelos 3D nos planos principais
- 3 - Utilizar um sólido básico (simples) como *feature* inicial
- 4 - Utilizar geometrias 2D simples como *sketch* dos modelos 3D
- 5 - Usar restrições geométricas na geração das geometrias 2D
- 6 - Evitar relações de parentesco desnecessárias entre *features*
- 7 - Utilizar níveis (*layers*) para organizar a modelagem
- 8 - Usar as peças ou *features* disponíveis em bibliotecas
- 9 - Utilizar famílias de peças e de montagens

Segundo eles, a modelagem por sólidos é realizada a partir de formas simples bidimensionais como polígonos, círculos ou a combinação destes. Dependendo da geometria desejada, o sólido pode ser gerado fazendo-se a forma bidimensional percorrer uma trajetória ou ainda pela conexão de duas ou mais destas formas, desenhadas em planos diferentes.

Para a modelagem de sólidos mais complexos, segundo Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007), é possível a utilização de comandos baseados em operações booleanas como união, subtração e interseção. Dessa forma, a modelagem sólida não armazena só a geometria do objeto final, mas também todas as formas primitivas e operações usadas para a sua construção.

Sendo então finalizada a construção do modelo, obedecendo as recomendações pré-estabelecidas, ficam faltando apenas os detalhamentos com a adição de informações como: tolerâncias, ajustes, cotas, cortes, rugosidade e outros, segundo suas respectivas regulamentações.

4 METODOLOGIA

4.1 Considerações Iniciais Adotadas na Modelagem

A maior parte dos equipamentos mecânicos são constituídos de partes que formam uma montagem com diversos elementos. Cada elemento com a sua função. Numa montagem, devem existir restrições entre os componentes, obedecendo à princípios baseados em cinemática, colisões, interferências, intercambialidade, entre outros. Tem-se então que, as relações com as diversas partes do conjunto devem possuir critérios de mobilidade como: rotativos, articulados ou mesmo estáticos.

Para então desenvolver e construir as relações entre as diversas partes do projeto, foi adotada uma abordagem que mistura os métodos *top-down* e *button-up*. Neste caso, todas as *features* foram modeladas juntas, no mesmo ambiente, o que tornou uma metodologia mais simplificada para a modelagem.

As *features* iniciais foram elaboradas no ambiente de modelagem e posteriormente foram criados vínculos geométricos entre os elementos da suspensão com parâmetros que controlam suas posições. Dessa forma, foi possível obter uma bandeja de suspensão completamente parametrizada, de fácil edição e modificação para atender aos requisitos do projeto e do sistema.

A modelagem só foi então concluída com a adição dos detalhamentos de cada peça para sua posterior fabricação. Para isso, foram adicionados aos modelos:

- O detalhamento em 2D com respectivo sistema de projeção;
- As vistas em corte necessárias;
- Os acabamentos superficiais (rugosidade);
- Os ajustes e tolerâncias dimensionais e geométricos;
- As cotas com respectivas linhas de centro;
- Legenda detalhada;
- Material utilizado para fabricação;
- Processo de soldagem adotado no processo;
- A lista de peças devidamente numeradas.

4.2 Modelagem da Suspensão *Wishbone* – Desenho Geométrico

A ideia inicial é a de modelar uma suspensão *wishbone* de geometria simples, que possa ser fabricada com o corte e união por solda de tubos estruturais trefilados para a aplicação em um chassi de veículo de pequeno porte, como pode ser visto no modelo de exemplo apresentado na Figura 10.

Figura 10: Chassi veicular com suspensão wishbone

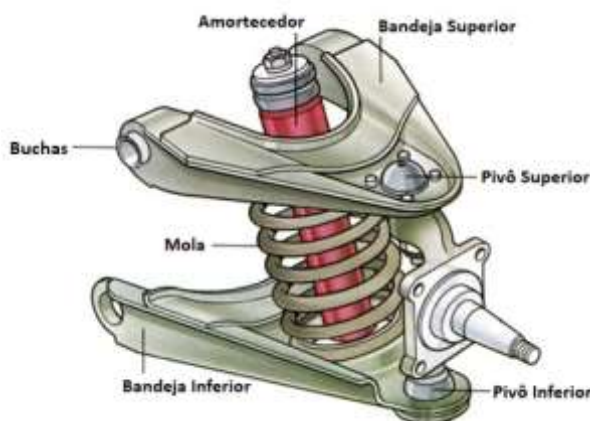


(Fonte: Venqo⁶)

Definido o modelo de suspensão, foi criada então uma nova geometria adequada ao chassi do veículo a que se pretende alocar esse novo conjunto de bandejas de suspensão, obedecendo inicialmente à critérios dimensionais para perfeita harmonia na estrutura do novo sistema de suspensão.

Para entender melhor as etapas da modelagem, a Figura 11 apresenta as partes que compõe um sistema de suspensão, pois estas serão constantemente utilizadas durante todo o processo, como por exemplo, bucha, pivô e bandejas.

Figura 11: Partes de uma Suspensão



(Fonte: Quora⁷)

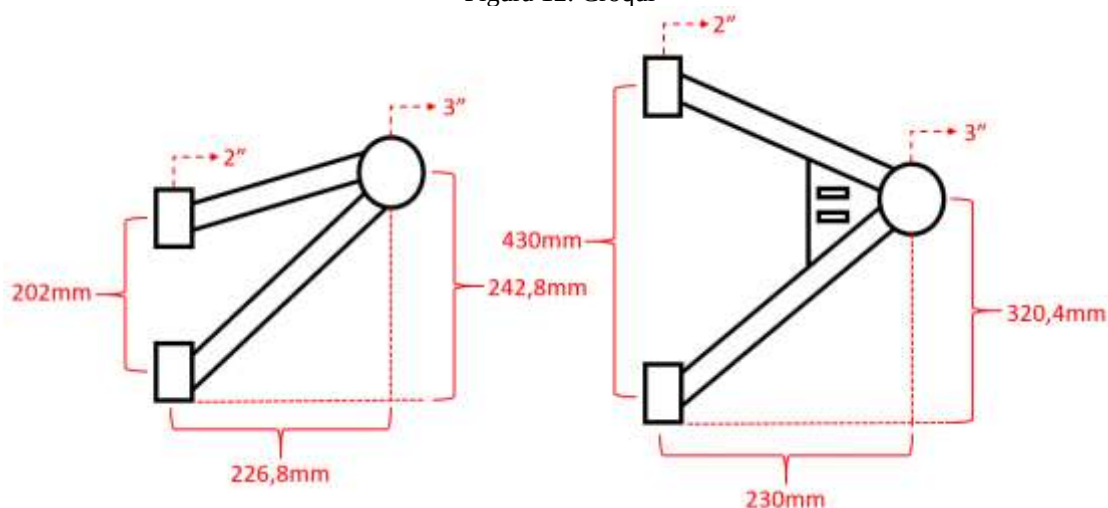
⁶ <http://www.venqo.com/2.html>

⁷ <https://www.quora.com/What-is-a-car-wishbone-suspension>

4.2.1 Critérios Iniciais para Criação do Modelo

Inicialmente, um *croqui* com a geometria e as dimensões iniciais da suspensão foi criado. Aqui, o critério adotado foi o de que o modelo deveria se encaixar perfeitamente num veículo protótipo com geometria pré-definida. Na Figura 12 é possível observar as dimensões adotadas.

Figura 12: Croqui



(Fonte: Autor, 2018)

Após a definição da geometria, iniciou-se o modelamento no software *Autodesk Inventor®*. Primeiramente foram definidas as *features* base e as demais que compõem o conjunto. Ainda nesta etapa, foram definidos os planos, curvas e pontos de referência.

Como ainda se trata da etapa inicial, foram também previstos critérios importantes para a construção do projeto e que podem influenciar no planejamento, como por exemplo, a própria manufatura, a simulação e comportamentos mecânicos. Muitos problemas com a montagem da suspensão *wishbone* no chassi do veículo e até mesmo no processo de fabricação já podem ser evitados nesta etapa de criação da geometria do modelo adotado.

Considerando tudo isso, inicialmente foram criadas as referências básicas no programa e listados os critérios de construção da geometria que evitam problemas com a montagem e a fabricação, desta forma devem ser considerados:

- O encaixe e alinhamento dos tubos com suas devidas extremidades, para que sejam facilitados os processos de soldagem dos mesmos.
- O correto alinhamento entres os furos de encaixe dos pivôs e das extremidades das buchas, para que não ocorram problemas de encaixe na montagem da suspensão do veículo.

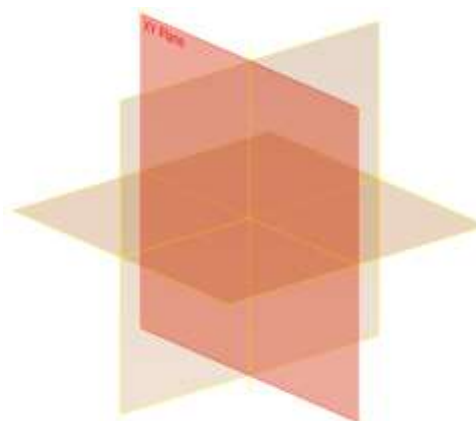
- O encaixe com interferência entre os furos e as buchas e pivô, para que estes se mantenham justos e bem fixados, mas que ao mesmo tempo permitam que esta montagem seja feita de forma simples.
- As tolerâncias dimensionais do conjunto para um perfeito encaixe no chassi.

Feitas tais considerações, para proceder então com o modelamento, ainda segundo Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007), as etapas que procedem são:

4.2.2 Referenciamento do Modelo 3D nos Planos Principais

Ao o abrir o *AutoDesk Inventor*® foram realizadas primeiramente as referências nos planos XY, YZ e XZ, onde a *feature* base foi montada no plano XY, como pode ser observado na Figura 13. As demais partes foram então referenciadas a partir desta *feature*, o que não quer dizer que elas não tiveram também uma referência com os planos principais.

Figura 13: Planos de referência XY no *software*



(Fonte: Autor, 2018)

Como o conjunto não possui uma geometria simétrica, não há a necessidade de posicionar seus eixos e planos de simetria nos planos principais, como é aconselhado em alguns casos. Então, planos auxiliares, paralelos aos principais, foram utilizados para referenciar as demais *features*.

4.2.3 Criação da Geometria 2D para *Sketch* dos Modelos 3D

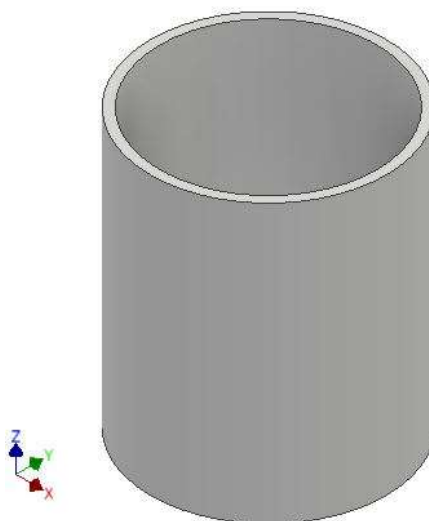
Nesta etapa, foram criados *sketches* simples de circunferências sem grandes níveis de detalhamento. Nesta fase da modelagem, circunferências concêntricas de diâmetros distintos foram criadas para serem posteriormente extrudadas para formar os tubos que compõe a estrutura da suspensão.

4.2.4 Criação dos Sólidos Básicos - *Features* Iniciais

Aqui, a *feature* base foi criada (tubo) e, a partir dela, as demais foram projetadas, o que, para um programa paramétrico, facilita bastante sua edição, já que teremos *features* que possuem uma relação de restrição.

Pode ser visto na Figura 14, que a geometria de diversos cilindros foi utilizada para a obtenção do conjunto, o que se mostrou bastante útil, visto que o formato da *wishbone* adotada como base para o projeto é composta por cilindros ocos.

Figura 14: *Feature* base



(Fonte: Autor, 2018)

A partir então da primeira *feature* do cilindro principal, as demais foram montadas de forma que esta permaneça como base para as demais.

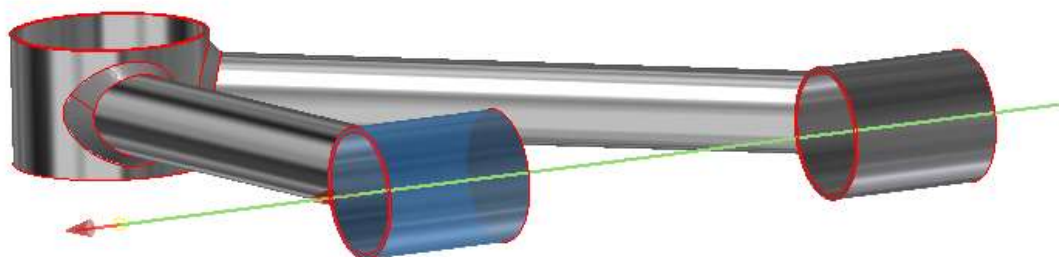
4.2.5 Colocação de Restrições na Geometria

Para evitar que pequenas alterações modifiquem a geometria do desenho, restrições, ou mesmo, relações entre as *features* do desenho foram criadas.

As restrições adotadas no modelo serviram para garantir o planejamento da modelagem, onde estas foram consideradas tanto para a bandeja superior, quanto para a bandeja inferior. A seguir é possível observar algumas restrições.

Concentricidade entre os cilindros que se encaixam as buchas:

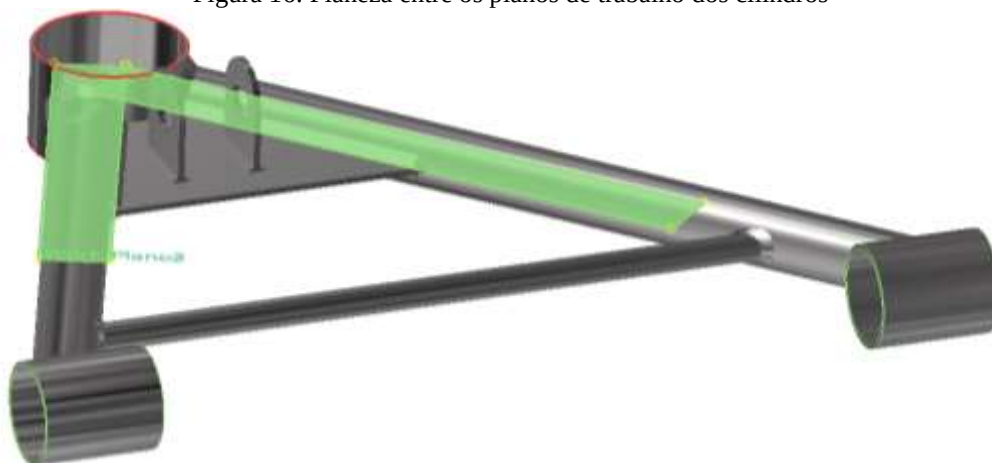
Figura 15: Concentricidade entre os cilindros das buchas



(Fonte: Autor, 2018)

Planeza entre os planos de trabalho que passam no centro dos cilindros de suporte e os cilindros de encaixe das buchas:

Figura 16: Planeza entre os planos de trabalho dos cilindros



(Fonte: Autor, 2018)

Inclinação entre os cilindros de suporte:

Figura 17: Inclinação entre os cilindros de suporte



(Fonte: Autor, 2018)

Perpendicularidade entre as superfícies dos cilindros de encaixe das buchas e os cilindros de encaixe dos pivôs:

Figura 18: Perpendicularidade entre as superfícies dos cilindros

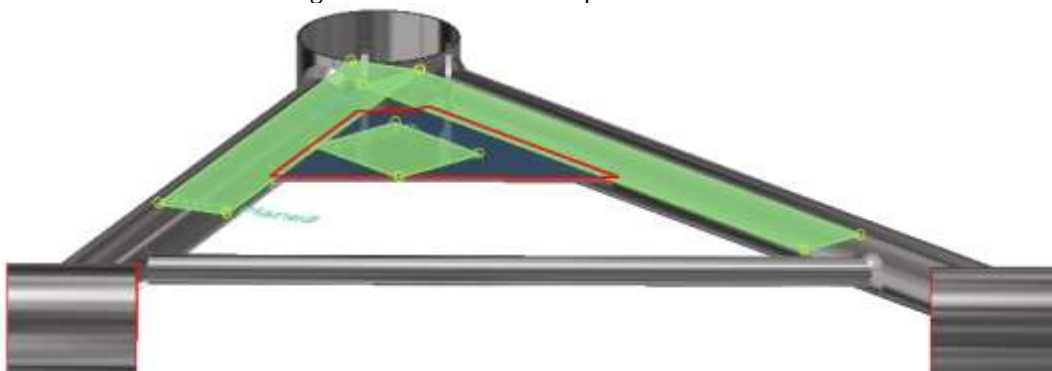


(Fonte: Autor, 2018)

As restrições a seguir foram adotadas apenas para a bandeja inferior:

Planeza entre os planos de trabalho que passam no centro dos cilindros de suporte e a chapa de suporte ao encaixe do amortecedor:

Figura 19: Planeza entre os planos de trabalho



(Fonte: Autor, 2018)

Perpendicularidade entre as superfícies das chapas de suporte ao encaixe do amortecedor e a chapa furada que é parafusado o amortecedor:

Figura 20: Perpendicularidade entre as superfícies das chapas

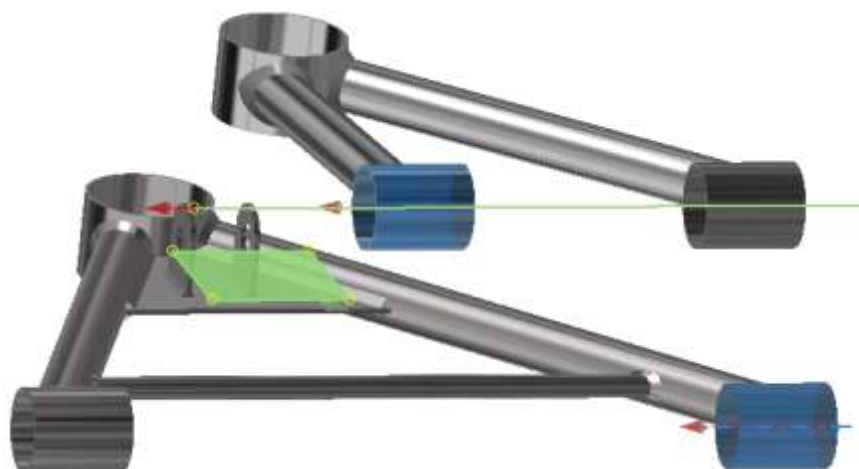


(Fonte: Autor, 2018)

As restrições a seguir foram adotadas para o conjunto de montagem.

Paralelismo entre as linhas de centro dos cilindros das buchas inferior e superior:

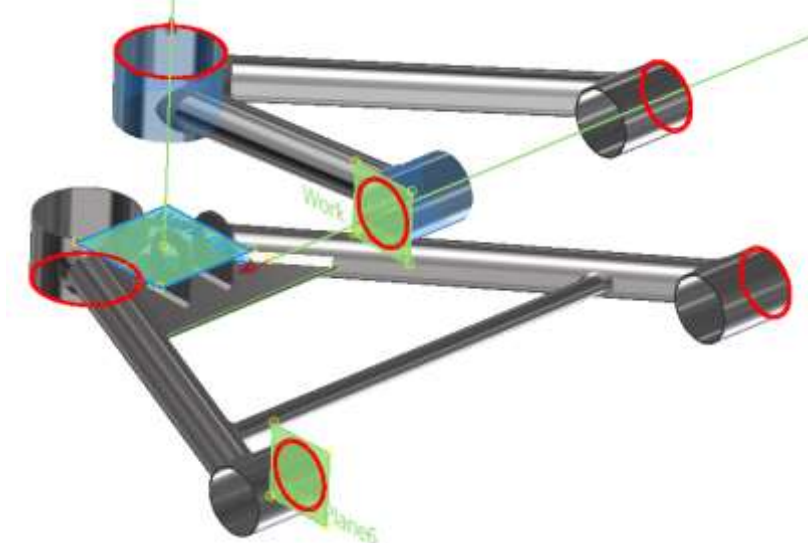
Figura 21: Paralelismo entre as linhas de centro



(Fonte: Autor, 2018)

Posição entre vários pontos das bandejas:

Figura 22: Tolerância de posição entre vários pontos



(Fonte: Autor, 2018)

De acordo com Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007, apud Anderl, 1995), existem duas formas de aplicar as restrições ao modelo: diretamente pelo projetista ou detectadas automaticamente pelo programa.

A maioria das restrições foram criadas pelo usuário, pois, apesar de consumir mais tempo, o *AutoDesk Inventor*® ao captar a intenção impondo restrições automaticamente, pode ter uma interpretação errada, forçando o usuário a fazer as correções e ter que as impor manualmente.

Depois de criadas as restrições, os cilindros em formatos de tubos, com dimensões distintas para cada posição, foram unidos de modo a formar um conjunto.

4.2.6 Adição de Relações de Parentesco entre as Features

As *features* deste desenho foram todas unidas por solda, o que acabou criando um grau de “parentesco” entre elas, ou seja, as *features* dos cilindros de suporte dependem da geometria dos cilindros que se encaixam as buchas e o pivô, em uma relação de diâmetros.

Apesar de cada uma ter sua própria referência no plano principal, elas agora estão interligados por meio de um grau de parentesco, a solda, e uma simples supressão ou exclusão de uma *feature* pode ou não afetar a outra.

Como houve esta necessidade, os detalhes de solda foram os últimos detalhes incorporados no desenho. Foram adotados comandos que permitem que estas sejam sobrepostas sobre as outras, como pode ser observado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23: Soldagem dos tubos da bandeja superior no *software*



(Fonte: Autor, 2018)

Figura 24: Soldagem dos tubos da bandeja inferior no *software*



(Fonte: Autor, 2018)

4.2.7 Divisão dos Níveis de Organização das Camadas do Modelo

Para uma boa estruturação do desenho, este foi construído em camadas, conhecido no CAD como *layers*. Segundo Silva et al. (2010), o conceito de camadas (*layers*) consiste na possibilidade de se proceder as representações por camadas suscetíveis de observação simultânea ou não.

As *layers* criadas para a modelagem da *wishbone* apresentam além das partes do conjunto, as soldas, os planos e as restrições adotadas em sua modelagem.

4.2.8 Usar as Peças ou *Features* Disponíveis em Bibliotecas

Alguns programas fornecem peças já modeladas em sua biblioteca, peças estas que podem ser facilmente remodeladas e adaptadas à necessidade do projeto.

No caso deste projeto, nenhuma biblioteca foi utilizada, porém, para um melhor entendimento e representação da modelagem do conjunto montado da suspensão, foi adicionado ao projeto um sistema com mola e amortecedor já modelado retirado do site GrabCAD.com, que serviu como um arquivo de biblioteca.

4.2.9 Utilizar Famílias de Peças e de Montagens

Por fim, pode-se observar que o projeto adotado como modelo é composto de uma família de peças que compõem o sistema da suspensão *wishbone*.

Deste sistema, fazem parte os tubos de suporte principais, os tubos de encaixe das buchas, os tubos de encaixe dos pivôs e as chapas que servem de sustentação para o conjunto amortecedor e mola. Quando todas estas peças são conectadas, tem-se então a montagem de um conjunto.

Esta então, é mais uma etapa que se fez necessária para a construção do projeto, visto que a suspensão só estará completa quando, no modelo projetado, estiverem a bandeja superior, a bandeja inferior e o sistema mola e amortecedor devidamente conectados.

É possível observar na Figura 25 como ficaram as peças montadas na modelagem do conjunto.

Figura 25: Conjunto montado



(Fonte: Autor, 2018)

4.3 Modelagem da Suspensão *Wishbone* – Detalhamento do Modelo

Até este ponto foi criado o modelo geométrico 3D. Para prosseguir com o processo de modelamento com as especificações técnicas para sua fabricação, é necessário que sejam adicionados os detalhes de sua fabricação. Para isso, serão adotadas as etapas a seguir.

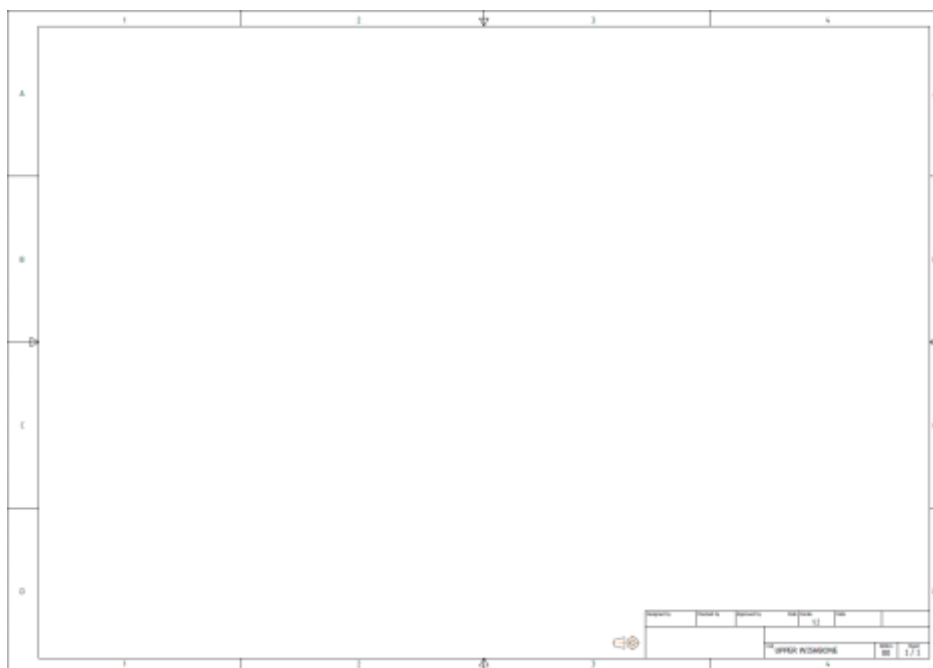
4.3.1 Folha, Sistema de Projeção, Escala e Legenda

O próximo passo então é a definição do formato da folha, a escala a ser trabalhada, o sistema de projeção e preenchimento da legenda na folha do desenho, onde serão seguidos como base as Normas Brasileiras Regulamentadoras: NBR 10582, NBR 10067, NBR 8196 e NBR10068.

Neste projeto, foi adotada uma escala de redução de 1:2 para a parte superior e de 1:3 para a parte inferior da suspensão, informada na legenda. Tais escalas se mostraram adequadas para o desenho ser representado em toda a extensão da folha. Próximo à legenda também foram informadas as projeções (1º diedro).

Quanto ao formato, foi adotado o formato de folha A2 (420mm x 594mm) para a representação do desenho (Figura 26), visto que este se mostrou suficiente para a representação na escala escolhida.

Figura 26: Formato da folha utilizada



(Fonte: Autor, 2018)

O modelo foi projetado e detalhado em 3 folhas de apresentação, onde a primeira contém o conjunto montado, a segunda o detalhamento da bandeja superior e o último o detalhamento da bandeja inferior.

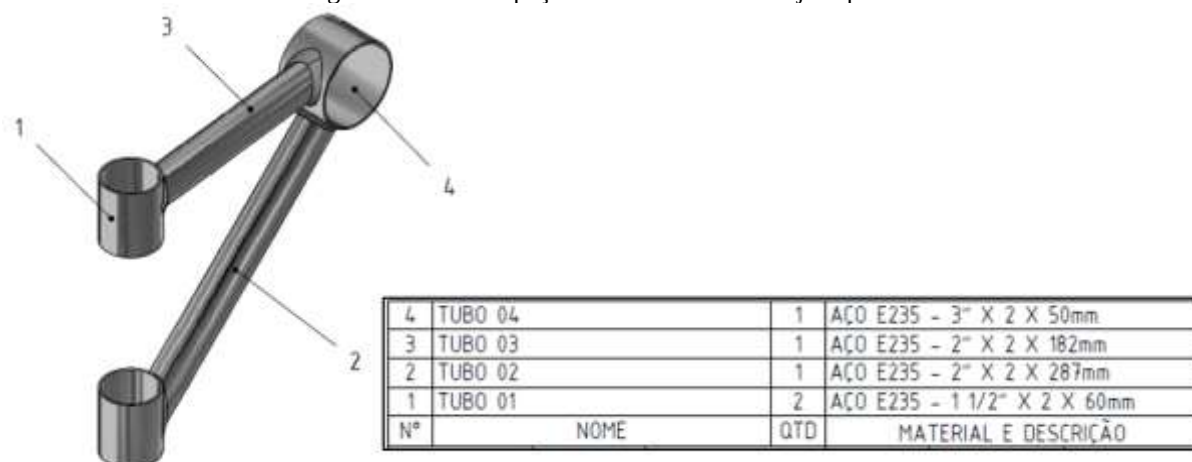
4.3.2 Lista de Peças Numeradas

Segundo a NBR 13272, as listas de itens existem para identificar claramente cada uma das peças individualmente, dada em forma de tabela, devendo acompanhar o desenho do conjunto.

A lista de peças foi alocada na legenda da folha do desenho do conjunto. Nela está especificada cada uma das peças no conjunto montado, com suas respectivas características, onde os tubos utilizados nas buchas, possuem as mesmas características, sendo necessário numerar apenas um deles.

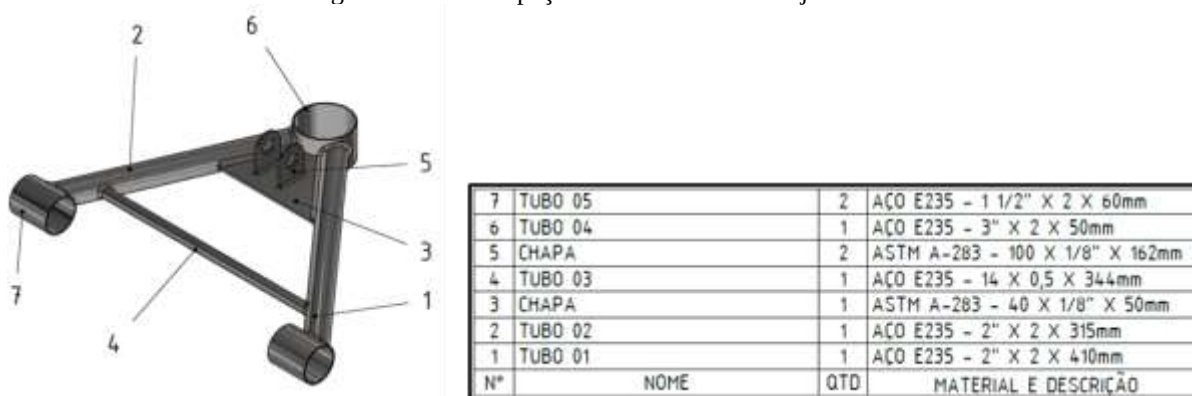
Nas Figuras 27 e 28 é possível observar a listagem das peças feitas nas folhas 1 e 2 dos desenhos, representando a bandeja superior e inferior, respectivamente.

Figura 27: Lista de peças numeradas da bandeja superior



(Fonte: Autor, 2018)

Figura 28: Lista de peças numeradas da bandeja inferior



(Fonte: Autor, 2018)

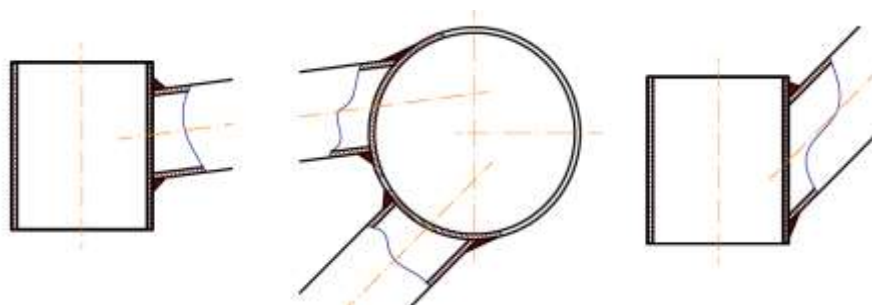
4.3.3 Cortes e Seções

No desenho, mostrou-se necessário o esclarecimento dos pontos onde ocorrem as uniões dos tubos, onde agora, os cortes mostram detalhadamente como são feitos os alinhamentos e encaixes entre os tubos para a posterior união dos mesmos pelo processo de soldagem.

Na bandeja inferior, onde se fixará o amortecedor, foi realizado um corte parcial, detalhando a geometria das chapas que foram unidas à estrutura tubular da suspensão.

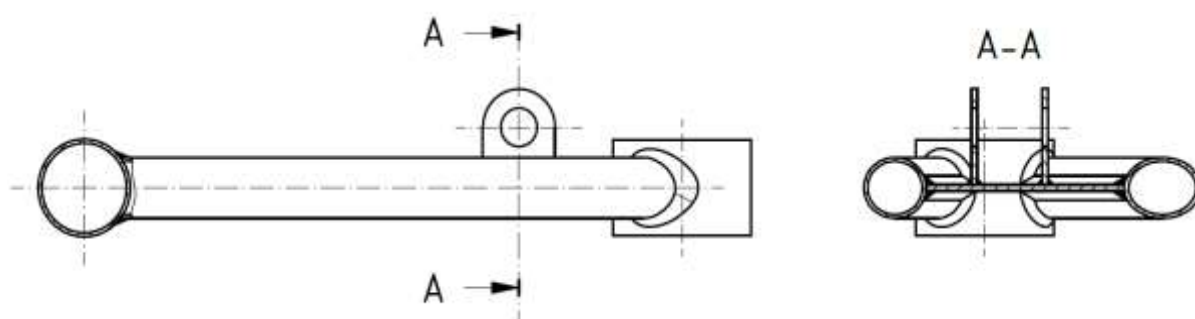
Obedecendo a NBR 12298, nas Figuras 29 e 30, é possível observar alguns exemplos de onde os cortes foram realizados no conjunto, que favorecem o entendimento da geometria do desenho.

Figura 29: Cortes realizados nas uniões dos tubos



(Fonte: Autor, 2018)

Figura 30: Corte A-A realizado na bandeja inferior



(Fonte: Autor, 2018)

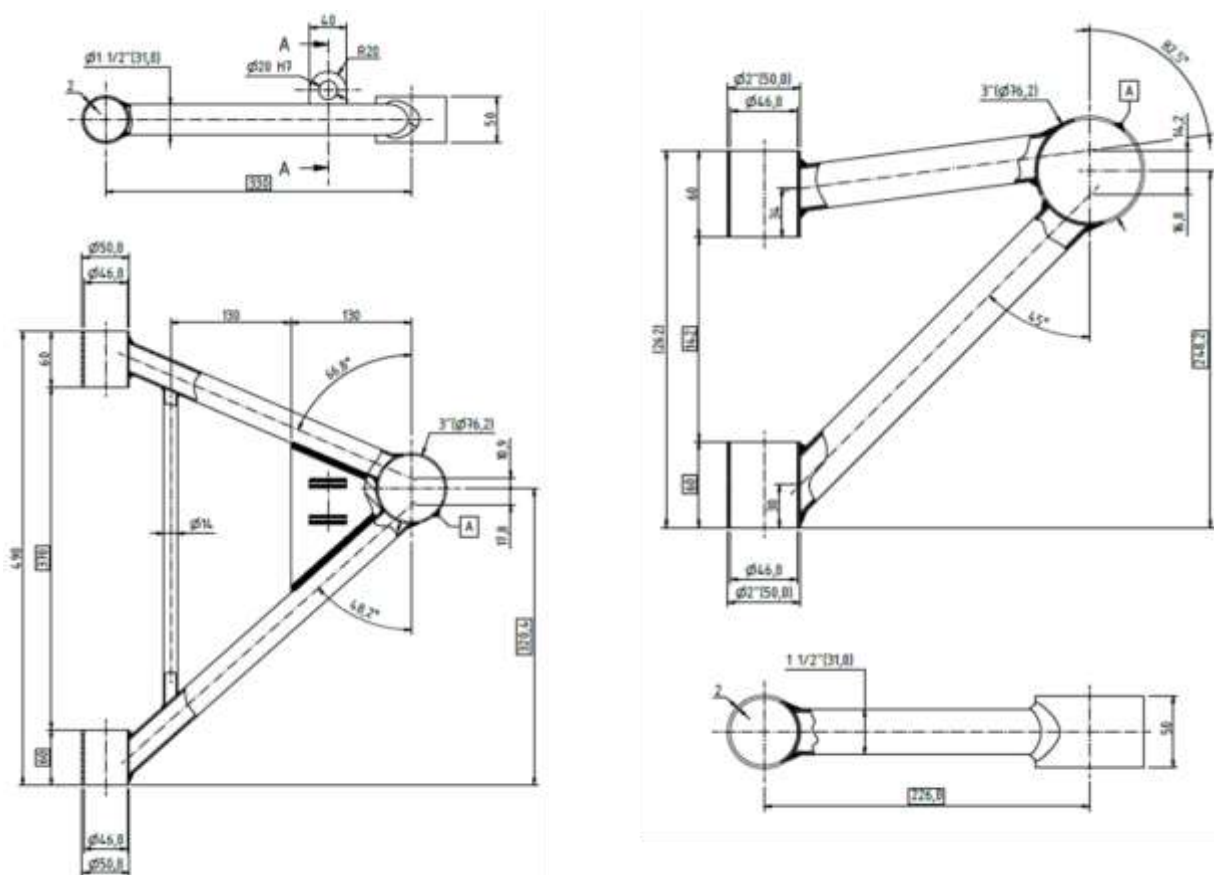
4.3.4 Linhas e Cotas

Em toda a extensão dos desenhos mostrados anteriormente é possível observar as linhas contínuas largas sendo utilizadas nos contornos visíveis; enquanto a contínua estreita foi utilizada nas cotas, hachuras e linhas de chamada; a contínua estreita a mão livre utilizada nas vistas em corte e por último as linhas de traço e ponto que foram utilizadas nas linhas de centro. Todas as linhas obedecendo a NBR 8403.

Ainda nesta etapa do detalhamento, foi realizada a cotagem, etapa que é essencial para sua fabricação. A NBR 10126 determina que seja cotado apenas o necessário e, dessa forma, no detalhamento foram colocadas apenas as cotas necessárias para fabricação de cada peça.

Foram cotadas dimensões principais como: distâncias entre tubos das buchas; entre centro do pivô e extremidade da bandeja; comprimento, diâmetro e espessura dos tubos; entre outros. Foram cotados também ângulos entre: os tubos de sustentação 2 e 3 e entre estes e os tubos das buchas, em ambas as bandejas superior e inferior, como pode ser observado no exemplo da bandeja superior na Figura 31.

Figura 31: Aplicação de linhas e cotas na modelagem



(Fonte: Autor, 2018)

4.3.5 Tolerâncias

As tolerâncias consideradas para o projeto foram as dimensionais e as geométricas. Para ambas a norma adotada foi a NBR 5599-1, que caracteriza tubos de aço-carbono trefilados a frio. Para representá-las no desenho, foi utilizada a NBR 6409, que trata da indicação de tolerâncias geométricas em desenhos técnicos.

Esta parte da norma 5599 especifica os requisitos de fornecimento de tubos de aço carbono sem solda longitudinal, trefilados a frio, de seção transversal circular, para aplicação precisa com diâmetro externo especificado $\leq 380\text{mm}$, que é o caso dos tubos utilizados nesta fabricação.

O item 5.4 da Norma 5599-1 especifica as dimensões, tolerâncias dimensionais e determina que os de seção circular devem ser especificados pelos diâmetros externo, interno e/ou espessura da parede. Sendo assim, considerando a tabela abaixo, com dados retirados da Norma, podemos encontrar as tolerâncias adotadas nos tubos utilizados em toda a estrutura do projeto.

Tabela 1: Tolerâncias Dimensionais

Externo (mm)		Interno (mm)		Espessura (mm)
Diâmetro	Tolerância	Diâmetro	Tolerância	
10,00	± 0,08	4,00 a 9,50	± 0,15 a ± 0,25	0,50 a 3,00
12,00	± 0,08	4,00 a 11,50	± 0,15 a ± 0,25	0,50 a 4,00
14,00	± 0,08	5,00 a 13,50	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 4,50
15,00	± 0,08	5,00 a 14,50	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 5,00
16,00 a 18,00	± 0,08	4,00 a 17,00	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 6,00
20,00 a 22,00	± 0,08	6,00 a 21,00	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 7,00
25,00 a 28,00	± 0,08	9,00 a 27,00	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 8,00
30,00 a 40,00	± 0,08 a ± 0,15	10,00 a 39,00	± 0,08 a ± 0,25	0,50 a 10,00
42,00 a 50,00	± 0,20	22,00 a 46,00	± 0,20	1,00 a 10,00
55,00 a 60,00	± 0,25	31,00 a 58,00	± 0,25	1,00 a 12,00
65,00 a 70,00	± 0,30	37,00 a 68,00	± 0,30	1,00 a 14,00
75,00 a 80,00	± 0,35	43,00 a 78,00	± 0,35	1,00 a 16,00
85,00 a 90,00	± 0,40	53,00 a 87,00	± 0,40	1,50 a 16,00
95,00 a 110,00	± 0,45 a 0,50	59,00 a 106,00	± 0,45 a ± 0,50	2,00 a 18,00

(Fonte: Editado da Norma 5599-1 pelo Autor, 2018)

De acordo com as informações da tabela anterior, as dimensões e tolerâncias dimensionais para os tubos do conjunto são, para a bandeja superior e inferior:

Tabela 2: Dimensões e Tolerâncias da bandeja superior

Tubos da bandeja superior	Diâmetro Interno	Tolerância	Diâmetro Externo	Tolerância	Espessura
Tubo Principal (2)	29,8mm	±0,08	1 ½" (31,8mm)	±0,08	2mm
Tubo Secundário (3)	29,8mm	±0,08	1 ½" (31,8mm)	±0,08	2mm
Tubos das Buchas (1)	48,8mm	±0,20	2" (50,8mm)	±0,25	2mm
Tubo do Pivô (4)	74,2mm	±0,30	3" (76,2mm)	±0,35	2mm

(Fonte: Autor, 2018)

Tabela 3: Dimensões e Tolerâncias da bandeja inferior

Tubos da bandeja inferior	Diâmetro Interno	Tolerância	Diâmetro Externo	Tolerância	Espessura
Tubo Principal (1)	29,8mm	±0,08	1 ½" (31,8mm)	±0,08	2mm
Tubo Secundário (2)	29,8mm	±0,08	1 ½" (31,8mm)	±0,08	2mm
Tubo de Suporte (4)	14,0mm	±0,08	13,5mm	±0,08	0,5mm
Tubo do pivô (6)	74,2mm	±0,30	3" (76,2mm)	±0,35	2mm
Tubos das buchas (7)	48,8mm	±0,20	2" (50,8mm)	±0,25	2mm

(Fonte: Autor, 2018)

É possível observar que os tubos utilizados de suporte para as buchas são todos iguais, tanto os da bandeja superior, quanto os da bandeja inferior.

Para as chapas utilizadas na bandeja inferior, segundo a ASTM A6, as variações dimensionais não devem superar 2,5% dos valores teóricos nominais especificados.

Após a especificação das tolerâncias dimensionais, as quais, em sua maioria são tolerâncias referentes aos próprios processo de fabricação, tem-se a adição das tolerâncias geométricas, controlam os limites geométricos para não comprometer a funcionalidade de cada peça.

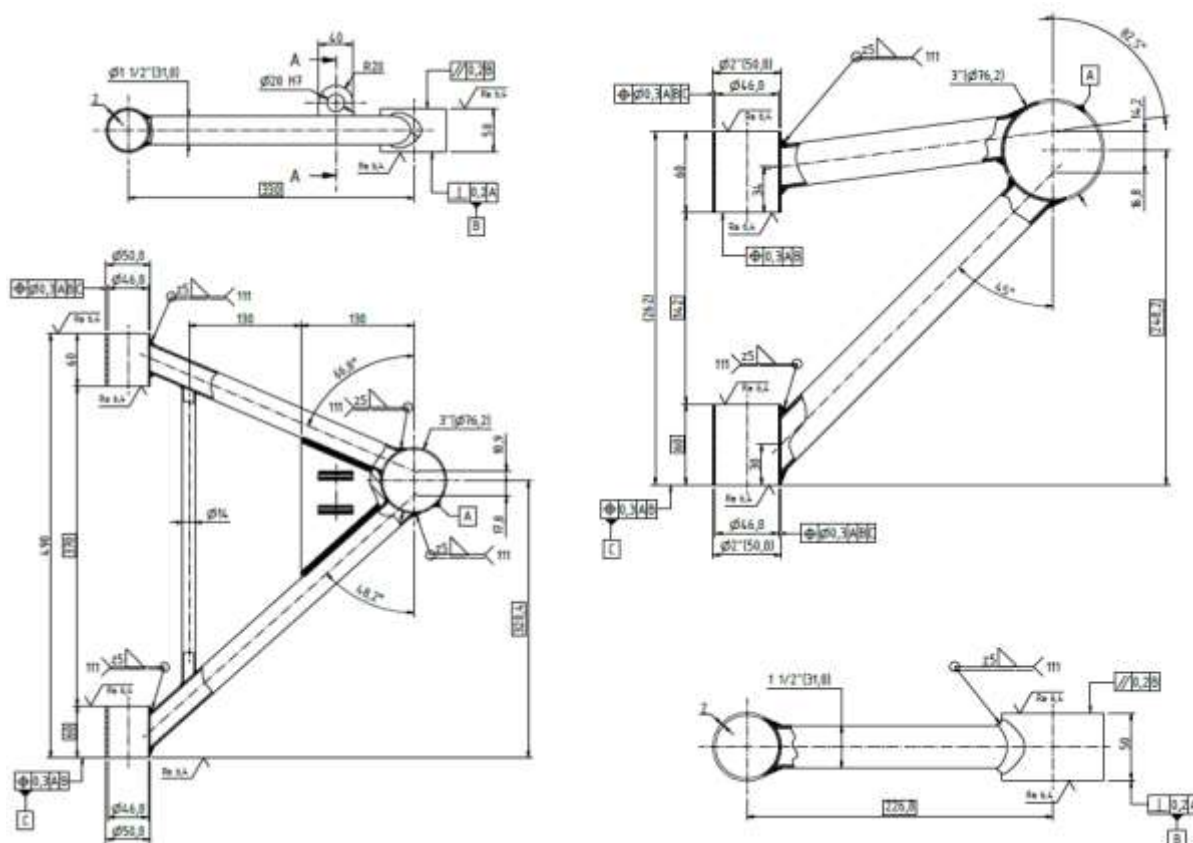
Para a tolerância geométrica foram adotados dois *datums*. O *datum* A que é a superfície de referência do cilindro que serve de suporte ao pivô, o *datum* B, que é a superfície de referência do plano de corte do tubo de suporte do pivô e o *datum* C, que é a superfície de referência do plano de corte do tubo de suporte da bucha.

Logo, para a bandeja superior, foram adotadas as tolerâncias geométricas:

- Perpendicularidade da superfície cortada do tubo de suporte do pivô em relação ao *datum* A, com tolerância de 0,2mm.
- Paralelismo da superfície cortada do tubo de suporte do pivô em relação ao *datum* B, com tolerância de 0,2mm.
- Posição do cilindro de suporte da bucha esquerda, onde o centro deve situar-se em um círculo de diâmetro de 0,3mm com localização precisa em relação aos *datums* A, B e C.
- Posição do cilindro de suporte da bucha direita, onde o centro deve situar-se em um círculo de diâmetro de 0,3mm com localização precisa em relação aos *datums* A, B e C.
- Posição da superfície cortada do tubo de suporte da bucha em relação aos *datums* A e B, com tolerância de 0,3mm.

Para a bandeja inferior, foram adotadas as mesmas tolerâncias geométricas utilizadas para a geometria da bandeja inferior. Onde também foram considerados os mesmos *datums* para os tubos das buchas e pivô, como pode ser observado na Figura 32 a seguir.

Figura 32: Aplicação de tolerâncias na modelagem



(Fonte: Autor, 2018)

As tolerâncias não especificadas foram especificadas conforme Norma DIN ISO 2768-mk.

4.3.6 Acabamento Superficial – Rugosidade

Segundo a NBR 8404, existem 3 símbolos básicos que determinam as condições gerais da superfície, e como o modelo da suspensão foi construído a partir de materiais pré-fabricados (tubos trefilados a frio e chapas laminadas), estes ganharam uma simbologia que indica o estado do grau de fabricação. Tal símbolo indica que a superfície deve permanecer como foi obtida no estágio precedente de fabricação, independente do fato de que esta superfície tenha sido obtida por remoção de material ou não.

Como todas as partes possuem a mesma indicação de acabamento superficial, pela Norma, a indicação deve constar junto à vista da peça, próximo a legenda do desenho ou no lugar previsto dentro da mesma, para os dados gerais ou atrás do número de posição da peça na montagem do conjunto.

Neste caso, a indicação de rugosidade se encontra na parte superior dos desenhos detalhados e, junto a ela, tem-se mais uma indicação de acabamento superficial que remete ao trabalho de acabamento realizado no corte dos tubos, o qual indica um valor de $R_a \leq 6,4\mu\text{m}$, segundo o Manual de Tecnologia Metal Mecânica para corte de tubos.

No item 5.3 da NBR 5599-1, que trata da aparência e sanidade interna, é informado também que o acabamento das superfícies interna e externa dos tubos devem ser típicas do processo de fabricação, no caso, a trefilação a frio. Porém, caso seja especificado pelo comprador, uma condição de superfície adequada para posterior processamento pode ser solicitada. O acabamento e a condição da superfície deve ser tal que, quaisquer imperfeições superficiais que requeiram reparos passam ser identificadas.

Segundo a NBR 5599-1, os tubos devem possuir as superfícies internas e externas lisas com valores máximos aplicáveis de rugosidade $R_a \leq 4\mu\text{m}$ nas superfícies externa e interna.

4.4 Material

Ainda segundo a NBR 5599-1 e de acordo com o sistema de classificação EN 10020, o material escolhido para compor os tubos da estrutura da suspensão *wishbone* é o Aço E235 de número 1.0308 que possui a porcentagem de composição máxima para os elementos: C: 0,17; Si: 0,35; Mn: 1,20; P: 0,025; S: 0,025; Al: 0,015, com desvios máximos permitidos de $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,10$; $\pm 0,005$; $\pm 0,005$ e 0,005 respectivamente.

Os tubos são fabricados por trefilação a frio, formando tubos sem solda. O fornecimento deles é feito em condições também pré-determinadas, logo, a condição de entrega para o material usado no projeto é o de designação +LC (anterior BKW).

O material considerado para o projeto é um tubo trefilado maleável que sofre um tratamento térmico após o final e tem um passe de trefila com pequena deformação. O que o torna bastante recomendável para o projeto, visto que este atende às especificações do projeto.

A partir também de informações da tabela, o aço E235 possui uma resistência à tração à temperatura ambiente de 420 MPa com um alongamento de 10%, que são valores consideráveis, visto que é uma estrutura que constantemente estará sujeito à esforços externos.

Para a chapa de metal utilizada na bandeja inferior como suporte para fixação do amortecedor foi adotado o aço ASTM A-283 de gr C. Este tipo de aço é bastante utilizado em

componentes estruturais onde as propriedades físicas são bem definidas para permitirem sua utilização em projetos que exijam dobramento e boa soldabilidade.

As chapas de aço ASTM A-283 gr C possuem resistência intermediária e são aplicadas em componentes estruturais variados, desde os mais comuns até os mais elaborados tais como: estruturas de máquinas, galpões e componentes etc.

Conforme o fabricante do aço ASTM A-283, BENAFER, sua composição máxima para cada elemento é dada por: C: 0,24; Mn: 0,90; Si: 0,40; P: 0,035; S: 0,040 e Cu: 0,20 (Mín) (quando especificado).

Além da composição acima, possui características como, limite de escoamento de 205 Mpa, limite de resistência a tração de 380~515 Mpa, alongamento de 20% e densidade de 7,8g/cm³ (0,282lb/in³). Tudo conforme Norma ASTM A36.

4.5 União das partes

O processo adotado para a união dos elementos da estrutura da suspensão foi o de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido (em inglês *Shielded Metal Arc Welding* – SMAW). Foi escolhido este processo devido à versatilidade de processo e da simplicidade de operação e equipamentos necessários.

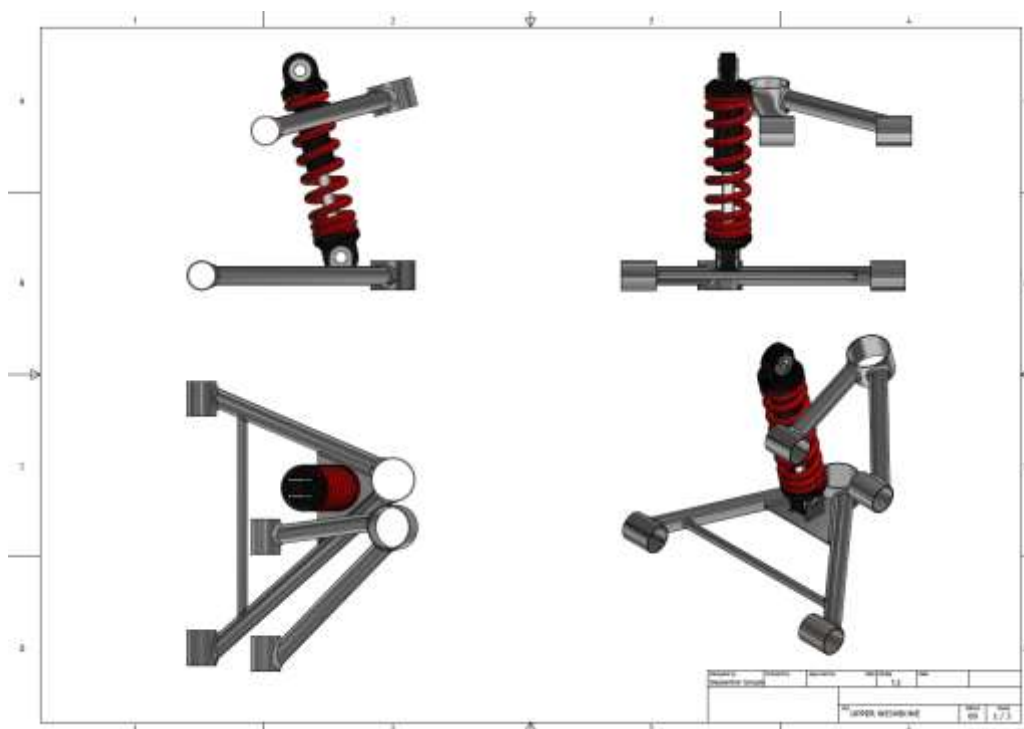
O processo de soldagem por eletrodo revestido deve atender aos requisitos, visto que de mostra bastante vantajoso e visto também que é bastante utilizado para soldar aços-carbono, aços inoxidáveis, entre outros e, nesse processo, o metal de adição e a proteção são fornecidas pelo próprio eletrodo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da modelagem, inicialmente foi obtido o modelo geométrico a partir de croquis e sem detalhes. Neste ponto, foi visto que a colocação de um sistema com amortecedor e mola traria ao desenho uma melhor percepção e apresentação.

Então, na Figura 33, já é possível observar, na primeira folha do desenho (1/3), o resultado do modelamento geométrico que mostra a suspensão *wishbone* montada, mostrando as suas vistas em projeções, além da perspectiva isométrica.

Figura 33: Folha de impressão 1/3 – modelo geométrico em perspectiva



(Fonte: Autor, 2018)

Esta etapa mostrou que trabalhar com sketches simples é mais eficiente, visto que torna mais flexível a edição do modelo. Ainda aqui, a importância das considerações iniciais das restrições, tornaram a etapa prática da modelagem no *software* mais rápida, onde o *software Autodesk Inventor®* se mostrou bem eficaz.

Por último, foi constatado que a divisão do desenho em camadas tornou mais prática a sua edição durante todo o processo de modelamento. Esta estruturação foi importante principalmente quando era necessário realizar edições em certas partes do modelo. Daí, era possível suprimir alguns níveis para se ter acesso às estruturas que seriam modificadas. Além disso, foi muito importante quando se necessita melhorar a visualização do conjunto.

Logo após esta etapa, deu-se início ao processo de detalhamento do modelo, aqui, como resultados foi obtido o modelo completamente detalhado com todas as informações necessárias para sua fabricação.

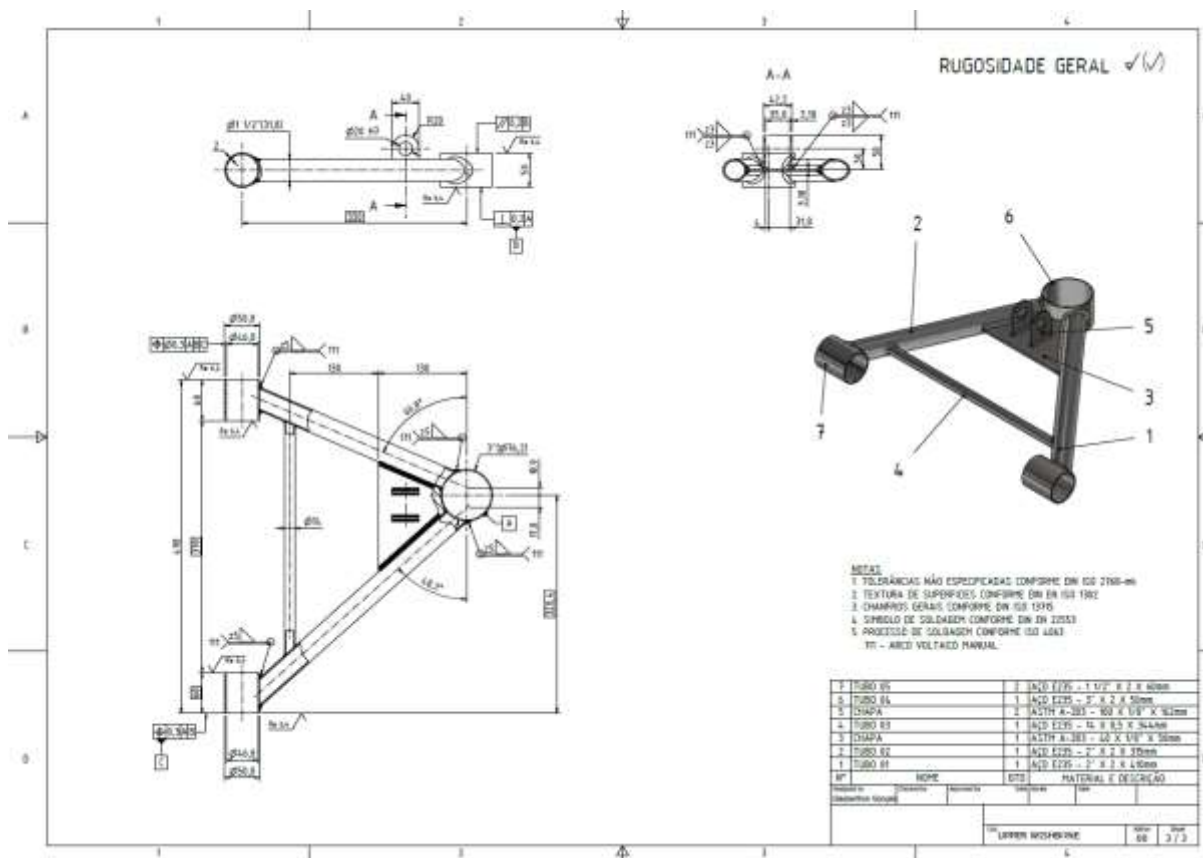
Nesta etapa, a dificuldade de se identificar as tolerâncias, trouxe de volta ao planejamento inicial das restrições. Relacionando estas informações, foi possível obter, de forma simples, as especificações da geometria, quanto às tolerâncias, restrições e acabamentos superficiais.

Outra dificuldade se mostrou na adição de informações adicionais que não puderam ser expressas nos desenhos. Posteriormente, uma releitura de algumas normas trouxe como solução a adição destas informações na folha como notas. Como é o exemplo das texturas e tolerâncias não especificadas.

Como consequência desta etapa do processo, obteve-se as folhas de desenho 2/3 e 3/3, com os detalhamentos das bandejas superior e inferior, respectivamente, como pode ser observado nas Figuras 34 e 35.

Figura 34: Folha de impressão 2/3 – Detalhamento da bandeja superior

Figura 35: Folha de impressão 3/3 – Detalhamento da bandeja inferior



(Fonte: Autor, 2018)

Com informações inicialmente fornecidas pelo croqui, o modelamento se tornou algo com foco na especificação de parâmetros e características de materiais necessários para fabricação.

Obedecendo então a metodologia abordada por Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007), as etapas de modelagem se tornaram algo sequencial, deixando o trabalho pesado para o detalhamento.

No detalhamento, a normatização se mostrou necessária e balizadora para a conclusão do trabalho. Neste ponto, normas de desenho técnico e de especificação dos materiais adotados para compor o projeto foram norteadores para que o objetivo fosse alcançado.

Por último, o projeto da *wishbone* adotada atendeu às expectativas iniciais de projeto. Visando uma suspensão de geometria simples, formada por tubos soldados, de fácil construção a partir de processos de soldagem comumente utilizados.

6 CONCLUSÃO

6.1 Conclusão

Este trabalho apresentou e aplicou uma metodologia de modelagem utilizando-se do *software* paramétrico de modelagem 3D *Autodesk Inventor*®.

O objetivo principal foi o de desenvolver uma geometria de simples fabricação para bandejas de suspensão veicular do tipo wishbone, utilizando tubos trefilados e chapas laminadas, que posteriormente seriam unidos por solda para obtenção das bandejas de suspensão.

A partir do croqui, com informações iniciais de dimensões e disposição dos tubos na superfície e com a ajuda do *Autodesk Inventor*®, foi possível determinar uma geometria que atendia aos requisitos preliminares do projeto, os quais já estavam inicialmente estabelecidos. Logo após este processo, deu-se início à etapa de detalhamento com a adição de informações necessárias à sua posterior fabricação e replicação.

Como conclusão tem-se inicialmente que o *software* se mostrou bastante eficaz na modelagem, até porque, se tratava de uma geometria simples, ficando a maior parte do trabalho com o detalhamento do modelo. Ainda na modelagem, observou-se que a adição de um elemento já modelado, adicionado ao projeto, traria uma melhor interpretação do sistema. Neste momento, foi adicionado um sistema de amortecedor e mola, o que trouxe ao projeto uma melhor interpretação e apresentação do modelo.

A metodologia apresentada e adotada para a modelagem também foi outro ponto de destaque, já que se mostrou bastante eficiente no que diz respeito à velocidade e simplicidade.

Já no detalhamento, parte que necessitou de maior atenção e pesquisa, a consulta à várias Normas Regulamentadoras se fez bastante presente. Aqui, para que fosse possível se especificar cada um dos detalhes dos modelos, consultas à mais diversas Normas de desenho e de fabricação tiveram de ser feitas. Fazendo com que esta prática se tornasse comum durante todo o desenvolvimento desta etapa.

Ainda nesta fase do processo, todas as várias Normas aplicadas à representação de desenho técnico se fizeram presentes, requerendo assim, um tempo grande para estudo e leitura das mais diversas Normas aplicadas neste tipo de representação.

Já na definição das tolerâncias, outra dificuldade se apresentou. Por não se tratar de peças obtidas por remoção de material, as tolerâncias dimensionais e geométricas aplicadas seriam aqueles presentes no próprio processo de fabricação, obedecendo apenas à critérios determinados na própria Norma que caracterizava tais materiais.

Na escolha dos materiais, a pesquisa pelos diversos tipos de matérias aplicados a estruturas mecânicas se fez presente. Aqui, o aço trefilado a frio E235 para os tubos e o aço laminado AST A-283 se mostraram capazes de desempenhar o papel de constituintes da nova estrutura mecânica.

Finalizando o projeto, um processo de soldagem simples e de baixo custo deveria concluir. Aqui, a escolha do processo de soldagem por eletrodo revestido foi totalmente vantajosa, o que mantinha o projeto na simplicidade de operação e custo.

Concluído o processo, foi possível obter a modelagem completa de uma suspensão *wishbone* com propriedades e características necessárias e suficientes para sua fabricação e replicação.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em função de uma geometria anteriormente determinada, este trabalho se fez por completo apenas modelando a partir destas dimensões inicialmente informadas. Porém, algumas sugestões podem ser feitas quanto à continuação ou mesmo edição deste trabalho:

- Desenvolver uma nova metodologia a modelagem de sistemas mecânicos;
- Adição da análise em Elementos Finitos para determinar uma nova geometria;
- Modelar um novo sistema de suspensão fabricado com peças de fundição;
- Adicionar a modelagem do sistema de amortecedor mola, segundo às Normas.

REFERÊNCIAS

ALMACINHA, José Antônio. A modelagem em CAD 3D e a Especificação Técnica no Desenvolvimento de Produtos. *INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial*, Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <http://www.inegi.pt/instituicao/ons/pdf/21_jasa-5.pdf>. Acesso em 15 mai. 2018.

NONO SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL, mai. 2010, *A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia*. Minas Gerais: Universidade Federal de São João Del Rei, 2010. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/simmec2010/pagina/analise_numerica/PME-04.pdf> Acesso em 10 abr. 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM A36: Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling*. In Annual Book of ASTM, Philadelphia, 2008.

TRIRD SYMPOSIUM ON SOLID MODELING AND APPLICATION, mai. 1995, *Parametric Design and its Impact on Solid Modeling Applications*. Salt Lake City, UT, USA, 1995. Disponível em: < <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=218018>> Acesso em 21 mai. 2018.

ANDRADE, G. O. *Dimensionamento Geométrico e Análise Elastocinemática de Suspensão Automotiva do Tipo Duplo A*. 2013. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5599-1: Tubos trefilados a frio sem solda longitudinal (sem costura), Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6158: Sistema de tolerâncias e ajustes, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6409: Tolerâncias geométricas – Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8196: Desenho técnico - Emprego de escalas, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8403: Aplicação de linhas em desenhos – Tipos de linhas - Larguras das linhas, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8404: Indicação do estado de superfícies em Desenhos Técnicos, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10067: Princípios gerais de representação em desenho técnico, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10068: Folha de desenho - Leiaute e dimensão, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10126: Cotagem em desenho técnico, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12298: Representação de corte por hachura em desenho técnico, Referências, Elaboração. Rio de Janeiro, 1995.

BORGES, M. M. *O uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica e raciocínio espacial no processo de projeto*. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 21-37, jan./jun. 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v11i1.99615>> Acesso em 16 abr. 2018.

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. *Elementos de máquinas de Shigley*. 10. ed. Porto Alegre, RS, 2016. 1073p.

CRUZ, Michele David. *Autodesk Inventor 2016 Professional – Desenhos, Projetos e Simulações*. 1.ed. São Paulo: Érica, 2016.

ESPINOZA, Marcos; SCHAEFFER, Lirio. *Uso DO CAD / CAE / CAM na produção de matrizes para os processos novos de conformação mecânica*. Revista Del Instituto de Investigación, San Marcos, v. 7, n. 14, p. 84-91, 2004.

FOGGIATTO, José Aguiomar; VOLPATO, Neri; BONTORIN, Ana Carolina Bueno. *Recomendações para a modelagem em sistemas CAD-3D*. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, São Paulo, abr. 2007.

JUNQUEIRA, Emerson Luís; PATROCÍNIO, Luiz Eduardo Nicolini Do; CORRÊA, Valesca Alves. *Modelagem em cada parâmetro tridimensional do eixo estriado de uma bomba de pistões*. 2013. RETC - Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura, Jundiaí – SP. Disponível em < <http://www.fatecjd.edu.br/aviso/edicoes/13ed.pdf>>. Acesso em 3 de jun. 2018.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. *Fundamentos do projeto de componentes de máquinas*: 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MARQUES, Fernando Michelon et al. *Desenvolvimento do projeto mecânico de uma máquina para teste de torção em eixos: Um caso prático*. Revista Ciência e Tecnologia, [S.l.], v. 19, n. 35, dez. 2016. ISSN 2236-6733. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/522>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

MECÂNICA INDUSTRIAL. *Vantagens da modelagem 3D CAD para design de produto mecânico*. 2015. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/600-vantagens-da-modelagem-3d-cad-para-design-de-produto-mecanico/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

RIBEIRO, Antônio Clélio; PERES, Mauro Pedro; IZIDORO, Nacir. *Desenho técnico e AutoCAD*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

ROMEIRO FILHO, Eduardo. *Sistemas integrados de manufatura: para gerentes, engenheiros e designers*. São Paulo: Atlas, 2015.

SANTOS, A. G. *Desenvolvimento de Metodologia para Parametrização de Equipamentos Mecânicos Pressurizados*. 2011. 141 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G., *Projeto de Engenharia Mecânica*: 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

VIARO, FS et al. *Projeto de produtos utilizando processos de modelagem paramétrica, prototipagem e fabricação digital*. Projeto de Design Blucher, Gramado - RS, v. 1, n. 4, p. 2-6, 2014. Disponível em: < www.proceedings.blucher.com.br/evento/11ped>. Acesso em 19 jun. 2018.

VILLERMANN, Marek. *Global web search as a new marketing planning tool for CAD vendors*. Disponível em: <<http://www.ictspaggetti.com/CAD/vol3issue2/mcad.php>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

APÊNDICE A – MODELOS GEOMÉTRICOS CONSTRUÍDOS

