

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO DE CARRO DE TRANSPORTE E DE INSTALAÇÃO PARA O TREM DE POUSO
DE NARIZ DA AERONAVE EMBRAER 190**

por

Vítor Gularte de Oliveira

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro de 2016



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE CARRO DE TRANSPORTE E DE INSTALAÇÃO PARA O TREM DE POUSO
DE NARIZ DA AERONAVE EMBRAER 190

por

Vítor Gularte de Oliveira

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Joyson Luiz Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof. Gilberto Dias da Cunha

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara

Prof. Patric Daniel Neis

Porto Alegre, 02, Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meu país Francisco e Valéria, que nunca pouparam esforços para o bem de seus filhos. À minha irmã Lívia Almir, por sempre por sempre me alegrar. À minha namorada Mariana por três anos sendo a maior companheira que já conheci. Aos meus tios, tias, primas, primos e vó, por toda força que me deram durante a minha vida.

À toda equipe da oficina de trem de pouso da TAP Manutenção e Engenharia, todos contribuíram com os seus conhecimentos para a realização do trabalho. Ao meu orientador Joyson Pacheco, pela paciência e atenção dada a este trabalho.

À todos os meus amigos.

OLIVEIRA, V.G. **Projeto de carro de transporte e de instalação para o trem de pouso de nariz da aeronave Embraer 190**. 2016. 27 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

Este trabalho descreve o projeto de um dispositivo como solução para o procedimento de locomoção e instalação do trem de pouso de nariz da aeronave Embraer 190. Com referências básicas de projeto, considerando as restrições e facilidade de operação, optou-se por um carro com apoios laterais e um ponto central fixo com o objetivo de rotacionar o trem de pouso. Para a análise estrutural foi criado um modelo 3-D em CAD, no *software* SolidWorks, para análise de tensões através do Método dos Elementos Finitos. Os resultados das análises foram aprovados e o aço AISI 1020 foi o escolhido para a fabricação do carro. O projeto foi avaliado como viável, contando que no mercado não há equipamento disponível para aplicação tão específica.

PALAVRAS-CHAVE: Trem de Pouso, Carro de Transporte, Embraer 190.

OLIVEIRA, V.G. **Installation car design for the Embraer 190 aircraft landing gear.** 2016. 27 pages. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

This work describes the design of a device as a solution for the locomotion and installation procedure of the Embraer 190 aircraft landing gear. With basic design references, considering the restrictions and ease of operation, a car with sides supports and a fixed center point was chosen in order to rotate the landing gear. For the structural analysis, a 3-D CAD model, at SolidWorks, was created for analysis using the Finite Element Method. The results of the analyzes were approved and the AISI 1020 steel was chosen for the car manufacturing. The project was evaluated as feasible, counting that in the market there is no equipment available for such specific application.

KEYWORDS: Landing Gear, Transport Car, Embraer 190

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Referencial teórico | 3 |
| 2.1. Estrutura geral de aeronaves..... | 3 |
| 2.2. Características gerais do trem de pouso | 4 |
| 2.3. Metodologia de projeto..... | 6 |
| 2.4. Engenharia reversa | 6 |
| 2.5. Projeto orientado para manufatura e montagem..... | 7 |
| 2.6. Análise estrutural..... | 7 |
| 2.6.1. Criação da malha no método de elementos finitos | 7 |
| 2.7. Validação do projeto..... | 7 |
| 3. Projeto informacional | 8 |
| 3.1. Detalhamento e análise do problema..... | 8 |
| 3.2. Caracterização dos usuários/operadores | 8 |
| 3.3. Previsão do regime de produção..... | 8 |
| 3.4. Análise do pavimento | 8 |
| 3.5. Atributos desejáveis para o produto | 9 |
| 3.6. Exigências legais de configuração..... | 9 |
| 3.7. Estado da técnica..... | 9 |
| 3.8. Pesquisa em banco de patentes | 10 |
| 3.9. Pesquisa bibliográfica..... | 11 |
| 3.10. Análise de viabilidade preliminar..... | 12 |
| 4. Projeto conceitual | 12 |
| 4.1 Geração de conceitos..... | 12 |
| 4.2 Seleção do conceito | 12 |
| 4.3 Detalhamento do conceito | 13 |
| 4.3.1 Suporte superior..... | 13 |
| 4.3.2 Ponto de rotação | 13 |
| 4.3.3 Sistema de travamento vertical..... | 13 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.3.4 Sistema de apoio posterior..... | 13 |
| 4.3.5 Rodas..... | 13 |
| 5. Validação..... | 13 |
| 6. Discussão..... | 14 |
| 7. Conclusão..... | 14 |
| 8. Bibliografia..... | 15 |
| ANEXO A..... | 17 |
| ANEXO B..... | 18 |
| APÊNDICE A..... | 19 |
| APÊNDICE B..... | 20 |
| APÊNDICE C..... | 21 |

1. Introdução

Empresas denominadas como MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*), é como são chamadas as empresas que realizam manutenção de aeronaves. Estas devem seguir as normas impostas pelas autoridades mundiais de aviação, como a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), FAA (*Federal Aviation Administration*) e a EASA (*European Aviation Safety Agency*). Além das regras das autoridades, devem seguir as diretrizes e especificações de reparo de cada fabricante contidas nos seus devidos manuais.

Os principais fabricantes de componentes aeronáuticos, como a *Liebherr*, *Messier Dowty* (fornecedor da Airbus e ATR) e ELEB (ramo da Embraer responsável pela fabricação de componentes), fornecem as principais ferramentas para o reparo do trem de pouso. As empresas não fornecem as ferramentas denominadas como “ferramentas especiais”, que não estão nos CMMs (*Component Maintenance Manual*), mas são essenciais para a completa manutenção e reparo do trem de pouso. Este trabalho tem como alvo suprir esta necessidade de um projeto para uma ferramenta especial.

O trem de pouso só pode ser considerado totalmente revisado e apto para voar pelos próximos 10 anos ou 20.000 ciclos depois de passar por uma bateria de testes que comprovem seu correto funcionamento. Um destes testes é realizado em uma prensa hidráulica que foi projetada para testar uma ampla gama de trens de pouso, como trens do Boeing 737, Airbus A320, ATR -42/-72 e Embraer 190. O problema encontra-se na instalação do trem de pouso do E190 na prensa, pois nos outros modelos apenas o amortecedor do trem precisa ser testado, uma peça pequena e leve, e no Embraer 190 o manual pede que o trem de pouso inteiro seja testado. O trem de pouso de nariz do E190 pesa 140 kg e tem 1,77 metros [CMM 32-21-07, REV 7]. No Anexo A, encontra-se o desenho de montagem da prensa hidráulica, onde podem ser extraídas informações básicas para o projeto. A altura máxima do vão de entrada da prensa passa dos 2900 mm e é ajustável. Para o teste do trem do E190, a altura é ajustada em 2500 mm. A largura de entrada da prensa tem 1100 mm. A Figura 1.1 fornece uma visão geral de um trem sendo testado na prensa e algumas medidas em milímetros.



Figura 1.1 – Pórtico de testes de trens de pouso.

As ferramentas para instalar o trem na prensa estão mostradas no Anexo B. Sendo a Figura B.1 a mais importante, se tratando da ferramenta superior, a altura da mesma é de 415 milímetros será útil no

cálculo da altura ideal para o carro de transporte. A Figura B.2 mostra a ferramenta de instalação inferior, que não interfere no dimensionamento do carro.

Outro ponto importante para o dimensionamento são as grandezas do trem de pouso do E190. A Figura 1.2 [CMM 32-21-07, REV 7] apresenta as dimensões principais do trem de pouso em milímetros e seu centro de massa.

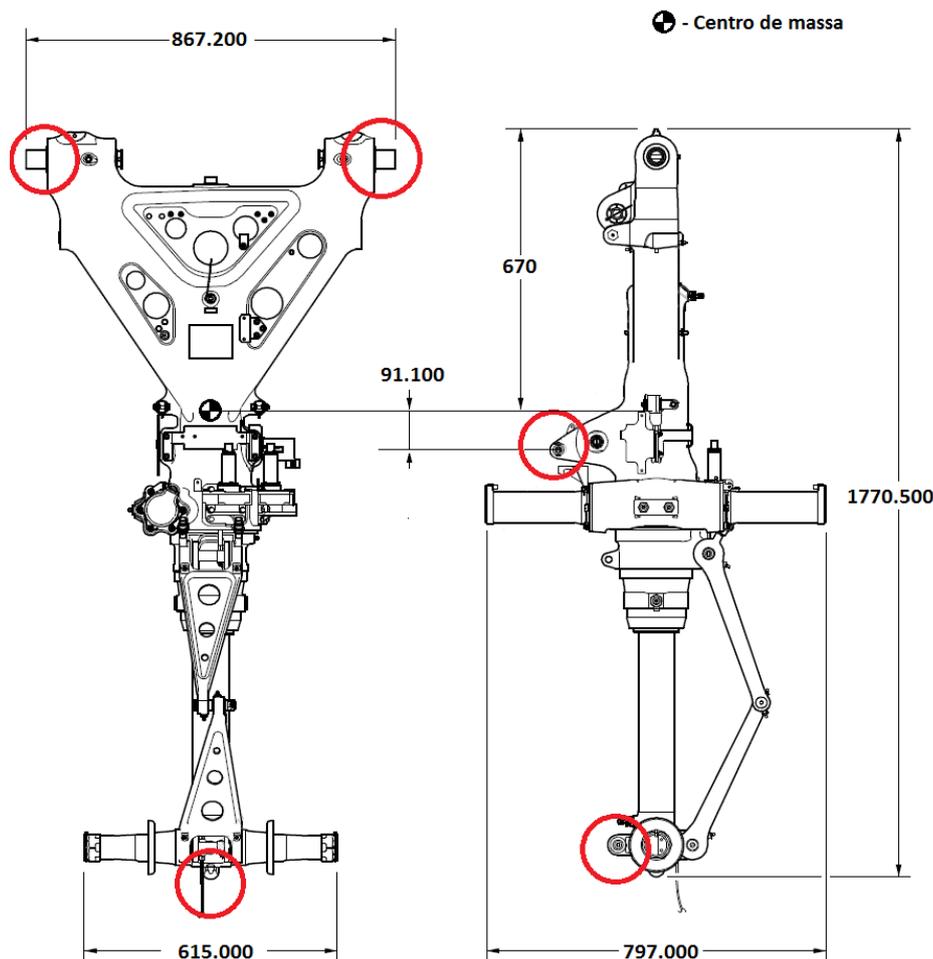


Figura 1.2 – Dimensões e locais de apoio do trem de pouso. [Fonte: o autor].

Levando em conta o problema de não prejudicar o acabamento superficial do trem de pouso, a Figura 1.2 também mostra os locais onde essa proteção superficial não é feita, as quais geralmente são áreas que serão muito solicitadas enquanto o trem de pouso estiver em atividade.

O processo de manutenção do trem de pouso é realizado na estrutura da TAP M&E (*Maintenance and Engineering*) de Porto Alegre. O trem deve passar pelos setores de tratamento térmico, *Shot Peening*, oficina de galvanoplastia, oficina de trem de pouso e depois de finalizado ir para um dos quatro hangares. As oficinas são dispersas pela empresa, logo o trem de pouso é intensamente movimentado entre as oficinas. O problema dessa acentuada movimentação é que se a mesma não foi feita de maneira correta, pode danificar a superfície do trem de pouso, resultando em retrabalhos e em prejuízos para a empresa.

Este trabalho possui como objetivo fazer a instalação do trem de pouso na prensa hidráulica e garantir que o próprio não sofra nenhum dano imprevisível enquanto estiver no processo de revisão. Caso ambos problemas sejam resolvidos com sucesso, possibilitará a empresa a homologação da revisão do trem de pouso Embraer 190 pelas autoridades ANAC, FAA e EASA, viabilizando o fechamento de contratos para companhias que utilizam tal aeronave. Somando a homologação e a moeda brasileira desvalorizada, a TAP M&E iria se tornar uma forte concorrente no mercado internacional, fomentando a economia brasileira e local.

Este trabalho começa com a pesquisa de um referencial teórico, apresentando o que há na literatura que pode ajudar a resolver o problema, o foco da pesquisa será engenharia do produto. Após a primeira etapa, serão aplicados os conceitos desenvolvidos de forma lógica e sequencial para a tomada de decisões do projeto. Acontece neste segundo capítulo a pesquisa de dados referente aos problemas, pesquisa de produtos similares, geração, seleção e detalhamento dos conceitos. Em seguida será apresentado o resultado derivado da metodologia aplicada, mostrando a configuração funcional e técnica do carro pretendido. O trabalho será finalizado com a discussão sobre os resultados obtidos, tendências evolutivas para o projeto e as devidas conclusões.

2. Referencial teórico

Neste capítulo são apresentados os conceitos utilizados para o desenvolvimento do projeto. Primeiramente é apresentada a estrutura geral de aeronaves, e a importância do trem de pouso. Seguidamente, é feita uma revisão sobre metodologias de projeto que fazem parte da concepção, assim como o conceito de engenharia reversa e de projetos orientados para a manufatura e montagem. O capítulo se encerra com duas seções que defendem a modelagem computacional do produto: análise estrutural e validação do projeto.

2.1 Estrutura geral de aeronaves

A Figura 2.1 traz os componentes estruturais típicos de uma aeronave de asa fixa. Este tipo de aeronave geralmente é dividida em 5 partes principais – trem de pouso, asas, estabilizadores, fuselagem e superfícies de controle. Neste subcapítulo serão brevemente explicados três destes elementos: estabilizadores, superfícies de controle e fuselagem. No subcapítulo posterior, o trem de pouso será caracterizado em um grau mais elevado.

- Estabilizadores: Encontram-se no cone de cauda da aeronave, podem ser estabilizadores horizontais ou verticais. Além de estabilizar o avião, ajudam a direcionar o voo do mesmo.
- Superfícies de controle de voo: São os componentes que habilitam o controle direcional da aeronave. Geralmente estão presos a dobradiças ou superfícies móveis. Os mais conhecidos desta categoria são os flaps.
- Fuselagem: É a estrutura principal, mais conhecida sendo o corpo da aeronave. Ela fornece espaço para os controles, passageiros, carga e equipamentos em geral. Existem diferentes tamanhos e arranjos dos compartimentos.

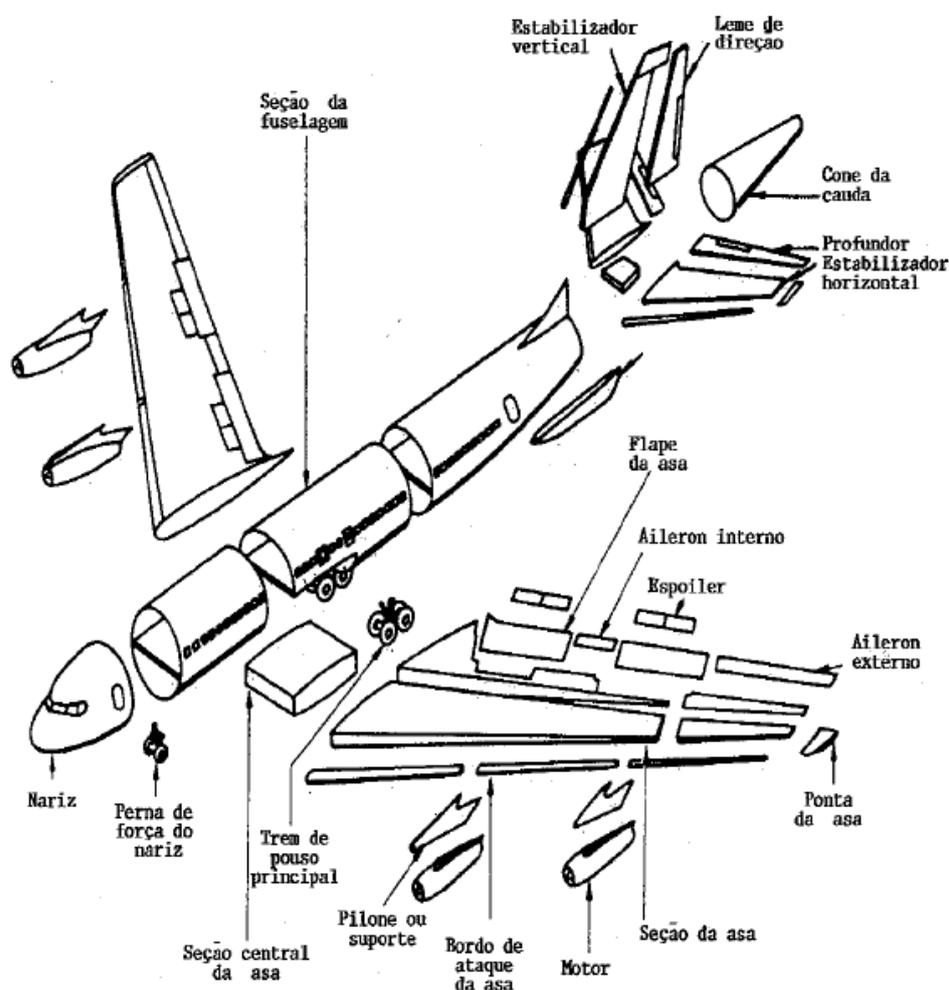


Figure 2.1 – Componentes estruturais típicos de uma aeronave a jato. [Sadraey,2009]

2.2. Características gerais do trem de pouso

O trem de pouso é uma parte vital das aeronaves, já que todas necessitam uma estrutura adequada para dar suporte em terra além de permitir que o avião seja taxiado. Os trens de pouso principais devem ser posicionados de modo que suporte de 86 a 92% do peso do avião, sendo o restante apoiado no trem de pouso de nariz [Sadraey,2009].

As disposições mais comuns dos trens de pouso estão na Figura 2.2. Nos aviões de pequeno porte, a configuração mais comum encontrada é a convencional, onde as rodas principais ficam na parte frontal da aeronave. A configuração triciclo é encontrada em aviões de grande porte, onde as rodas principais se encontram logo atrás do centro de gravidade da aeronave [Raymer, 1992].

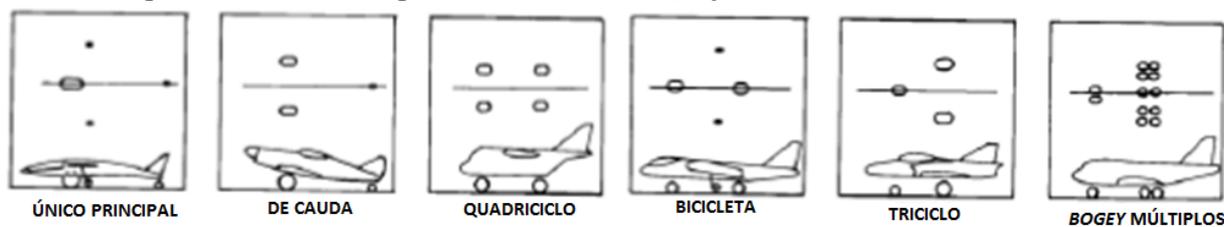


Figura 2.2 – Estruturações do trem de pouso [Raymer, 1992].

Os trens individuais, como os conjuntos apresentados anteriormente, podem apresentar variações construtivas. Os trens podem se apresentar como: bogey, telescópio, alavanca lateral ou articulada, alavanca frontal ou com suspensão, semi-articulada ou do tipo telescópio [Kundu, 2010], como apresenta a Figura 2.3.

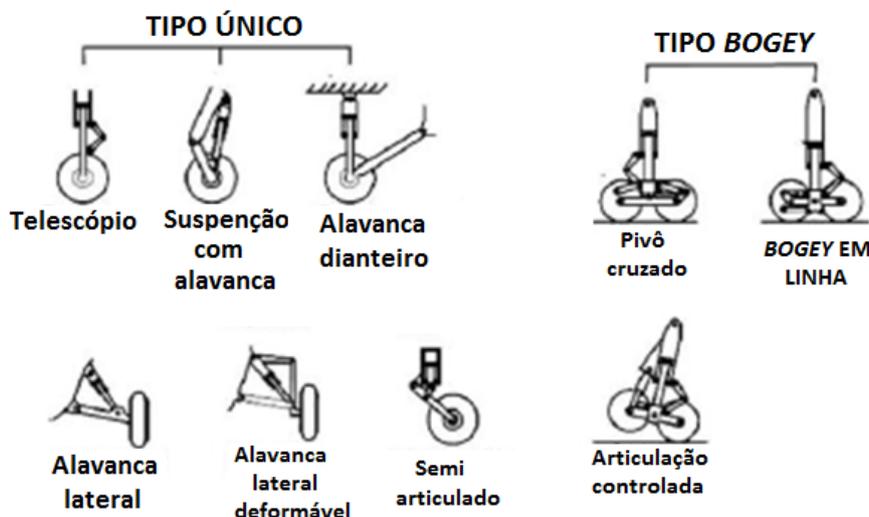


Figure 2.3 – Estruturas comuns para o trem de pouso [Kundu, 2010]

2.3. Metodologia de projeto

O projeto de produto inicia estabelecendo-se um problema, o qual o mais comum é um grupo de necessidades de pessoas (jurídicas ou físicas) que tem alguma relação com o problema apresentado. Ao concluir o projeto, desenvolve-se informações sobre o sistema ou objeto criado, que atendam às necessidades previamente identificadas.

A metodologia do projeto pode ser especificada como métodos e técnicas, uma coleção de procedimentos, com o intuito de ajudar os projetistas na elaboração do produto. Ainda destacam que existem diferentes propostas de metodologia de projeto, as quais procuram suprir as necessidades. A seguir são apresentadas as propostas:

Descritiva – sua origem é relacionada com as experiências de projetistas em resolver problemas de projeto. Esta proposta está concentrada nas ações e atividades dos projetistas ao decorrer do processo de projeto.

Prescritiva – o processo é apresentado na forma de um fluxograma, indicando seus procedimentos, métodos e orientações que guiam os projetistas nas suas ações [Evbomwan, 1996].

A literatura é ampla quando se trata de metodologia de projetos de sistemas modulares e integrados. A seguir é apresentada uma análise dos pontos comuns entre diferentes propostas de metodologias:

- Em uma visão mais abrangente, o processo de projeto possui três atividades padrão: análise do problema, resenha de soluções e avaliação destas soluções verificando o grau que atendem em relação ao problema;
- O processo pode ser descrito através de um consenso entre as metodologias:
 - A definição do problema pelas necessidades dos clientes é o ponto de partida. As necessidades são analisadas afim de esclarecer o problema de projeto, criando-se assim especificações para o projeto. Tal fase é chamada de projeto informacional;
 - Com as especificações definidas, é buscado uma reunião e seleção de conceitos que resolvam o problema proposto. Esta etapa é comumente chamada de projeto conceitual;

- Depois da concepção definida, geralmente de forma e descrições abstratas, parte-se para a fase chamada de projeto preliminar. Aqui o projeto deve sair do campo abstrato e migrar para o concreto. A avaliação do desempenho da configuração é avaliada a partir das atividades de modelagem e simulação.
- Por último, o objeto é submetido a fase de detalhamento, onde as verificações finais, acabamentos, tolerâncias, materiais e processos acontecem.

2.4. Engenharia reversa

Engenharia reversa é definida como um fórum de aprendizado, a vivência e experimentação do projeto do produto [Otto e Wood, 2001]. Ela possibilita a extração de características de outro produto e criar abstrações a partir do sistema [Chikofsky e Cross II, 1990]. Eilam (2005) interpreta de modo mais abrangente, como o poder de extrair conhecimento de projeto a partir de qualquer objeto feito pelo homem.

Engenharia reversa é reprodução do objeto físico efetivo para informações técnicas e modelos virtuais, usando o método de prototipagem rápida. O procedimento de duplicar uma peça já existente, produto ou submontagem sem qualquer desenho, modelo computacional ou informação. Ou ainda o modo de configuração de um modelo geométrico em CAD se baseando em pontos provenientes da digitalização e/ou escaneamento de peças ou produtos já existentes [Raja e Fernandes, 2008].

Engenharia reversa é apresentado como um dos métodos que podem ser utilizados em um projeto: "Método do retrocesso. Neste método não se parte da situação inicial do problema, porém do objetivo. Considera-se o objetivo e, retrocedendo, começa-se a desenvolver todos os caminhos, concebíveis, ou o maior número possível, que desemboquem nesse objetivo" [Back et al, 2008].

2.5. Projeto orientado para manufatura e montagem

Projeto para manufatura e montagem, mais conhecido como projeto DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*) é um dos meios do método DFX (*Design for X*). O "x" deste termo, "projeto para X", são as características ou habilidades que podem ser abordadas nas áreas pertinentes aos processos para desenvolver o produto (além de manufatura e montagem, temos também reciclagem, qualidade, custo, citando apenas alguns).

O projeto DFMA é composto pela combinação dos princípios do DFA (*Design for Assembly*) com o DFM (*Design for Manufacture*). O DFA envolve o projeto do produto, verificado os materiais, funções, formas e o processo de montagem. O efeito do DFA é a redução de componentes, de custo e a simplificação da manufatura. O DFM tem foco no entendimento da interação do projeto com os processos de manufatura, resultando em aumento da produtividade, da qualidade do produto e redução de custos.

Para o projeto para a montagem e para a manufatura ocorra corretamente, deve haver uma mudança no modo em que a empresa gerencia o projeto, além das constantes mudanças das necessidades do projeto. É possível resumir os três grandes objetivos do DFMA como:

- Identificação precisa dos aspectos que afetam a montagem e a produção;
- Assimilar ambos projetos, assegurando o máximo atendimento dos requisitos do projeto;
- Foco do projeto visando fabricação e montagem simples.

2.6. Análise estrutural

Quando um engenheiro analisa estruturalmente um produto, ele conta basicamente com três métodos: numérico, analítico e experimentação em laboratório. Os analíticos são métodos exclusivamente teóricos que visam resolver as equações diferenciais resultantes de uma análise da estrutura. Os métodos numéricos podem resolver uma série de problemas mais complexos com resultados aproximados e com grande velocidade [Maliska, 1995].

Dentro dos métodos numéricos, quatro deles são os mais conhecidos: método dos elementos finitos, método das diferenças finitas, método dos elementos de contorno e o método dos volumes finitos.

O método utilizado neste trabalho será o de elementos finitos, o qual é uma ferramenta numérico computacional empregada para resolver aproximadamente equações diferenciais. Quando o projeto está quantificado, o engenheiro responsável pode realizar os cálculos, mudar o projeto, analisar os resultados, recalcular e realizar o número suficiente de interações para que os resultados obtidos sejam os desejados.

De forma genérica, a análise com elementos finitos pode ser dividida nas seguintes etapas: modelamento do objeto que deverá ser estudado, geração da malha para o domínio, montagem e derivação das equações, utilização das condições de contorno, solução do sistema e ilustração dos resultados [Ribeiro Jr, 1998].

2.6.1. Criação da malha no método de elementos finitos

A geração da malha é a fase na qual o domínio é discretizado em regiões minúsculas denominadas de elementos. A conexão com os elementos ao lado é feita através de pontos, comuns à vários outros elementos, chamados de nós. O movimento de cada nó é totalmente descrito nas três direções, X, Y e Z, que são chamados de graus de liberdade.

A criação da malha, assim como a modelagem, são habitualmente denominados de pré-processamento. Depois do pré-processamento ter sido realizado, segue-se os passos descritos anteriormente.

2.7. Validação do projeto

A validação dos modelos, considerada a comparação com o sistema real, diminui as possíveis incertezas do produto. Em muitos casos avaliar o modelo em todas situações é inviável, podendo acontecer situações específicas não previstas nas quais o sistema real tenha um resultado diferente do modelo. Neste ponto é possível suprimir esta necessidade com um modelo computacional do projeto ou a elaboração de um protótipo.

Utilizando o protótipo, é possível ser registrado sugestões, críticas e reclamações dos usuários. Assim, gerando um relatório que é usado para correções no projeto, contribuindo para melhorias futuras do mesmo,

3. Projeto informacional

Este capítulo reúne grande quantidade de informação a fim de resolver o problema descrito. Em primeiro lugar será efetuado o detalhamento e análise do problema, em seguida vem o capítulo que define o mercado do produto, o regime de produção e a caracterização dos usuários. A primeira parte do projeto informacional acaba com os atributos desejáveis para o produto e um estudo sobre as exigências legais de configuração.

A segunda parte do projeto informacional começa com a análise de produtos já existentes no mercado e uma pesquisa em banco de patentes e na bibliografia afim de achar produtos similares. O projeto informacional finaliza com uma pesquisa sobre o referencial teórico conceitual e a análise de viabilidade preliminar efetuada.

3.1. Detalhamento e análise do problema

O problema consiste na instalação do trem de pouso na prensa hidráulica, instalação necessária para os testes de compressão e extensão sejam efetuadas garantindo o perfeito funcionamento do trem de pouso para quando estiver em atividade. O produto desenvolvido deve ao mesmo tempo garantir a integridade do componente quando estiver em transporte.

3.2. Caracterização dos usuários/operadores

O produto desenvolvido será de exclusivo uso da TAP M&E. Os funcionários são técnicos com treinamento específico em manutenção de trens de pouso, todos têm certificação oficial da ANAC.

3.3. Previsão do regime de produção

A fabricação do dispositivo é de série limitada, acontecendo dentro das oficinas da empresa, privilegiando manufatura flexível. Serão usados refugos de aço, aço padrão e tudo o que tiver disponível dentro das normas que não avarie o componente a ser montado. Em um primeiro momento será fabricado apenas um, porém poderá ser fabricado outro caso haja mais de um trem de pouso de nariz do Embraer 190 em reparo simultaneamente.

3.4. Análise do pavimento

O carro de transporte circulará apenas em instalações aeronáuticas, onde os pisos são devidamente projetados para o trânsito deste tipo de carro. Esses tipos de pavimentos se caracterizam por serem lisos, com poucos desníveis e de grande parte situado em ambiente interno. Este padrão de piso não será uma complicação no projeto.

3.5. Atributos desejáveis para o produto

Levando em conta o problema proposto e a partir de dados coletados com os funcionários da empresa, foram definidas as seguintes características desejáveis para o dispositivo:

- Fácil fabricação: Uma fabricação simples do produto é desejada, pois ele deverá ser fabricado utilizando apenas os recursos disponíveis na empresa;
- Baixo custo: O custo deverá ser o menor possível, afim de preservar o caixa da empresa. Por esse motivo haverá a preferência de utilizar materiais, refugos e os processos disponíveis na empresa;
- Utilização intuitiva: A aplicação do produto deverá ser a mais simples possível, afim de evitar erros de utilização que possam danificar o trem de pouso;
- Resistente a impactos: O dispositivo será frequentemente movimentado, logo poderá haver choques. Será importante o produto não sofrer danos significativos ao ocorrer estes choques;
- Fácil transporte: Uma das funções do produto é realizar o transporte do trem de pouso, portanto o mesmo deverá ser fácil e simples de conduzir, podendo, por exemplo fazer curvas e subir rampas sem problemas;
- Mínima manutenção: O equipamento deverá ser utilizado continuamente, fazendo o mínimo de paradas para a manutenção;
- Seguro para o usuário: O equipamento deverá ser seguro para o usuário, mesmo se for usado erroneamente. Além disso, o equipamento deve ter o mínimo de cantos vivos possíveis e atender os requisitos das normas reguladoras.
- Opção de rotacionar o trem de pouso: O atributo mais importante. O dispositivo tem que ter a configuração que deixe o trem de pouso na vertical, para a instalação na prensa. Assim como deve ter a opção de deixar o trem de pouso na horizontal, facilitando o transporte e sua passagem em, por exemplo, portas de baixa altura.
- Altura ideal: Quando o trem de pouso estiver na posição vertical, ele deve estar na altura ideal para sua instalação na prensa, sem ajuda de qualquer outro equipamento. Levando em conta que a

prensa ficará na altura de 2500 mm, a ferramenta superior (Figura B.1, Anexo B) tem 415 mm até seu centro de encaixe de 80 mm e o diâmetro do pino de encaixe do trem de pouso é de 44mm, foi definido que o trem de pouso deve ficar entre 2065mm e 2105mm quando estiver na posição vertical.

3.6. Exigências legais de configuração

Considerando os possíveis problemas que podem ser causados ao operador, se deve enfatizar as leis e normas que ditam as condições de trabalho. Para isto foram consultados: a Lei nº 6.514 – Consolidação das leis do trabalho, a *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) e a Norma Regulamentadora 17 (NR-17).

A massa que o prestador de serviço pode remover sozinho é de 60 kg, reservando as condições especiais de mulheres e menores (CLT: Art. 198). Segundo a NIOSH, o limite máximo recomendado é de 23 kg. A NR-17 não determina um peso máximo, apenas salienta que é vedado o levantamento e transporte manual com peso suscetível de comprometer a saúde do trabalhador.

3.7. Estado da técnica

Carro de transporte de cilindros: São equipamentos simples usados para transportar cargas pesadas, que um trabalhar sozinho não conseguiria. Sua configuração mínima é de duas rodas conectadas a uma estrutura com o formato tubular, ideal para o transporte de cilindros. Na sua configuração com duas rodas é possível controlar o ângulo do transporte. A Figura 3.3a mostra a configuração deste carro com duas rodas, na Figura 3.3b a configuração com três rodas – que já vem com um ângulo fixo preestabelecido.



Figura 3.3 – a) Configuração com duas rodas;

b) Configuração com três rodas.

3.8. Pesquisa em banco de patentes

O site utilizado para a procura de patentes existentes que tem alguma relação com o produto existente foi o Google Acadêmico (*Google Scholar*), que tem a capacidade de pesquisar simultaneamente em diversos bancos de patentes a nível mundial. Dezenas de palavras chaves foram utilizadas, como: *transport*, *cart*, *cylinder*, *landing gear*, *hand truck*, *vertical transport*, *horizontal transport*.

O resultado da pesquisa foi a patente US 6368048 B2 - *Transport cart for elongated objects* (Carro de transporte para objetos alongados), cuja invenção tem como premissa básica o transporte de objetos cilíndricos, porém seu detalhe particular é a possibilidade de variar a altura do objeto transportado, assim como seu sentido (horizontal/vertical). O produto apresentado na Figura 3.4 apresentar a visão geral da patente.

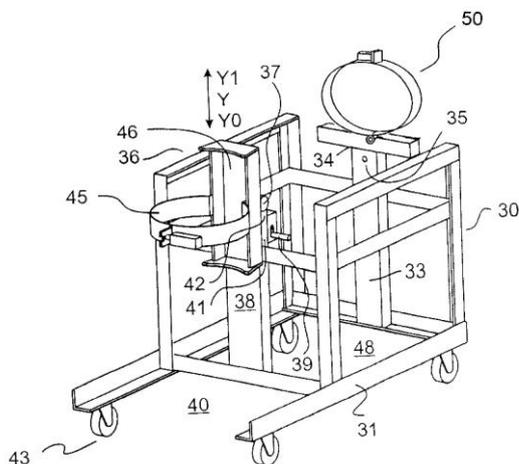


Figura 3.4 – Patente US 6368048 B2

3.9. Pesquisa bibliográfica

Os produtos citados neste capítulo não são definidos como estado da arte nem como patentes. O primeiro se trata do carro de transporte utilizado pela MRO da Liebherr para fazer a manutenção do trem de pouso principal do Embraer 170 seguido de um suporte utilizado pela Boeing para o trem da aeronave 737NG. Estas duas ferramentas não são patenteadas e são de uso exclusivo de suas respectivas empresas, que não permitem a disponibilização de seus desenhos de projeto.

A Figura 3.5 mostra o carro da Liebherr no momento que o trem de pouso está sendo posto nele. Nota-se que é necessário a ajuda de uma talha inicialmente, devido ao grande peso do trem. O aspecto mais importante deste carro é o sistema que se encontra no meio dele, que ajuda a rotacionar o trem de pouso, atributo que pode ser aproveitado na geração de conceitos. A sequência de figuras apresentada na Figura 3.5 mostra este sistema rotacional sendo utilizado.



Figura 3.5 – Carro de transporte da Liebherr para o trem de pouso de nariz do E170. [Fonte: Liebherr]

A Figura 3.6 apresenta o suporte utilizado pela Boeing. Ele é simples e eficiente, sua principal finalidade é deixar o trem de pouso de pé para a instalação de buchas. Seu transporte só pode ser realizado com ajuda em uma empilhadeira.



Figura 3.6 – Suporte utilizado pela Boeing. [Fonte: Boeing].

3.10. Análise de viabilidade preliminar

O problema de colocar o trem de pouso na máquina de teste não tem solução pronta, o improvisado é perigoso e imprevisível, existe interesse técnico e econômico no produto a projetar. Então, justifica-se como viável preliminarmente o projeto do carrinho.

4. Projeto conceitual

Com as especificações já definidas no projeto informacional, neste capítulo busca-se uma reunião e a seleção do conceito que resolva o problema proposto. É realizada a geração de três conceitos, dos quais é selecionado um e o mesmo é detalhado.

4.1 Geração de conceitos

Utilizando as metodologias de engenharia reversa e projeto voltado para a manufatura e montagem, foram gerados três conceitos:

Conceito A: leva em conta onde o trem de pouso pode ser apoiado sem causar danos em sua pintura. Tem como principal base o carro de transporte utilizado pela Liebherr. (Figura 4.1a)

Conceito B: combina o carro utilizado pela Liebherr com o suporte da Boeing. A estrutura se apresenta mais complexa, porém ainda preserva o acabamento do trem de pouso. (Figura 4.1b)

Conceito C: foi pensado a partir da patente US 6368048 B2. Simples e os danos que o acabamento do trem sofreria tentariam ser reduzidos utilizando materiais alternativos. (Figura 4.1c)

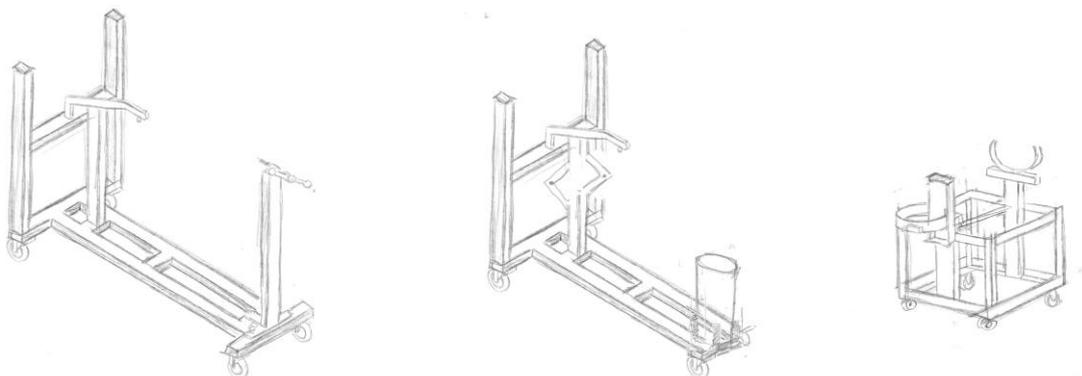


Figura 4.1 - a) Conceito A

b) Conceito B

c) Conceito C

4.2 Seleção do conceito

A fim de auxiliar a seleção do conceito, também foi utilizado a simplificação do sistema criado por Yogi Akao, 1996, o método da Matriz de Decisão. O método tem como base uma matriz feita pelo projetista atribuindo um peso para cada atributo do projeto. Assim, a avaliação é feita de modo subjetivo analisando o quanto cada conceito atende cada característica, o resultado é demonstrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Matriz de decisão para o conceito. [Fonte: o autor].

| MATRIZ DE DECISÃO | | | | |
|--------------------------|-------------|------------------|-------------|-------------|
| Atributo | Peso | Conceitos | | |
| | | A | B | C |
| Custo | 7 | 100% | 75% | 80% |
| Simplicidade de uso | 7 | 100% | 85% | 90% |
| Manutenção | 6 | 95% | 80% | 80% |
| Fácil Fabricação | 6 | 95% | 75% | 90% |
| Resistencia a impactos | 5 | 95% | 80% | 95% |
| Operação Segura | 5 | 90% | 80% | 85% |
| Montagem | 5 | 90% | 60% | 85% |
| Estrutura | 4 | 90% | 100% | 95% |
| Design | 3 | 95% | 90% | 85% |
| TOTAL | 48 | 45,6 | 38,2 | 41,7 |

O conceito A ficou em primeiro lugar, em seguida o conceito C e então o conceito B. O conceito A e C ficaram muito próximos, porém o A se sai melhor nos atributos com melhores pesos, então ele que será o conceito detalhado.

4.3 Detalhamento do conceito

No Apêndice A é mostrado o conceito do carro de transporte montado. Nesta seção os principais aspectos do conceito selecionado são detalhados, são eles: o suporte superior, o ponto de rotação, o sistema de travamento vertical, o sistema de apoio posterior e as rodas.

4.3.1 Suporte superior

Tem a função de segurar o trem de pouso quando o mesmo está na posição horizontal. É equipado com uma dobradiça permitindo sua abertura e fechamento. No suporte superior também há um sistema de travamento na sua frente, impossibilitando sua abertura involuntária. O suporte é visto com mais detalhes no Apêndice B, Figura B.1. Futuramente, o diâmetro interno que faz contato com o trem de pouso, poderá ser preenchido com nylon ou outro material mais macio, afim de preservar mais o trem de pouso enquanto estiver em contato.

4.3.2 Ponto de rotação

É no ponto de rotação que acontece toda funcionalidade do carro projetado. Seu diâmetro e sua posição foram desenhados especificamente para o trem de pouso de nariz do Embraer 190. No Apêndice B, Figura B.2 é mostrado este ponto juntamente com um pino trava, desenhado para unir o carro ao trem.

4.3.3 Sistema de travamento vertical

Composto por uma base, quatro pinos guia, dois pinos roscados e duas placas furadas, como é mostrado no Apêndice B, Figura B.3. Inicialmente este sistema fica desmontado, sendo montado apenas quando o trem de pouso é colocado na posição vertical. Uma possível melhoria para este sistema seria sua substituição por um componente que seja fixo no carro, como uma garra controlada por uma alavanca que prenda o trem de pouso quando acionada.

4.3.4 Sistema de apoio posterior.

Como é mostrado no Apêndice B, Figura B.4, o sistema de apoio superior é composto basicamente de uma manivela, um fuso e um suporte desenhado para encaixar no ponto mais abaixo do trem de pouso. Sua função é fixar o trem de ponto horizontalmente, não deixando sua extremidade livre.

4.3.5 Rodas

As rodas escolhidas são de dureza 65A na escala do durômetro Shore, utilizada na medição de dureza de elastômeros, borrachas e polímeros. Os materiais com 65A são definidos como de dureza *medium hard* (meio duros), ideal para o piso que é utilizado definido como *médium soft* (meio macio). A roda escolhida foi a com diâmetro de 158,75 mm, afim de deixar o trem de pouso na altura ideal para sua instalação. A largura da roda escolhida for de 50,8 mm, a mais larga de sua categoria, afim de dar maior resistência ao carro. As duas rodas dianteira são rígidas e as duas traseiras são giratórias e com freios, é este segundo tipo que está sendo demonstrado no Apêndice B, Figura B.5.

5. Validação

Para a validação do conceito proposto, foi modelado computacionalmente (*software SolidWorks*) o trem de pouso do Embraer 190 e instalado no carro de transporte. A Figura 5.1 mostra o resultado desta validação, mostrando que o carro está bem dimensionado para usar o trem de pouso nos dois sentidos.



Figura 5.1 – Modelo do trem de pouso instalado no carro. [Fonte: o autor].

Em relação a análise estrutural, foi simulado a situação crítica, quando o trem de pouso está indo da posição horizontal para a vertical, apoiando todo seu peso no local que permite a rotação do trem. Na simulação o material utilizando foi o aço AISI 1020 laminado a frio, suas propriedades se encontram na Tabela 5.1. O resultado da simulação encontra-se no Apêndice C, onde mostra que a tensão máxima na situação crítica é de 66,30 Mpa, resultando em um coeficiente de segurança igual a 5,3.

Tabela 5.1 – Propriedades mecânicas do AISI 1020 (fonte: <http://www.matweb.com>)

| AISI 1020 Laminado à frio | |
|---------------------------------------|------|
| Massa específica [kg/m ³] | 7850 |
| Tenão limite de ruptura [MPa] | 420 |
| Tensão limite de escoamento [MPa] | 350 |
| Módulo de elasticidade [Gpa] | 205 |

Para conferir que nenhuma exigência legal de configuração seja quebrada, é calculada a força na qual o funcionário deve realizar para rotacionar o trem da posição horizontal para a vertical. Os cálculos estão localizados no Apêndice D, sua conclusão é que o peso empurrado pelo funcionário é de 12,76 kg, não ferindo nenhuma norma regulamentadora.

Para concluir a validação do modelo, é construído um protótipo para ser aplicado em um caso prático. O modelo foi construído todo com aço AISI 1020, e o trem de pouso foi instalado e rotacionado da posição horizontal para a vertical diversas vezes. O resultado desta análise foi considerado positiva, como mostra a Figura 5.2.



Figura 5.2 – Protótipo em operação. [Fonte: o autor].

6. Discussão

O carro é projetado para auxiliar o transporte e instalação do trem de pouso Embraer 190, adequando-se às normas e limitações que surgiram durante o desenho. As três etapas da metodologia utilizada neste processo: Projeto informacional, conceitual e Validação, foram realizadas com sucesso. A validação estrutural do projeto resultou em um coeficiente de segurança alto, concluindo que é uma máquina segura para a utilização. No detalhamento do conceito foi abordado alguns itens para a melhoria do produto, que podem ser usados na continuidade do projeto. Enfim, o projeto poderia ser concluído com um Projeto Executivo e de um Projeto Otimizado (tendo em vista a diminuição de materiais, de custos, peso e volume), os quais não pertenciam aos objetivos deste trabalho.

7. Conclusão

O projeto mostrou-se eficaz na solução do problema, tendo sido aprovado em todas as validações propostas, principalmente na construção e utilização do protótipo. Para a continuação do projeto, o mesmo deve seguir para o projeto executivo. O projeto é adequado para o tipo de piso meio mole, com poucas imperfeições e elevações e para instalar na prensa hidráulica configurada em 2500 mm de altura, para outras características devem ser feitas alterações no projeto.

8. Bibliografia

AKAO, YOGI; “**Introdução ao Desdobramento da Qualidade**”, Fundação Christiano Ottoni, edição traduzida, Belo Horizonte, 1996.

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

CHIKOFSKY, ELLIOT J.; CROSS IL, JAMES. H. **Reverse engineering and design recovery: a taxonomy**. Pp.13-17. IEEE, Jan. 1990.

Component Maintenance Manual 32-21-07 – NLG Shock Strut. LIEBHERR-AEROSPACE LINDENBERG Gmgh. Revisão 7, 30/06/2015.

EILAM, ELDAD. **Reversing: secrets of reverse engineering**. Wiley Publishing, Inc., 2005.

EVBUOMWAN, N.F.O.; SIVALOGANATHAN, S.; JEBB, A. **A survey of design**

Guia Trabalhista, “**NR 17**”, <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>. Acessado em 27/10/2016.

KUNDU, A. K. (2010). **Aircraft Design**. Cambridge: Cambridge University Press.

MALISKA, C. R.. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., xv + 424 p., 1995, Rio de Janeiro, Brasil.

OTTO, KEVIN N.; WOOD, KRISTIN L. **A reverse engineering and redesign methodology for product evolution**. Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Design Theory and Methodology Conference. 96-DETC/DTM-1523. USA, 1996a.

RAJA, V.; FERNANDES, K. J. **Reverse Engineering - An Industrial Perspective**. Londres: Springer, 2008.

RAYMER, D. P. (1992). **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. Washington, DC: AIAA.

RIBEIRO J R , A. SÁ, DOS SANTOS, G J. B. Curso de introdução ao método dos elementos finitos: Aplicação a engenharia estrutural. Salvador, 1998. Universidade Federal da Bahia, vi + 186 p..

SADRAEY, M. (2009). **Aircraft Performance Analysis**. Wiley Publications.

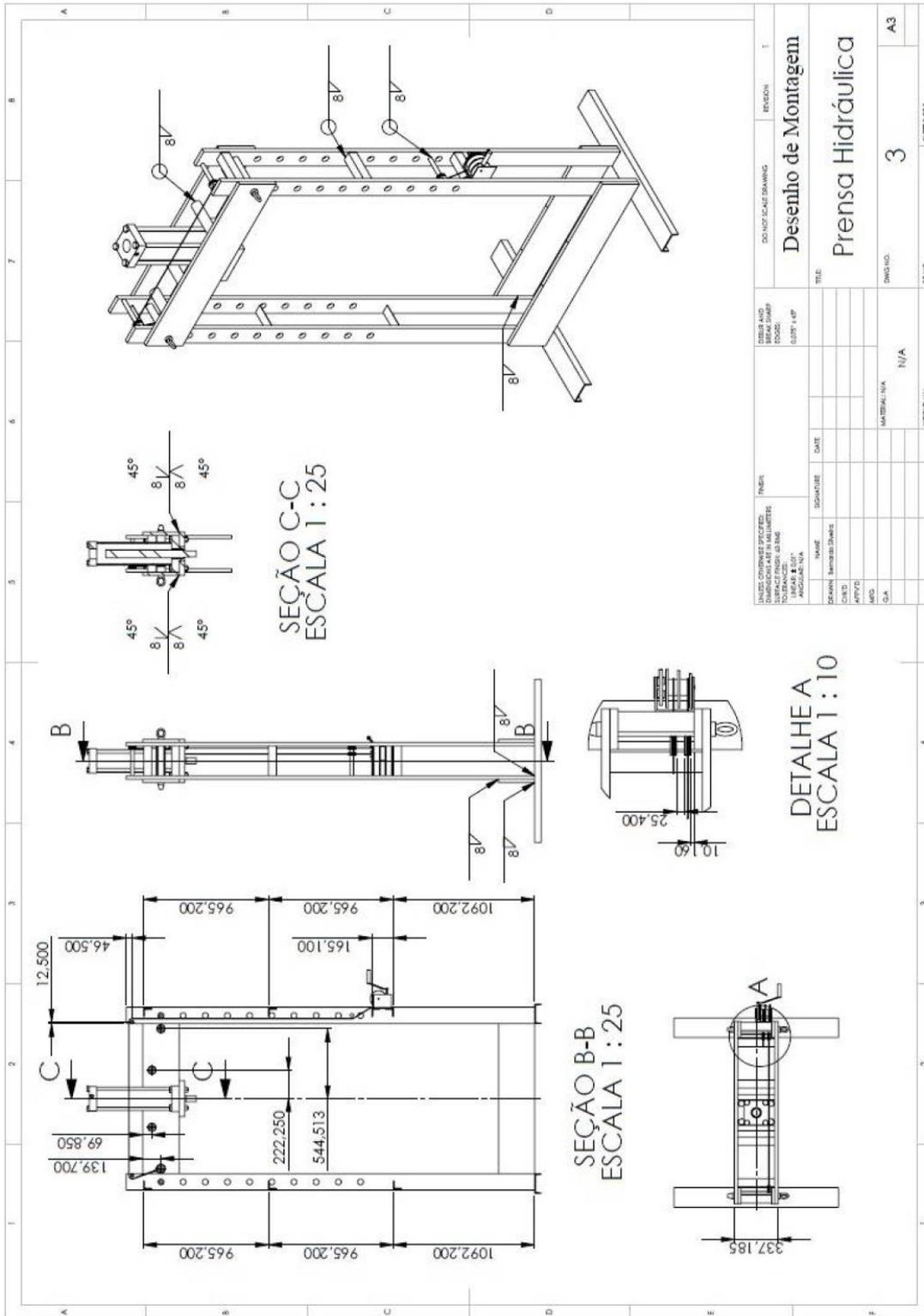
SILVEIRA, B. A. **Projeto da Estrutura de uma Prensa Hidráulica para Realização de Testes de Pressão e Dirigibilidade de Trens de Pouso de Nariz**. 2009. 30f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZEID, I.. **CAD/CAM: Theory and Practice**. McGraw Hill, Inc., New York, USA. xxvi + 1052 p.. 1991.

ANEXOS

ANEXO A - Desenho de montagem da prensa hidráulica.

[Fonte: SILVEIRA, B. A. Projeto da Estrutura de uma Prensa Hidráulica para Realização de Testes de Pressão e Dirigibilidade de Trens de Pouso de Nariz.]



ANEXO B – Ferramentas para a instalação do trem de pouso

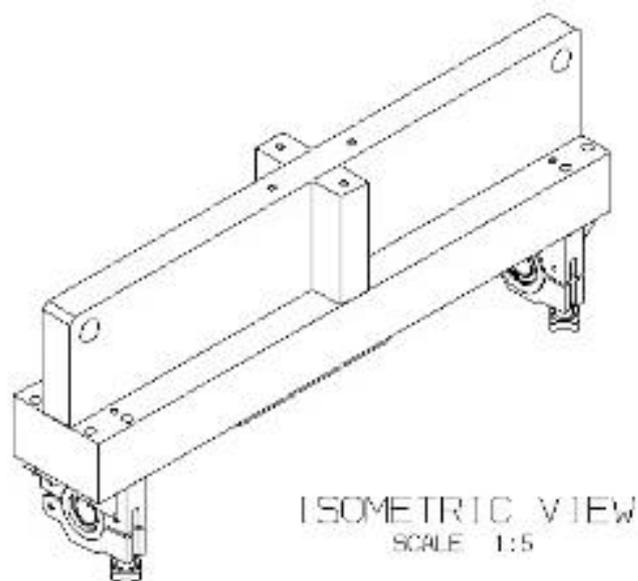


Figura B.1 – Ferramenta de instalação superior.

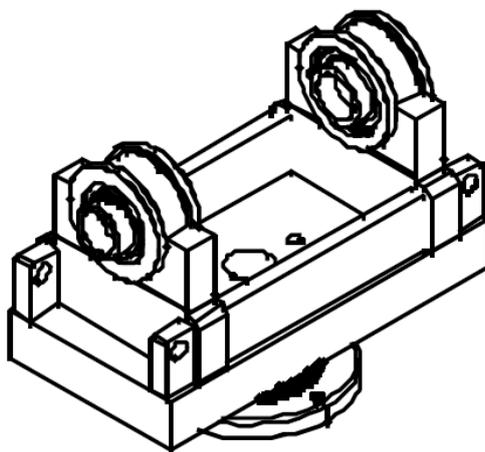


Figura B.2 – Ferramenta de instalação inferior.

APÊNDICE B - Detalhes de montagem

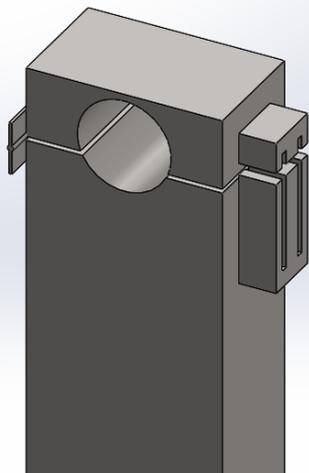


Figura B.1 – Suporte superior

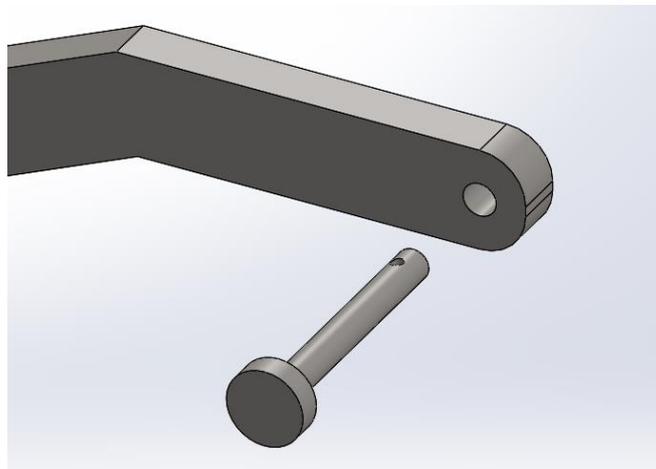


Figura B.2 – Ponto de rotação

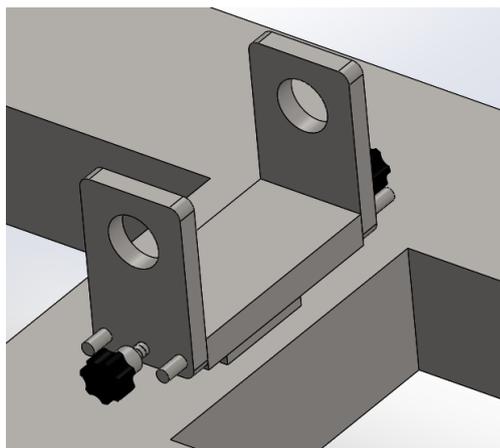


Figura B.3 – Sistema de travamento vertical

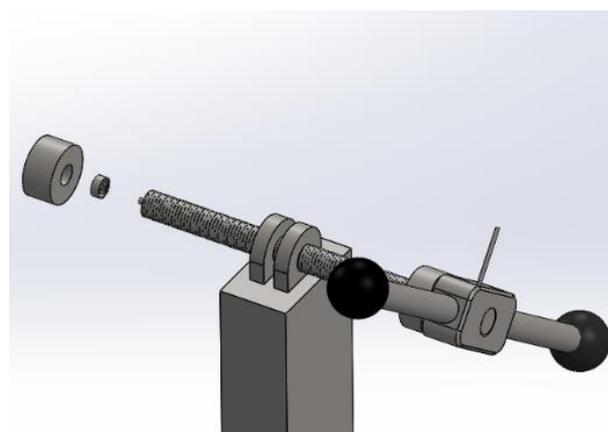


Figura B.4 – Apoio posterior

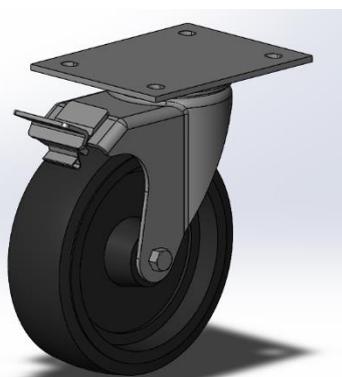
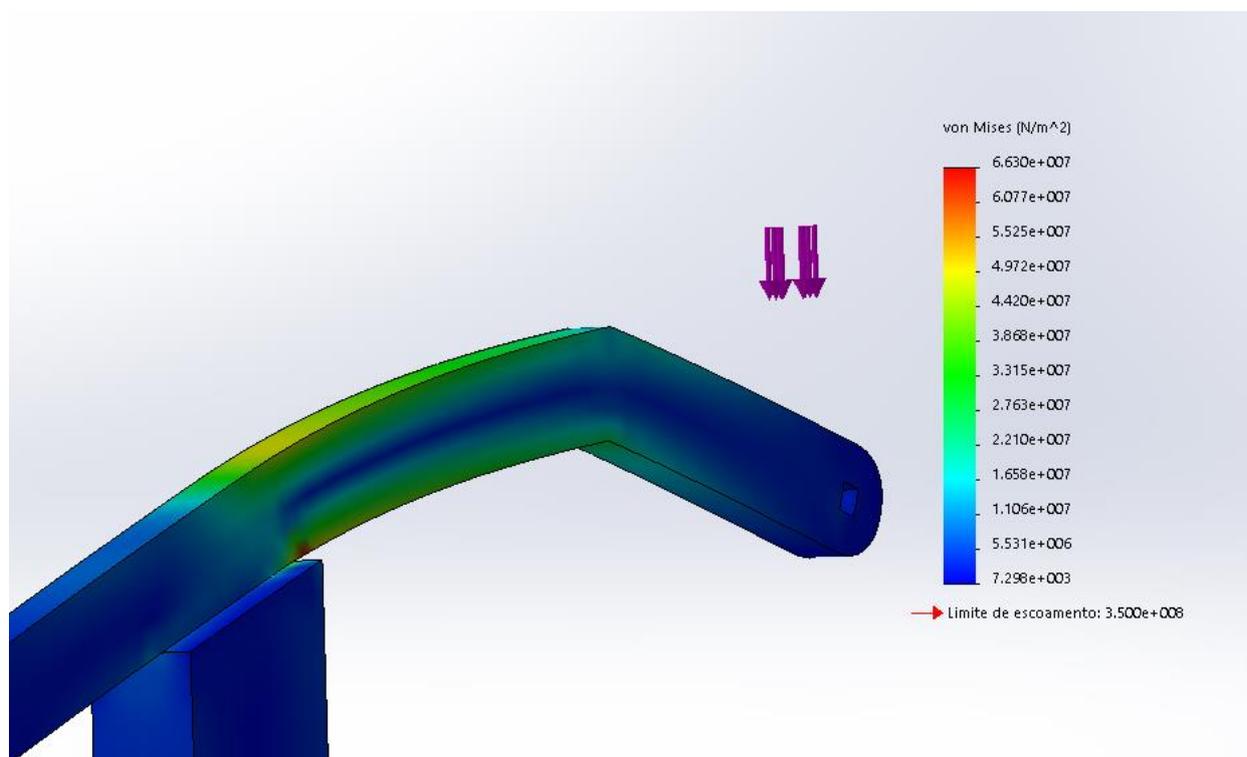


Figura B.5 – Roda dianteira

APÊNDICE C – Resultado da simulação



APÊNDICE D – Cálculo da força do operador.

Para o cálculo será utilizada a equação de equilíbrio estático, que é demonstrada na Equação D.1.

$$\sum_0^n F_i * d_i = 0 \quad (D.1)$$

Baseado nas medidas da Figura 1.2, supondo o peso do trem no centro de massa dele e que o ponto que o operador irá empurrar é 10 mm acima do eixo do trem de pouso, a Equação 3.1 fica:

$$140 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.091 \text{ m} = M_{\text{operador}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (1770.5 - 670 - 91.1 - 10)$$

$$M_{\text{operador}} = 12.76 \text{ kg}$$

A massa equivalente que o operador deverá empurrar é de 12.76 kg.