



**Augusto Diel Graebin**

**IMPLEMENTAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO ESTRUTURAL E FUNCIONAL EM  
CARRETA PARA MOTOCULTIVADOR**

Horizontina-RS

2021

**Augusto Diel Graebin**

**IMPLEMENTAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO ESTRUTURAL E FUNCIONAL EM  
CARRETA PARA MOTOCULTIVADOR**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina, sob orientação do Prof, Me Adalberto Lovato.

Horizontina-RS

2021

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Implementação de aperfeiçoamento estrutural e funcional em carreta para  
motocultivador”**

**Elaborado por:  
Augusto Diel Graebin**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 09/12/2021  
Pela Comissão Examinadora

---

Me. Adalberto Lovato  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Titulação. Nome do Examinador Interno  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Titulação. Nome do Examinador Interno  
FAHOR – Faculdade Horizontina

À Deus, à minha família pelo grande esforço e apoio durante essa trajetória acadêmica. Ao meu orientador pelo suporte prestado e conhecimento transmitido, e a todos que possam se beneficiar deste projeto para o desenvolvimento social, tecnológico e econômico de nosso país.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela Vida.

À minha família, pai Aladi, mãe Rosani e irmão Gustavo por todo auxílio, ensinamentos, e incentivo durante todo processo de graduação.

Ao meu primo Vinícius Diel Schenkel por todo auxílio na construção do protótipo.

Aos professores e a instituição de ensino FAHOR por todo conhecimento passado e os laboratórios disponibilizados para o desenvolvimento do protótipo.

Ao meu Professor orientador Me. Adalberto Lovato por todo Conhecimento repassado, e sua consistência em orientações e instruções garantindo um excelente andamento do projeto.

A própria vida é uma prova de corridas, com um início e um fim. É o que aprendemos durante a corrida, e como aplicamos esse conhecimento, que determina se a nossa participação teve algum contributo de valor.

Ferdinand Porsche

## RESUMO

Com o crescimento populacional mundial, a demanda por alimentos cresce concomitantemente, sendo necessário o desenvolvimento de inovações tecnológicas para o aumento da produção de alimentos no cenário mundial. A indústria 4.0 já é realidade em todo mundo e grandes produtores já utilizam dos mais modernos sistemas para aumento de sua produtividade tanto nas culturas de diferentes tipos de grãos, como na pecuária bovina, suinocultura e avicultura. Em paralelo a isso, observa-se que o desenvolvimento tecnológico voltado para agricultura familiar e de pequenos produtores cresce, porém com grande desproporcionalidade comparado as tecnologias para grandes produtores. Tendo em vista a importância e representatividade dos pequenos produtores e agricultores familiares na produção de diferentes tipos de alimentos na cadeia global de suprimentos iniciou-se o estudo para o aperfeiçoamento de uma carreta de reboque para motocultivador, aplicando uma metodologia de projeto de produto, foram analisados os requisitos de projeto e definidos alguns avanços tecnológicos de grande valia para o produto, sendo eles o funcionamento basculante para descarga de materiais, e a redução de peso da caçamba do produto através da utilização de materiais compósitos. Onde após definidas seus requisitos realizou-se a concepção de esboços, modelagem através de software CAD, análise estrutural do equipamento e pôr fim a construção e validação de um protótipo. Após a realização dos testes identificou-se possibilidades de melhoria no projeto, onde o reforço da viga central da caçamba é necessário e a mudança de angulação dos atuadores elétricos tende a facilitar o funcionamento do produto.

**Palavras-chave:** Inovações tecnológicas. Pequenos Produtores. Projeto de Produto. Carreta De Transporte. Motocultivador

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Participação da agricultura familiar no valor total da produção, segundo as unidades da Federação.....               | 19 |
| Figura 2 - Carretas de Reboque Tipo Baú .....   | 24 |
| Figura 3 - Exemplo de carreta de reboque para transporte de veículos.....   | 25 |
| Figura 4 - Exemplo de carreta reboque fazendinha .....  | 25 |
| Figura 5 – Tipos de Tecidos de fibras .....   | 36 |
| Figura 6 – Exemplos de apoios de vigas.....   | 39 |
| Figura 7 - Exemplo de diagrama de aplicação de esforços e momentos .....  | 40 |
| Figura 8 – Malha exemplificando esforços de tração .....  | 40 |
| Figura 9 – Passos principais na análise de uma estrutura pelo método de elementos finitos.....                                  | 43 |
| Figura 10 – Método Geral para análise de sistemas discretos, método de elementos finitos.....                                   | 44 |
| Figura 11 - Passos para o desenvolvimento de um projeto de produto .....  | 45 |
| Figura 12 – Chassis Carreta Basculante .....  | 58 |
| Figura 13 – Caçamba Em PVC com insertos Parafusados de poliacetal.....  | 59 |
| Figura 14 – Carreta Basculante em vista lateral.....  | 59 |
| Figura 15 – Fixação da Caçamba ao Chassi com elementos de fixação parafusados .....   | 60 |
| Figura 16 – Vista lateral da carreta basculante com os atuadores em posição “Levantados” .....                                  | 61 |
| Figura 17 – Perspectiva isométrica da carreta basculante com os atuadores em posição “levantados” .....                         | 61 |
| Figura 18 – Carreta basculante em posição levantada com revestimento interno em lona para transporte de material granular ..... | 62 |
| Figura 19 – Demonstrativo de deformação crítica em tubos verticais do conjunto....  | 65 |
| Figura 20 – Chassis reforçado com “mãos francesas” para solução de problema estrutural identificado .....                       | 65 |
| Figura 21 – Análise Estrutural após incremento de “mão francesas” .....   | 66 |
| Figura 22 – Identificação de pinos para análise estrutural .....  | 67 |
| Figura 23 – Corte de tubos de PVC .....   | 71 |
| Figura 24 – Furação tubos PVC com auxílio de fresadora.....   | 72 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 25 – Dispositivo para posicionamento e laminação da fibra de vidro nos tubos de PVC..... | 72 |
| Figura 26 – Laminação de fibra de vidro em Tubos de PVC.....                                    | 73 |
| Figura 27 – Processo de lixamento dos tubos de PVC laminados com fibra de vidro .....           | 73 |
| Figura 28 – Corte de insertos de poliacetal com auxílio de serra.....                           | 74 |
| Figura 29 – Processo de furação central nos insertos de poliacetal .....                        | 74 |
| Figura 30 – Processo de fabricação de roscas internas com utilização de macho ...               | 75 |
| Figura 31 – Fresamento dos insertos para encaixe nos tubos de PVC.....                          | 75 |
| Figura 32 – Quadro inferior montado .....   | 76 |
| Figura 33 – Chapa expandida cortada com auxílio de guilhotina.....                              | 76 |
| Figura 34 – Pesagem da caçamba.....   | 77 |
| Figura 35 – Processo de soldagem chassis.....   | 78 |
| Figura 36 – Soldagem reforços chassis .....   | 78 |
| Figura 37 – Alinhamento e nivelamento do eixo.....  | 79 |
| Figura 38 – Soldagem caixa de bateria e assento .....   | 80 |
| Figura 39 – Flexão na viga principal do levante para basculamento.....                          | 81 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 - Participação da Agricultura Familiar na Produção do próximo decênio - 2029/30 .....  | 18  |
| Quadro 2 – Motocultivadores e suas aplicações parte 1 .....   | 23  |
| Quadro 3 - Motocultivadores e suas aplicações parte 2.....  | 31  |
| Quadro 4 - Principais propriedades dos poliacetais homo e copolímeros .....   | 113 |
| Quadro 5 - Lista de materiais e equipamentos.....   | 114 |
| Quadro 6- Estrutura da função carreta basculante.....   | 53  |
| Quadro 7– Propriedades mecânicas dos aços nas condições de laminado normalizado e recozido.....   | 64  |
| Quadro 8– Pontos de Massa para análise estrutural .....   | 64  |
| Quadro 9 – Análise estrutural de Pinos Com os Atuadores estendidos x Atuadores Recolhidos.....  | 67  |
| Quadro 10 - Análise estrutural de Pinos Com os Atuadores estendidos x Atuadores Recolhidos.....   | 68  |
| Quadro 11 - Análise estrutural de Pinos em caso de atuador recolhido x Análise estrutural de Parafusos em caso de atuador recolhido ..... | 69  |
| Quadro 12 - Análise estrutural de Pinos em caso de atuador recolhido x Análise estrutural de Parafusos em caso de atuador recolhido ..... | 70  |

## LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

°C – Graus celsius, unidade de medida de temperatura.

ANSYS - SOFTWARE

CAE- Computer Aided Engineering, Engenharia auxiliada por computador.

E- Módulo de Elasticidade.

Er - Resina Epoxídica

FEA- Finite Elements Analysis, Análise estrutural por método de elementos finitos.

FOODTRUCK – Veículo que transporta e vende comida.

$\text{g/cm}^3$  - unidade de medida de densidade ou massa específica.

GPa – Giga Pascal, unidade de medida múltipla de 1.000.000 de vezes o Pascal.

HP – Horse Power – Unidade de medida de potência, equivalente a 745,7 Watts.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

$\text{KJ/m}^2$  - Unidade de Medida de Tensão.

MPa – MegaPascal, unidade múltipla de 100.000.000 de vezes o Pascal

N- Unidade de medida de força, Newton.

ONU – Organização das Nações Unidas

OS - Poliestireno

Pa – Pascal, unidade de medida equivalente a força de 1 N aplicada sobre uma superfície de  $1\text{m}^2$ .

PE - Polietileno

POM -Poli óxido Metileno ou Poliacetais

PSI – Pound Square Inch, Libra força por polegada quadrada, resultante de uma libra força aplicada a uma área de uma polegada quadrada.

PVC – Policloreto de Vinila

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>13</b> |
| 1.1 TEMA .....  | 13        |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....   | 14        |
| 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....  | 14        |
| 1.4 HIPÓTESES .....   | 14        |
| 1.5 OBJETIVOS .....   | 15        |
| 1.5.1 OBJETIVO GERAL .....  | 15        |
| 1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 15        |
| 1.6 JUSTIFICATIVA .....   | 15        |
| <b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....  | <b>17</b> |
| 2.1 AGRICULTURA FAMILIAR .....  | 17        |
| 2.1.1 AGRICULTURA FAMILIAR E A ECONOMIA .....   | 17        |
| 2.2 SAÚDE DO TRABALHADOR AGRÍCOLA .....   | 20        |
| 2.2.1 ERGONOMIA .....   | 20        |
| 2.2.2 SAÚDE OCUPACIONAL .....   | 20        |
| 2.3 MOTOCULTIVADORES .....  | 21        |
| 2.3.1 APLICAÇÕES PARA MOTOCULTIVADORES .....  | 22        |
| 2.4 CARRETAS DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE CARGAS .....                               | 23        |
| 2.4.1 CARRETAS DE TRANSPORTES .....   | 24        |
| 2.5 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CARRETAS DE REBOQUE .....                              | 26        |
| 2.5.1 METAIS .....  | 26        |
| 2.5.2 POLÍMEROS .....   | 30        |
| 2.5.3 COMPÓSITOS .....  | 34        |
| 2.6 COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS .....  | 38        |
| 2.6.1 DEFORMAÇÃO .....  | 38        |
| 2.6.2 FLEXÃO E CISALHAMENTO .....   | 39        |
| 2.6.3 TORÇÃO .....  | 40        |
| 2.7 AUTOMAÇÃO NA AGRICULTURA .....  | 41        |
| 2.7.1 ATUADOR LINEAR ELÉTRICO .....   | 41        |
| 2.7.2 BATERIAS .....  | 41        |
| 2.8 PROJETO DE PRODUTO .....  | 42        |
| 2.9 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....   | 42        |
| <b>3. METODOLOGIA</b> .....   | <b>45</b> |
| 3.1 REQUISITOS DE PROJETO .....   | 46        |
| 3.2 CONCEITO .....  | 46        |
| 3.2.1 DETERMINAR A ESTRUTURA DA FUNÇÃO .....  | 47        |
| 3.2.2 ANALISAR PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO .....                                      | 47        |
| 3.2.3 AVALIAR E SELECIONAR CONCEITOS .....  | 47        |
| 3.3 DESENVOLVIMENTO DE ESBOÇOS .....  | 48        |
| 3.3.1 DESENVOLVER <i>LAYOUT</i> , ESCALA, FORMA .....                                 | 48        |
| 3.3.2 MODELAR E ANALISAR UNIDADES .....   | 48        |
| 3.3.3 AVALIAR E SELECIONAR <i>LAYOUTS</i> .....                                       | 49        |
| 3.4 DETALHE .....   | 49        |
| 3.4.1 ANÁLISE DETALHADA DE COMPONENTES E ESCOLHA FINAL DE MATERIAIS E PROCESSOS ..... | 49        |
| 3.4.2 OTIMIZAR DESEMPENHO E CUSTO .....   | 49        |
| 3.5 ITERAÇÃO .....  | 50        |
| 3.6 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES .....  | 50        |
| 3.7 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....  | 50        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>                        | <b>52</b>  |
| <b>4.1 REQUISITOS DE PROJETO .....</b>                                      | <b>52</b>  |
| <b>4.2 ESTRUTURA DA FUNÇÃO.....</b>   | <b>53</b>  |
| <b>4.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO E MATERIAIS ALTERNATIVOS .....</b>       | <b>54</b>  |
| <b>4.4 AVALIAR E SELECIONAR CONCEITOS .....</b>                             | <b>55</b>  |
| <b>4.5 DESENVOLVER LAYOUT ESCALA E FORMA .....</b>                          | <b>57</b>  |
| <b>4.6 MODELAGEM GEOMÉTRICA .....</b>                                       | <b>57</b>  |
| <b>4.7 ANÁLISE ESTRUTURAL A PARTIR DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....</b> | <b>62</b>  |
| <b>4.8 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES.....</b>                            | <b>71</b>  |
| <b>4.9 TESTES .....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>82</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>84</b>  |
| <b>APENDICE - DESENHOS DETALHADOS DO PRODUTO.....</b>                       | <b>86</b>  |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>113</b> |

## **1 INTRODUÇÃO**

Tendo em vista o grande crescimento mundial da demanda por alimentos, o Brasil hoje tem como seu carro chefe da economia nacional a agricultura e a pecuária, esta que envolve desde grandes latifundiários bem como os pequenos produtores de frutas, legumes e diversas culturas.

É de grande notoriedade a discrepância de investimentos e desenvolvimento tecnológico entre pequenos e grandes produtores no Brasil, a agricultura familiar por muito tempo foi esquecida no cenário nacional. Porém no passar das últimas décadas foram sendo percebidos e estudados com maior enfoque os cultivos provenientes da agricultura familiar e percebe-se que eles representam uma grande parcela dos produtores de alimentos nacionais e contribuem com grande importância no desenvolvimento econômico do país.

O mercado de implementos agrícolas brasileiros é quase em sua totalidade focado na produção em larga escala, ou seja, grandes produtores. Fator este que acaba deixando o pequeno produtor sem muitas opções tecnológicas para o cultivo de suas diversas culturas, obrigando a realizar suas tarefas com grandes dificuldades e falta de amparo tecnológico para realização de seus serviços. Com isso ocasiona-se uma grande dificuldade de operação para os pequenos produtores, onde os mesmos por falta de tecnologias e cuidados, acabam perdendo muito sua produtividade e de quebra acabam desenvolvendo problemas de saúde e bem-estar devido aos grandes esforços realizados em suas tarefas diárias.

Com isso em mente buscou-se com o presente projeto, desenvolver um implemento para carga de equipamentos, grãos, rações, gramíneas e hortaliças que atenda ao pequeno produtor e possa ser acoplado ao seu motocultivador de baixa potência.

### **1.1 TEMA**

No desenvolvimento do presente trabalho o foco é o aperfeiçoamento de uma carreta de uso diversificado.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho delimita-se no desenvolvimento de uma carreta basculante para utilização com motocultivador, desenvolvida com utilização polímeros, compósitos e metais, simulado em software e testado por meio de prototipagem, visando a produção de um componente com peso reduzido devido a utilização de materiais alternativos e funcionamento basculante a partir de atuadores elétricos.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

É nitidamente notório que a agricultura familiar e de subsistência historicamente possui uma grande desvantagem em relação agricultura de larga escala, parte disso por falta de incentivos governamentais até poucos anos atrás, mas também pelo fato de falta de desenvolvimento tecnológico para os pequenos produtores.

Os impactos econômicos e sociais dessa desvantagem também são perceptíveis de longa data, onde a concentração de riquezas e a qualidade de vida é de grande discrepância entre os pequenos e grandes produtores.

A falta de tecnologia e investimentos também prejudica o pequeno produtor em termos de saúde ocupacional, onde por mais uma vez esse tem desvantagem sobre o grande produtor.

Com ciência de todas essas diferenças e sabendo a potencialidade de rendimento econômico e o percentual de representatividade dessa agricultura na economia brasileira faz-se o seguinte questionamento: É possível projetar e desenvolver uma carreta caçamba de pequeno porte com descarga automatizada e peso reduzido?

## 1.4 HIPÓTESES

Com base no problema relatado, foram feitas suposições sobre o tema, estabelece-se as seguintes hipóteses.

- Atuador elétrico irá realizar o basculamento da carreta;
- Placas de fibra de vidro apresentam resistência compatível com os esforços de uma caçamba de pequeno porte;
- Prevenção de doenças ocupacionais devido a operação elétrica da carreta basculante;

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo geral

Dimensionar e construir um produto de boa resistência e fácil utilização visando atender as necessidades de pequenos produtores, facilitando o manuseio de suas tarefas e evitando quaisquer esforços físicos desnecessários e prejudiciais à saúde e bem-estar do operador.

### 1.5.2 Objetivos específicos

Destacam-se como objetivos específicos deste projeto:

- Definir os requisitos para elaboração do projeto;
- Definir o melhor conceito para construção do protótipo.
- Desenvolver o projeto detalhado do conceito em um software de CAD;
- Realizar simulação de esforços para validação estrutural do projeto.
- Adequar um atuador elétrico e uma bateria para o funcionamento do sistema basculante;
- Analisar o comportamento mecânico dos materiais compósitos.
- Apresentar os resultados e identificar possíveis melhorias.

## 1.6 JUSTIFICATIVA

É fácil observar que os pequenos produtores possuem em sua gama de equipamentos os tradicionais motocultivadores, que é um trator de duas rodas com motor de potência inferior a 20 HPs. A esse, diversos implementos também de pequeno porte podem ser acoplados, tais como enxadas, plantadeiras, cortadores de grama e pequenas carretas para transporte de materiais, como insumos, rações para trato de animais, colheita de hortaliças e gramíneas.

Os grandes fabricantes nos últimos anos possuíam uma linha de produtos focada preponderantemente na produção de implementos para os produtores de grande escala e com níveis avançados de automação em seus produtos. O pequeno produtor por outro lado, tem em sua gama de implementos um desenvolvimento tecnológico menor, tanto em automação quanto nos materiais utilizados para a construção desses.



Essa diferença em nível tecnológico, implica também em perda de produtividade no plantio, manejo e colheita das pequenas propriedades, o que significa também grandes perdas em termos econômicos para o pequeno produtor, onde ele se possuísse disponibilidade de tecnologia poderia melhorar seus cultivos, aumentar sua produção por metro quadrado e reduzir os custos produtivos e aumentar sua lucratividade.

Como corolário das diferenças tecnológicas e econômicas acentua-se o desnível social. O que não está de acordo com o décimo objetivo sustentável da ONU: A redução das desigualdades, onde ela preza por um futuro mais igualitário para pequenos e grandes produtores, possibilitando dessa forma que a qualidade de vida e saúde destes seja melhorada a cada ano que passa.

A carência de tecnologia mais avançada, leva o produtor a executar tarefas discrepantes dos bons princípios ergonômicos, o que aumenta sua probabilidade de desenvolver doenças ocupacionais, onde por muitas vezes devido a aplicação de esforços excessivos os produtores acabam sofrendo com diversas doenças ocupacionais e como não possuem auxílio tecnológico acabam reféns desses serviços manuais e por falta de mão de obra continuam desenvolvendo as tarefas prejudiciais a sua saúde pois precisam prover o sustento para suas famílias.

Diversos fabricantes dos implementos para motocultivadores, já produzem os equipamentos buscando sempre redução de custo, mas ignorando a eficiência e a produtividade da pessoa humana.

Com isso em vista o projeto em questão não tende somente a trazer um conceito inovador para o mercado, mas sim a agregar a vida do pequeno produtor como um todo, focando em sua qualidade de vida, rentabilidade, produtividade e contribuir com o desenvolvimento socioeconômico do país.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 AGRICULTURA FAMILIAR**

Segundo Bezerra. (2017) tratando-se do cenário da agricultura brasileira e mundial, a agricultura familiar e a não familiar são os dois importantes segmentos produtivos que impactam o Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Ainda de acordo com Brasil (2006) apud Bezerra, (2017) está descrito na Lei Federal n. 11.326, de 24 de julho de 2006, no artigo 3º as características fundamentais para o enquadramento do produtor como agricultor familiar: (i) não possuir área maior do que quatro módulos fiscais; (ii) a mão de obra utilizada nas atividades econômicas ser predominantemente familiar e (iii) o maior percentual da renda ser obtido das atividades econômicas do estabelecimento.

A agricultura familiar se caracteriza como agricultura de subsistência, pequena produção e pobreza rural, porém até alguns anos atrás ela era desmoralizada e não recebia a devida atenção e cuidado, sendo deixada de lado e mal trabalhada pelos governos brasileiros, causa disso era a falta de conhecimento sobre a importância desse setor para o desenvolvimento do país (BEZERRA, 2017).

Com o trabalho de Guanzioli (2000) foram sendo notadas diversos fatores que trouxeram à tona a real importância da agricultura familiar no desenvolvimento social, econômico e cultural do país.

Anteriormente a esse período nota-se que as políticas públicas eram destinadas única e exclusivamente a médias e grandes propriedades como é destacado em Esquerdo (2015).

De acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2019), 3.897.408 estabelecimentos foram identificados como agricultores familiares, o que representa um total de 77 % dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Na época era ocupada uma área de 81 milhões de hectares por esse grupo de produtores, o que representa uma parcela de 23 % da área total destinada a agropecuária no Brasil.

#### **2.1.1 Agricultura familiar e a economia**

Como podemos notar no quadro 1 retirado de Gasques, (2020), ela mostra uma projeção percentual da representatividade da agricultura familiar na próxima década nota-se que cada cultura tem suas particularidades e volume, porém mesmo nas

culturas com menor volume a produção familiar é de impacto significativo o que torna de extrema importância na máquina econômica brasileira, como demonstra o quadro 1.

Quadro 1 - Participação da Agricultura Familiar na Produção do próximo decênio - 2029/30

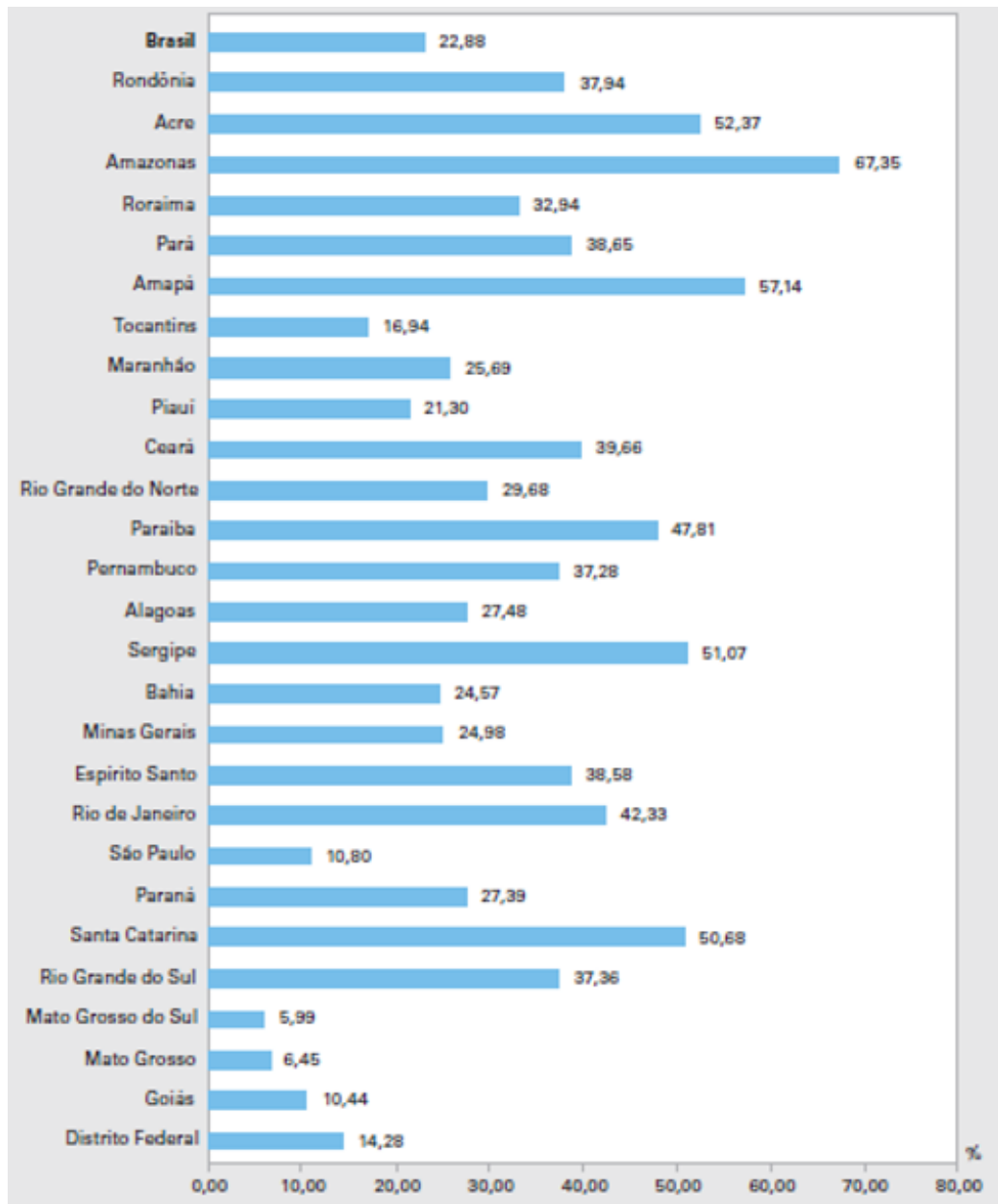
| Produtos     | Produção Total | Agric. Familiar (*) | Agric. Familiar (**) |
|--------------|----------------|---------------------|----------------------|
|              | mil t          | %                   | mil t                |
| Soja em grão | 156,5          | 0,09                | 14                   |
| Feijão       | 2.999          | 0,12                | 360                  |
| Milho        | 123.986        | 0,12                | 14.878               |
| Carne Frango | 18.166         | 0,46                | 8.356                |
| Carne Bovina | 11.481         | 0,31                | 3.559                |
| Carne Suína  | 5.283          | 0,51                | 2.694                |
| Café         | 70             | 0,35                | 25                   |
| Mandioca     | 16.359         | 0,7                 | 11.452               |
| Fumo         | 793            | 0,94                | 745                  |
| Cacau        | 264            | 0,57                | 150                  |
| Uva          | 1.768          | 0,31                | 548                  |
| Banana       | 7.284          | 0,49                | 3.569                |
| Leite        | 32.349         | 0,63                | 20.307               |

Fonte: GASQUES, 2020, p.

Nota-se produção de soja, milho e feijão a agricultura familiar não possui tanta representatividade no cenário total, mas se analisada a produção de carnes suína por exemplo, a agricultura familiar é responsável por mais de 50 % da produção nacional, o que tem significativo impacto na economia nacional. (GASQUES, 2020).

Observa-se no gráfico abaixo (Figura 1) retirado do censo agropecuário realizado pelo (IBGE, 2017) a agricultura familiar representa em torno de 23 % do valor total de produção do país.

Figura 1 - Participação da agricultura familiar no valor total da produção, segundo as unidades da Federação



Fonte: IBGE, 2019, p. 100

Outro ponto interessante que se deve observar na figura 1 é a representatividade que a agricultura familiar tem em diversos estados do país, em alguns chegando até em 70 % da produção total do estado. Visto isso tem-se uma boa noção da importância econômica da agricultura familiar para todos os estados e o país (IBGE, 2019).

## 2.2 SAÚDE DO TRABALHADOR AGRÍCOLA

De acordo com Lida (2005) as áreas da agricultura, mineração e construção civil é onde está a maior concentração dos trabalhos mais árduos que se conhecem, os maquinários e equipamentos disponíveis para esses setores são em quase sua totalidade rudimentar e poderiam ser aperfeiçoados com a aplicação dos conhecimentos ergonômicos e tecnológicos já disponíveis.

### 2.2.1 ERGONOMIA

De acordo com Lida (2005) a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho do homem. Trabalho este que pode ser definido como todo aquele serviço executado com máquinas e equipamentos, utilizados para transformar materiais, mas também como toda a situação em que ocorre o relacionamento entre homem e uma atividade produtiva, envolvendo não somente os aspectos físicos bem como os aspectos organizacionais.

Ainda de acordo com o autor a ergonomia inicia-se com o estudo das características do trabalhador para depois projetar o trabalho que ele consegue executar, preservando a sua saúde e bem-estar. Dessa forma parte do conhecimento do ser humano e suas características para realização do trabalho e depois ajusta-se as suas capacidades e limitações.

Segundo com Lida (2005) a Contribuição da ergonomia é significativa no melhoramento da eficiência, confiabilidade e qualidade das operações industriais, e isso pode ser feito por três vias basicamente que são elas: aperfeiçoamento do sistema homem-máquina-ambiente, organização do trabalho e melhoria das condições de trabalho.

O aperfeiçoamento do sistema homem-máquina-ambiente pode ocorrer tanto na fase de projeto de máquinas, equipamentos e postos de trabalho, como na introdução de modificações em sistemas já existentes, adaptando-os às capacidades e limitações do organismo humano (PINHEIRO, 2018).

### 2.2.2 SAÚDE OCUPACIONAL

É destacado por Monteiro (2004) que o trabalho rural e sua natureza pode ser determinante no agravamento da saúde humana, apesar dos avanços tecnológicos na

agricultura, muitos desses em contrapartida trouxeram consequências nocivas à saúde ocupacional e o meio ambiente em geral.

No ponto de vista da maioria das pessoas a vida rural possui uma imagem associada a um ambiente tranquilo, harmonioso e saudável. No entanto devido as mudanças significativas que a vida rural vem passando, os impactos são sentidos por meio da instabilidade e reestruturação. O isolamento, os problemas financeiros e as condições climáticas são alguns dos fatores que contribuem com a mudança deste ponto de vista como é explicado em Poletto (2009).

Ainda em Monteiro (2004), fatores relacionados a essência do trabalho agrícola, com cargas físicas e riscos de várias espécies ao qual o produtor está exposto põe constantemente sua saúde em risco. Sabe-se que a elevação de cargas e operação de equipamentos em postura discrepante podem vir a desenvolver patologias no operador ou trabalhador agrícola.

### 2.3 MOTOCULTIVADORES

De acordo com Márquez (2011) *apud* Veiga,(2014) são equipamentos que utilizam em sua maioria motores monocilíndricos de quatro tempos a diesel refrigerados a ar com potência entre 10 e 20 cv. A cilindrada dos propulsores desses motocultivadores podem variar entre 250 e 500 cm<sup>3</sup>, e eles possuem um regime de funcionamento entre 3000 e 3800 rotações por minuto (RPM).

Segundo Bray (1986) *apud* Veiga (2014) devido as suas dimensões reduzidas e seu baixo peso, esses equipamentos possuem facilidade de deslocamento em terrenos alagados e em pequenas áreas de plantio onde é extremamente dificultada a operação de equipamentos de grande porte.

Segundo Teles (1990) *apud* Veiga (2014), os motocultivadores por sua leveza, proporcionaram a mecanização de plantios onde sempre foram inviáveis as operações de equipamentos e implementos de grande porte.

Com isso a produção e a qualidade dos produtos produzidos nessas áreas tendem a melhorar, os processos tendem a serem acelerados devido a possibilidade de mecanização de certas tarefas.

De acordo com Veiga (2014) existem diferentes marcas e modelos de motocultivadores que são comercializados em território brasileiro, cada um com suas particularidades. No geral estes equipamentos possuem peso variando entre 200 e



450 kg, possuem caixa de marchas com quatro velocidades no sentido de movimento para frente e uma velocidade de marcha ré, além do sistema de redução para um maior torque aplicado ao eixo de tração quando necessário.

### 2.3.1 Aplicações para motocultivadores

Segundo Veiga (2017), o motocultivador em sua concepção inicial limitava-se a realização da tarefa de capina mecânica, que é em sua essência a remoção de ervas daninhas e revolvimento superficial do solo deixando o mesmo preparado para a semeadura. Para realização deste processo ele utiliza de uma enxada rotativa acoplada na parte traseira do motocultivador, essa sendo tracionada pelo motor através de sistemas de transmissões por correias, eixos ou engrenagens.

Ainda seguindo as ideias de Veiga (2017), outras funções de trabalho foram sendo agregadas na aplicação dos motocultivadores, devido a criação de implementos e acessórios eles passaram a ter uma diversidade de aplicações, principalmente voltados para a agricultura familiar, tais aplicações variam sendo algumas delas a aração, nivelção, pulverização, transporte de cargas, além da função de roçadeiras, para limpeza de áreas, conforme quadro 2.

Quadro 2 - Motocultivadores e suas aplicações parte 1.

| Motocultivador com Plantadeira acoplada.  | Motocultivador Arando a terra  |
|---|--|
|  |  |



<sup>1</sup> Fonte: Site da Ruralban

<sup>2</sup> Fonte: Site REVIEWBOX

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.ruralban.com/maquinas-e-implementos/plantadeiras-e-adubadeiras/semeadora-plantadeira-para-motocultivador>> Acesso em 27 out. 2021

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.reviewbox.com.br/motocultivador/>> Acesso em 27 out. 2021

Quadro 3 – Motocultivadores e suas aplicações parte 2.

| Motocultivador com carreta de transporte acoplada                                 | Motocultivador com pulverizador acoplado.  |
|---|--|
|  |  |

<sup>3</sup> Fonte: Site da Ferramentas MEP

<sup>4</sup> Fonte: Site MFRURAL

## 2.4 CARRETAS DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE CARGAS

De acordo com FONSECA (2019) a legislação prevê que o reboque, ou carreta de reboque é um veículo de carga, dotado de elementos básicos como o chassi, um eixo pelo menos, e um espaço destinado ao transporte de cargas. Seu acoplamento pode ser apoiado ao trem de força de um veículo trator ou através de um engate.

Para os casos de reboques utilizados em rodovias normatizadas pelo código de trânsito existem exigências para a utilização deles, para equipamentos agrícolas as normativas são mais brandas em relação ao trânsito dos veículos, pois transitam somente em áreas não normatizadas como exemplo das lavouras. Porém as carretas para uso agrícola também necessitam seguir todas normativas de segurança referente a capacidades de cargas, segurança de operação, ergonomia, e requisitos básicos de projeto para seu correto e seguro funcionamento (FONSECA, 2019).

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.ferramentasmep.com.br/kit-motocultivador-a-gasolina-toyama-7hp-carretinha-maquinafort-tc5>> Acesso em 27 out. 2021

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/405371/motocultivador>> Acesso em 27 out. 2021



## 2.4.1 Carretas de transportes

### 2.4.1.1 Carreta Baú

Descrito na literatura de Fonseca (2019) carretas baú são modelos fechados lateralmente e em seu teto e possuem trancas em suas aberturas, que podem ser distribuídas em suas laterais ou tampas traseiras (Figura 2). Tais carretas se popularizaram em “*foodtrucks*” ou câmaras frias.

Figura 2 - Carretas de Reboque Tipo Baú



Fonte: Fonseca, 2019, p. 4

### 2.4.1.2 Carreta para transporte de veículos

Como já descrito no título sua finalidade é o transporte de veículos, sejam eles carros, motocicletas, quadriciclos e veículos náuticos como lanchas e *jet skis*, conforme figura 3 (FONSECA, 2019).

Figura 3 - Exemplo de carreta de reboque para transporte de veículos



**Fonte:** Fonseca, 2019, p. 5

#### 2.4.1.3 Carreta Fazendinha

É o modelo mais popular e conhecido das carretas de reboque e é utilizado para diferentes finalidades, sua construção (Figura 4). Esse tipo de carreta possui construção semelhante as carretas baú, com a diferença de não possuir teto e suas laterais serem de menor altura.

Figura 4 - Exemplo de carreta reboque fazendinha



**Fonte:** Fonseca, 2019, p. 5

#### 2.4.1.4 Carretas basculantes

De acordo com Schulz (2015) caçambas basculantes são utilizadas principalmente em alguns tipos de equipamentos devido ao procedimento de carga ou descarga deles, o que se aplica a carretas de reboque da mesma forma. A caçamba

basculante é mais indicada quando a carga é do tipo granular devido a sua facilidade de descarga, porém é muito comum vermos caçambas basculantes em guinchos de transporte de carros bem como em caminhões de transporte de containers para sucata, além é claro das utilizadas para transporte de grãos e sementes bem como areia, britas e terra.

## 2.5 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CARRETAS DE REBOQUE

De acordo com Callister (2020) foram convenientemente realizados o agrupamento de materiais sólidos em três categorias básicas: metais, cerâmicas e polímeros, combinação essa baseada em suas composições químicas e na estrutura atômica de cada material. Além dessas três distintas classes possuímos os compósitos que são combinações engenheiradas de dois ou mais diferentes materiais.

Ainda conforme o autor também possuímos uma gama de diversos materiais com aplicação alto grau tecnológico, como por exemplo os biomateriais, materiais inteligentes, semicondutores e os materiais nanoengenheirados, geralmente de alto custo e aplicações extremamente específicas.

### 2.5.1 Metais

De acordo com Callister (2020) os metais são compostos por um ou mais elementos metálicos como o ferro, cobre, titânio, ouro, níquel e alumínio, e com frequência também por elementos não metálicos como por exemplo carbono, nitrogênio, oxigênio estes em pequenas quantidades relativamente, se comparado aos elementos metálicos. A união destes acabam formando as chamadas ligas metálicas.

A ligação atômica nos elementos metálicos e suas ligas metálicas estão arranjados de forma muito ordenada, em comparação as cerâmicas e aos polímeros são relativamente densos (CALLISTER, 2020).

Suas características mecânicas são relativamente rígidas e resistentes, e mesmo assim possuem ductilidade, ou seja, podem sofrer grandes deformações sem sofrer fratura, também são resistentes a fratura, condição essa que possibilita seu amplo uso em aplicações estruturais. Também são elementos condutores de

eletricidade e calor e alguns desses metais como ferro, cobalto e níquel possuem propriedades eletromagnéticas (CALLISTER, 2020).

De acordo com Callister (2020) existem duas classes de ligas metálicas divididas em ferrosas e não ferrosas. Nas ligas ferrosas o principal constituinte é o ferro e estas englobam todos os tipos aços e ferros fundidos, a outra classe de ligas metálicas é descrita como ligas não ferrosas e essas não são baseadas no ferro como elemento principal.

No desenvolver da literatura de Callister (2020), ligas ferrosas são as constituídas pelo ferro como elemento principal, são de extrema importância na área de materiais para construção em engenharia, essas são produzidas em maiores quantidades que qualquer outro tipo de metal e tem sua ampla utilização devido a três fatores distintos: (1) é extremamente abundante na crosta terrestre os compostos contendo ferro; (2) seus custos de extração, beneficiamento, formação de ligas e fabricação são relativamente baixos se comparados com outras ligas metálicas; (3) são ligas extremamente versáteis devido a possibilidade de atender diversas variedades de propriedades físicas e mecânicas, dependendo os processos de fabricação aos quais a o material for submetido.

A suscetibilidade a corrosão nessas ligas ferrosas se faz a principal desvantagem delas. (CALLISTER, 2020).

#### 2.5.1.1 Aços

Do ponto de vista de Callister (2020) os aços são ligas ferro-carbono que dependendo sua necessidade podem conter concentração de diferentes elementos de liga, e podem passar por diferentes tipos de tratamentos térmicos. As propriedades mecânicas deste material são sensíveis ao teor de carbono do aço que normalmente é inferior a 1,0 % do da composição total do material.

Um dos tipos de classificação dos aços se dá conforme a concentração de carbono nos materiais, como baixo, médio e alto teor de carbono (CALLISTER, 2020).

#### 2.5.1.2 Aços baixo teor de carbono

Aços com baixo teor de carbono são de acordo com Callister (2020) os aços que possuem em sua composição menos que aproximadamente 0,25 % de carbono. Devido a sua baixa concentração de carbono suas propriedades apresentam

relativamente baixa dureza e baixa resistência, porém com ductilidade e tenacidade excepcionais.

Em consequência disso são aços usináveis, soldáveis e possuem dentro da gama de todos os aços o menor custo de produção. Bons exemplos de aplicação desse tipo de aços são carcaças de automóveis, formas estruturais (canaletas e cantoneiras, vigas I; T e W) e chapas que são utilizadas em tubulações, edificações, pontes e latas estanhadas. Em geral estes tipos de aços possuem um limite de escoamento de 275 MPa (400000 PSI), limites de resistência a tração entre 415 MPa e 550 MPa e ductilidade de 25% (CALLISTER, 2020)

#### 2.5.1.3 Aços médio teor de carbono

Segundo Callister (2020) a concentração de carbono no aço de médio teor de carbono se dá na faixa de 0,25% a 0,60%. Essas ligas podem ser tratadas termicamente por austenitização, têmpera e após passar por um processo de revenimento para melhoramento de suas propriedades mecânicas. Tais ligas são utilizadas com maior frequência na condição revenida. Sua temperabilidade é baixa e são apenas tratados termicamente com sucesso se possuírem secções muito finas e a taxa de resfriamento for muito rápida. A adição de cromo, níquel e molibdênio tendem a melhorar a capacidade de tratamento térmico desses materiais, trazendo dessa forma a essas ligas melhores condições de resistência e ductilidade.

Em si as ligas de aço médio teor de carbono quando tratadas termicamente são mais resistentes que as ligas com baixo teor de carbono, porém acabam perdendo muito nas características de ductilidade e tenacidade do material. Algumas aplicações para estes materiais se dão em rodas e trilhas de trens ferroviários, engrenagens, virabrequins e outras peças de máquinas e componentes estruturais, pois exigem alta resistência, resistência a abração e tenacidade. (Callister, 2020).

#### 2.5.1.4 Aços alto teor de carbono

Como descrito na literatura de Callister (2020) aços com alto teor de carbono são os que apresentam em sua composição entre 0,60% e 1,4% p, estes são os mais duros e mais resistentes que os aços de baixo e médio teor de carbono, porém possuem menor ductilidade entre os três tipos. Em quase sua totalidade de aplicações são empregados em condição endurecida e revenida e, devido a isso, são

especialmente resistentes ao desgaste e abrasão assim como também são capazes de manter uma aresta de corte afiada. Aços para ferramentas e matrizes são ligas de alto teor de carbono, contendo geralmente em sua composição cromo, vanádio, tungstênio e molibdênio.

Seguindo as ideias do autor Callister (2020) a combinação desses elementos de liga com o carbono acaba pela formação de carbetos, estes que possuem extrema dureza e resistência ao desgaste. Aços de alto teor de carbono são usados principalmente em ferramentas de corte, em matrizes para deformação de conformação de materiais e na produção de facas, lâminas de corte, lâmina de serras, molas e arames de alta resistência.

#### 2.5.1.5 Alumínio

Segundo Callister (2020) o alumínio e suas diferentes ligas tem como características sua massa específica relativamente baixa, ( $2,7\text{g/cm}^3$  em comparação com  $7,9\text{g/cm}^3$  para o aço), suas condutividades térmicas e elétricas são elevadas, e possui boa resistência a corrosão em ambientes comuns, como o exemplo da atmosfera ambiente. Diversas ligas de alumínio são de fácil conformação em virtude de suas ductilidades elevadas, evidencia deste fato é a laminação do alumínio relativamente puro produzindo as folhas de papel-alumínio.

Devido a estrutura cristalina do alumínio a ductilidade é mantida mesmo em temperaturas muito baixas, a principal limitação do alumínio se dá devido à baixa temperatura de fusão, impactando diretamente sua utilização somente a temperaturas mais baixas ( $660\text{ }^\circ\text{C}$ ) (CALLISTER, 2020).

O alumínio pode ter sua resistência mecânica aumentada devido a trabalhos realizados a frio e pela formação de ligas, porém ambos processos tendem a diminuir a resistência a corrosão. Os principais elementos de liga incluem cobre, magnésio, silício, manganês e zinco (CALLISTER, 2020).

As ligas de alumínio que não podem ser tratadas termicamente, consistem em uma única fase e o aumento de sua resistência é alcançado com endurecimento por solução sólida, algumas ligas tornam-se termicamente tratáveis devido a adição de elementos de ligas, e o endurecimento por precipitação nessas ligas se dá em elementos diferentes do alumínio, formando um composto intermetálico como o MgZn (CALLISTER, 2020).

Ligas de alumínio podem ser classificadas em dois tipos, fundidas e forjadas e suas aplicações podem variar desde latas de bebidas até peças estruturais de aeronaves e blocos de motores. (CALLISTER, 2020).

## 2.5.2 Polímeros

Na literatura descrita por CALLISTER (2020) os polímeros são materiais que incluem em sua composição os materiais plásticos e borracha. Grande parte deles são compostos orgânicos com sua química baseada no carbono, hidrogênio e outros elementos não metálicos, (O, N, Si). Estes materiais possuem estruturas moleculares de grandes proporções e frequentemente em forma de cadeias, onde reiteradamente possuem uma estrutura composta por átomos de carbono.

Alguns exemplos bem comuns e conhecidos de polímeros são: polietileno (PE), náilons, poli cloreto de vinila (PVC), Poliestireno (OS) e a borracha de silicone. Esses materiais tipicamente possuem massas específicas relativamente baixas e possuem suas características mecânicas diferentes das apresentadas por materiais metálicos e cerâmicos, por exemplo possuem menor rigidez e resistência do que ambos os outros (CALLISTER, 2020).

Porém um grande ponto positivo é a sua rigidez e resistência atrelada a sua densidade, em muitos casos consegue-se uma relação excelente de resistência e rigidez com um peso muito menor que se aplicado materiais de outras classes como aços e cerâmicos, claro que com esforços bem restritos a suas características e aplicações próprias (CALLISTER, 2020).

### 2.5.2.1 POLIÓXIDO METILENO (POM)

Polióxido metileno (POM) ou também conhecidos como resinas de acetal ou poliacetais foram os polímeros que trouxeram estabilidade e tenacidade para aplicações comerciais concretas. Na década de 1950 obtiveram rápida aceitação como materiais de engenharia, competindo não somente com as poliamidas, mas também com metais e cerâmicos, devido a sua boa resistência aliada à sua massa (NUNES, 2015).

Assim como acontecem com outros polímeros termoplásticos de engenharia, os poliacetais podem ser modificados com reforços de fibras, formando compósitos de alta resistência assim como podem conter materiais retardadores de chamas. Por

definição poliacetais ou polioximetilenos, são poliéteres derivados do formaldeído ou tiroxano (NUNES, 2015).

Descrito por Nunes (2015) em sua literatura poliacetais tem como características sua elevada rigidez e excelente resiliência, possui também comportamento favorável de atrito no deslizamento, sua estabilidade dimensional é de extrema qualidade mesmo se submetida a agentes químicos, grandes forças mecânicas e temperaturas relativamente altas se tratando de polímeros.

As resinas de acetal, são definidos no grupo dos termoplásticos duros e possuem boas resistências a fadiga por flexão. As propriedades dos poliacetais são consideradas semelhantes à das poliamidas, porém com propriedades de fadiga, deformação, rigidez e hidrólise superiores. (NUNES, 2015).

Visto na literatura de Nunes (2015) as principais propriedades dos poliacetais que justifica as aplicações técnicas, como demonstram os quadros 3 e 4, podem ser resumidas como:

- a) Rigidez;
- b) Resistência a fadiga;
- c) Resistência a deformação;
- d) Baixo coeficiente de atrito (iguais coeficientes dinâmicos e estáticos);
- e) Bom acabamento superficial.

Quadro 4 - Principais propriedades dos poliacetais homo e copolímeros

| Propriedades                               | Norma ASTM | Poliacetal Homopolímero | Poliacetal Copolímero |
|--|------------|-------------------------|-----------------------|
| Densidade específica (g/cm <sup>3</sup> )  | D792       | 1,425                   | 1.410                 |
| Resistência a Tração (23°C) (Mpa)          | D638       | 70                      | 58                    |
| Módulo de Flexão (23°C) (Mpa)              | D790       | 2.800                   | 2.500                 |
| Temperatura de de flexão ao calor(HDT)     |            |                         |                       |
| 1,82 Mpa (°C)                              | D648       | 100                     | 110                   |
| 0,48 Mpa (°C)                              |            | 170                     | 158                   |
| Temperatura de amolecimento Vicat (°C)     | D569       | 185                     | 162                   |
| Resistência ao impacto (23° C) (lbf ft/in) | D256       | 1,4 - 2,3               | 1,1                   |
| Temperatura de fusão cristalina - T (°C)   | -          | 175                     | 163                   |
| Imersão em água                            |            |                         |                       |
| 24h de imerão (%)                          | D570       | 0,4                     | 0,22                  |
| Equilíbrio de 50 % de UR (%)               |            | 0,2                     | 0,16                  |
| Equilíbrio em imersão contínua (%)         |            | 0,9                     | 0,8                   |
| Coeficiente de fricção                     | -          |                         | 0,2                   |

Fonte: Adaptado de Nunes, 2015, p. 156



### 2.5.2.2 Epóxi

As resinas epóxi também estão incluídas na família dos polímeros termofixos. Conforme a variação dos monômeros utilizados em sua formação, suas propriedades mecânicas e térmicas podem variar da mesma forma (Falcão, 2019)

Suas principais características, podem ser definidas pela elevada resistência mecânica e térmica, semelhante as resinas de poliéster insaturado, podem ser utilizadas como impregnante de fibras ou tecidos, formando dessa forma compósitos com excelentes coeficientes de resistência mecânica (Falcão, 2019)

De acordo com (Falcão, 2019) algumas aplicações de resinas epóxi são:

- a) Confecção de adesivos, possuem boa resistência química, alta capacidade de adesão e resistência final muito elevada;
- b) Selantes: selante para utilização em materiais de construção civil, onde trazem excelente durabilidade e elasticidade se comparado aos materiais mais tradicionais, como betume e outros termoplásticos;
- c) Revestimentos: possuem excelente resistência a abrasão; recomendados para preservação de paredes e reservatórios em contato com agentes químicos agressivos, ou até em pisos especiais;
- d) Pavimentação: podem ser utilizados como antiderrapantes em locais que não se deseja acréscimo substancial de peso na estrutura, como é o exemplo de pontes.

Compósitos com fibra de vidro, de carbono ou de poliamida aromática, são usados na indústria aeronáutica, componentes para equipamentos elétricos, circuitos impressos, acapsulamento de componentes eletrônicos, revestimento de superfícies, adesivos para metal, cerâmica, vidros, moldes e matrizes para ferramentas industriais, manequins de bocas e ossaturas (FALCAO, 2019).

### 2.5.2.3 Poliéster

Os poliésteres são uma classe de polímeros que pode ser dividida em saturados e insaturados, os insaturados objetos de utilização e estudo nesse trabalho.

De acordo com (MOTA, 2017) de grande aplicação no mercado, pode ser utilizado em resinas ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas. Ambos seus constituintes principais os reagentes que são origem a resina são insaturados, eles contêm em sua

cadeia uma ligação dupla relativa entre os átomos de carbono, sendo a resina resultante insaturada.

Seguindo as ideias de (MOTA, 2017), as resinas de poliéster possuem diversas propriedades de grande interesse, como sua boa estabilidade dimensional, sua resistência a produtos químicos agressivos, possui excelentes propriedades elétricas, tem facilidade de cura a frio e sua utilização é em moldes simples e baratos, além de sua boa resistência mecânica e peso relativamente baixo quando aplicada em conjunto com fibras.

Bons exemplos de aplicações de resinas podem se destacar, telhas onduladas, fabricação de barcos e piscinas pranchas de surf e manequins.

#### 2.5.2.4 Policloreto de vinila

O Policloreto de vinila também conhecido popularmente como PVC, é amplamente utilizado em diversas formas, seja ela em aplicação rígida para fabricação de tubos e conexões bem como em formas flexíveis como couro sintético e solados para sapatos (NUNES, 2015).

De acordo com Nunes, (2015) o PVC, possui grande gama de aplicações e pode ser processado de diferentes formas para obtenção de diferentes aplicações, seus processos de transformação podem ser a extrusão por sopro, chapas, tubos, perfis, injeção, laminação, rotomoldagem dentre de muito outros. Entretanto cada um desses processos necessita seus cuidados especiais no processamento e preparação dos equipamentos.

Bons exemplos de aplicações de PVC podem ser citados abaixo:

- Produtos extrudados: calhas, forros, divisórias, tubos, mangueiras, tarugos, entre outros;
- Produtos injetados: sapatilhas, retentores (o-ring), botas, correias de chinelo, conexões, sola de sapatos, entre outros;
- Produtos laminados: divisórias de cadernos, chapas, entre outros;
- Produtos rotomoldados: brinquedos;
- Produtos de espalmagem – couro sintético.

Na fabricação do PVC existe a possibilidade da modificação do teor de plastificante adicionado o que acarreta diferentes propriedades mecânicas para cada

composição. De uma forma geral o PVC possui boa resistência a solventes orgânicos e soluções alcalinas e ácidas, outra boa característica desse tipo de material é sua capacidade de isolamento elétrico. (NUNES, 2015).

Dentro das diferentes formulações do PVC notam-se amplas faixas de propriedades que ele pode possuir, como demonstra o quadro 6, desde formulações com extrema rigidez, para tubos e perfilados rígidos, conexões, piscinas, portas sanfonadas e forros, também se obtém formulações flexíveis, para fabricação tubos atóxicos, mangueiras, recobrimentos de fios de cobre, além de rotomoldados (NUNES, 2015).

### **2.5.3 Compósitos**

De acordo com CALLISTER (2020) um material compósito é composto por dois ou mais materiais individuais, estes os quais são enquadrados nas categorias de Metais, Cerâmicos e polímeros. Estes materiais têm por objetivo a obtenção de uma gama de propriedades que não é exibida por nenhum desses materiais isolados e busca incorporar em suas características as melhores características de cada um dos materiais que o compõem.

De acordo com a literatura descrita por Levy Neto e Pardini (2016) materiais compósitos são utilizados para obtenção de efeitos e propriedades obtidas a partir da sinergia de dois ou mais materiais. Se utilizados reforços individuais constituídos por filamentos extremamente resistentes, rígidos e leves sem a combinação com uma matriz aglutinante que os protege e estabiliza geometricamente estes somente poderiam ser empregados em componentes submetidos unicamente a esforços tracionais.

Se analisados os materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos que são utilizados como matriz, estes não apresentam isoladamente um desempenho estrutural elevado se verificados dois ou mais aspectos distintos. Bons exemplos podemos citar como a resistência mecânica aliada a corrosão simultaneamente, como também a análise de rigidez e tenacidade a fratura aliada a massa específica (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Grande destaque de materiais compósitos se dá pelo fato de eles apresentarem simultaneamente: altos índices de resistência e rigidez por unidade de peso, mesmo quando são submetidos a esforços combinados de tração (ou compressão), flexão e

torção; elevado amortecimento estrutural, ausência de corrosão em ambientes agressivos aos metais e boa tenacidade a fratura e diversos casos (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Levando em consideração os materiais compósitos obtidos a partir de matrizes poliméricas e reforçados com fibras, percebe-se que as fibras mais utilizadas comercialmente são as fibras de vidro-E, fibras de aramida (popularmente conhecida como kevlar) e as fibras de Carbono, as duas últimas com excelentes propriedades mecânicas, porém ainda com alto custo de produção (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

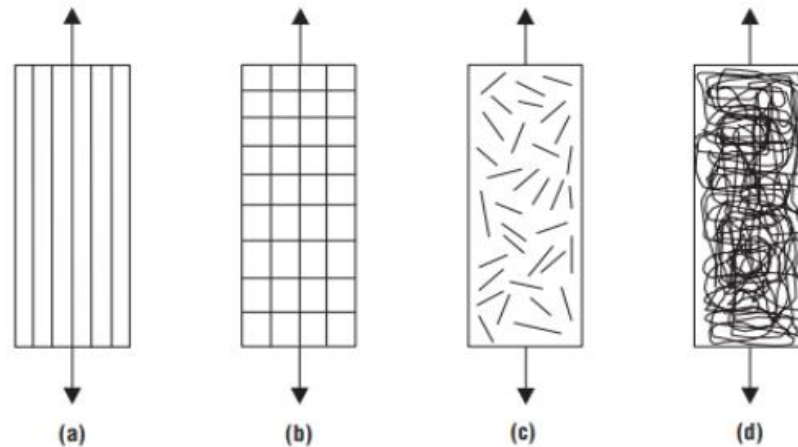
Nas matrizes poliméricas para obtenção de compósitos, as termorrígidas e termoplásticas, possuem massa específica muito baixa ( $\sim 1\text{g/cm}^3$ ) porém também possuem bem menos resistência e rigidez que as fibras. Essa particularidade faz com que as propriedades mecânicas dos compostos poliméricos sejam influenciadas diretamente pela orientação das fibras e suas diferentes solicitações mecânicas bem como pelas frações volumétricas de seus constituintes individuais. Essa dependência também ocorre as propriedades higrotérmicas dos compósitos poliméricos, como condutividade térmica, dilatação, absorção de umidade, resistência a abrasão, entre outras. (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Devido a todos esses fatores, a complexidade de materiais compósitos é visivelmente maior do que a maioria dos materiais estruturais convencionais, como o aço por exemplo. As propriedades dos materiais compósitos variam devido a diversos fatores desde sua composição química, escolha da malha de reforço e a sua matriz. O processo de produção deve ser extremamente controlado para que se chegue no resultado esperado (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Devido a estes pontos a modelagem matemática e análise estrutural dos compósitos por meio de software se torna extremamente mais complexa de ser analisada, porém por outro lado se controlado de forma correta a manufatura do material pode ser ajustada para obtenção de diversas propriedades variadas conforme a necessidade de projeto (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Os reforços em materiais compósitos podem ser constituídos de fibras ou de partículas, no caso de reforços em formas de fibras podem ser dispostos de diferentes formas como apresentados na figura 5 (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Figura 5 – Tipos de Tecidos de fibras



**Figura 1.3** Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidirecional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetidas a esforços de tração uniaxial longitudinal.

**Fonte:** Levy Neto, Pardini, 2016, p. 24

Nota-se que as fibras podem ser dispostas em feixes paralelos entre si ou entrelaçadas na forma de tecidos, de modo que formam e orientam o reforço em multidireções, multicamadas ou na forma de camadas isoladas ou lâminas. Os compósitos obtidos com reforço multidirecional têm como ponto de partida as preformas têxteis e se constituem em um salto tecnológico, no sentido de se obter estruturas maciças e de grande volume com propriedades ajustadas a aplicação que são destinados (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Os compósitos com camadas isoladas podem ser subdivididos em compósitos com fibras contínuas ou fibras curtas, estes com função maior de preenchimento e conseqüentemente possuem propriedades mecânicas piores do que os compostos que utilizam fibras contínuas (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Os compósitos sintéticos obtidos com fibras contínuas, podem apresentar reforços unidirecionais ou bidirecionais selecionados de acordo com a necessidade de projeto, esforços sofridos e suas direções. Compósitos obtidos a partir de lâminas reforçadas com fibras unidirecionais e tecidos bidirecionais, tendem a ser muito mais eficientes estruturalmente (ou seja, possuem maior resistência e rigidez) em relação a compósitos obtidos com fibras picadas e mantas contínuas. (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Para os reforços de materiais compósitos são utilizados tradicionalmente os compostos de fibras de vidro, de carbono e de aramida, e para suas matrizes os polímeros termorrígidos, resina epóxi, poliéster e fenólica. A aplicação de matrizes

termoplásticas ainda é restrita em compósitos, mas em termos de sustentabilidade possuiriam grande vantagem pela possibilidade de serem recicladas. (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Analisando os materiais de reforço, as fibras de vidro-E apresentam módulo de elasticidade (E) de ~72GPa, similares aos valores de ligas de alumínio estruturais. Olhando para as Fibras de aramida (poliamida aromática popular kevlar) seu módulo de elasticidade (E) fica na faixa de ~130 GPa, sendo um pouco mais rígidas que o titânio; agora analisando as fibras de carbono de alta resistência o seu módulo elástico tende a ser maior que 230 GPa, sendo mais rígidas que os aços em geral e com uma massa específica muito menor, onde esse fato acaba proporcionando excelentes ganhos para veículos de competição onde se busca resistência aliada ao baixo peso (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

As fibras de carbono são o único tipo de reforço que dependendo da temperatura de tratamento térmico, (500-2500 °C) podem apresentar um largo espectro de resistência a tração e módulo elástico. Como ponto extremamente positivo e de grande interesse da indústria, as fibras de reforço utilizadas em compósitos são muito leves e apresentam massas específicas próximas de 2,5g/cm<sup>3</sup> para a malha de vidro-E; 1,4g/cm<sup>3</sup> para a fibra de aramida e 1,75 g/cm<sup>3</sup> para a malha de fibra de carbono (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

Fibras de carbono de última geração podem apresentar rigidez superior ao aço por fatores de até duas a quatro vezes, porém seu custo é extremamente elevado. Fazendo uma análise das matrizes termorrígidas utilizadas em materiais compósitos, as resinas epóxi tem as melhores propriedades mecânicas, resistência a calor e umidade são extremamente superiores as resinas de poliéster, porém seu maior custo acaba sendo de grande impacto em grandes projetos, seu processamento é bem semelhante portanto o grau de dificuldade de aplicação é praticamente o mesmo (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

As resinas fenólicas têm custo relativamente mais baixo, porém com processamento muito mais trabalhoso, pois ocorre a eliminação de voláteis, mas nem por isso são menos importantes pois tem em suas propriedades alta resistência ao calor. Dentre as grandes limitações das resinas sejam elas termoplásticas ou termorrígidas é a sua baixa resistência a altas temperaturas, suas propriedades e qualidade do material podem sofrer alterações no intervalo entre 100 e 300 °C, Outro

ponto negativo é a baixa tenacidade a fratura, (0,1-5 kJ/m<sup>2</sup>) que é significativamente inferior à dos aços em geral (50 kJ/m<sup>2</sup>) (LEVY NETO, PARDINI, 2016).

## 2.6 COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS

De acordo com Dowling (2017) em projetos de máquinas e equipamentos os projetistas visam sempre aliar níveis aceitáveis de desempenho e economicidade, garantindo ao mesmo tempo que o produto seja seguro e durável. Para atender estes requisitos, a análise de deformação e fratura é essencial, seja ela por flexão, torção, compressão, flambagem ou estiramento dos componentes da máquina, veículo ou estrutura. Tendo em vista isso a formação de trincas os componentes devem ser totalmente evitados ou estritamente limitados, de modo que não progridam vindo a se transformar em uma fratura completa.

O estudo de deformação e fratura dos materiais é definido como o comportamento mecânico dos materiais, o conhecimento dessa área e estudo proporciona base científica para evitar e prevenir estes modos de falha nas aplicações de engenharia (DOWLING, 2017).

Ainda seguindo a literatura de Dowling (2017) em geral o comportamento de determinado material é quantitativamente determinado a partir de ensaios ou referenciado a partir de dados já publicados, tendo em mente estes dados, as chances de sucesso em um projeto de engenharia podem ser devidamente avaliadas, utilizando estes dados para parametrização.

Visando evitar uma falha estrutural em um projeto mecânico, a preocupação mais básica deve ser que as tensões nos componentes não devem exceder os limites de resistência dos materiais utilizados. A resistência é simplesmente o nível de tensão que provoca uma deformação ou falha por fratura (DOWLING, 2017).

### 2.6.1 Deformação

Deformação é definida na literatura de Hibbeler (2004) como a tendência de um material a mudar de tamanho e forma conforme a aplicações de forças sofridas pelo mesmo, tais mudanças podem ser perfeitamente visíveis ou praticamente imperceptíveis sem a ajuda de equipamentos específicos, dependendo da magnitude dos esforços aplicados ao material.

A deformação também pode ocorrer em um material através de mudanças de temperatura onde a dilatação ou a contração devido a temperatura age fazendo ocorrer deformações de diferentes proporções. De um modo geral a deformação de um corpo não segue um padrão uniforme em todo seu volume, sendo assim a mudança geométrica de qualquer segmento de reta pode variar ao longo do comprimento do material, por exemplo um dos segmentos pode sofrer alongamento enquanto outro pode sofrer contração (HIBBELER, 2004)

### 2.6.2 Flexão e cisalhamento

Elementos estreitos que suportam cargas aplicadas perpendicularmente ao seu eixo longitudinal são chamados de vigas, em geral vigas são barras compridas retas com área da seção transversal constante, e são classificadas conforme seus apoios, que podem ser apoiadas, em balanço ou engastadas, conforme figura 6.

Figura 6 – Exemplos de apoios de vigas



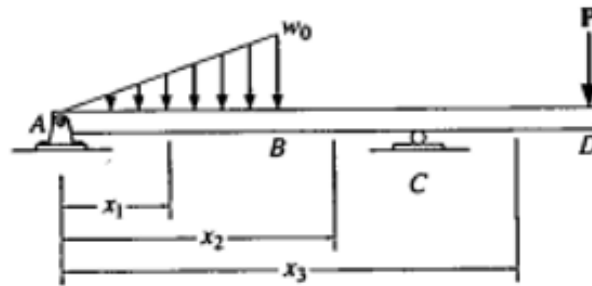
Fonte: Hibbeler, 2004, p. 199

Devido as cargas aplicadas, vigas desenvolvem força cortante (cisalhante) interna e momento fletor, que variam de ponto para ponto ao longo do eixo da viga. A fim de projetar a viga adequadamente é necessário primeiro determinar o cisalhamento e o momento máximo atuante na viga (HIBBELER, 2004)

A melhor forma de fazer isso é expressando a força de cisalhamento e o momento fletor como funções de uma posição arbitrária ao longo do eixo da viga. (Figura 7).



Figura 7 - Exemplo de diagrama de aplicação de esforços e momentos



Fonte: Hibbeler, 2004, p. 200

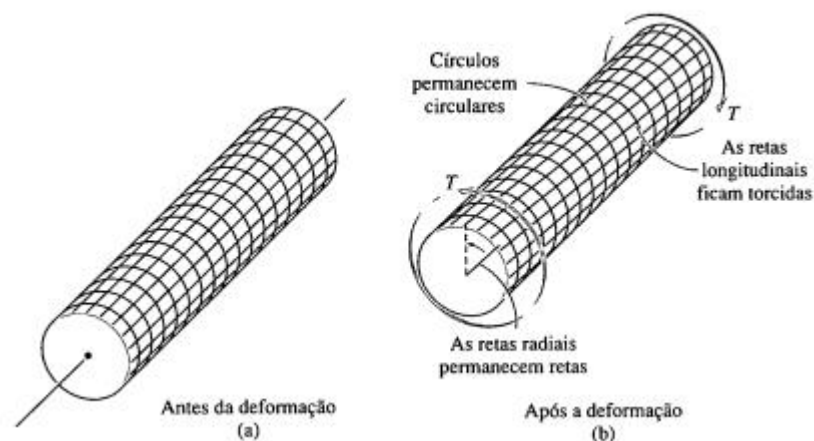
Essas funções de cisalhamento e momento fletor são aplicadas e representadas por gráficos. Os valores máximos desses dois elementos são determinados a partir desses gráficos e servem para o auxílio na determinação de reforços nas vigas e definição das dimensões necessárias para aplicação desses elementos de máquina (HIBBELER, 2004)

### 2.6.3 Torção

De acordo com Hibbeler (2004) o momento que realiza esforços torcionais em torno de um eixo longitudinal é conhecido como Torque. Esse fenômeno tem extrema importância no estudo de eixos ou eixos de acionamentos utilizados em veículos e maquinarias.

Boa demonstração física deste conceito é apresentação figurativa de esforços torcionais aplicados a um eixo circular constituído de borracha, material altamente deformável, apresentado na figura 8.

Figura 8 – Malha exemplificando esforços de tração



Fonte: Hibbeler, 2004, p. 138

Quando ocorre a aplicação do torque, os círculos e as retas longitudinais da grelha (malha imaginária para análise de deformação de materiais) tendem a se distorcer como apresentado na imagem. Se a deformação passar do nível de deformação elástica e entrar na deformação plásticas sua deformação é permanente e danifica a estrutura do elemento podendo ocasionar a quebra (HIBBELER, 2004)

## 2.7 AUTOMAÇÃO NA AGRICULTURA

De acordo com a Inamasu (2016) define-se automação como um sistema no qual os processos de operação da produção agrícola, pecuária ou florestal são monitorados, controlados e executados por meio de máquinas e ou dispositivos mecânicos, eletrônicos e computadores visando a ampliação da capacidade de trabalho humano. Dessa forma a automação tem em seus objetivos o aumento de produtividade, otimização de custos e utilização do tempo, maior controle e redução de desperdícios e a melhora significativa na qualidade de vida do trabalhador rural.

### 2.7.1 Atuador linear elétrico

De acordo com (MARTINS, 2016) um atuador linear elétrico é um equipamento que converte o movimento de rotação de um motor de baixa voltagem de corrente contínua em um movimento linear. A conversão é feita por meio de um sistema de transmissão de energia por engrenagens e um sem-fim onde através deste o movimento de rotação é transformado em um movimento linear de atuação, onde o sentido do movimento se altera através da mudança dos polos de alimentação fazendo a inversão da corrente elétrica.

### 2.7.2 Baterias

De acordo com a literatura descrita por Waygood (2017), o funcionamento de pilhas e baterias se dá a partir de uma reação química que libera a energia necessária para realização da separação de cargas, criando uma diferença de potencial entre seus terminais. Essa diferença de potencial é responsável pelo deslocamento das cargas elétricas ao redor do circuito externo.

Com esse princípio de funcionamento pilhas e baterias foram ganhando cada vez mais importância no cotidiano e hoje são peças fundamentais para operação de diversos equipamentos mundo afora. São responsáveis pela alimentação de grande

parte de máquinas e equipamentos eletrônicos que operam fora de alcance de uma rede de energia elétrica (WAYGOOD, 2017).

## 2.8 PROJETO DE PRODUTO

Realizar o desenvolvimento de um produto para ser comercializado no mercado é bem mais que empreender visando transformar uma boa ideia em um projeto, fabricá-lo e destinar esforços para sua venda. Existem diversas implicações que podem se relacionar as preocupações do projetista, como por exemplo escolha da matéria prima devido a questões ambientais, o gasto energético do produto, resíduos gerados em sua fabricação e descarte em fim de vida, saúde e segurança de produção e operação são alguns dos aspectos básicos que um projetista deve ter conhecimento, além é claro de toda questão econômica do produto visando lucratividade em sua comercialização (BARBOSA FILHO, 2009).

Dentre os projetos de produto existem diversas ideologias e métodos para o desenvolvimento de novos produtos, sendo um deles o descrito por (Ashby, 2018) no livro *Seleção de Materiais no Projeto Mecânico*.

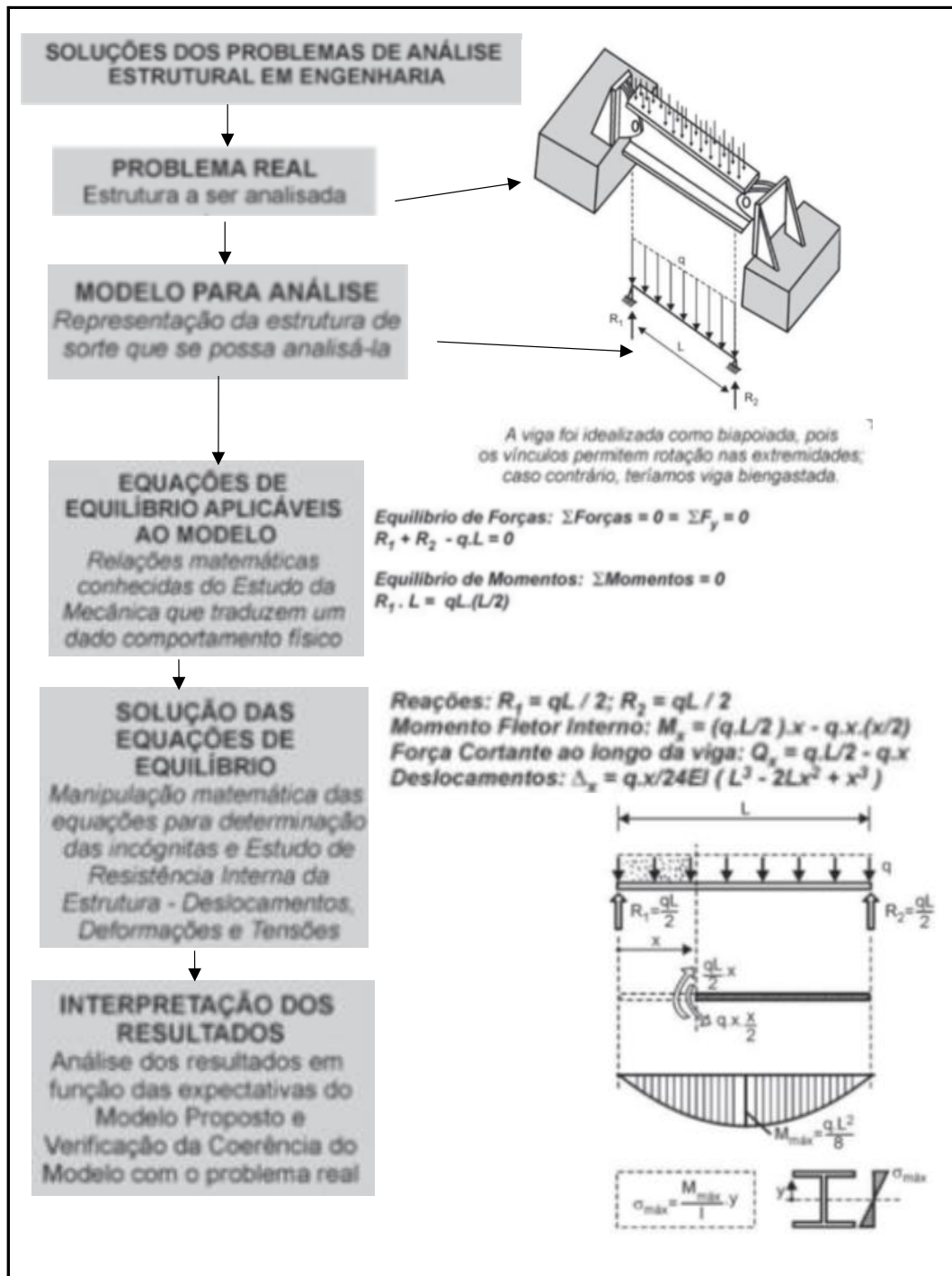
De acordo com Ashby (2018) um projeto de produto parte de requisitos de projeto e o ponto final é a especificação de uma solução que atenda a necessidade, com todos seus detalhes técnicos, produtivos e econômicos buscando atender com credibilidade e qualidade os requisitos do projeto.

## 2.9 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

De acordo com a literatura de Alves Filho (2013) o sucesso no desenvolvimento de cálculos de uma estrutura não se condiciona apenas ao aparato matemático do problema e a capacidade que o engenheiro apresenta no entendimento dos fenômenos físicos do problema a ser resolvido.

Ao se iniciar um cálculo estrutural o engenheiro deve formular um esquema de cálculo para essa estrutura, ou seja, um modelo de cálculo idealizando a estrutura de modo que se possa analisá-la, utilizando muitas vezes de conceitos com soluções já conhecidas como é o caso do comportamento de molas, vigas e chaparias, conforme figura 9. (ALVES FILHO, 2013).

Figura 9 – Passos principais na análise de uma estrutura pelo método de elementos finitos



Fonte: Alves Filho, 2013, p. 23

As soluções prontas dos problemas de flexões de vigas e a teoria geral de placas e cascas, a teoria matemática da elasticidade pode ser encontrada em diversas literaturas de resistência dos materiais, isso é produto do tratamento matemático

baseado no cálculo de equações diferenciais que descrevem o equilíbrio de estruturas, descrevem também a soluções para as diversas configurações geométricas de chapas com diferentes formatos, bem como o comportamento dos sólidos deformáveis (ALVES FILHO, 2013).

Para solução de problemas pelo método de elementos finitos a abordagem principal utilizada em sistemas mais complexos é a discretização dos sistemas, ou seja, se discretiza os elementos do sistema um a um e realiza-se a análise separadamente conforme cada carregamento e cada comportamento que o mesmo irá sofrer. A solução aproximada simula a estrutura como uma montagem de elementos com um comprimento finito. Assim o sistema é subdividido em um número finito de partes ou elementos, de modo que a estrutura inteira complexa é modelada de forma que se torne um agregado de estruturas simples. Os pontos de conexão dos elementos são conhecidos como nós (ALVES FILHO, 2013).

Na figura 10 observa-se a discretização de um sistema interligado em diferentes elementos que atuam com o comportamento de viga bem como com o comportamento elástico.

Figura 10 – Método Geral para análise de sistemas discretos, método de elementos finitos

**MÉTODO GERAL PARA ANÁLISE DE SISTEMAS DISCRETOS - SISTEMA DISCRETO PADRÃO**

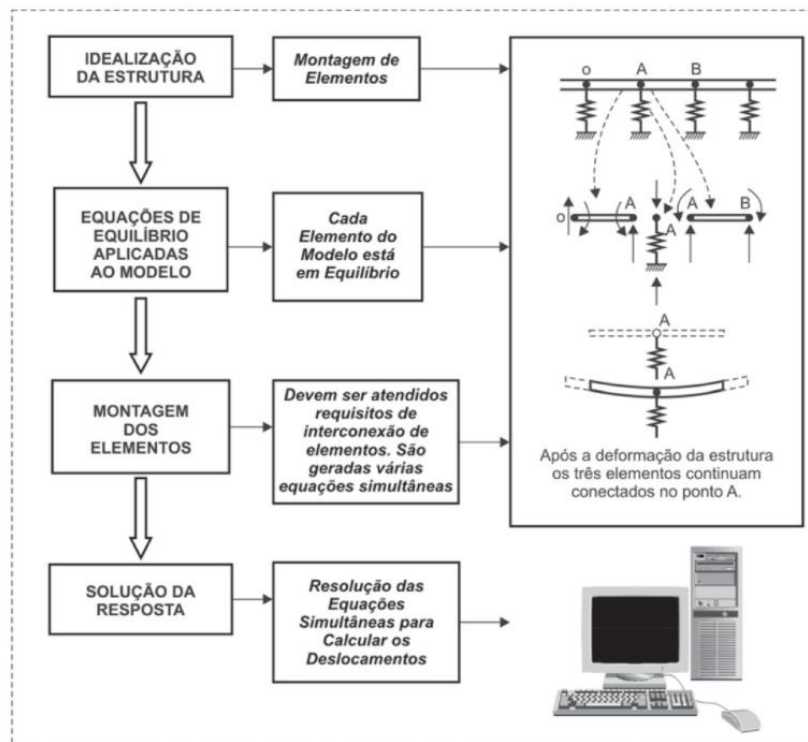


Figura 1.8 - Método geral para análise de sistemas discretos - Sistema Discreto Padrão.

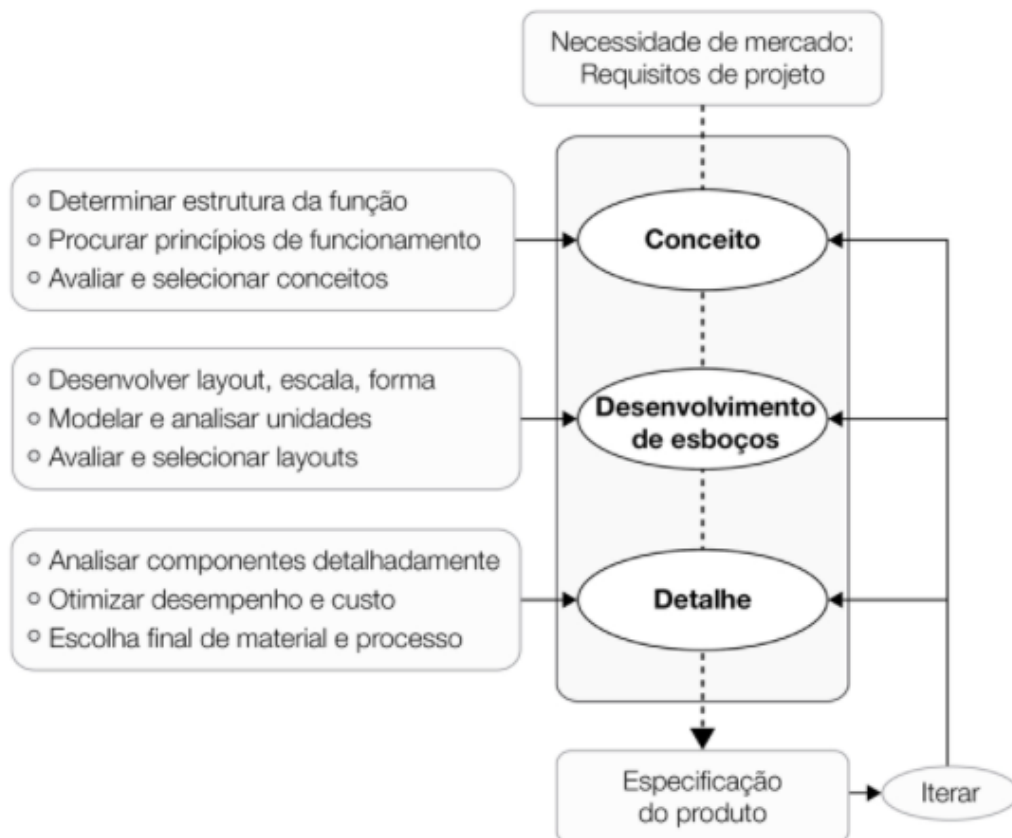
### 3. METODOLOGIA

O início do desdobramento de um projeto de produto se dá com a realização de pesquisas bibliográficas, visando o embasamento científico e teórico para um melhor desenvolvimento do projeto de uma carreta de transporte com grandes diferenciais inovadores funcionais e estruturais.

Com a realização da pesquisa é possível determinar as funções da carreta, modo de operação, e materiais necessários, visando a maior qualidade e assertividade do projeto.

Para a conceitualização e criação de projetos de engenharia existem diversos métodos, cada um com suas particularidades. Para o presente projeto escolheu-se a aplicação do modelo apresentado no livro Seleção de materiais para projeto mecânico de (Ashby, 2018), onde os métodos para desenvolvimento do projeto são apresentados de forma simples e de fácil entendimento, dividido em etapas para uma melhor organização e desenvolvimento desde a fase conceitual até a fase de detalhamento do produto, conforme figura 11.

Figura 11 - Passos para o desenvolvimento de um projeto de produto



### 3.1 REQUISITOS DE PROJETO

Os requisitos de projeto, são o ponto de partida para um projeto, é extremamente importante que eles sejam definidos com exatidão, ou seja, formula-se uma declaração de requisitos de projeto, atribuindo dessa forma um conjunto de propriedades, dando a principal direção de para onde o projeto deve seguir e quais as necessidades deve atender.

Visando evitar a restrição do pensamento devido a concepções, a declaração de requisitos do projeto deve ser neutra em relação a solução, permitindo que o projetista divague nos mais diversos sistemas e conceitos buscando as soluções para o problema, não se limitando a algo previamente definido (Ashby, 2018).

Identificadas os requisitos de projeto, definindo os principais pontos de melhoria para o projeto dá-se sequência nos métodos e passa a ser analisada a estrutura da função do projeto.

### 3.2 CONCEITO

Nessa etapa de desenvolvimento conceitual, é onde a criatividade do projetista deve ser trabalhada, visando ampliar sempre os horizontes para novas soluções ainda não discutidas ou idealizadas. (Ashby, 2018)

Após desenvolvidas os requisitos de projeto, analisada a estrutura da função do produto, se dá sequência para a fase de conceitualização das possíveis soluções para executar as funções definidas na estrutura da função do projeto, cada um desses baseados em um princípio de funcionamento ou um conceito diferenciado para o atendimento dos requisitos de projeto.

Com isso inicia-se a exposição de ideias para a criação de diferentes conceitos, onde para um mesmo problema pode-se se encontrar diversas possibilidades de soluções. São considerados todos os conceitos alternativos e o modo que cada um deles podem ser combinados ou separados, cada uma com suas particularidades.

Nos diferentes conceitos discutidos são abordadas diversas possíveis soluções para o problema cada um com suas particularidades, diferentes tipos de materiais, diferentes tipos de operação, sistemas de funcionamento, dentre todas outras características possíveis para elaboração de conceitos mais assertivos possíveis.

### **3.2.1 Determinar a estrutura da função**

A estrutura da função é determinante para todo o desenvolvimento, nessa são analisadas as entradas e saídas de todo o produto, visando o auxílio na definição de todas as possíveis alternativas existentes para o projeto.

É uma abordagem de sistema para análise de um sistema técnico, visto como transformação de energia, materiais, informações e dados para a obtenção do objetivo final que é o atendimento dos requisitos de projeto.

Para a finalidade de elaboração de novos projetos deve-se utilizar a abordagem de subdividir o produto baseado nas ideias de análise de sistemas, ou seja, análise de entradas, fluxos e saídas de informações, energia e materiais.

Nesse tipo de abordagem o sistema é subdividido em sistemas conectados e cada um deles desempenha sua função específica, o resultado dessa divisão é denominado estrutura da função ou decomposição da função do sistema, a estrutura de função oferece um meio sistemático para avaliar opções de projeto.

Ou seja, deve ser analisada a finalidade do produto, seus componentes e todos os processos que eles passarão para atendimento da necessidade final, atendendo com qualidade e produtividade o cliente final.

### **3.2.2 Analisar princípios de funcionamento**

Com a análise dos princípios de funcionamento do produto, definem-se todos os meios para chegar ao resultado desejado e atender as necessidades do cliente com qualidade e eficácia.

Verificou-se todas as tecnologias existentes no mercado para quais melhores se aplicam aos requisitos do projeto anteriormente definidos, selecionando alguns para um estudo mais aprofundado da situação.

Onde conhecendo os possíveis meios de realizar a tarefa obteve-se diversos modelos e exemplos para o desenvolvimento dos esboços, visando atender ao objetivo proposto no primeiro item da metodologia.

### **3.2.3 Avaliar e selecionar conceitos**

Após definidos os requisitos de projeto, os possíveis princípios de funcionamento, transformações de energia e materiais e o processamento de



informações, formulam-se os diferentes conceitos para solução do problema e atendimento dos requisitos previamente definidos.

Com os conceitos elaborados, iniciou-se a análise de pontos fortes e pontos fracos de cada um dos conceitos elaborados nas fases iniciais, onde através disso encontrou-se possíveis falhas ou oportunidades de melhorias no conceito inicial e definir qual dos conceitos melhora se aplica e deve ser aprofundado o estudo.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DE ESBOÇOS

Com a análise e discussão dos diferentes conceitos de projeto, define-se os mais promissores e analisa-se a operação e modo de construção de cada um deles a um nível aproximado, sendo através disso possível dimensionar um esboço dos componentes, estudar os possíveis materiais e seus respectivos desempenhos para as faixas de tensão e temperatura, e resistência determinadas nos requisitos de projeto, sempre lembrando de suas implicações no desempenho e custo, com isso possibilitando a criação de um layout viável.

#### 3.3.1 Desenvolver *layout*, escala, forma

Com os conceitos do projeto definidos, atendendo as necessidades do cliente, são desenvolvidos alguns layouts buscando a aproximação de escala, forma final do produto.

Ou seja, todos os conceitos começam a ser passados para o papel em forma de esboços, possibilitando uma melhor visualização das soluções que vem sendo discutidas.

Nesta etapa definem-se as capacidades de carga da carreta, velocidade de basculamento, dimensões da caçamba e chassis, altura, motocultivador a ser utilizado, potência entre outros parâmetros de extrema importância para o correto funcionamento do produto projetado.

#### 3.3.2 Modelar e analisar unidades

Com os layouts definidos inicia-se as modelagens e a definição de unidades, como dimensões básicas, de geometria e os dados de comportamento mecânico e térmicos dos materiais.

Nessa etapa geralmente se utiliza auxílio de softwares de modelagem e simulação para análise de dimensionamentos, e esforços serem atendidos com convicção.

### **3.3.3 Avaliar e selecionar *layouts***

Após modelados os diferentes esboços criados a partir dos conceitos, deve ocorrer a avaliação dos modelos para fim de confirmação de correta operação de função, estética coerente com as necessidades do cliente, qualidade assegurando o valor agregado do produto.

Com a avaliação realizada, são escolhidos os layouts pertinentes e definidos todos as funcionalidades do produto, sistemas utilizados para atender as necessidades do cliente.

## **3.4 DETALHE**

Na fase de detalhe são elaboradas as especificações para cada componente bem como são analisados suas geometrias e possíveis métodos produtivos para cada um deles.

### **3.4.1 Análise detalhada de componentes e escolha final de materiais e processos**

Cada componente passa por uma análise minuciosa, sendo realizados testes, simulações e análises mecânicas e térmicas para validação de todos os componentes críticos, buscando o atendimento de todas as necessidades pré-determinadas sem ocasionar falhas.

Com os todas as análises técnicas realizadas, validam-se os materiais, geometrias e funcionalidades do produto, podendo dessa forma partir para uma avaliação mais detalhada das possibilidades de otimização de desempenho, produção e custos de processos e materiais.

### **3.4.2 Otimizar desempenho e custo**

Com todos materiais e processos definidos inicia-se o desenvolvimento da cadeia de suprimentos, sejam eles, matéria prima, máquinas e equipamentos ou componentes prontos, nessa etapa se avalia desempenho e custos produtivos

visando a busca pela otimização deles, muitas vezes pequenas alterações de projeto podem reduzir o custo produtivo em grandes proporções, alterações essas que não trazem impacto funcional e estrutural para o produto desenvolvido.

### 3.5 ITERAÇÃO

Para o correto desenvolvimento de um produto, durante o desenvolvimento e após concluídas todas as fases anteriores apresentadas, foram selecionadas uma a uma e realizada a iteração entre todas elas, nessa etapa foi possível ter uma visão de um todo do projeto e com isso identificar diversas falhas que podem passar despercebidas se analisadas isoladas, com isso o projeto acaba ganhando uma confiabilidade muito maior e evita grandes desperdícios.

Nessa iteração entre as etapas identifica-se falhas de projeto, problemas de materiais, problemas de processos, oportunidades de melhorias e reduções de custos, além de todo ganho de confiabilidade agregado ao projeto com essa iteração.

### 3.6 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES

Na última etapa dos métodos desenvolvidos consiste na fabricação do protótipo do produto e realização de testes práticos para a confirmação e validação dos resultados obtidos por meio do desenvolvimento teórico e simulado do produto.

Realizam-se testes práticos validando capacidade de carga, eficiência de operação, resultados ergonômicos e benefícios trazidos pelo projeto ao operador.

### 3.7 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para elaboração de todo projeto desde sua concepção até sua construção e testes foram utilizados diversos materiais e equipamentos, listados no quadro 7. São eles:

Quadro 5 - Lista de materiais e equipamentos

| MATERIAL                      | QTD |
|-------------------------------|-----|
| ATUADORES ELETRICOS           | 2   |
| FIBRA DE VIDRO                | 20  |
| RESINA EPÓXI                  | 4   |
| RESINA POLIÉSTER              | 4   |
| Rodas                         | 2   |
| Mancal                        | 2   |
| Rolamentos                    | 2   |
| TUBOS 40X40X6000mm Esp 2 mm   | 12  |
| TUBO 50X50X3000 Esp 3 mm      | 3   |
| Tubo Ø 31,75x2m               | 1   |
| Eletrodos 6013 ESP 3,25       | 30  |
| Chapa expandida 1200x3000mm   | 1   |
| Cinta plástica                | 140 |
| Poliacetal Ø40mmX1000mm       | 6   |
| Parafusos M10X80mm            | 50  |
| Parafusos M8X60mm             | 40  |
| Catalisador                   | 4   |
| ERVIÇOS DE TORNO TERCEIRIZADO | 5   |
| CHAPAS CORTE LASER E DOBRA    | 20  |
| ACETONA 8 LITROS              | 8   |

| Consumíveis        | QTD |
|--------------------|-----|
| Pincéis            | 8   |
| LIXAS              | 20  |
| LIXA ORBTIAL       | 18  |
| discos de corte    | 20  |
| DISCOS DE DESBASTE | 2   |
| DISCO FLAP         | 4   |

| EPI's                             | QTD |
|-----------------------------------|-----|
| Respirador para produtos quimicos | 2   |
| Luvas                             | 20  |
| Luvas raspa de couro              | 4   |
| Óculos de proteção                | 2   |
| Protetor auricular                | 2   |
| Máscara de solda                  | 1   |

| Equipamentos                                 |
|--|
| Aparelho solda MIG                           |
| inversor de solda para solda com eletrodos.  |
| Torno mecanico convencional                  |
| Fresadora Convencional                       |
| Macho Para roscas                            |
| Furadeira de Bancada                         |
| Traçador de Altura                           |
| Dispositivo Para laminação de Fibra de vidro |
| Serra Para corte.                            |

Fonte: O Autor, 2021

Na última etapa dos métodos desenvolvidos consiste na fabricação do protótipo do produto e realização de testes práticos para a confirmação e validação dos resultados obtidos por meio do desenvolvimento teórico e simulado do produto.

Realizam-se testes práticos validando capacidade de carga, eficiência de operação, resultados ergonômicos e benefícios trazidos pelo projeto ao operador.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da metodologia previamente definidos no projeto, partindo dos requisitos de projeto, passando pelas fases de conceitos, desenvolvimento de esboços, detalhamento e pôr fim a iteração de todas as fases para a tomada de decisão final e início da produção. Onde dentro dessas fases serão abordados desde a definição dos requisitos de projeto até a escolha final de materiais e processos e as decisões e estudos para redução de custos. Também será abordada a fabricação do protótipo e fase de testes dele.

### 4.1 REQUISITOS DE PROJETO

O Projeto iniciou-se a partir da identificação de uma necessidade de inovação na área da agricultura de pequena escala no Brasil, onde foi verificada a deficiência de um modelo de carreta de transporte para motocultivadores, com baixo peso e funcionamento basculante automatizado, onde através destes tópicos iniciou-se o desenvolvimento do projeto.

Verificou-se que um requisito básico de projeto seria uma carreta com melhorias de operação facilitando a vida do operador do equipamento, através de pesquisas foi identificado que não existiam carretas reboque para motocultivadores com funcionamento basculante automatizado, seja ele por sistema hidráulico ou elétrico, definindo-se assim a primeira necessidade encontrada e um dos focos de desenvolvimento do projeto.

Outro ponto importante verificado foi que quase em sua totalidade as carretas comercializadas no mercado nacional são feitas com estruturas totalmente em aço ou madeira, o que impacta diretamente no peso do produto. Com peso elevado diversos desperdícios são ocasionados com esse fator, como por exemplo o consumo do motocultivador para transporte da carreta sem carga, lembrando que toda carga da máquina impacta diretamente na transmissão de potência e desempenho do motocultivador, sendo assim a redução de peso do equipamento reflete diretamente na capacidade de carga da carreta aliada ao motor do motocultivador.

Sendo assim identificou-se que as duas principais necessidades básicas de projeto seriam a existência de um equipamento com funcionamento basculante automático, facilitando o processo de descarga da carreta, e evitando diversas

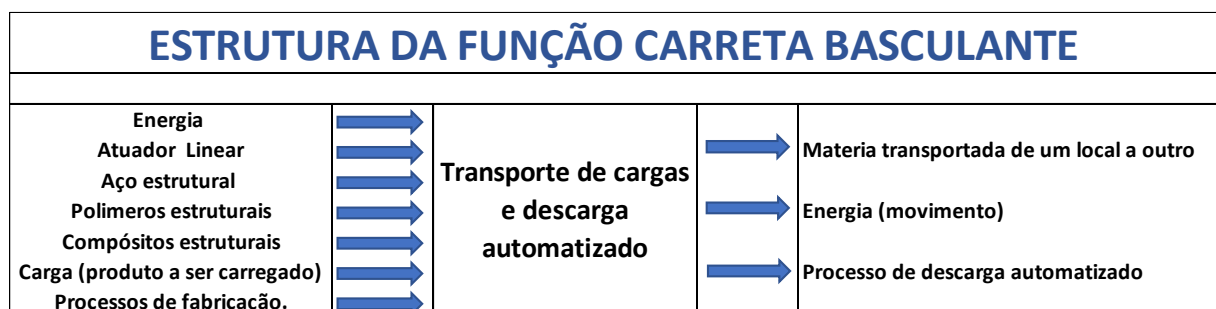
possibilidades de acidentes e riscos operacionais bem como questões ergonômicas para o operador, bem como a redução de peso dos conjuntos que podem ser acoplados aos motocultivadores, toda redução de peso impacta diretamente na produtividade do equipamento bem como na facilidade de operação, seja ela no acoplamento e desacoplamento do implemento no motocultivador.

No desenvolvimento do estudo de aperfeiçoamento funcional e estrutural da carreta reboque para motocultivador, a partir de uma análise dos equipamentos existentes no mercado definiu-se a necessidade de um equipamento prático e funcional para atendimento dos agricultores de pequeno porte, através de pesquisas foi se buscando as alternativas existentes no mercado e verificando suas oportunidades de melhoria, dessa forma definindo-se os requisitos de projeto para o pequeno produtor e excelentes oportunidades de desenvolvimento tecnológico e inovador para o segmento .

#### 4.2 ESTRUTURA DA FUNÇÃO

Com a necessidade definida e concretizada partiu-se para análise da estrutura da função do equipamento (quadro 8), onde foram analisadas as entradas e saídas buscando um melhor entendimento de suas funções, capacidades e modo de operação.

Quadro 6- Estrutura da função carreta basculante



Fonte: O Autor, 2021

Como apresentado no quadro 9 observa-se como entrada os principais componentes e princípios de funcionamento além de uma fonte de energia que ao passar pelos processos necessários ocorre a produção da carreta de transporte com redução de peso e funcionamento basculante automatizado. Com isso determina-se que as saídas desse projeto serão a matéria que será transportada pela carreta, a

energia que é vista no movimento da caçamba basculante, e o processo de descarga em si.

Definida a estrutura da função do produto, passou-se a pesquisa e busca de alternativas para atendimento das necessidades determinadas. Onde verificou-se as possibilidades existentes no mercado, os conceitos já desenvolvidos para tomada de ideias.

#### 4.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Para o problema de redução de peso foram encontradas diversas oportunidades de resolução, onde a alteração do tipo de materiais construtivos foi a que melhor se enquadrou, devido a vasta gama de materiais existentes no mercado e suas diferentes propriedades definiu-se que a utilização de compósitos de tecido de fibra de vidro e resinas epóxi e poliéster seriam soluções viáveis para o problema.

A utilização da fibra de vidro traz boas características de resistência para o equipamento na comparação com o aço, a fibra de vidro tem seu modulo de elasticidade aproximado a ordem de 72 GPa, possuindo similaridade com os valores de ligas de alumínio estruturais. Seu módulo de elasticidades é menor que o do aço, porém sua relação entre resistência e peso se comparada ao aço é excelente pois obtém-se boa resistência com um peso bem abaixo do peso do aço. Os compósitos de fibra de vidro têm em sua composição uma massa específica de  $2,5\text{g/cm}^3$  enquanto o aço possui  $7,8\text{g/cm}^3$  aproximadamente. Como o produto em questão não envolve esforços tão altos em um primeiro momento não se fez necessária a utilização de aço na construção da caçamba do equipamento.

A definição de maior redução de peso do protótipo se deu na unidade de carregamento do produto, onde se definiu que a construção seria feita com canos de PVC (policloreto de vinila) revestidos com tecido de fibra de vidro e resina epóxi, diferentemente dos convencionais existentes no comércio constituídos quase em sua totalidade em aço, o que resulta em grande redução de peso, porém com uma resistência menor se comparada ao aço, porém de boa qualidade para o produto em questão.

Foram analisadas as possibilidades de utilização de um sistema basculante hidráulico ou mecânico, alimentado pela força motriz do motocultivador, porém devido ao funcionamento mais simples, a durabilidade do sistema e os menores riscos de

acidentes de operação e manutenção optou-se pelo sistema elétrico de basculamento. Onde se utilizam dois atuadores elétricos de capacidade de carga 1500 N e velocidade de atuação de 10mm/s conforme especificações do fornecedor, a fonte de energia para alimentação do sistema é uma bateria.

#### 4.4 AVALIAR E SELECIONAR CONCEITOS

Com os princípios básicos de solução de problema a partir requisitos de projeto foram elaborados diferentes conceitos, com diferentes materiais, tipos de funcionamento e diversas especificidades de cada material. São eles:

- a) CONCEITO 1: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em aço, funcionamento basculante hidráulico;
- b) CONCEITO 2: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em aço, funcionamento basculante elétrico;
- c) CONCEITO 3: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em aço, funcionamento basculante mecânico (polias, engrenagens e cremalheira);
- d) CONCEITO 4: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em Polímero, funcionamento basculante hidráulico;
- e) CONCEITO 5: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em Polímero, funcionamento basculante elétrico;
- f) CONCEITO 6: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em Polímero, funcionamento basculante mecânico (polias, engrenagens e cremalheira);
- g) CONCEITO 7: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de carbono, funcionamento basculante hidráulico;
- h) CONCEITO 8: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de carbono, funcionamento basculante elétrico;
- i) CONCEITO 9: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de carbono, funcionamento basculante mecânico (polias, engrenagens e cremalheira);
- j) CONCEITO 10: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de vidro, funcionamento basculante hidráulico;
- k) CONCEITO 11: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de vidro, funcionamento basculante elétrico;



- I) CONCEITO 12: Carreta basculante com chassi em aço, caçamba em fibra de vidro, funcionamento basculante mecânico (polias, engrenagens e cremalheira).

Com todos esses conceitos discutidos, optou-se pela fabricação do conceito número 11, devido a conciliação de desempenho, facilidade de processamento e acessibilidade de componentes, assim como durabilidade funcionamento.

A escolha da fabricação dos chassis em aço se dá pelo fato da facilidade de acesso e métodos de processamento mais conhecidos e com equipamentos disponíveis na FAHOR para a confecção de peças e processamento dos materiais, bem como sua resistência e qualidade garantida.

Dentre as opções disponíveis para fabricação da carroceria do produto a aplicação de polímeros somente foi descartado devido a impossibilidade de processamento nas dependências da FAHOR pois necessita de moldes e mão de obra especializada para sua confecção, além da dificuldade de acesso em sua matéria prima. Portanto o custo de fabricação seria alto e necessário ferramentas e equipamentos especiais, inviabilizando sua confecção.

Por outro lado, em caso de desenvolvimento do produto em uma linha de produção em série a caçamba fabricada em polímero pode se tornar uma excelente opção para atender a redução de peso pretendida bem como a resistência necessária e boa qualidade e durabilidade.

Dentre os compósitos optou-se pela utilização do tecido bidirecional de fibra de vidro e resina epóxi para os componentes mais críticos e resina de poliéster para os componentes que não exigem tantos esforços, a escolha se deu devido a análise de custos entre o tecido de fibra de carbono e fibra de vidro, tecidos de fibra de carbono são encontrados em média na faixa de R\$ 300 o metro quadrado enquanto a fibra de vidro escolhida, com gramatura de 330g/m<sup>2</sup> tem custo médio de 30 reais o metro quadrado.

Para a resina foi definido utilização de resina epóxi em componentes críticos devido a suas melhores características dentre as opções disponíveis, seu custo é mais elevado, porém agrega melhores características para o desenvolvimento do projeto. O custo de um kit de resina epóxi com aproximadamente 1500 gramas gira na faixa de 190 reais.

Para os componentes estruturais que requerem menores esforços se definiu pela utilização de resinas de poliéster visando a redução de custos produtivos para o protótipo.

#### 4.5 DESENVOLVER LAYOUT ESCALA E FORMA

Após definidos, avaliados e selecionados os conceitos de funcionamento, operação dos equipamentos foi definida a utilização do conceito número 11, com chassis em aço estrutural, caçamba em fibra de vidro e funcionamento basculante elétrico, o projeto segue para fase de desenvolvimento de um layout, escala e a forma do equipamento.

Analisando os produtos existentes no mercado, optou-se pela confecção de um equipamento com a caçamba de base formato retangular com comprimento de 1500 mm e largura de 1200 mm, a altura o equipamento ficou definido em 600 mm.

O detalhamento do projeto com todas dimensões e componentes encontra-se no apêndice do presente trabalho.

#### 4.6 MODELAGEM GEOMÉTRICA

O ponto de partida da modelagem do projeto se deu a partir de todos os primeiros passos da metodologia apresentados anteriormente, foram definidos os requisitos de projeto e a partir daí definido a estrutura da função, estudos de viabilidade, estudo dos princípios de funcionamento, avaliação dos primeiros conceitos e o desenvolvimento dos primeiros layouts escalas e formas.

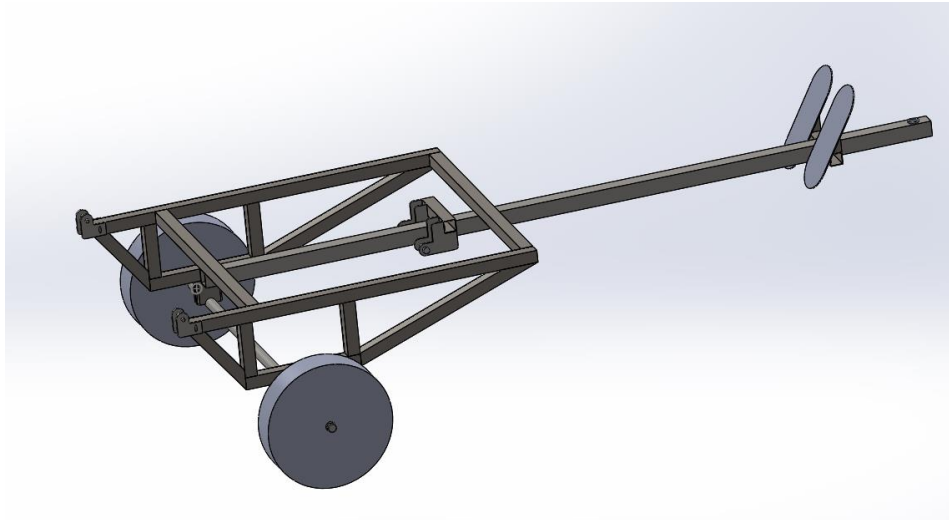
A partir daí com informações suficientes coletadas iniciou-se a modelagem com auxílio de software CAD para desenvolvimento do projeto. O software utilizado foi o Solidworks, onde foi feita toda a modelagem do protótipo. Com os conhecimentos do projetista em processos de fabricação foram idealizados os conceitos e layouts previamente definidos buscando sempre utilização de materiais de fácil acesso no mercado e facilidade processamento para transformação de matéria bruta em componentes ideais para o projeto.

Na sequência de imagens abaixo verificam-se os resultados da modelagem geométrica a partir dos conceitos e esboços definidos nas etapas anteriores.

Conforme o conceito verificou-se que a construção da carreta de reboque foi modelada com seus chassis em tubos de aço de 40x40 e parede com espessura de

2mm e a viga central do chassi com tubo 50x50mm e parede com espessura de 3mm (Figura 12). Na construção do eixo foi utilizado um tubo de diâmetro 33,15mm e parede 3mm de espessura, em suas ponteiros foram usinados insertos maciços com as pontas roscadas para fixação das rodas.

Figura 12 – Chassis Carreta Basculante

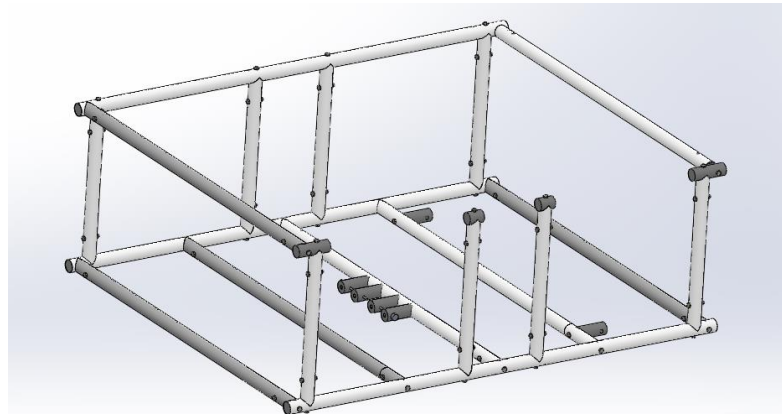


**Fonte:** O Autor, 2021

Para a construção dos apoios para os pés, mancais para o eixo das rodas, o assento, os suportes para os atuadores eletrônicos e os acoplamentos da caçamba no chassis foram utilizados peças cortadas em máquinas de corte laser algumas necessitando o processo de dobra para ficarem em sua geometria ideal conforme projeto, todos componentes detalhados constam no apêndice do projeto.

Conforme a figura 13 a caçamba da carreta foi construída a partir de materiais poliméricos e materiais compósitos ou seja, para as conexões dos tubos foram utilizados insertos de poliacetal usinados e roscados, para fixação por meio de parafusos.

Figura 13 – Caçamba Em PVC com insertos Parafusados de poliacetal

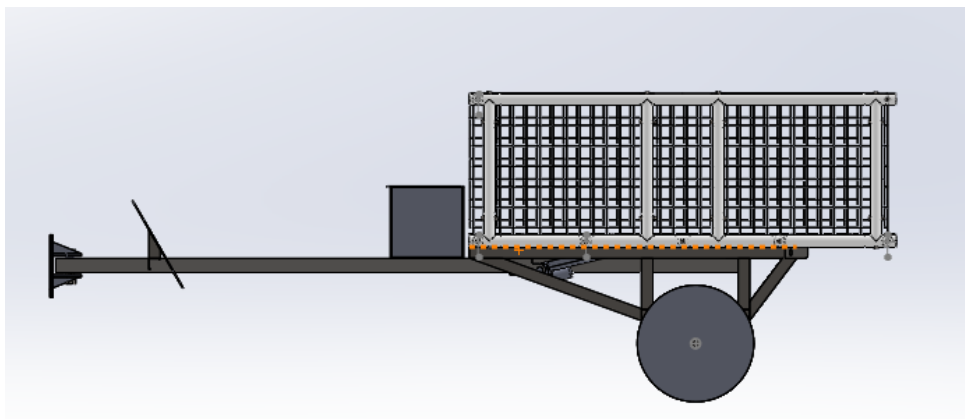


**Fonte:** O Autor, 2021

Os tubos de pvc de diametro 40 mm foram revestidos com camadas de fibra de vidro para ganho de resistencia, nos componentes onde é realizado o acoplamento dos atuadores eletricos para o basculamento e os quais são fixados no chassi foram realizadas 3 camadas de revestimento de fibra de vidro. Para os tubos laterais inferiores foram realizadas 2 camadas de revestimento com fibra de vidro, e para os demais tubos os quais os esforços são de menor escala foi realizada a laminação com uma camada de fibra de vidro.

Para o fechamento lateral da caçamba optou-se pela utilização de tela soldada em suas laterais e chapa expandida no fundo da caçamba, esta por ter maior resistência do que a tela soldada (Figura 14).

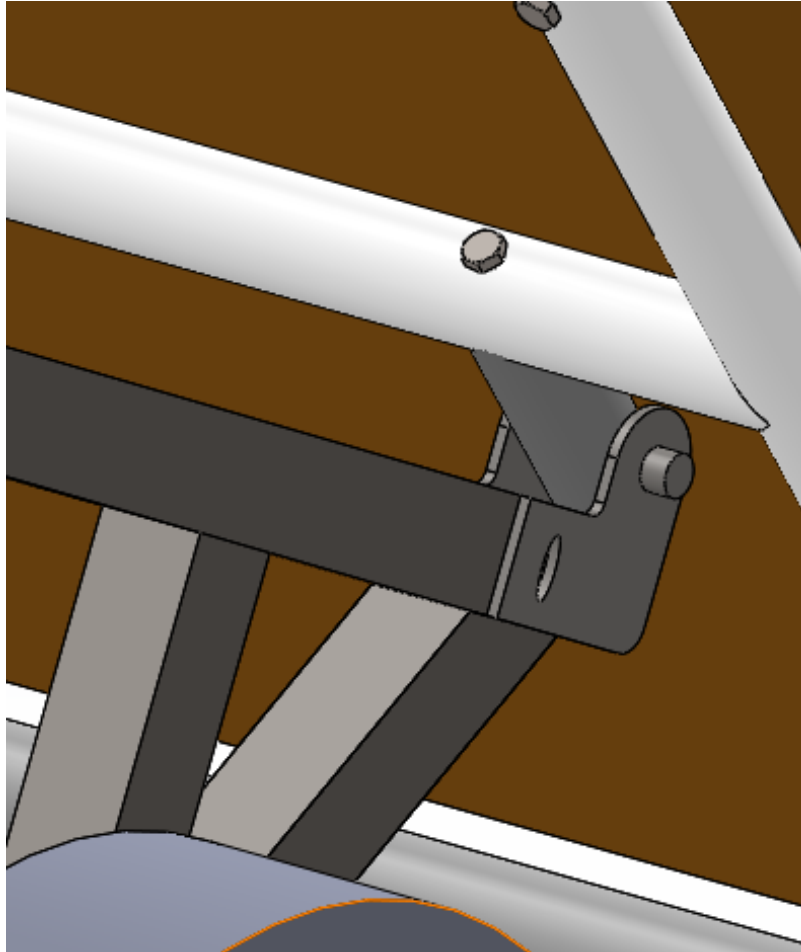
Figura 14 – Carreta Basculante em vista lateral



**Fonte:** O Autor, 2021

O acoplamento da caçamba aos chassis foi feito por meio de parafusos como apresenta a figura 15.

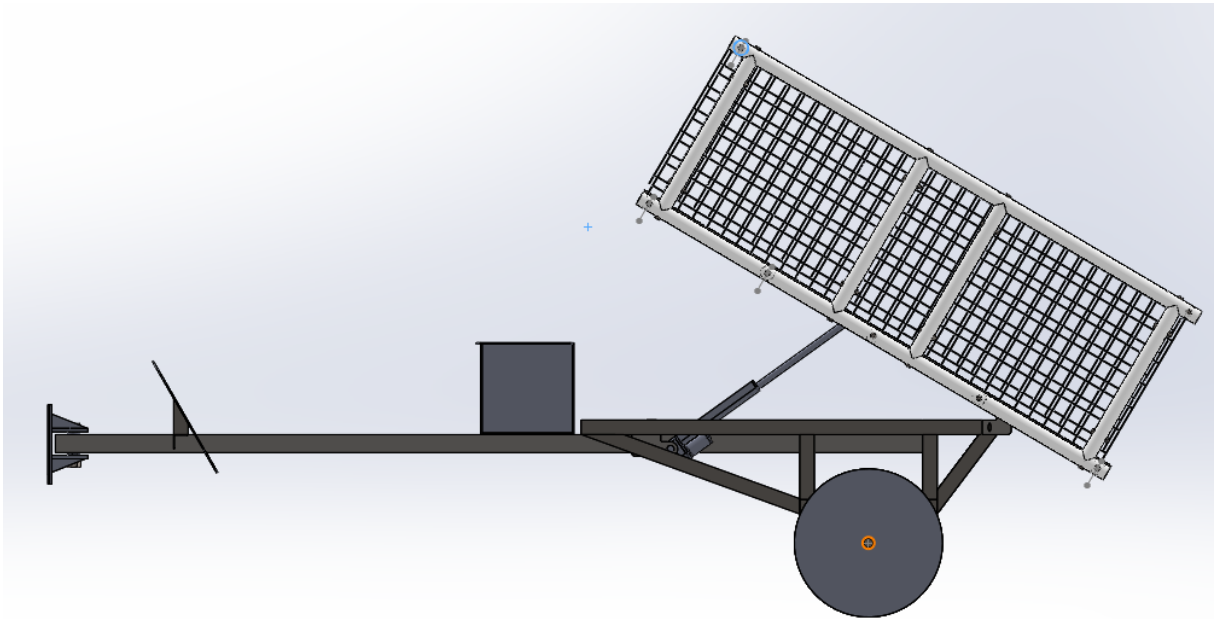
Figura 15 – Fixação da Caçamba ao Chassi com elementos de fixação parafusados



Fonte: O Autor, 2021

Para o basculamento do equipamento foi utilizado dois atuadores lineares de força unitária de cada um de 1500 N, curso total de 300 milímetros e velocidade de atuação de 10 milímetros por segundo (Figuras 16 e 17).

Figura 16 – Vista lateral da carreta basculante com os atuadores em posição “Levantados”



Fonte: O Autor, 2021

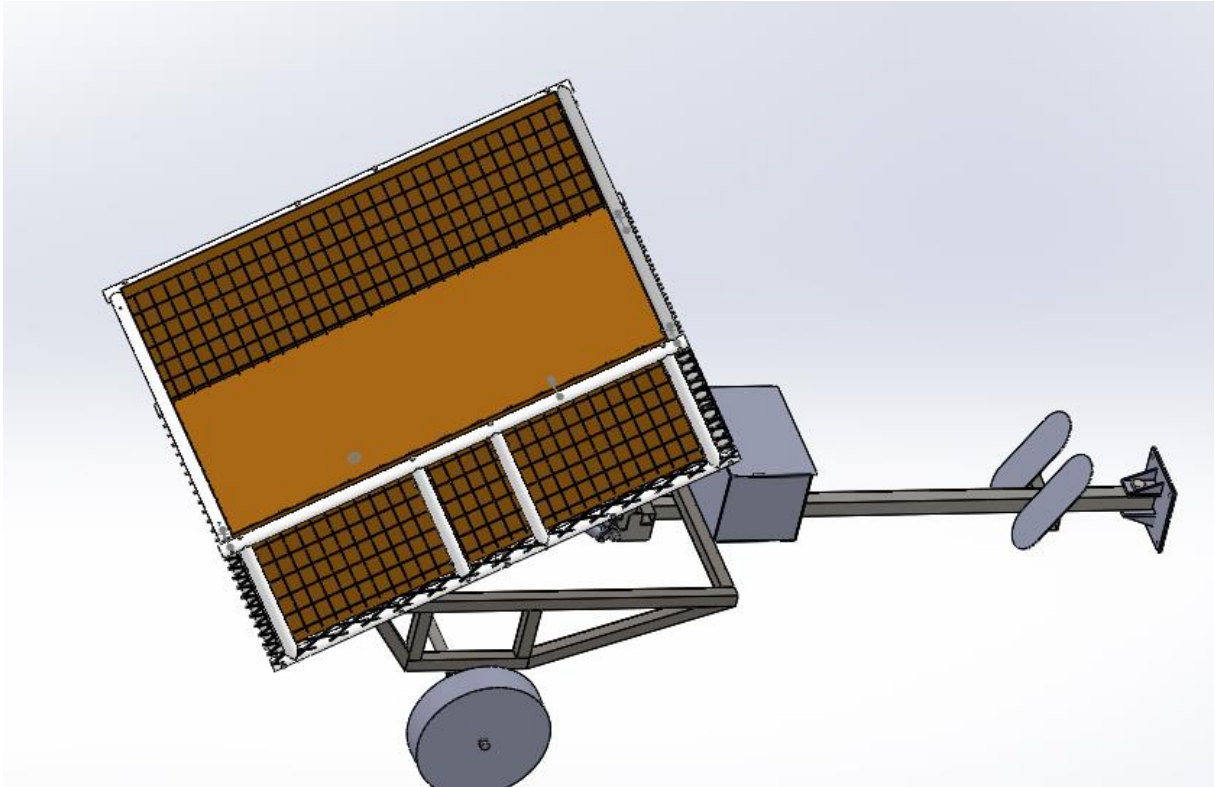
Figura 17 – Perspectiva isométrica da carreta basculante com os atuadores em posição “levantados”



Fonte: O Autor, 2021

Para a utilização do equipamento no transporte de materiais granulares ou em pó, definiu-se a utilização de uma lona, conforme figura 18, costurada em formato prismático para fechamento de toda a superfície da caçamba, trazendo dessa forma versatilidade e pouco peso agregado ao produto.

Figura 18 – Carreta basculante em posição levantada com revestimento interno em lona para transporte de material granular



Fonte: O Autor, 2021

#### 4.7 ANÁLISE ESTRUTURAL A PARTIR DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Para validação estrutural e funcional dos componentes foram realizadas simulações de esforços nos componentes críticos utilizando software ANSYS pelo método de análise estrutural conhecido como método de elementos finitos.

Para o desenvolvimento de uma análise estrutural concreta foi necessário o entendimento do produto e seus processos produtivos, materiais, e graus de liberdade, visando garantir a assertividade da análise.

Como a caçamba do produto foi fabricado a partir de materiais compósitos e sem um processo de produção controlado que pode garantir as propriedades do material não foram realizadas simulações estruturais para este conjunto.

Para o início da análise estrutural partiu-se da definição de materiais no software para o correto processamento dos resultados.

Materiais aplicados nas análises:

- **Aço estrutural:** Material da biblioteca Ansys, equivalente ao Aço SAE 1020 laminado. Tendo as seguintes propriedades mecânicas:

Quadro 7 – Propriedades mecânicas dos aços nas condições de laminado normalizado e recozido



## 2 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS NAS CONDIÇÕES DE LAMINADO NORMALIZADO E RECOZIDO

| Qualidade |         | Condição    | Temperatura de austenitização (°C) | Resist. à tração (MPa) | Limite de escoamento (MPa) | Alongamento (%) | Redução de área (%) | Dureza (HB) | Impacto (J) |
|-----------|---------|-------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|-------------|-------------|
| GERDAU    | AISI(1) |             |                                    |                        |                            |                 |                     |             |             |
| 1020      | 1020    | Laminado    | -                                  | 450                    | 330                        | 36,0            | 59                  | 143         | 87          |
|           |         | Normalizado | 870                                | 440                    | 345                        | 35,8            | 68                  | 131         | 118         |
|           |         | Recozido    | 870                                | 395                    | 295                        | 36,5            | 66                  | 111         | 123         |

Fonte: Manual dos Aços Gerdau,

Após definidos materiais analisam-se os critérios de aceitação para as análises.

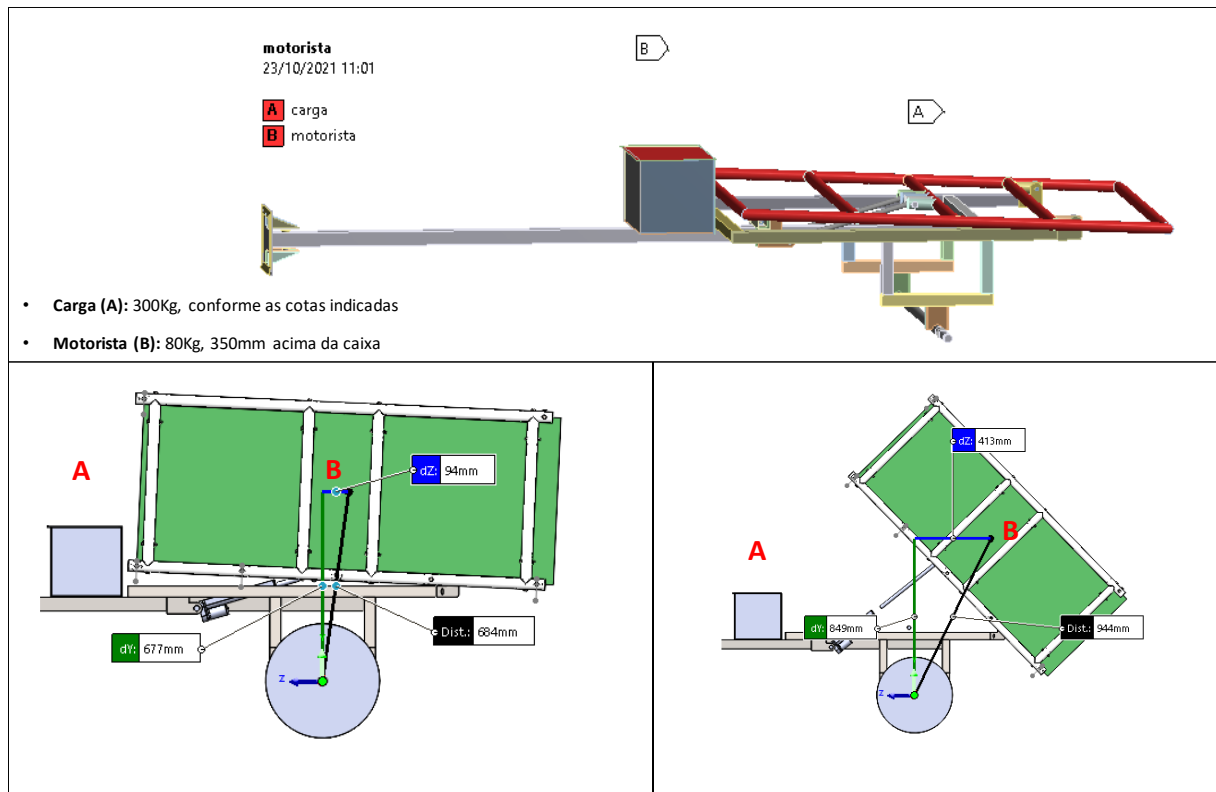
Critérios de aceitação para as análises:

- **Suportar os seguintes pontos de massa:** Massa de 80kg (motorista) sobre a caixa das baterias, Massa de 300kg (limite de carga dos pneus) sobre a carroceria. Os centros de massa podem variar conforme a inclinação da carroceria;
- **Carregamento:** Os componentes bem como a estrutura em si, devem suportar aceleração vertical (eixo Y) equivalente a 1,5G (14709 mm/s<sup>2</sup>);
- **Casos de carga:** Carroceria a 2,6° (o suficiente para que mesmo com a estrutura deformada, os esforços ocorram por meio dos pinos) e a 45°;
- **Tensões:** 227MPa para os itens compostos de SAE 1020. 615 MPa para os parafusos de classe 12.9

Após foram definidos os pontos de massa existentes no sistema e suas cotas, conforme apresentado no quadro 9.



### Quadro 8 – Pontos de Massa para análise estrutural



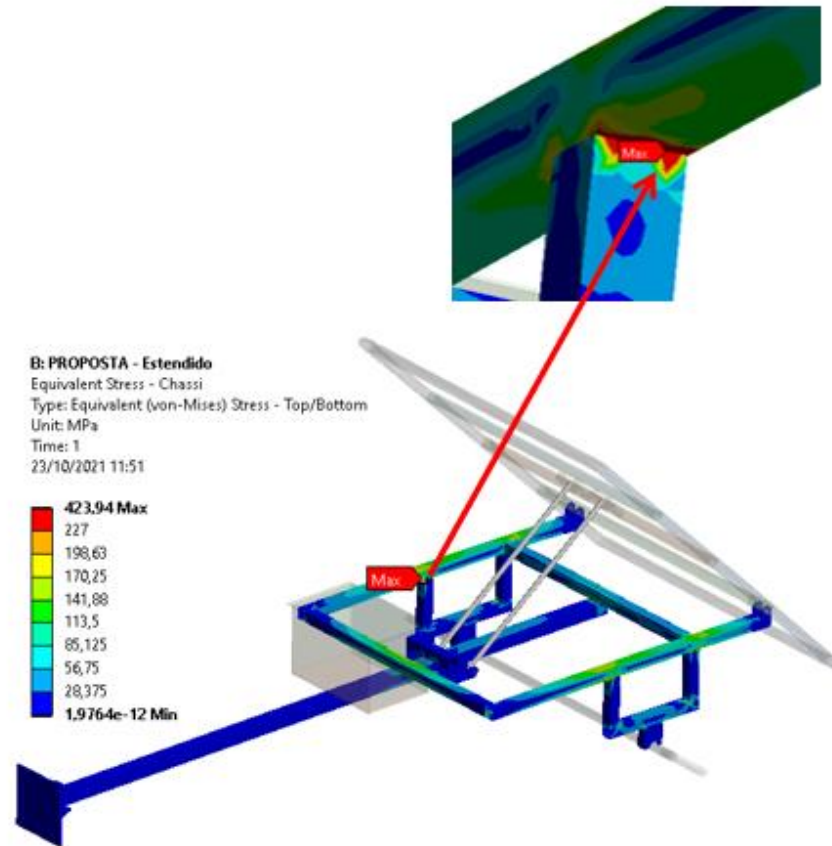
Fonte: O Autor, 2021

A partir daí foi realizada a definição de malha para realização da análise, partindo da análise das diferentes geometrias e materiais:

- **Tamanho do Corpo:** Regiões sem interesse 12mm, tubos 8mm, pinos 2mm, chapas 6mm;
- **Tamanho das Bordas ou Arestas:** Refino de 3mm na região dos furos;
- **Qualidade dos elementos:** A análise da malha não apresentou distorções de elementos de forma significativa ( $<0,75$ ) nas regiões de interesse. Tanto na geometria recolhida como na estendida.

A partir da inserção e definição de todos os dados de entrada no software iniciou-se a análise, onde foram encontradas as seguintes oportunidades de melhorias (Figura 19).

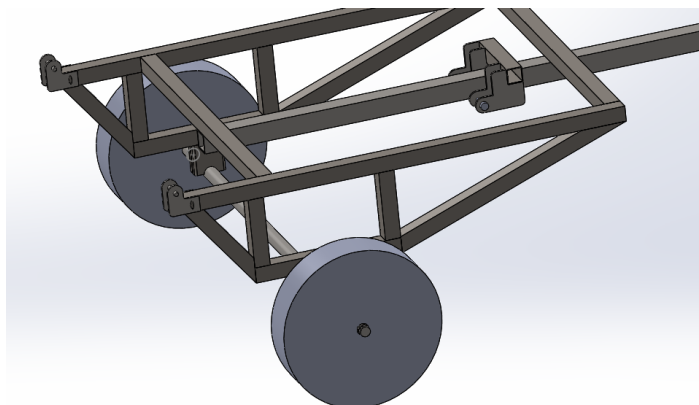
Figura 19 – Demonstrativo de deformação crítica em tubos verticais do conjunto



Fonte: O Autor, 2021

Foi verificado que os tubos verticais que ligam o eixo a estrutura do chassi sofreriam deformações plásticas a partir do carregamento total previsto no sistema, com isso em mente foi realizada uma atualização no projeto reforçando o chassi para que este fato não ocorresse (Figura 20).

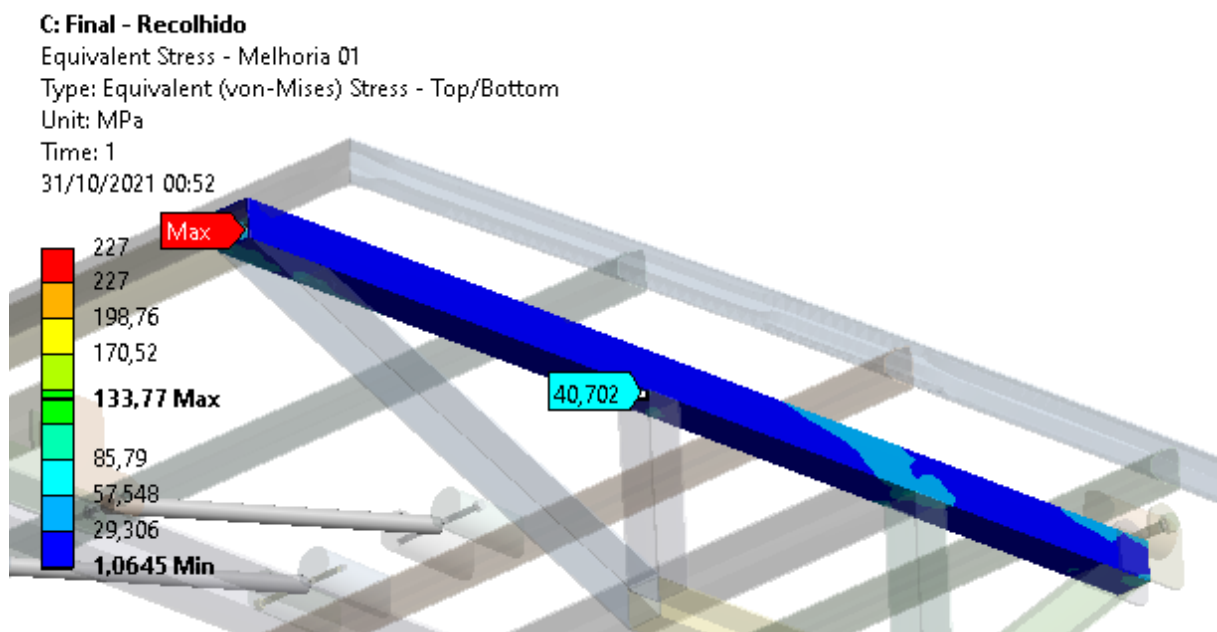
Figura 20 – Chassis reforçado com “mãos francesas” para solução de problema estrutural identificado



Fonte: O Autor, 2021

O reforço se deu em forma de tubos soldados no modo de mão francesas ao chassi, reforçando a estrutura e evitando a deformação próxima as regiões soldadas, tais alterações podem ser observadas no modelo abaixo juntamente com o percentual de redução de concentração de esforços no ponto máximo.

Figura 21 – Análise Estrutural após incremento de “mão francesas”

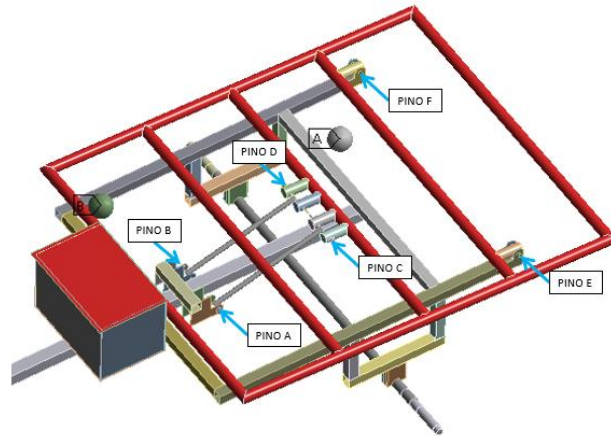


Fonte: O Autor, 2021

Como é observado na figura 21, após as alterações e adição de reforços no chassi ocorreu uma grande redução das tensões e o equipamento ficou se nenhuma região crítica antes apresentada.

Outros pontos que apresentaram possibilidade de deformação e até quebra foram os pinos de fixação dos atuadores tanto na caçamba quanto no chassi e os pinos que fixam a caçamba ao chassi.

Figura 22 – Identificação de pinos para análise estrutural

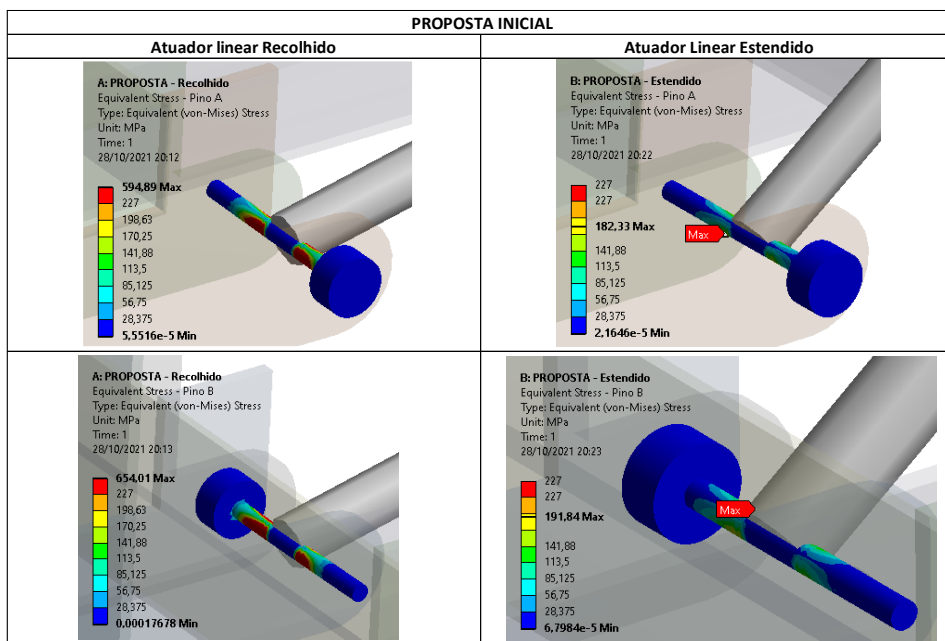


Fonte: O Autor, 2021

Realizando a análise estrutural desses componentes todos apresentaram possibilidade de deformação ou quebra, sendo dessa forma adotadas medidas corretivas ao projeto e substituindo os componentes por parafusos allen de aço classificação 12.9.

Nos quadros 9 e 10 são representadas as análises realizadas a partir dos pinos, conceito inicial do projeto.

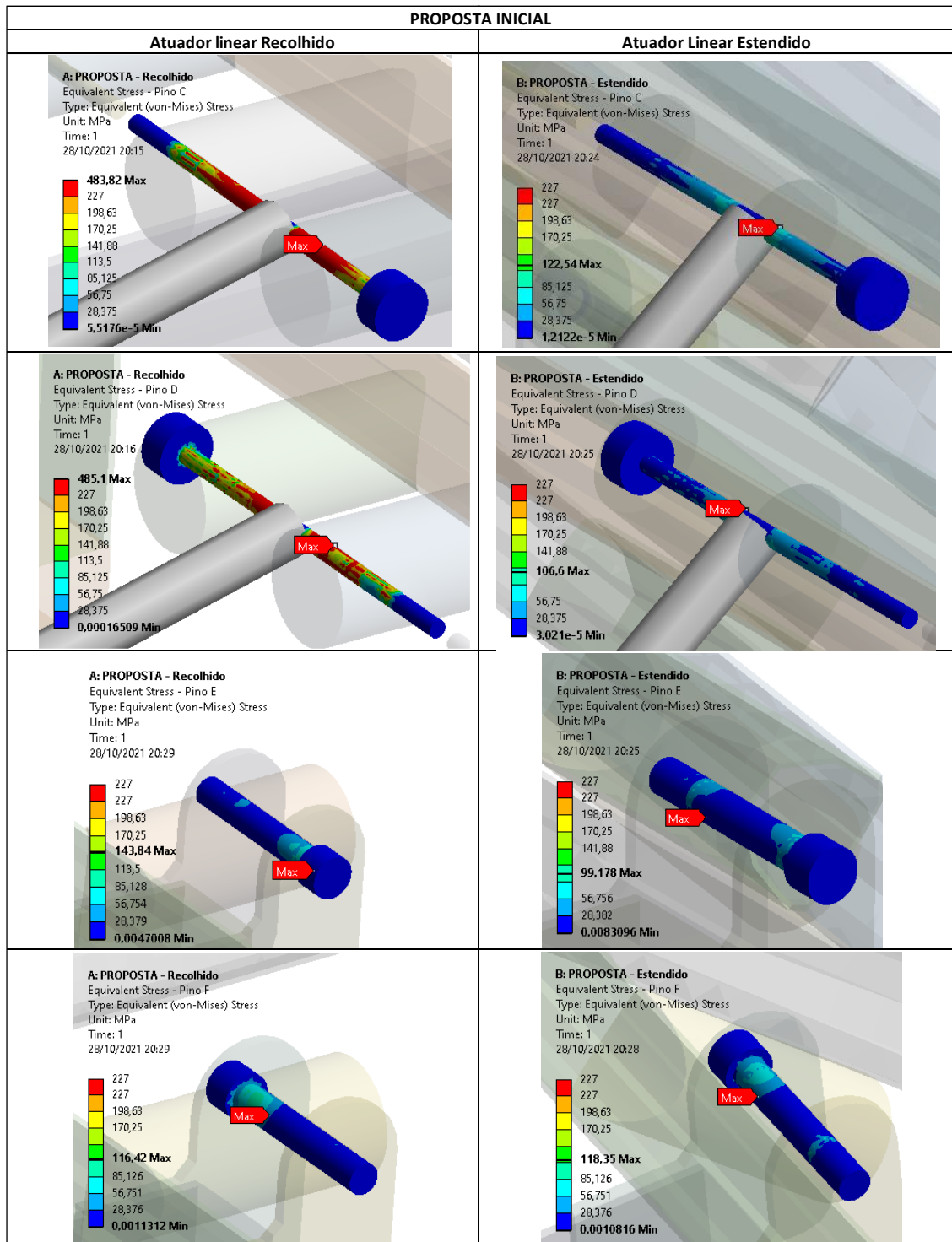
Quadro 9 – Análise estrutural de Pinos Com os Atuadores estendidos x Atuadores Recolhidos



Fonte: O Autor, 2021

Em primeiro momento nota-se que os esforços maiores sempre se concentram no atuador linear recolhido, sendo dessa forma os casos mais críticos a serem analisados para estes componentes tanto nos casos apresentados no quadro 9 tanto quanto os apresentados no quadro 10.

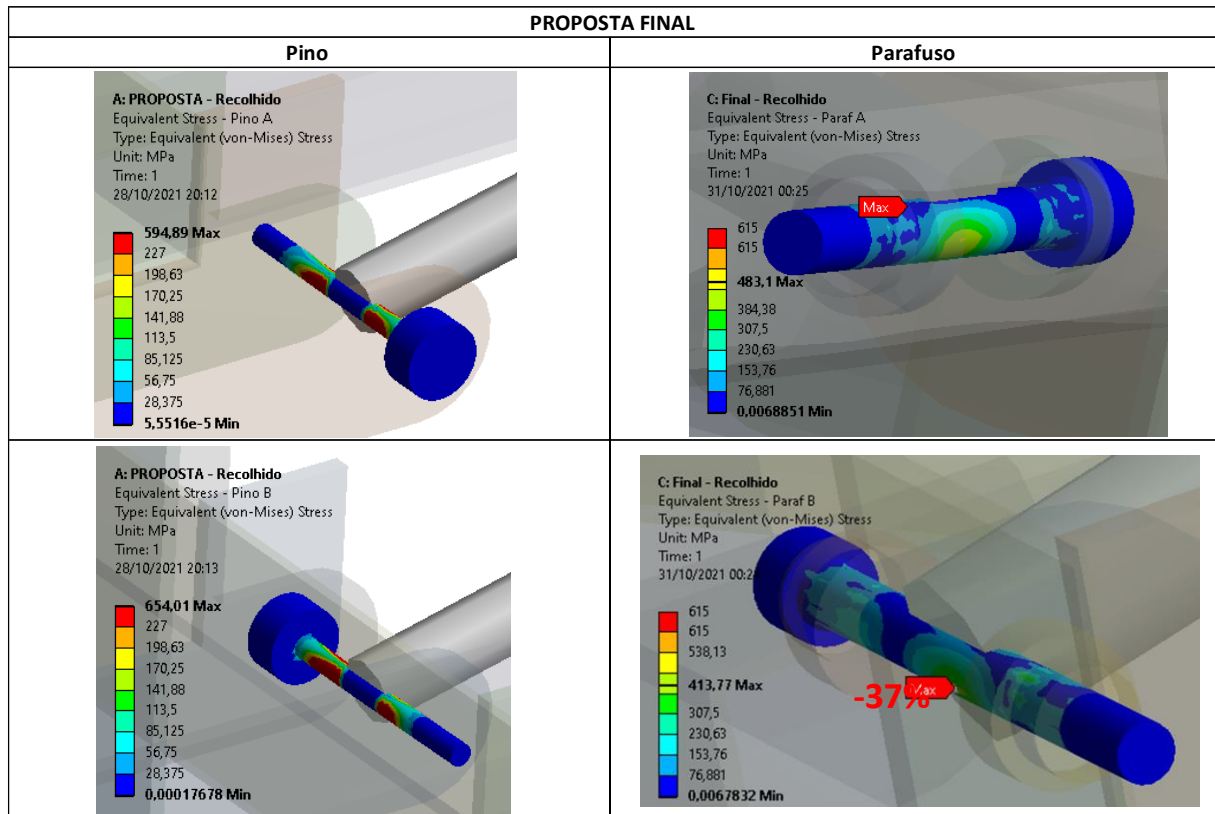
Quadro 10 - Análise estrutural de Pinos Com os Atuadores estendidos x Atuadores Recolhidos



Fonte: O Autor, 2021

Nos quadros 11 e 12 as mesmas análises realizadas para os parafusos, componentes que entraram no projeto para substituição dos pinos usinados. Nesse caso foi feita a análise com o atuador em modo recolhido comparando o pino e o parafuso conforme apresentado nos quadros 11 e 12.

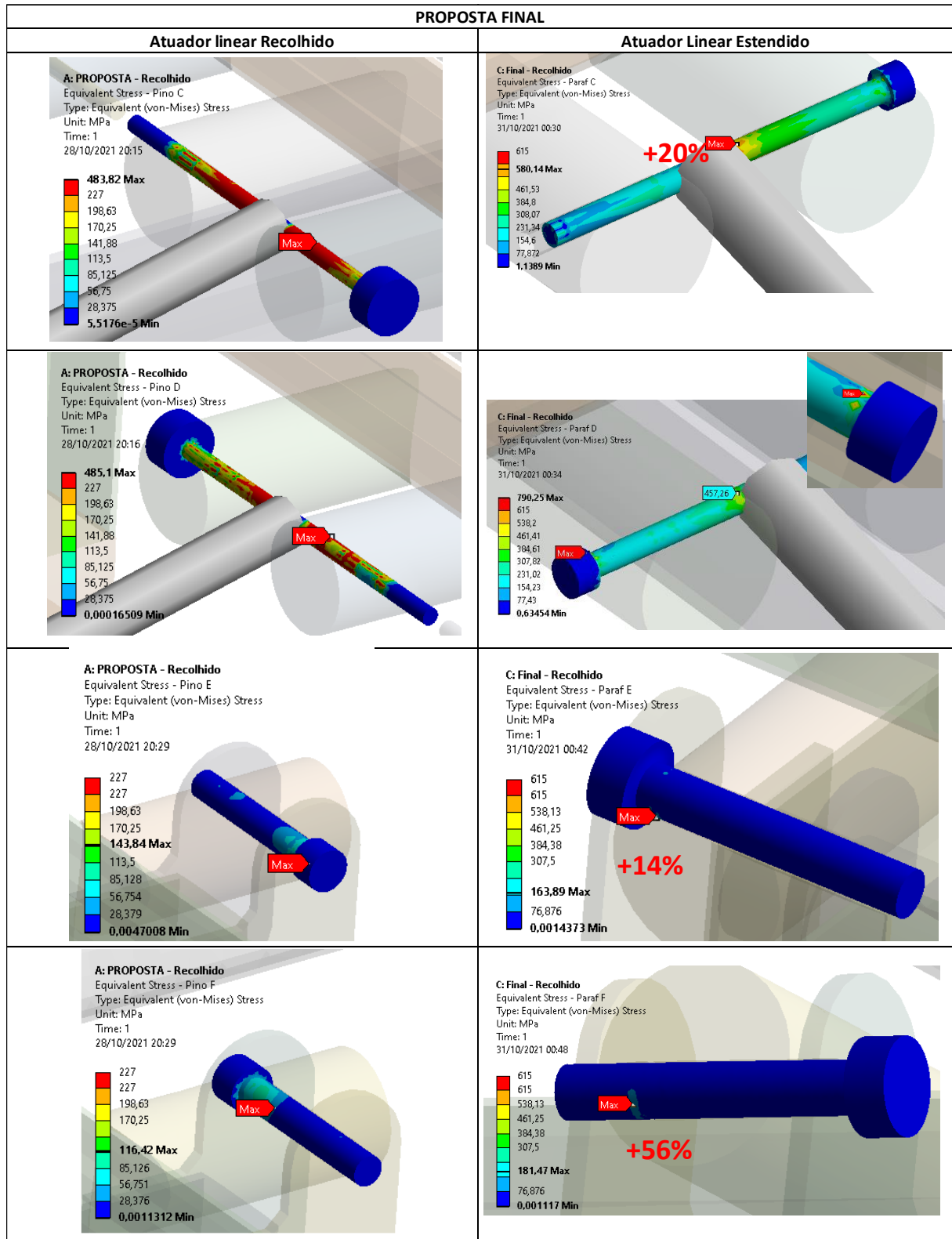
Quadro 11 - Análise estrutural de Pinos em caso de atuador recolhido x Análise estrutural de Parafusos em caso de atuador recolhido



Fonte: O Autor, 2021

O Quadro 12 apresenta a mesma análise do quadro 11 porém para os elementos C,D,E,F já mostrado na figura 22.

Quadro 12 - Análise estrutural de Pinos em caso de atuador recolhido x Análise estrutural de Parafusos em caso de atuador recolhido



Fonte: O Autor, 2021

As análises de otimização de desempenho do produto e a escolha final dos materiais se deu a partir das simulações estruturais onde verificou-se as possíveis falhas e corrigiu-se.

Otimizações de custos somente foram possíveis na utilização de resina de poliéster em alguns componentes do protótipo, outras otimizações de custo se tornam de grande dificuldade devido a produção não ser em série, portando reduzindo drasticamente as possibilidades de reduções de custo.

#### 4.8 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES

A fabricação do protótipo iniciou após realizada a compra dos materiais necessários.

O primeiro procedimento realizado foi o processo de corte dos tubos de PVC, conforme figura 23, diâmetro 40 milímetros nas medidas necessárias para a construção dos quadros que formam a caçamba do produto.

Figura 23 – Corte de tubos de PVC



**Fonte:** O Autor, 2021

Com os tubos devidamente cortados em suas medidas, foi realizada a traçagem de centro dos tubos e a marcação da posição dos furos para o posterior procedimento de furação com o auxílio de uma fresadora, como mostra a figura 24.



Figura 24 – Furação tubos PVC com auxílio de fresadora



Fonte: O Autor, 2021

Com os tubos de PVC devidamente furados e cortados passou-se para a etapa de laminação da fibra de vidro onde foi necessário o desenvolvimento de um dispositivo para apoio e que permitia a rotação do tubo para a facilitação do processo de laminação conforme figura 25.

Figura 25 – Dispositivo para posicionamento e laminação da fibra de vidro nos tubos de PVC



Fonte: O Autor, 2021

Com o dispositivo construído inicia-se o processo de laminação dos tubos de PVC, revestindo com fibra de vidro e resina, como mostra a figura 26.

Figura 26 – Laminação de fibra de vidro em Tubos de PVC



Fonte: O Autor, 2021

Após a laminação da primeira camada os tubos passam por um processo de cura da resina e após foram lixados para aplicação das camadas seguintes de fibra de vidro e resina, conforme figura 27.

Figura 27 – Processo de lixamento dos tubos de PVC laminados com fibra de vidro



Fonte: O Autor, 2021

Com os tubos totalmente revestidos de fibra foi realizado o processo de lixamento novamente para remoção de pontas e acabamento para segurança de manuseio e aplicação de pintura.

Os insertos responsáveis pela fixação e união dos tubos foram fabricados a partir de barras de POLIACETAL com diâmetro 40 milímetros, as barras foram cortadas com o auxílio de serra nas dimensões necessárias para posterior usinagem dos insertos (Figura 28).

Figura 28 – Corte de insertos de poliacetal com auxílio de serra



Fonte: O Autor, 2021

Com os cortes realizados os insertos foram usinados em torno mecânico para que seu diâmetro externo coincidisse com o diâmetro interno dos tubos de PVC possibilitando a inserção deles dentro dos tubos (Figura 29).

Figura 29 – Processo de furação central nos insertos de poliacetal



Fonte: O Autor, 2021

Com o diâmetro externo já usinado, foram realizadas as furações centrais nos insertos no torno mecânico, para posterior processo de criação de rosca para possibilitar a inserção de parafusos como elementos de fixação, como mostra a figura 30.

Figura 30 – Processo de fabricação de roscas internas com utilização de macho



**Fonte:** O Autor, 2021

Com a furação e o processo de rosqueamento concluídos os insertos foram levados para a máquina fresadora para realização dos raios em suas pontas possibilitando o encaixe dos insertos no diâmetro externo dos tubos laminados com fibra (Figura 31).

Figura 31 – Fresamento dos insertos para encaixe nos tubos de PVC



**Fonte:** O Autor, 2021

Com os insertos e tubos já fabricados passou-se para a fase de montagem dos quadros da caçamba, onde em um primeiro momento se realiza a montagem dos insertos internos e após se parafusam todos os componentes, conforme figura 32.

Figura 32 – Quadro inferior montado



**Fonte:** O Autor, 2021

Após a montagem dos quadros inferiores e superiores, unem-se os dois por meio dos tubos verticais e parafusos e passa-se a colocação da chapa expandida com fixação por cintas plásticas, como mostra a figura 33.

Figura 33 – Chapa expandida cortada com auxílio de guilhotina



**Fonte:** O Autor, 2021

Concluída a montagem da caçamba realizou-se a pesagem do conjunto para verificação e posterior comparativo com os equipamentos já existentes no mercado (Figura 34).

Figura 34 – Pesagem da caçamba



Fonte: O Autor, 2021

O resultado da pesagem da caçamba forneceu o valor aproximado de 33,7 quilogramas, relação de peso excelente considerando as dimensões do equipamento, o mesmo conjunto se fabricado em tubos de aço, possuiria um peso de aproximadamente 48 quilogramas de acordo com simulações realizadas em software, ou seja, uma redução de aproximadamente 42% no peso total do conjunto caçamba.

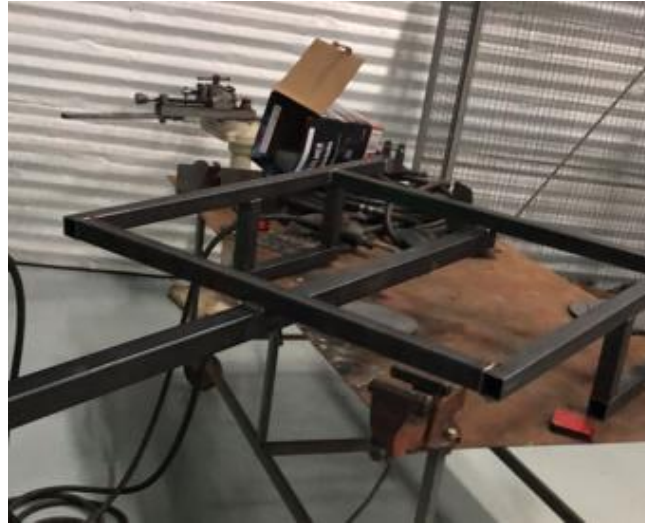
Com a caçamba devidamente construída, passou-se para a fase de fabricação do chassi do equipamento.

Os tubos com cortes retos foram cortados com auxílio de serra, e os reforços de tubos cortados em ângulo com o auxílio de esmerilhadeira com discos de corte.

Com todos os componentes devidamente cortados inicia-se o processo de esquadreamento e soldagem dos componentes, onde com o auxílio dos desenhos técnicos do projeto foram realizadas as medições necessárias para a correta soldagem do produto. Peças compostas por chaparia foram cortadas em máquinas

de corte laser por uma empresa terceirizada para a fabricação destes componentes (Figura 35).

Figura 35 – Processo de soldagem chassis



Fonte: O Autor, 2021

Após a solda do quadro principal do chassi realiza-se o esquadrejamento, posicionamento e soldagem dos reforços tipo mão francesa, conforme figura 36.

Figura 36 – Soldagem reforços chassis



Fonte: O Autor, 2021

Com o chassi soldado e seus reforços já posicionados e soldados, passa-se a etapa de nivelamento e posicionamento do eixo para realização da soldagem do mesmo, utilizou-se de linhas de pesca, esquadro e nível para a realização do posicionamento (Figura 37).

Figura 37 – Alinhamento e nivelamento do eixo



Fonte: O Autor, 2021

Com o chassi soldado, o eixo propriamente posicionado e fixado ao chassi, deu-se início ao processo de soldagem da caixa de bateria e assento, onde com o auxílio de esquadros foi realizado o posicionamento dos mesmos e realizada a soldagem, como mostra a figura 38.



Figura 38 – Soldagem caixa de bateria e assento



Fonte: O Autor, 2021

Com os dois conjuntos devidamente montados e soldados realiza-se a união dos conjuntos por meio da fixação dos atuadores elétricos em suas respectivas posições, é realizada a montagem do circuito elétrico, conectando os atuadores a chave 3 posições e a baterias e é realizada a união do chassi e da caçamba por meio de parafusos, e identifica-se que a chapa expandida é um risco de operação em potência, pois como possui pontas afiadas pode trazer risco para o operador, com isso recorta-se uma mangueira de água e realiza-se a fixação da mesma em todo contorno da chapa proporcionando proteção e segurança para o operador, finalizando dessa forma a montagem do produto

Após a montagem concluída, isola-se os componentes que não podem ser pintados e realiza-se a aplicação de tinta no chassi e na caçamba, concluindo desta forma a fabricação do protótipo e possibilitando a realização de testes.

## 4.9 TESTES

Devidamente montado e pintado o conjunto, partiu-se para a fase de testes do protótipo onde foram testado os sistemas de basculamento sem aplicação de cargas, somente com o peso do produto.

O resultado dos primeiros testes foi satisfatório e o protótipo se comportou devidamente como o esperado com funcionamento correto e sem nenhum ponto crítico ou preocupante para seu funcionamento.

O segundo teste realizado foi com a aplicação de cargas na caçamba do equipamento, carga de aproximadamente 80 quilogramas, onde de imediato nota-se que o tubo revestido em fibra de vidro e com função de fixar os atuadores sofre flexão quando inicia-se o processo de basculamento da carga conforme figura 39.

Figura 39 – Flexão na viga principal do levante para basculamento



**Fonte:** O Autor, 2021

Com isso pode-se identificar que existe possibilidade de quebra do equipamento caso haja mais carregamento e de imediato sugere que é necessário reforço nesse componente e uma análise de posicionamento dos atuadores, visando melhorar a angulação para o basculamento da carga.

## CONCLUSÃO

O principal objetivo do presente trabalho foi desenvolver e analisar o comportamento de uma carreta basculante fabricada com sistema de atuação elétrico e materiais compósitos em boa parte de sua composição, buscando alternativas para melhorias ergonômicas, facilidade de operação e a redução de peso facilitando a operação e manuseio do conjunto mantendo a resistência e atendendo as necessidades dos pequenos produtores que possuem em sua propriedade um motocultivador.

Ciente do objetivo principal e dos objetivos específicos do projeto, as metas foram alcançadas em quase sua totalidade com sucesso, onde foi possível a realização da pesquisa bibliográfica com êxito, o conceito do projeto e suas características tiveram grande valor para análises e testes.

O projeto em CAD foi desenvolvido com extrema qualidade e as simulações estruturais tiveram excelente contribuição para o desenvolver do conjunto, identificando diversas possíveis falhas e possibilitando a correção delas antes mesmo do início da fabricação do produto.

A adequação do sistema elétrico para atuação linear funcionando de forma basculante teve êxito completo, com os atuadores exercendo a função desejada e atendendo a necessidade a eles solicitada.

Os testes com materiais compósitos tiveram excelentes resultados em quase sua totalidade, tendo somente a viga principal responsável pelo basculamento do sistema, sofreu flexão, onde ela torna-se posterior objeto de estudo e análises para melhorias e reforços para que o produto atenda a necessidade final de elevação de até 300 quilogramas no compartimento de carga.

Outro ponto que se identificou possibilidade de melhoria é o ângulo de atuação do sistema de levante, que se alterado pode vir a facilitar o trabalho e requerer menos esforços de todo o conjunto para realização do basculamento da carga.

Entretanto num panorama geral o funcionamento basculante do sistema atende os requisitos definidos, melhorando a operação e facilitando a descarga do equipamento contribuindo para a prevenção de possíveis doenças ocupacionais causadas devido a operação do equipamento. Na caçamba de materiais compósitos atingiu-se um baixo peso relativo para o conjunto com maior capacidade de carga se comparado aos produtos comercializados no mercado.

Com isso abrem-se diversas oportunidades de estudos com relação ao projeto onde o estudo da substituição de componentes hidráulicos complexos por atuadores elétricos é pertinente, além do desenvolvimento de componentes estruturais a partir de compósitos podem contribuir com o avanço tecnológico para o cenário atual.

Dentre as oportunidades de melhoria e para o projeto podem ser incluídos os dimensionamentos de esforços básicos para o basculamento e a posição do ponto de dobra do sistema basculante.

## REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, A. **Elementos Finitos - A Base da Tecnologia CAE**. São Paulo: Saraiva, 2013.
- ASHBY, Michael. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. 2. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2018.
- BARBOSA FILHO, Antonio N. **Projeto e desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Atlas, 2009.
- BERGAMO, Renato L.; ROMANO, Leonardo M. *Agricultural machinery and implements design process: Guidelines for small mid-sized business*. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. p. 206-216, 2016.
- BEZERRA, Gleicy J.; SCHLINDWEIN, Maria M. Agricultura familiar como geração de renda e desenvolvimento local: uma análise para Dourados, MS Brasil. **Interações**, jan./mar. 2017.
- CALLISTER, Wilian D.; RETWISCH, DAVID G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos E Científicos, 2020. [Minha Biblioteca].
- DOWLING, Norman. **Comportamento mecânico dos materiais**. São Paulo: Grupo GEN, 2017.
- ESQUERDO, Vanilde F. S.; BERGAMASCO, Sonia M. P. P. Políticas públicas para a agricultura familiar brasileira: um estudo sobre o PRONAF nos municípios do circuito das frutas-SP1. **Extensão Rural**, v. 22, n. 1, p. 9-35, 2015.
- FALCAO, Bauer L. A. **Materiais de construção - vol. 2**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- FONSECA, Celso Suckow. **Análise da dinâmica lateral de um sistema composto de carreta reboque acoplada a um carro de passeio**. Monografia (Engenharia Mecânica), Rio de Janeiro: CEFET, 2019.
- GASQUES, José G. **Projeções do agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30**, projeções de longo prazo. Brasília: Ministério da Agricultura, 2020.
- GUANZIROLI, Carlos E.; CARDIM, Silvia E.C.S. **Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto**. Brasília: Brasil, 2000.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education Do Brasil, 2004.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**, v. 8, p.1-105, 2019.
- IIDA, Itiro. **Ergonomia, projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

INAMASU, Ricardo Yassuhi; **Portfólio automação agrícola, pecuária e florestal**. São Carlos: EMBRAPA, 2016. Documentos, n. 60, nov. 2016.

MANNO, Eloisa B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

MARTINS, Gabriela C. Paiva. **Modelagem e simulação de um atuador elétrico linear**. 2016. Monografia (Mecânica aplicada) - PUC, Rio de Janeiro, 2016.

MONTEIRO, Janne Cavalcante. **O processo de trabalho e o desencadeamento dos agravos a saúde dos trabalhadores rurais: um estudo ergonômico na agricultura familiar em Santa Catarina**. Florianópolis: s.n., 2004.

MOTA, Rui Carlos de Sousa. **Aproveitamento do expocarpo do licuri particulado para produção de um compósito utilizando como matriz um poliéster ortoftálico**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2016. [Minha Biblioteca].

NUNES, Edilene Cássia. D.; SANTOS, Leandro José. **Termoplásticos - estruturas, propriedades e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2015. [Minha Biblioteca].

PINHEIRO, Mercia A.C. **A influência da ergonomia na qualidade de vida no trabalho**. Faculdade Atenas, 2018.

POLETTO, Ângela Regina. **Processo de trabalho e saúde mental de trabalhadores agrícolas familiares da microrregião de Ituporanga, Santa Catarina**. 2009. Tese (Engenharia de Produção) Florianópolis: UFSC, 2009.

SCHULZ, Freddy Johnatan. **Análise e projeto de sistema de acionamento para caçamba basculante**. Uberlândia: s.n., 2015.

VEIGA, Ricardo K.; Emprego da análise ergonômica do trabalho em atividade com máquina agrícola motorizada. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 123-136, 2014.

VEIGA, Ricardo K. **Aspectos ergonômicos de motocultivadores na cultura da cebola da microrregião de Ituporanga, Santa Catarina**. 2017. Tese (doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2017.

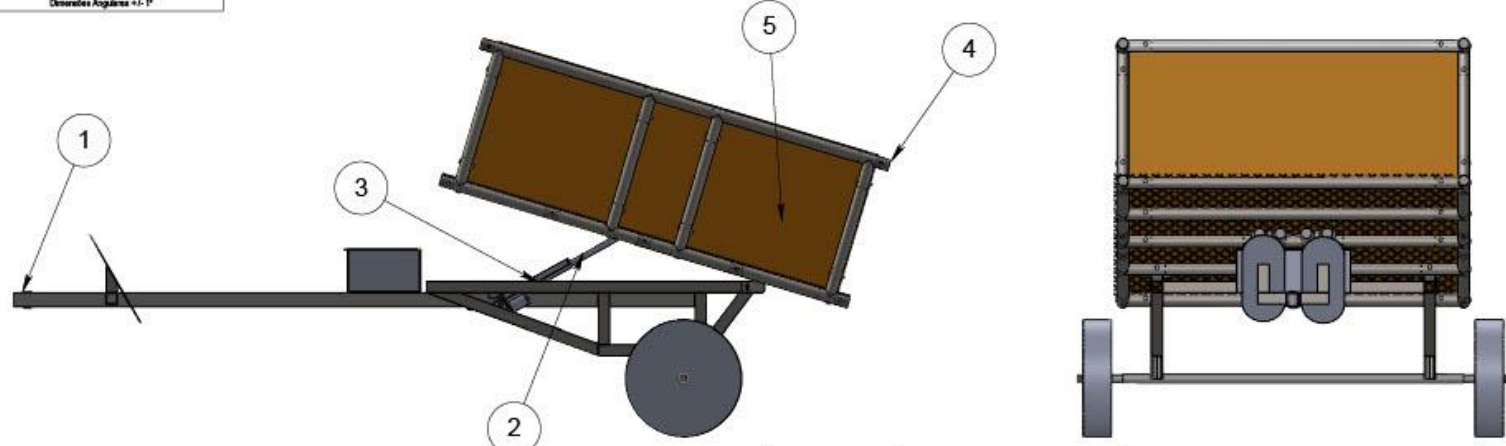
WAYGOOD, Adrian. **Uma introdução à ciência elétrica**. São Paulo: Grupo GEN, 2017.

## **APENDICE - DESENHOS DETALHADOS DO PRODUTO**

Nas páginas seguintes serão apresentados os desenhos detalhados do projeto.


| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                       |         |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|---------|
| Dimensões                     | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 100 até 450  | +/- 0,5 |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 450 até 1000 | +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000         | +/- 1,2 |

Desvios Angulares +/- 1°



| ITEM NO. | PART NUMBER             | DESCRIPTION                       | QTY. |
|----------|-------------------------|-----------------------------------|------|
| 1        | CB_C                    | CONJUNTO SOLDADO CHASSI           | 1    |
| 2        | HASTE ATUADOR DESENHADA | HASTE ATUADOR ELÉTRICO            | 2    |
| 3        | CORPO ATUADOR           | CORPO ATUADOR ELÉTRICO            | 2    |
| 4        | CB_F                    | CONJUNTO MONTADO CAÇAMBA EM FIBRA | 1    |
| 5        | LONA                    | LONA PARA FECHAMENTO (OPCIONAL)   | 1    |

ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



|                |                      |          |  |         |              |      |           |     |        |
|----------------|----------------------|----------|--|---------|--------------|------|-----------|-----|--------|
| MÉTRICO        | 1º DIEDRO            |          |  |         |              |      |           |     |        |
| DESENHADO POR: | Augusto Diel Graebin | DATA:    | 10/11/2021                               | CA      | REV.         | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
| PESO:          | ERA:                 | SIMILAR: | DENOMINAÇÃO: CARRETA BASCULANTE COMPLETA |         |              |      |           |     |        |
| MATERIAL REF:  |                      |          |  | CÓDIGO: | CBC COMPLETA |      | FOLHA:    | A4  |        |
| MATERIAL:      | ESCALA:              | REVISÃO: | VERSÃO:                                  |         |              |      |           |     |        |



| Tolerâncias não especificadas |          |                  |        |
|-------------------------------|----------|------------------|--------|
| Até 30mm                      | ± 0,10mm | entre 30 até 60  | ± 0,05 |
| entre 60 até 90               | ± 0,2    | entre 90 até 120 | ± 0,08 |
| entre 120 até 150             | ± 0,3    | entre 150        | ± 1,2  |

Dimensões Angulares ± 1°

| ITEM NO. | PART NUMBER    | DESCRIPTION                           | QTY. |
|----------|----------------|---------------------------------------|------|
| 1        | CB_C_01_FINAL  | TUBO 50X50X2400mm                     | 1    |
| 2        | CB_C_02_FINAL  | TUBO 40X40X920mm ESP 2mm              | 2    |
| 3        | CB_C_03_FINAL  | TUBO 40X40X1150mm ESP 2mm             | 2    |
| 4        | CB_C_04_FINAL  | TUBO 40X40X180mm ESP 2mm              | 4    |
| 5        | CB_C_05_FINAL  | TUBO 40X40X380mm ESP 2mm              | 2    |
| 6        | CB_C_06_FINAL  | CHAPA LASER ACOPLAMENTO               | 4    |
| 7        | CB_C_07_FINAL  | PARAFUSO ALLEN M10X80 AÇO CLASSE 12.9 | 2    |
| 8        | CB_C_08_FINAL  | TUBO 40X40X220mm ESP 2mm              | 1    |
| 9        | CB_C_09_FINAL  | CHAPA LASER SUPORTE ATUADORES         | 4    |
| 10       | CB_C_10_FINAL  | CONJUNTO SOLDADO EIXO                 | 1    |
| 11       | CB_C_10_FINAL  | PARAFUSO ALLEN M6X80 AÇO CLASSE 12.9  | 2    |
| 12       | CB_C_11_FINAL  | BUCHA                                 | 1    |
| 13       | Roda Tratorito | RODAS TRATORITO COMPRADAS 4X8.        | 2    |
| 14       | CA_A_FINAL     | CONJUNTO SOLDADO CAIXA DE BATERIA     | 1    |
| 15       | CB_C_12_FINAL  | TUBO 40X40X100mm ESP 2mm              | 2    |
| 16       | CB_C_13_FINAL  | TUBO CORTADO EM ANGULO                | 2    |
| 17       | CB_C_14_FINAL  | CHAPA LASER APOIO PÉS                 | 2    |
| 18       | CB_C_15_FINAL  | TUBO REFORÇO MÃO FRANCESA 1           | 2    |
| 19       | CB_C_16_FINAL  | TUBO REFORÇO MÃO FRANCESA 2           | 2    |

ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SO PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.

MÉTRICO 1º DIEBRO

DESENHADO POR: Augusto Diel Graebin DATA: 10/11/2021

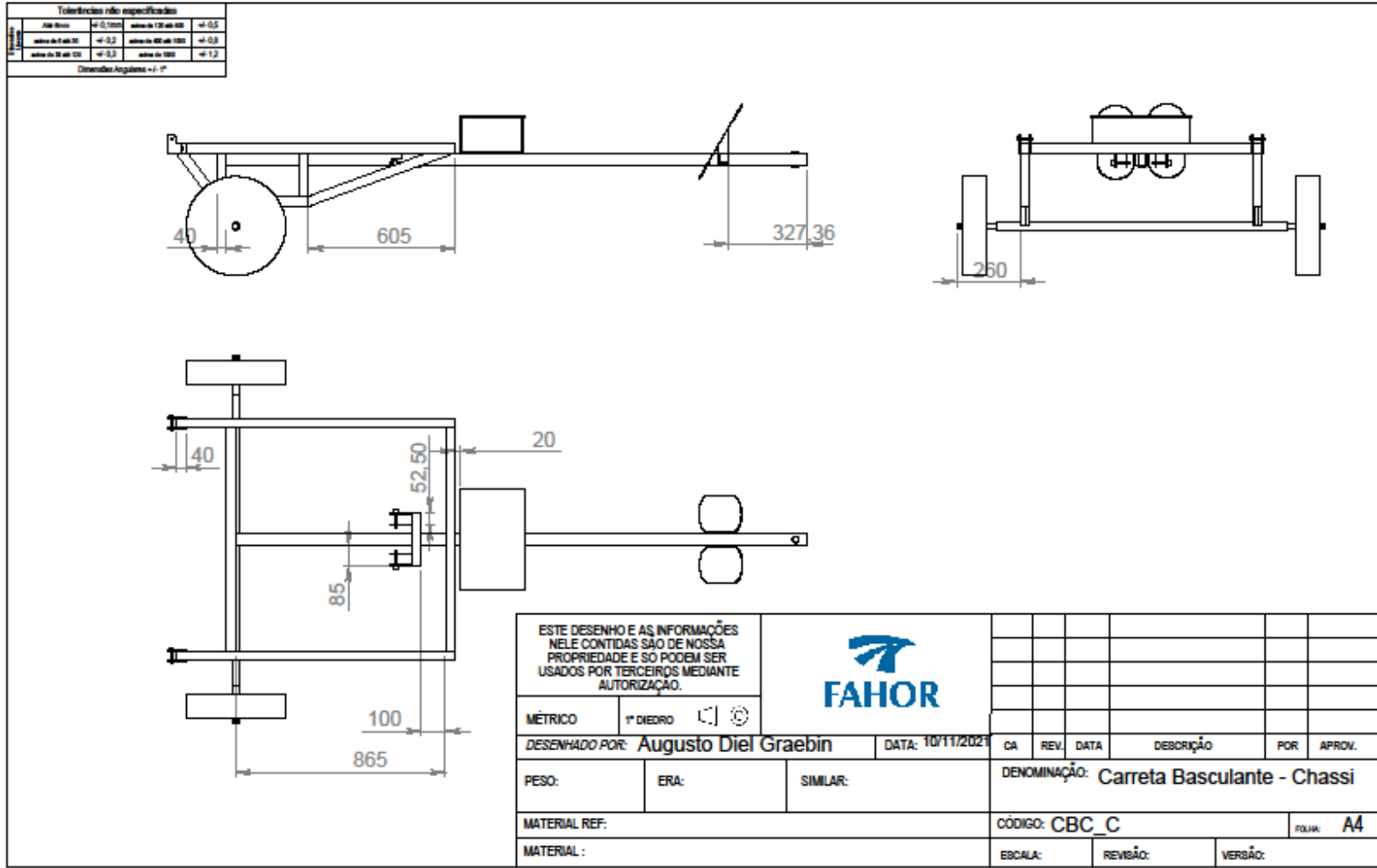
PESO: ERA: SIMILAR:

MATERIAL REF: CÓDIGO: CBC\_C FOLHA: A4

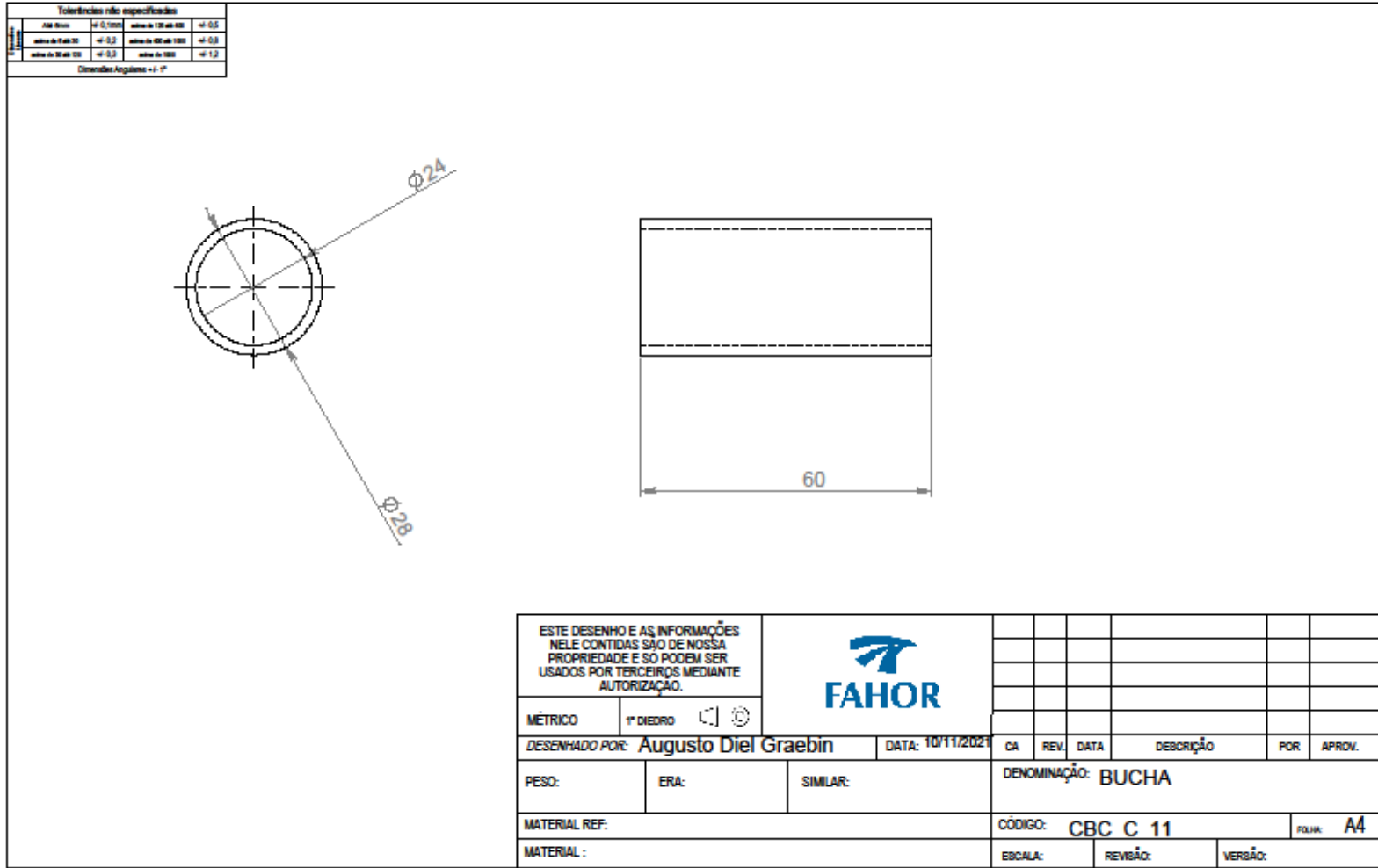
MATERIAL: ESCALA: REVISÃO: VERSÃO:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

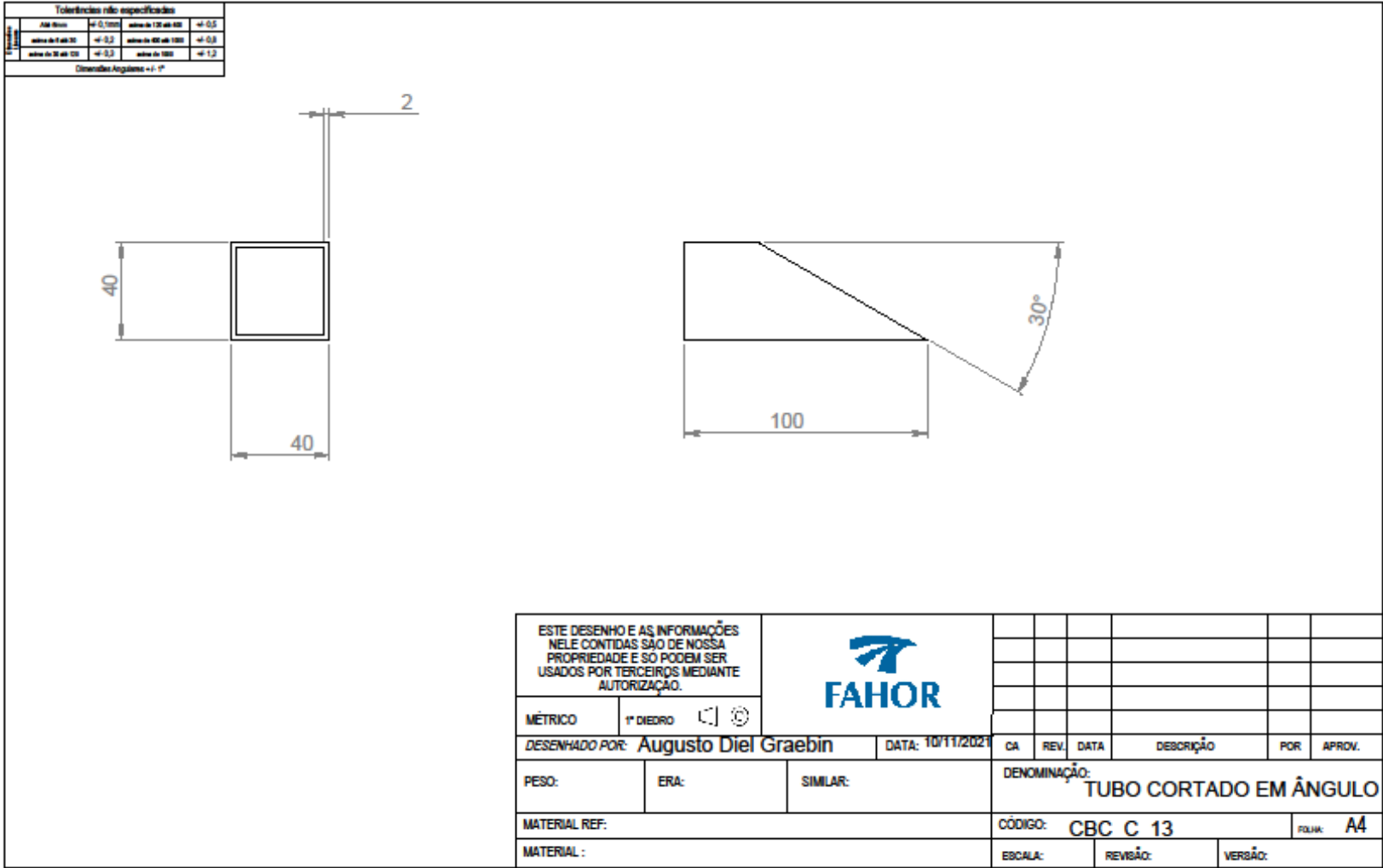
DENOMINAÇÃO: Carreta Basculante - Chassi



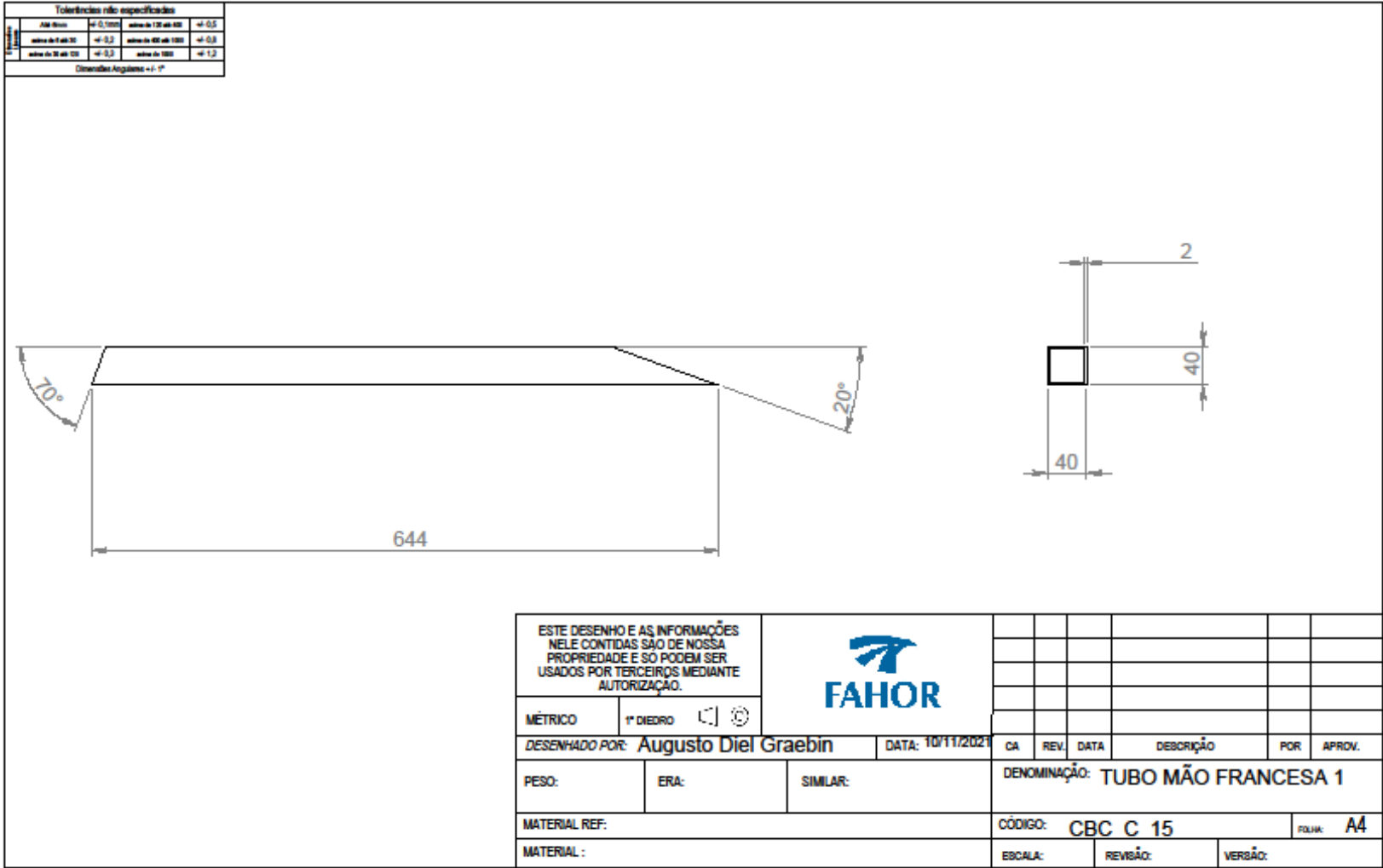
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



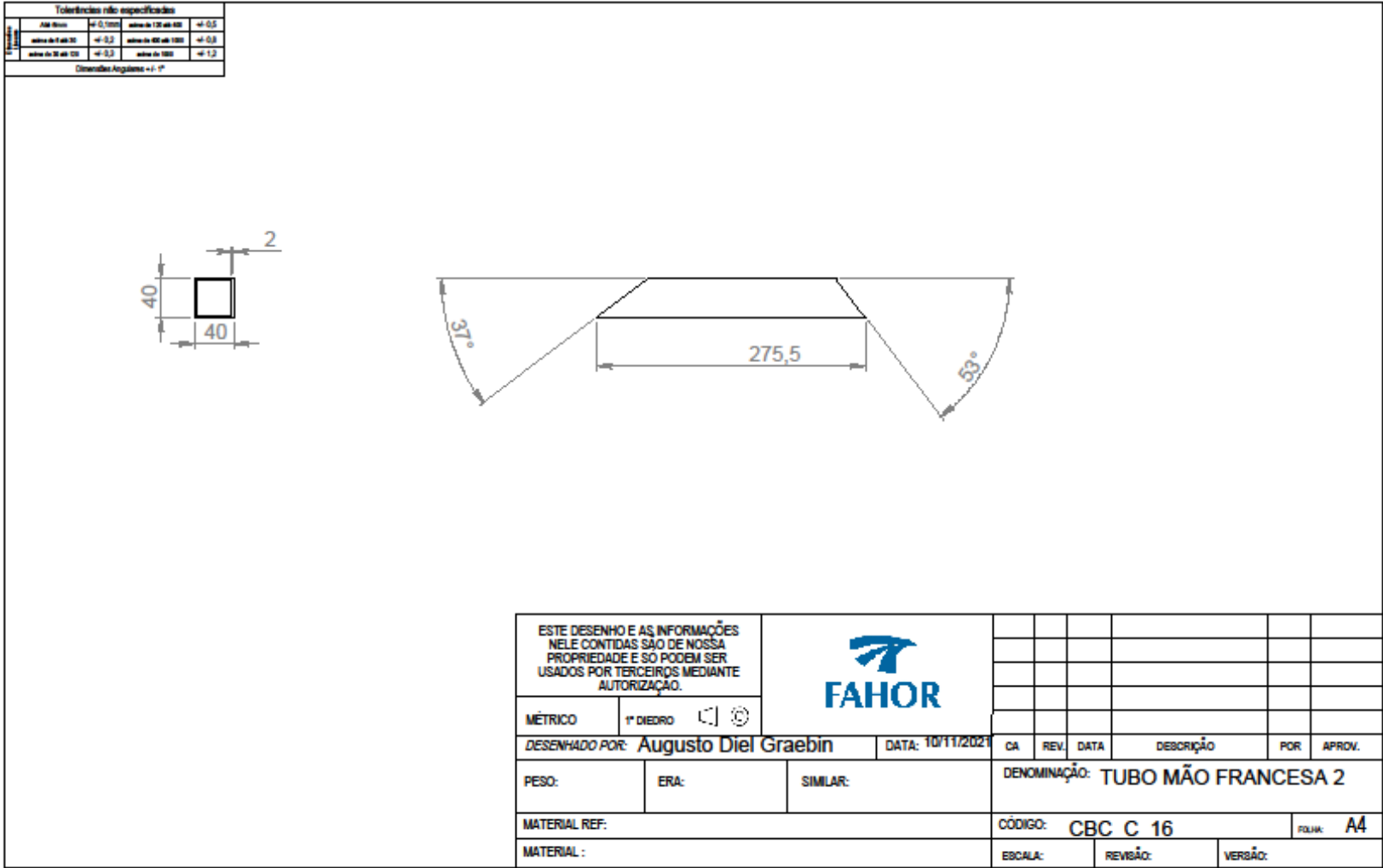
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



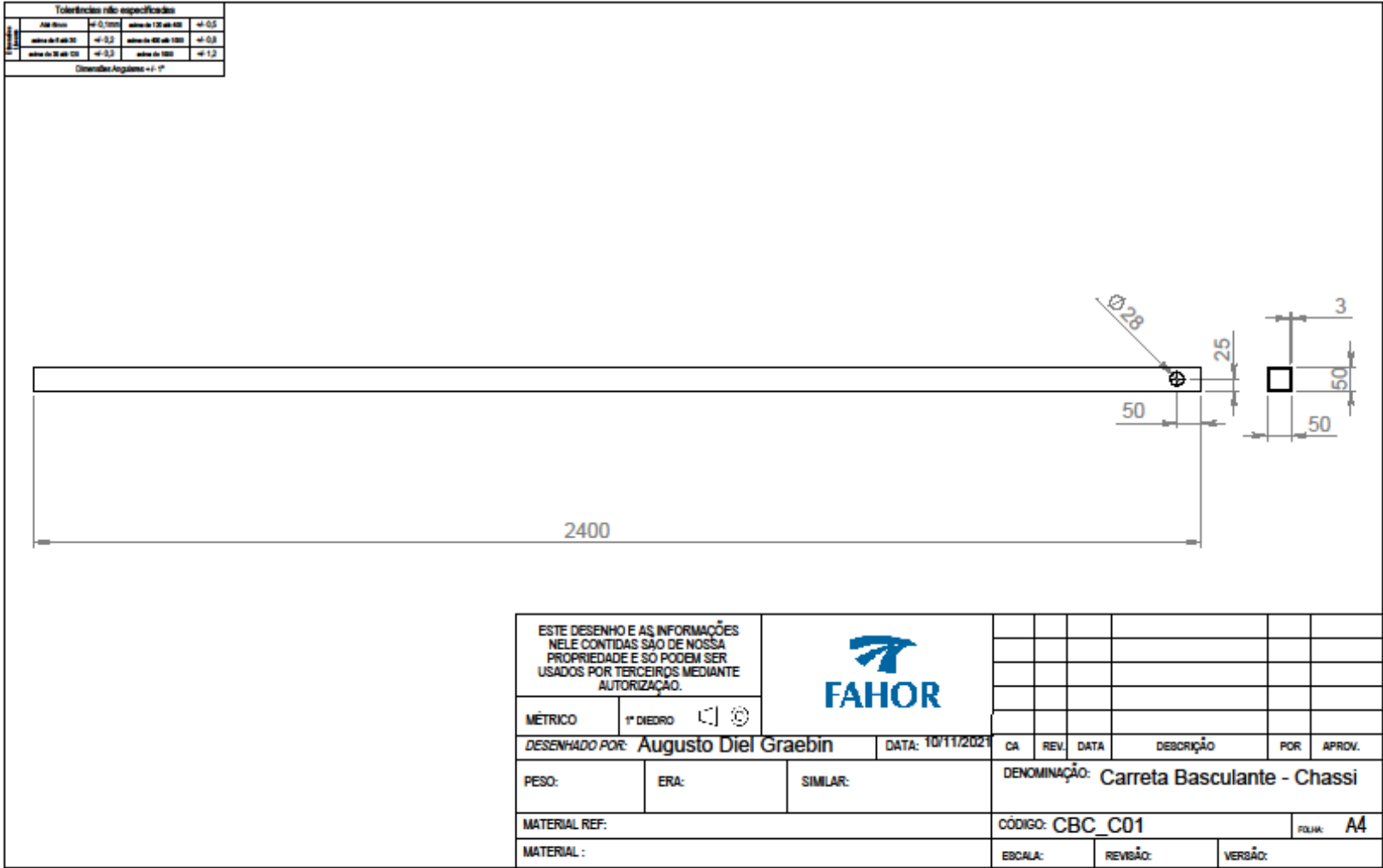
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



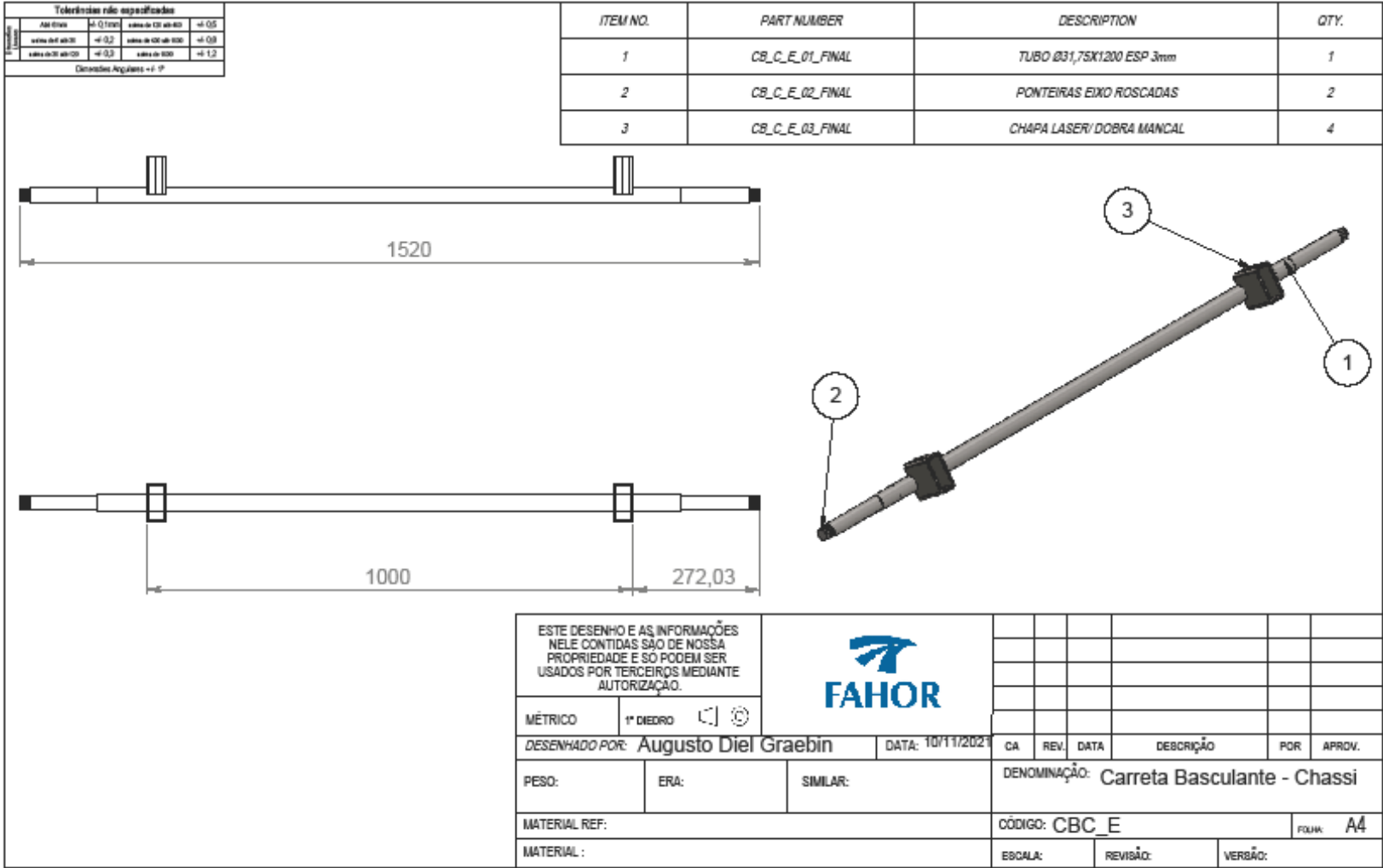
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

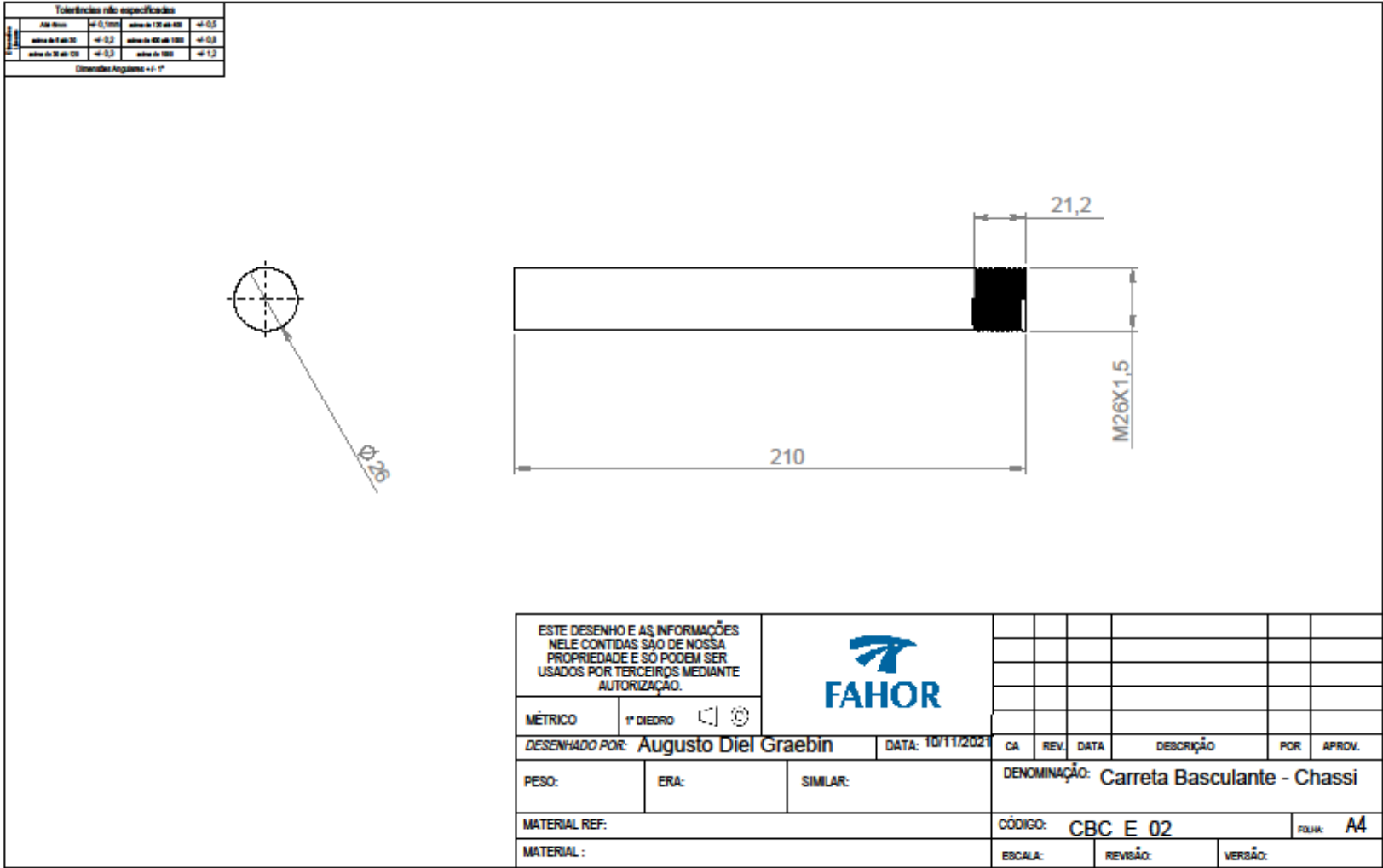


Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

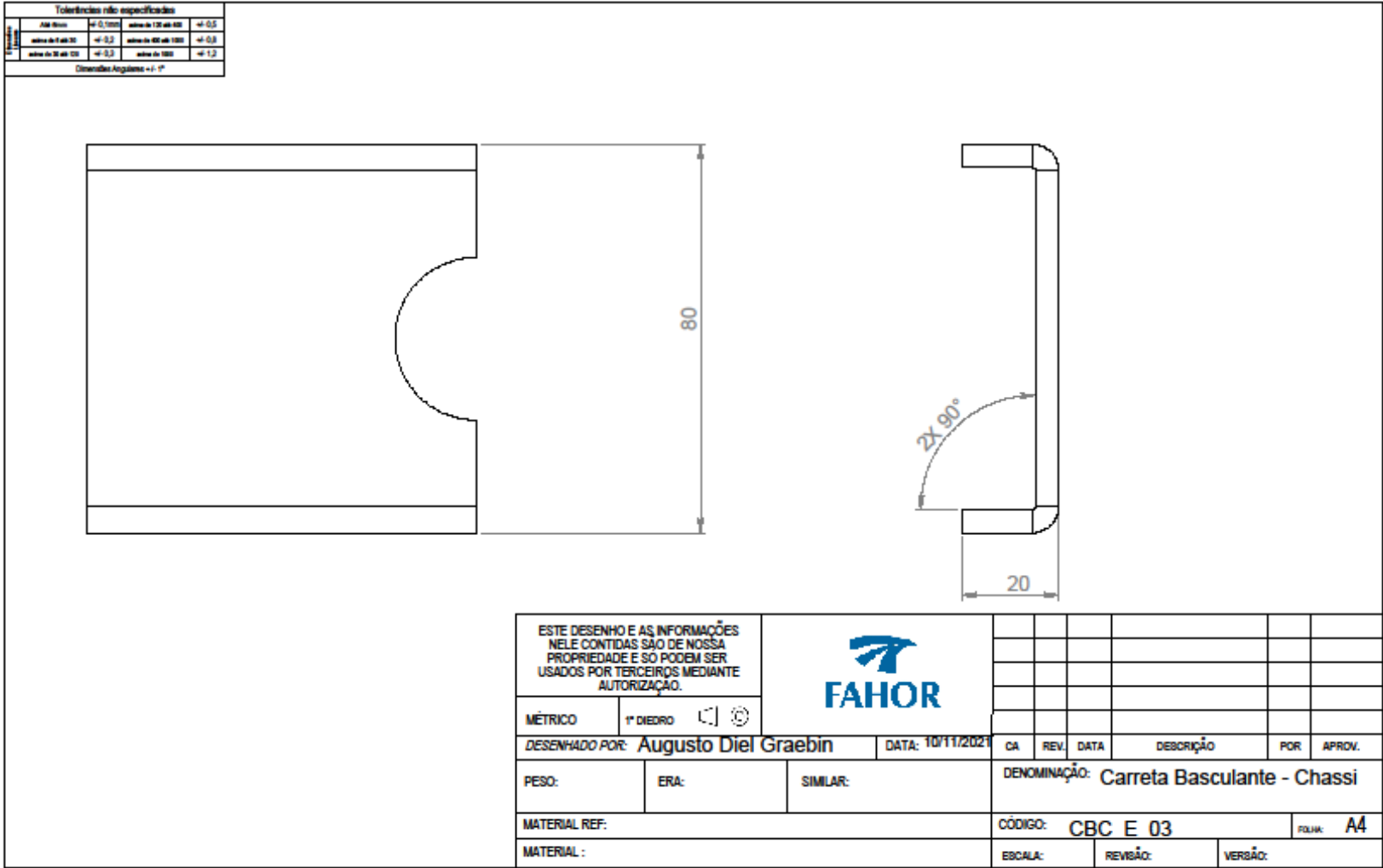


Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

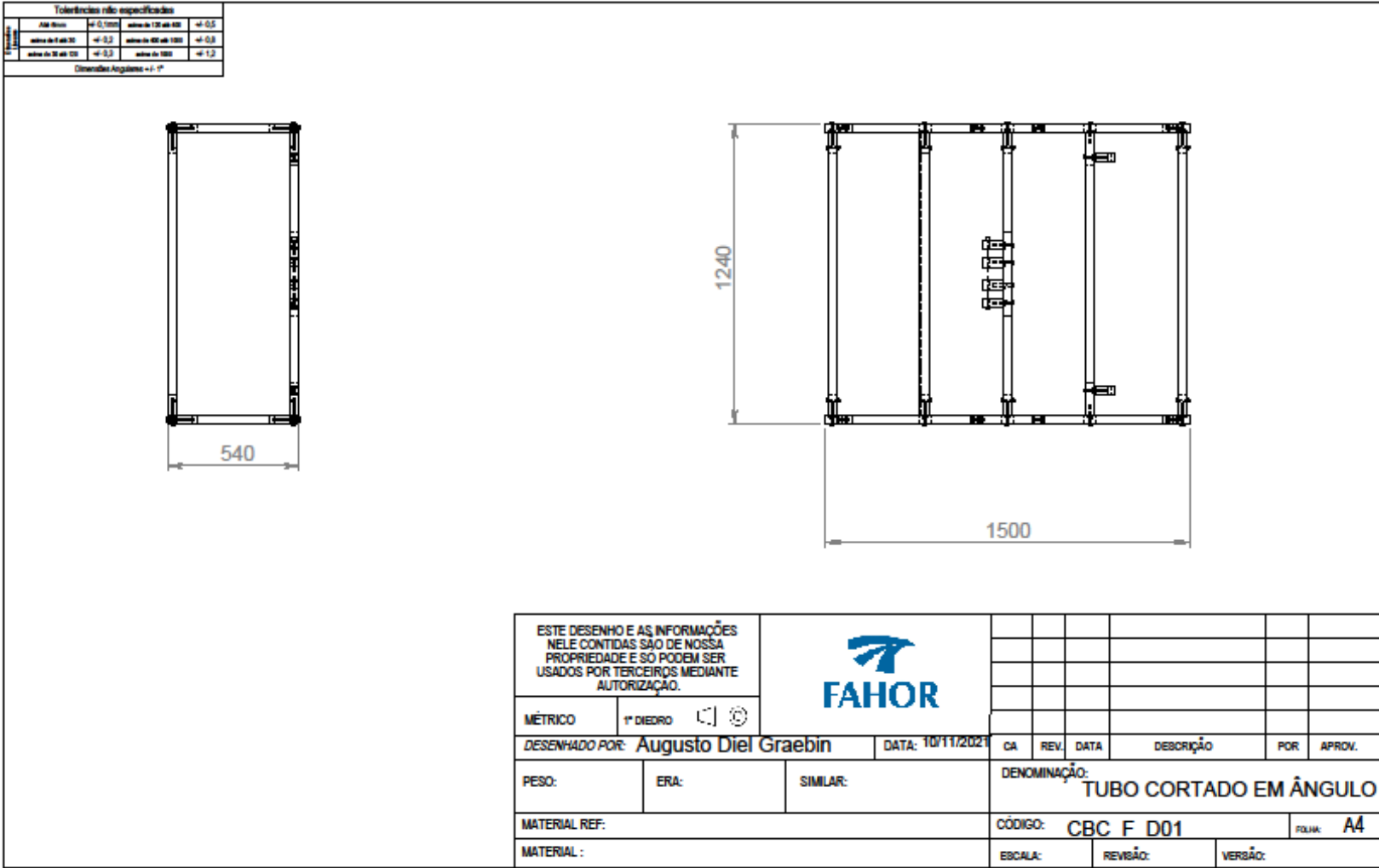




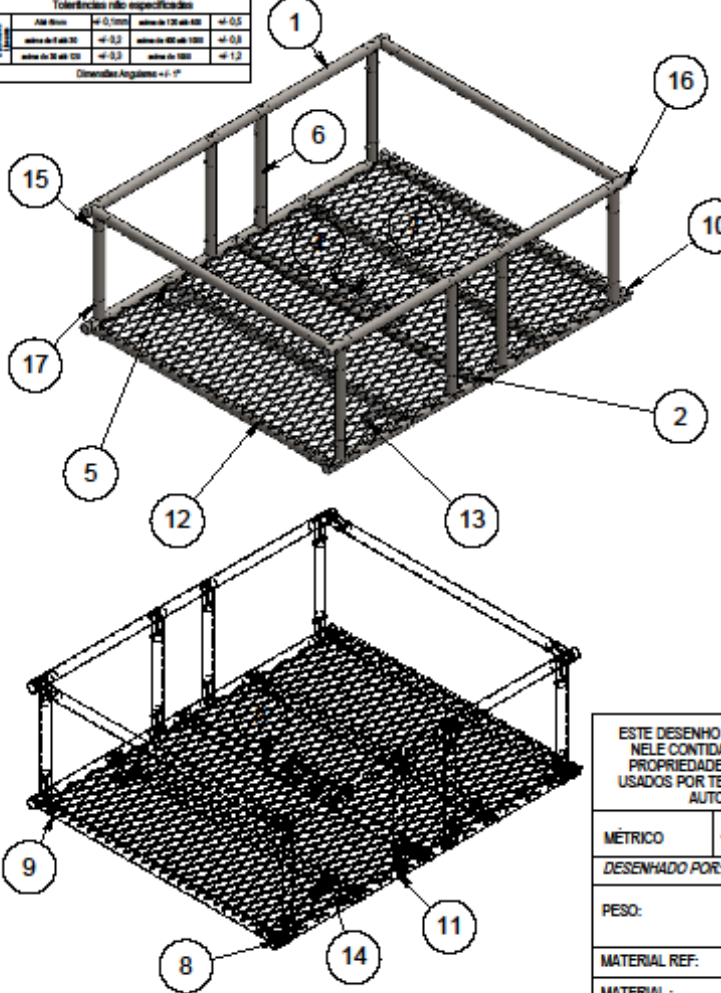
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.




| Tolerâncias não especificadas |            |                 |         |
|-------------------------------|------------|-----------------|---------|
| Até 10mm                      | +/- 0,10mm | entre 10 e 40   | +/- 0,2 |
| entre 10 e 40                 | +/- 0,2    | entre 40 e 100  | +/- 0,3 |
| entre 40 e 100                | +/- 0,3    | entre 100 e 200 | +/- 0,4 |
| entre 100 e 200               | +/- 0,4    | entre 200 e 500 | +/- 0,5 |
| Dimensões Angulares +/- 0°    |            |                 |         |



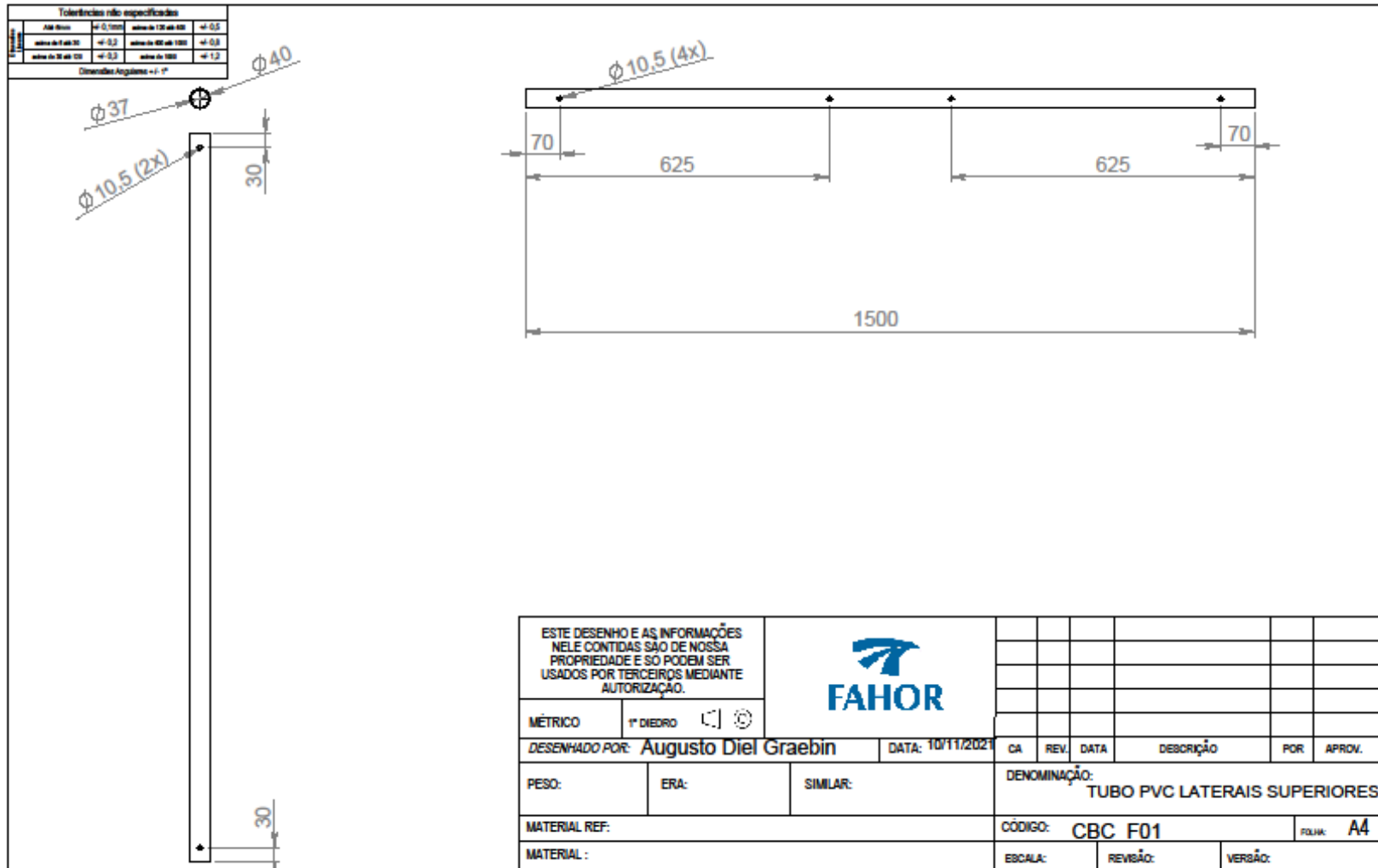
| ITEM NO. | PART NUMBER           | DESCRIPTION                               | QTY. |
|----------|-----------------------|---|------|
| 1        | CB_F_01_FINAL         | TUBO PVC LATERAL SUPERIOR                 | 2    |
| 2        | CB_F_02_FINAL         | VIGA CENTRAL ACOPLAMENTO ATUADORES        | 1    |
| 3        | CB_F_03_FINAL         | INSERTO POLIACETAL VIGA CENTRAL           | 1    |
| 4        | CB_F_04_FINAL         | INSERTOS POLIACETAL ACOPLAMENTO ATUADORES | 4    |
| 5        | CB_F_05_FINAL         | VIGA SUPORTE ACOPLAMENTO CAÇAMBA          | 1    |
| 6        | CB_F_06_FINAL         | TUBOS PVC VERTICAIS 500mm                 | 8    |
| 7        | CB_F_07_FINAL         | PARAFUSOS M6x60 Classe 12,9               | 2    |
| 8        | CB_F_08_FINAL         | INSERTOS POLIACETAL PONTEIRAS             | 8    |
| 9        | CB_F_09_FINAL         | INSERTO SIMPLES LIGAÇÕES                  | 28   |
| 10       | CB_F_10_FINAL         | TUBO PVC LATERAL INFERIOR                 | 2    |
| 11       | CB_F_11_FINAL         | INSERTO SIMPLES 50 mm                     | 14   |
| 12       | CB_F_12_FINAL         | VIGAS AUXILIARES                          | 5    |
| 13       | CB_F_13_FINAL         | INSERTOS ACOPLAMENTO CAÇAMBA              | 2    |
| 14       | CB_F_14_FINAL         | INSERTOS INTERNOS ACOPLAMENTO CAÇAMBA     | 2    |
| 15       | ISO 4017 - M8 x 60-N  | PARAFUSOS M8x60mm                         | 26   |
| 16       | ISO 4017 - M10 x 80-C | PARAFUSOS M10x80mm                        | 36   |
| 17       | ISO - 4036 - M8 - N   | PORCAS M8                                 | 26   |
| 18       | CB_F_20_FINAL         | CHAPA EXPANDIDA 1500X1200mm ESP 3,17mm    | 1    |

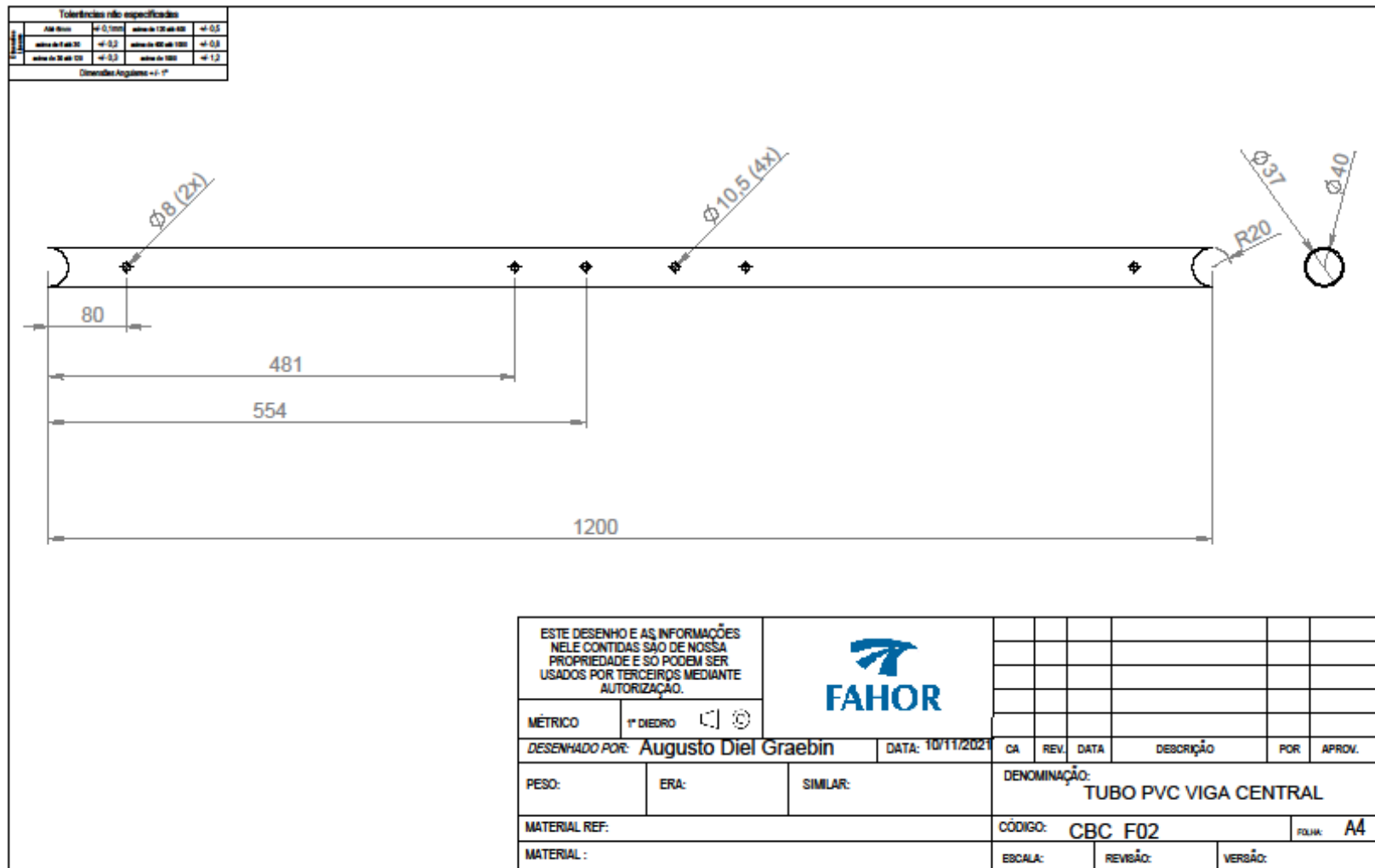
ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



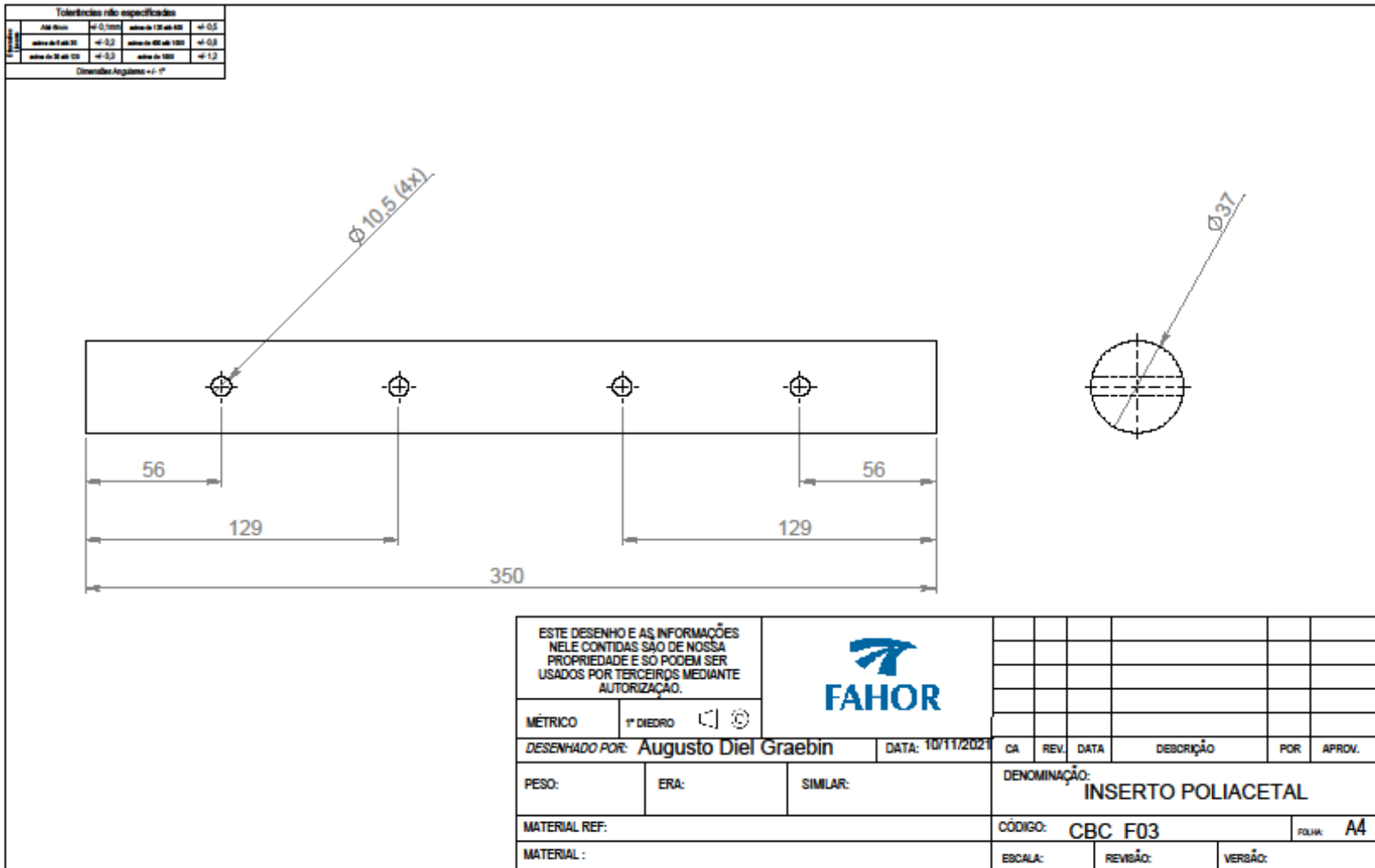
|                |                      |          |   |           |      |      |           |     |        |
|----------------|----------------------|----------|---|-----------|------|------|-----------|-----|--------|
| MÉTRICO        | 1º DIAZADO           |          |   |           |      |      |           |     |        |
| DESENHADO POR: | Augusto Diel Graebin | DATA:    | 10/11/2021                              | CA        | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | FOR | APROV. |
| PESO:          | ERA:                 | SIMILAR: | DENOMINAÇÃO: CAÇAMBA CARRETA BASCULANTE |           |      |      |           |     |        |
| MATERIAL REF.: | CÓDIGO: CBC F        |          |   | FOLHA: A4 |      |      |           |     |        |
| MATERIAL:      | ESCALA:              | REVISÃO: | VERSÃO:                                 |           |      |      |           |     |        |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

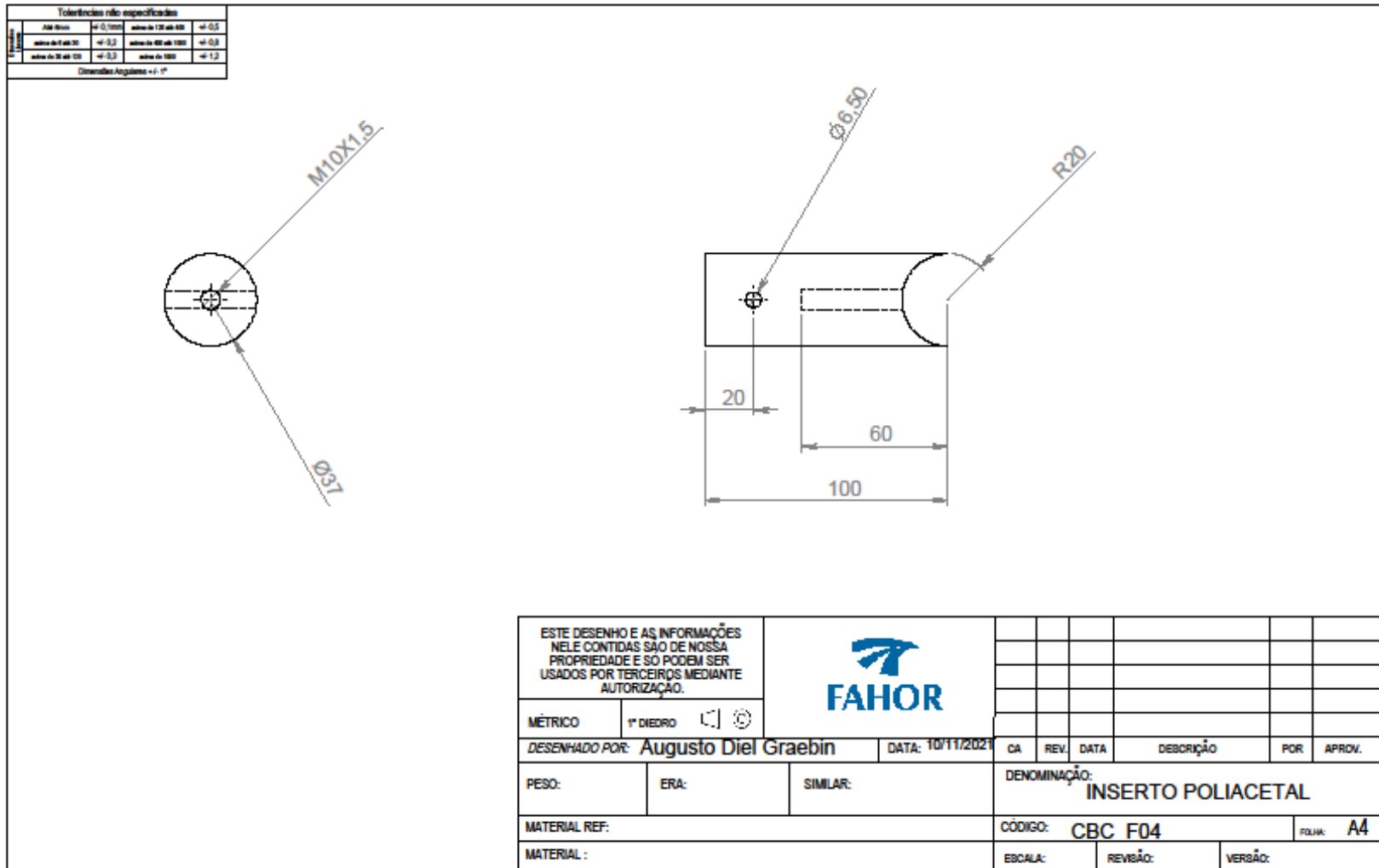




Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

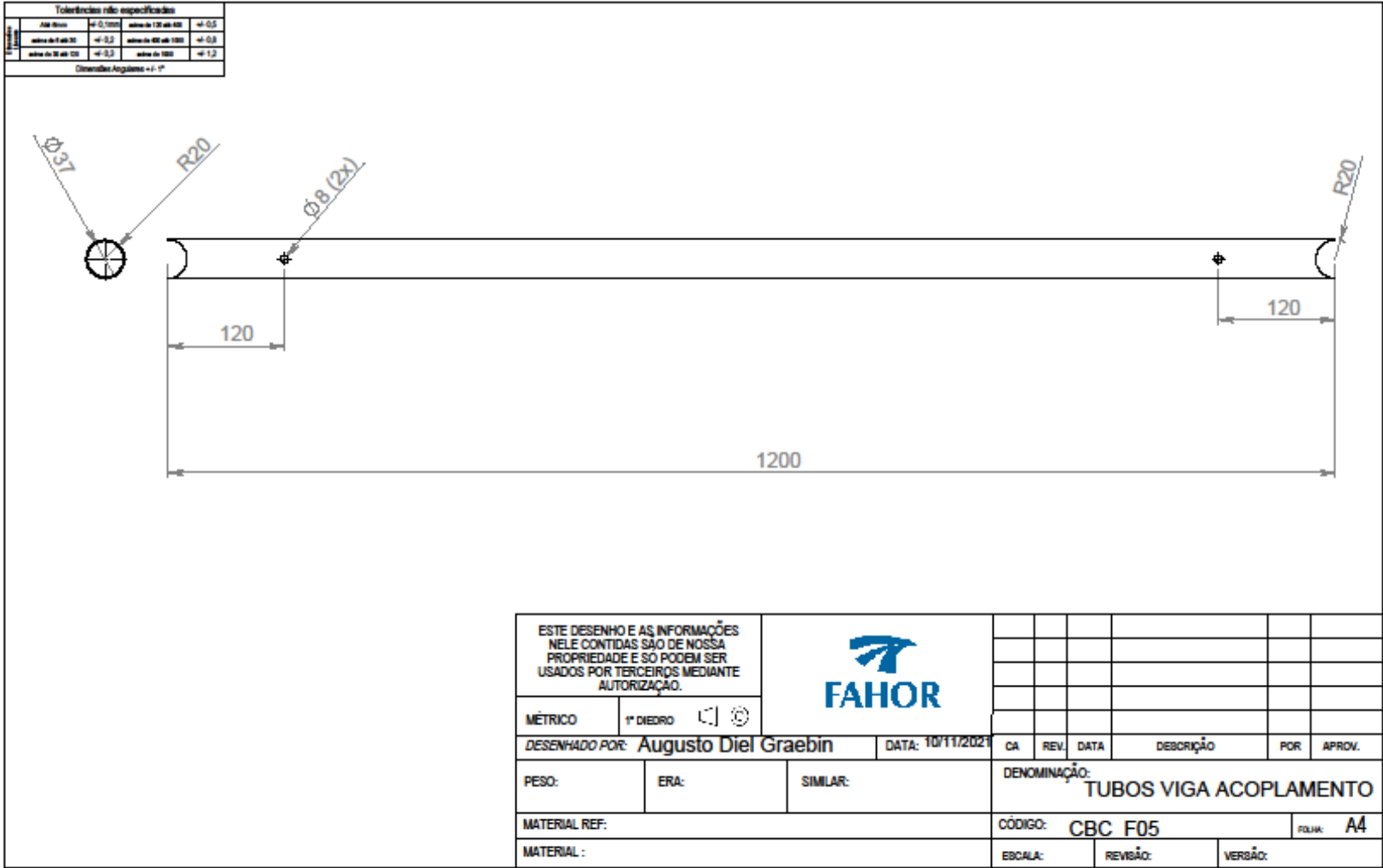


Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

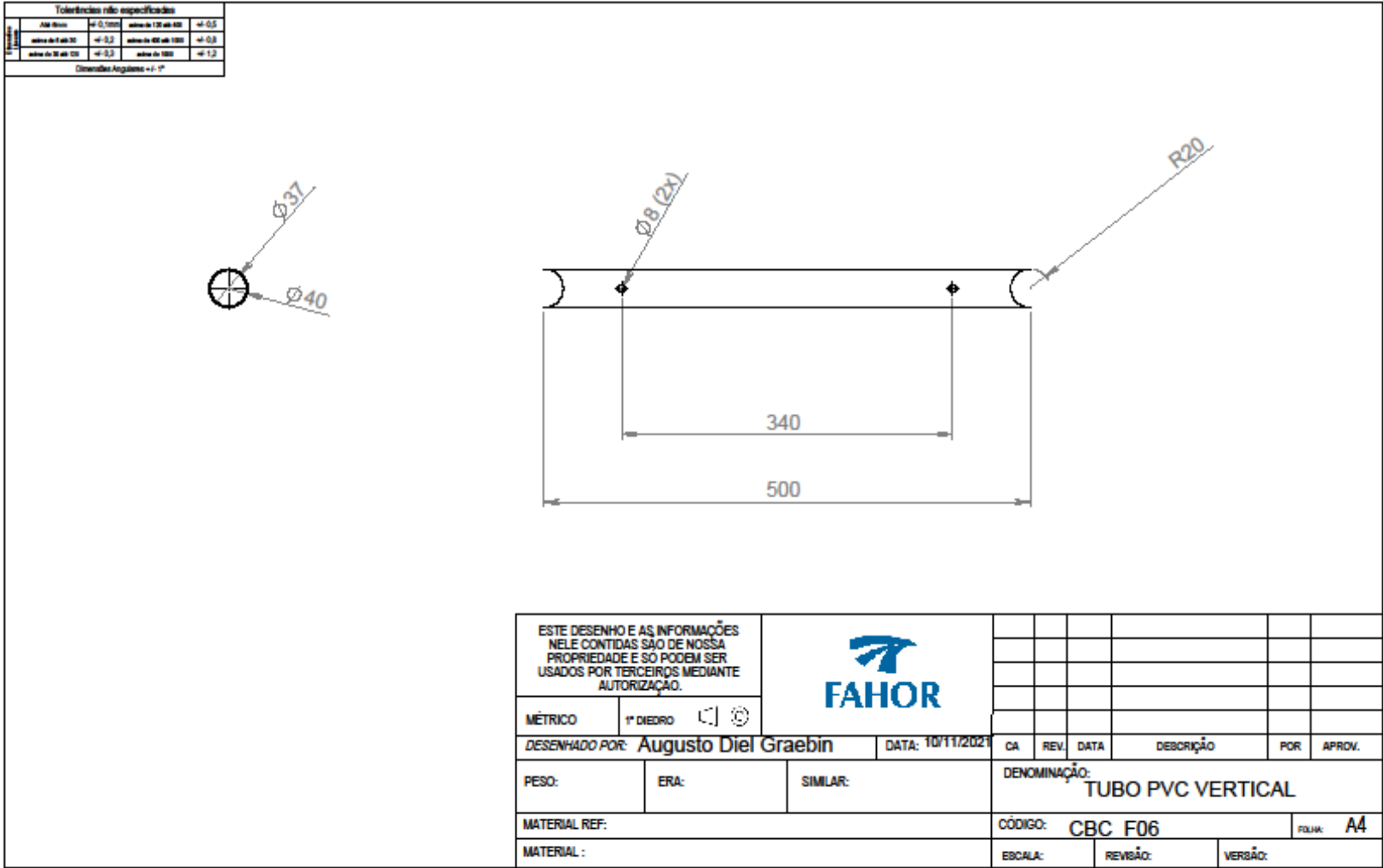


Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

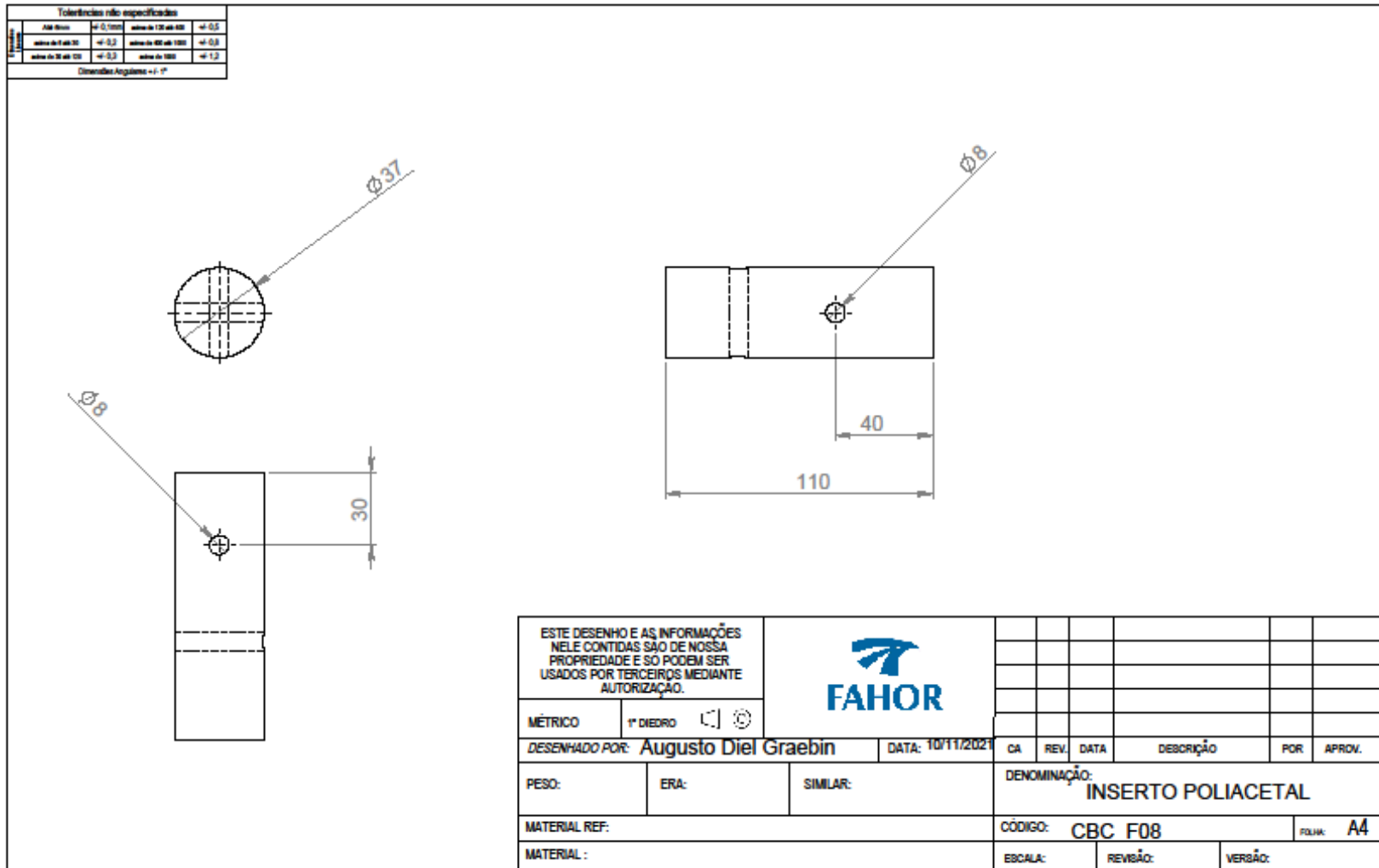




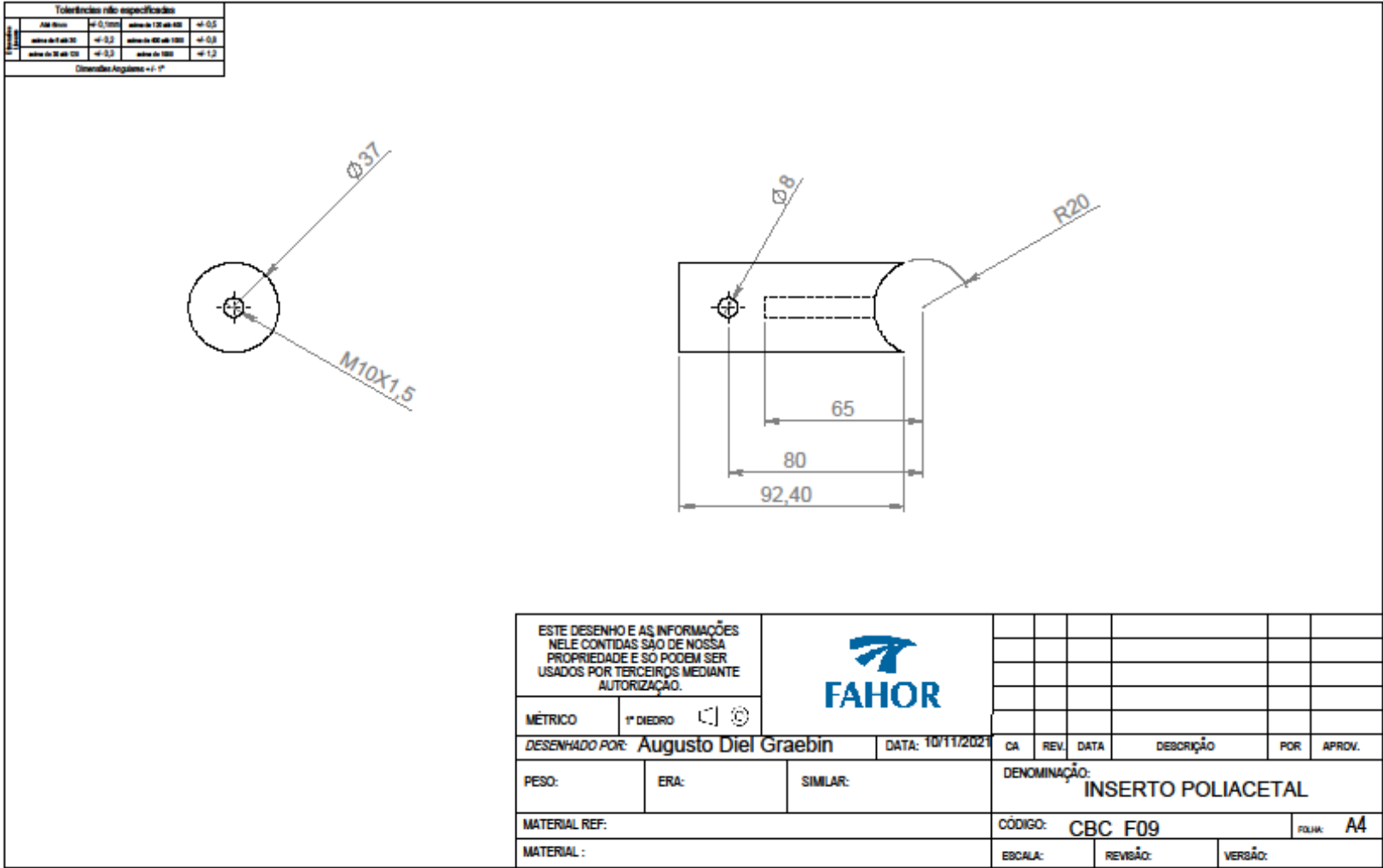
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



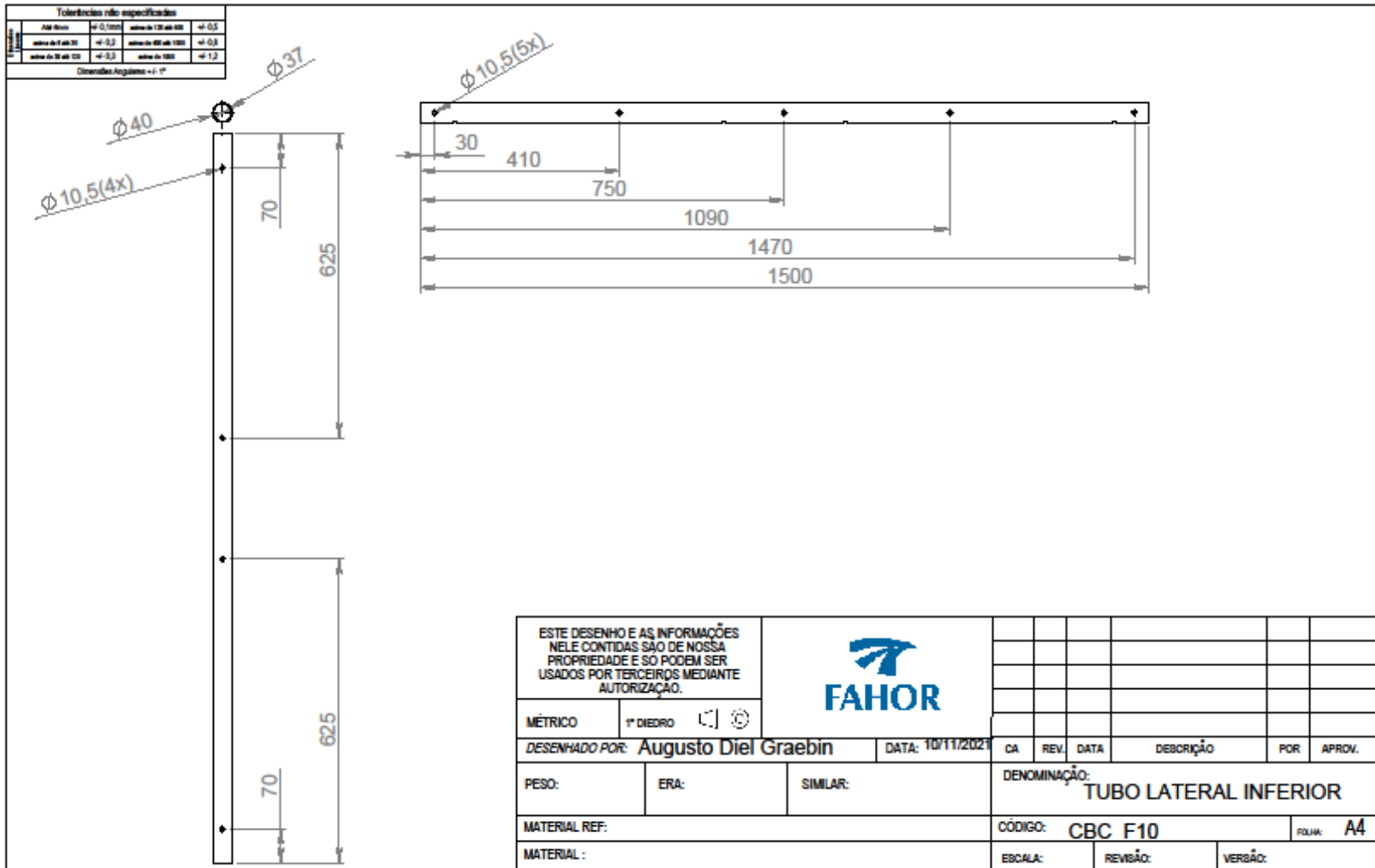
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



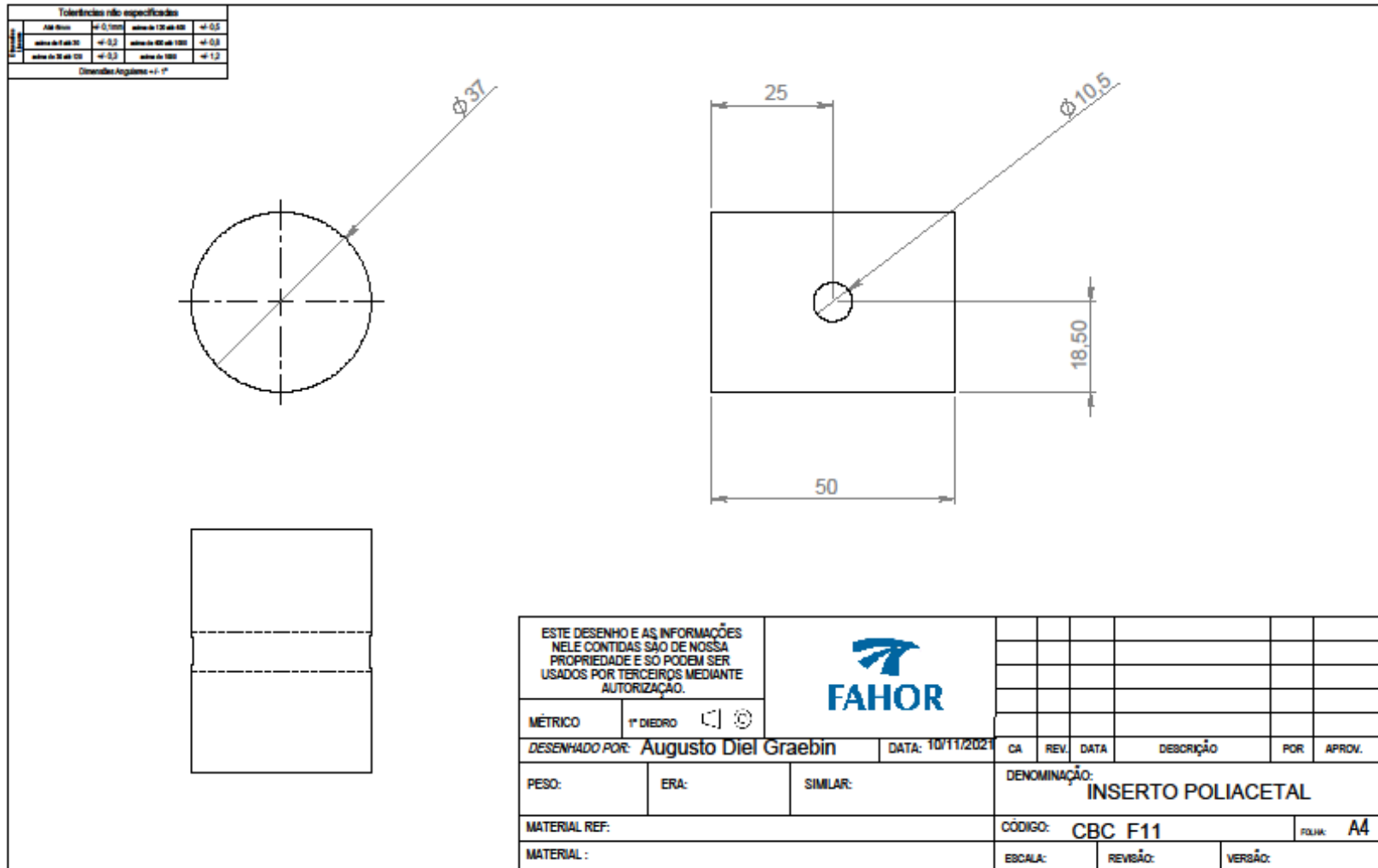
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



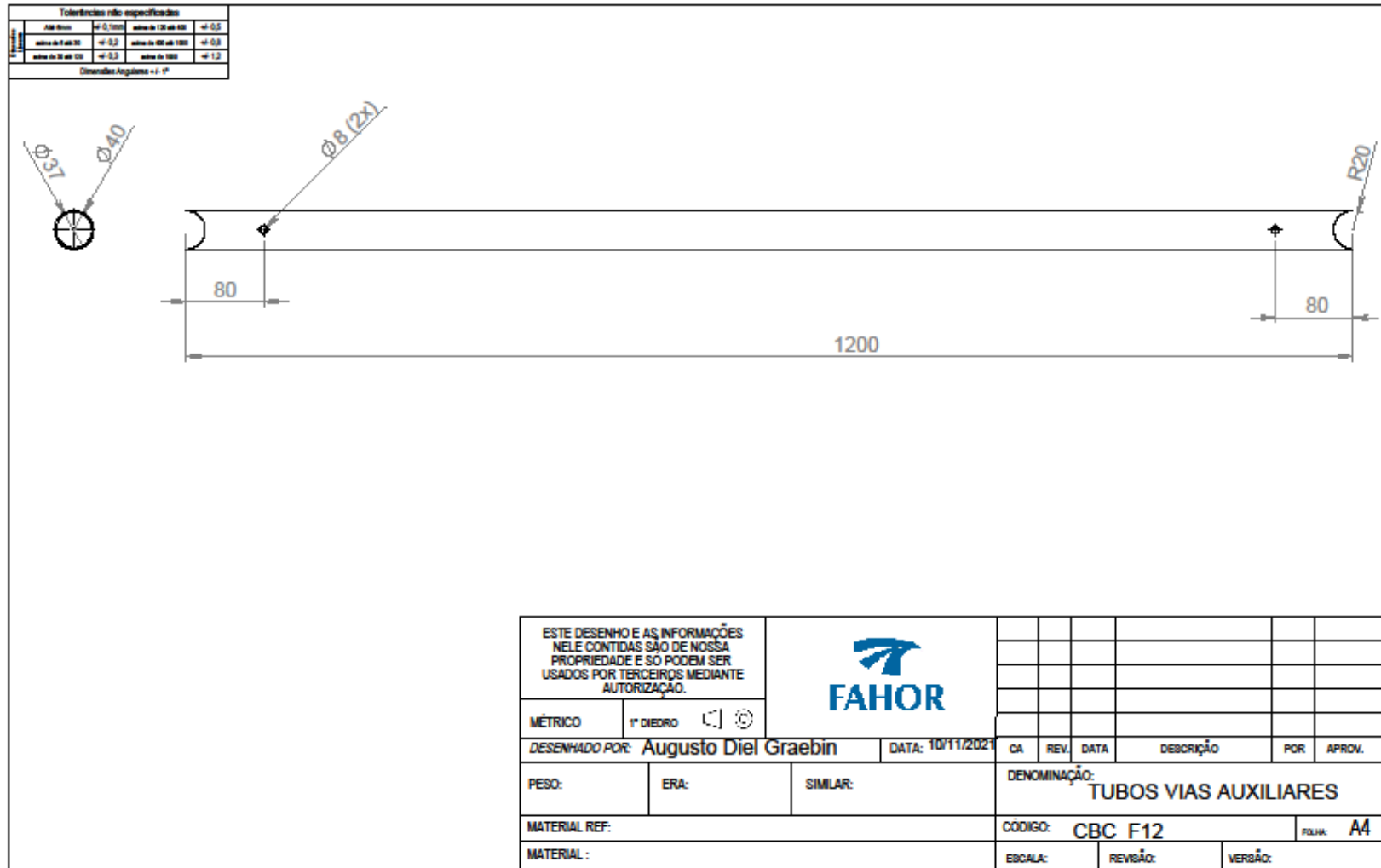
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



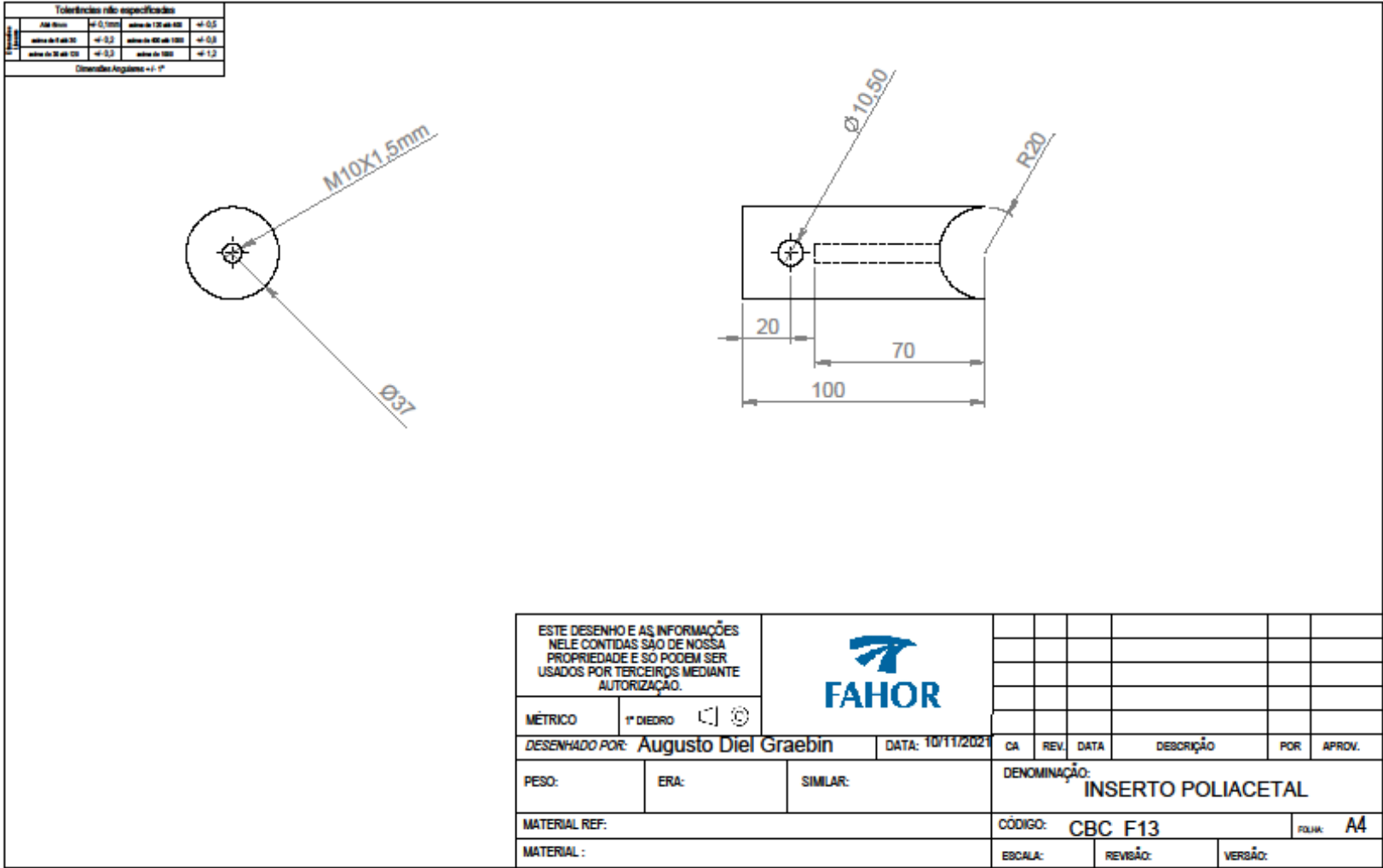
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

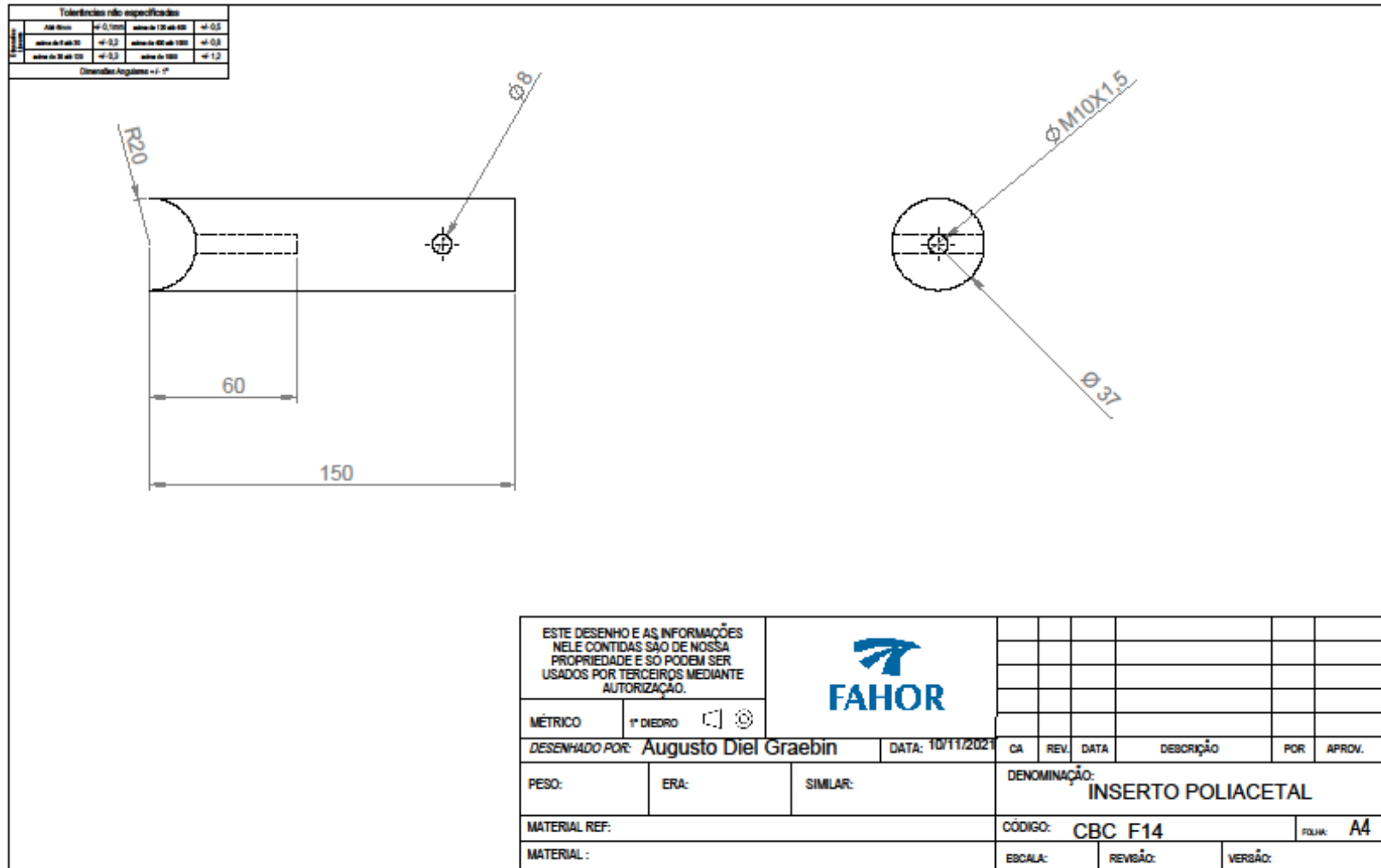


Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.





Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

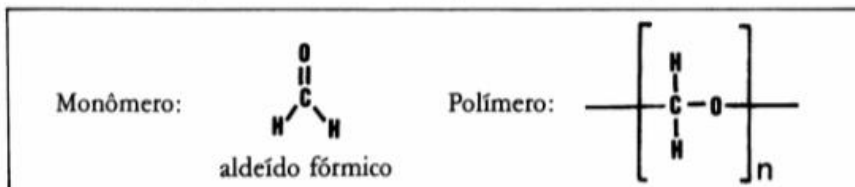
## ANEXO

## Características do poli (Óxido de metileno)

## Quadro 24. Poli(óxido de metileno)

Abreviação: POM

Outras denominações: Polioximetileno, poliformaldeído, poliacetal.



## Características do polímero:

Peso molecular, 15.000-30.000  
 Densidade, 1,42  
 $T_m$ , 180°C;  $T_g$ , 82°C  
 Cristalinidade, 75%  
 Termoplástico, branco, opaco.

## Propriedades marcantes:

Excelente estabilidade dimensional, com alguma resiliência; baixa absorção de água; resistência à fricção e à abrasão, a reagentes e a solventes; alta resistência à fadiga. Pouca estabilidade térmica e dificuldade de processamento melhoradas por copolimerização. É um dos 3 plásticos de engenharia mais importantes (os demais são: PA e PC).

## Aplicações típicas:

Partes de peças industriais para usos mecânicos; na indústria automobilística, cintos de segurança, engrenagens, mecanismos de elevadores de janelas de carro; componentes de torneiras, fechaduras, válvulas; molas; bombas; carcaça de chuveiros elétricos; zípers; válvulas de aerossol; componentes elétricos e eletrônicos; componentes de equipamentos de escritório, como computadores e terminais de vídeo, e de eletrodomésticos em geral.

## Produtos mais conhecidos:

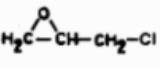
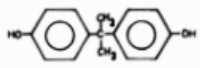
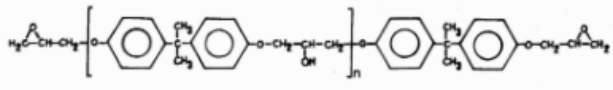
| Nome comercial | Fabricante       |
|----------------|------------------|
| Celcon         | Hoechst-Celanese |
| Delrin         | DuPont           |
| Duracon        | Polyplastics     |
| Hostaform      | Hoechst-Celanese |
| Ultraform      | BASF             |
| Upital         | Mitsubishi       |
| Tenac          | Asahi            |

## Características da Resina Epoxídica

## Quadro 19. Resina epoxídica

Abreviação: ER

Outras denominações: Resina oxirânica, epoxi.

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| Monômeros | <br>epicloridrina | <br>4,4'-difenilol-propano |
| Polímero  |                  |  |

## Características do polímero (reticulado):

Peso molecular, imensurável (insolúvel)

Densidade, 1,15-1,20

Termorrígido, amarelado, translúcido.

## Propriedades marcantes:

Adesividade, resistência à abrasão, baixa contração após cura.

## Aplicações típicas:

Compósitos com fibra de vidro, de carbono ou de poliamida aromática, para a indústria aeronáutica; componentes de equipamentos elétricos; circuitos impressos; encapsulamento de componentes eletrônicos; revestimento de superfícies; adesivos para metal, cerâmica, vidro; moldes e matrizes para ferramentas industriais, manequins de bocas e ossaturas.

## Produtos mais conhecidos:

| Nome comercial | Fabricante  | Nome comercial | Fabricante |
|----------------|-------------|----------------|------------|
| Araldite       | CIBA-Geigy* | Epikote        | CIBA-Geigy |
| Aracast        | CIBA-Geigy  | Epi-Rez        | Inter-Rez  |
| DEN            | Dow         | Epon           | Shell      |
| DER            | Dow         | Epotuf         | Reichhold  |
| Durepoxi       | CIBA-Geigy* | EpoxyLite      | CIBA-Geigy |

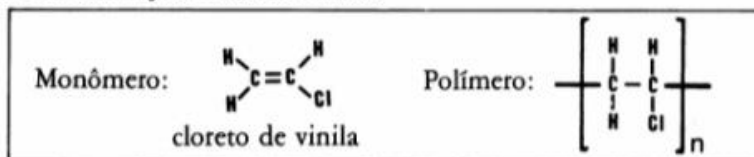
\* No Brasil.

## Quadro 5 – Características do poli (Cloro de vinila)

## Quadro 11 - Poli(cloro de vinila)

Abreviação: PVC

Outra denominação: Plástico vinílico.



## Características do polímero:

Peso molecular, 50.000-100.000

Densidade, 1,39

Índice de refração, 1,53-1,56

 $T_m$ , 273°C;  $T_g$ , 81°C

Cristalinidade, 5-15%

Termoplástico, incolor, transparente.

## Propriedades marcantes:

Alta resistência à chama; formação de peças tanto rígidas quanto muito flexíveis, com plastificante; semelhança a couro; menor custo.

## Aplicações típicas:

Forração de poltronas e de estofamentos de automóveis; separadores de bateria; revestimento de fios e cabos elétricos; tubos rígidos para água e esgoto; tubos flexíveis para água; esquadrias para janelas; embalagens rígidas e transparentes para bebidas e alimentos; toalhas de mesa; cortinas de chuveiro; bolsas e roupas de couro artificial; passadeiras; pisos; carteiras transparentes para identificação; bolsas; bonecas; sapatos.

## Produtos mais conhecidos:

| Nome comercial | Fabricante       | Nome comercial | Fabricante        |
|----------------|------------------|----------------|-------------------|
| Brasivil       | Brasivil*        | Rucoblend      | Occidental        |
| Dacovin        | Diamond Shamrock | Rucodur        | Occidental        |
| Geon           | Goodrich         | Rucon          | Occidental        |
| Krystaltite    | Allied           | Solvic         | Solvay do Brasil* |
| Norvic         | C.P. Camaçari*   | Sta-Flow       | Air               |
| Oxyblend       | Occidental       | Staufen        | ICI               |
| Pliovic        | Goodyear         | Vestolit       | Huels             |
| Reynolon       | Reynolds         | Vinoflex       | BASF              |

\* No Brasil.

## Copolímeros industriais do cloreto de vinila:

— Copolímero de vinila e acetato de vinila.

Fonte: Manno, 1991