

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Projeto de Máquina de Ensaio de Impacto
por Queda de Peso para Materiais Plásticos
e Compósitos**

Ramon Curi Leonardo

Matheus Fernandes Garcia dos Santos

Profa. Orientadora: Doina Mariana Banea

Prof. Co-orientador: Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti

Rio de Janeiro

2021

Projeto de Máquina de Ensaio de Impacto por Queda de Peso para Materiais Plásticos e Compósitos

Ramon Curi Leonardo

Matheus Fernandes Garcia dos Santos

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Mecânica, do Departamento
de Engenharia Mecânica do Centro
Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca.

Profa. Orientadora: Doina Mariana Banea

Prof. Co-orientador: Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti

Rio de Janeiro

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

L581 Leonardo, Ramon Curi

Projeto de máquina de ensaio de impacto por queda de peso para materiais plásticos e compósitos / Ramon Curi Leonardo [e] Matheus Fernandes Garcia dos Santos — 2021.

77f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2021.

Bibliografia : f. 75-77

Orientador: Doina Mariana Banea

Coorientador: Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti

1. Engenharia mecânica. 2. Materiais compostos. 3. Máquinas – Projetos. 4. Materiais – Teste de impacto. 5. Resistência de materiais. I. Santos, Matheus Fernandes Garcia dos II. Banea, Doina Mariana (Orient.). III. Cavalcanti, Daniel Kioshi Kawasaki (Coorient.). IV. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer ao nosso coorientador Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti e nossa professora orientadora Doina Mariana Banea que nos acompanharam e guiaram durante toda a elaboração desse projeto.

Gostaríamos de agradecer também aos nossos colegas de turma, que nos acompanharam nesta jornada desde o princípio. Podemos afirmar que sem a amizade e a solicitude de todos o caminho teria sido consideravelmente mais árduo e menos prazeroso.

Eu, Ramon, gostaria ainda de agradecer a toda minha família e amigos que me deram total apoio e suporte durante todo o curso. A todos os professores do CEFET/RJ que de alguma forma contribuíram para o nosso aprendizado.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao professor Alexandre Silva Lima, professor que nunca mediu esforços para auxiliar seus alunos e desde que entrei no projeto de extensão “Alpha” sempre foi uma grande referência para mim, dentro e fora de sala de aula. Meus mais sinceros agradecimentos a esse grande homem.

Eu, Matheus, agradeço primeiramente à Deus, por ter estado ao meu lado em todos os momentos desta caminhada, e por ter me dado força e determinação para que nunca desistisse.

Aos meus pais, Ana e Jaime, por sempre apoiarem minhas decisões, e desde jovem me instruírem a ter dedicação aos estudos e almejar um bom futuro.

Aos meus irmãos, Giovanni e Brenno, por serem meus parceiros em todos os momentos.

À minha namorada, Maria Sol, quem me apoiou em todos os momentos difíceis e sempre fez de tudo e mais um pouco para me ver feliz.

Aos meus amigos, Gabriel e Igor, pelos conselhos ao longo de uma década de amizade.

RESUMO

Materiais compósitos são fabricados a partir da combinação de uma matriz polimérica e um reforço de fibras, com o objetivo de se obter um produto com características superiores às de materiais convencionais e então substituí-los ou serem empregados em conjunto em suas aplicações, gerando benefícios como o aumento da segurança, redução do peso, economia financeira, etc. O CEFET Maracanã realiza estudos e pesquisas relacionadas a este tipo de material com o objetivo de desenvolver e testar novas composições em prol do avanço tecnológico, bem como para o aprendizado dos discentes. Para que isto seja possível, é necessário o emprego de máquinas de ensaio, que visam avaliar a qualidade e integridade das juntas produzidas e então determinar importantes características mecânicas associadas aos corpos de prova. Este trabalho tem como objetivo projetar uma máquina que viabilize a execução de testes de impacto com certa facilidade de operação e apresente um baixo custo de fabricação e manutenção – relativo a máquinas comerciais.

Palavras-chave: Projeto, materiais compósitos, teste de impacto, máquina de ensaio.

ABSTRACT

Composite materials are manufactured by combining a polymer matrix and a fiber reinforcement, to create a product with improved characteristics in relation to conventional materials and then replace them or use them both in a combination, aiming to achieve benefits like improved safety, reduced weight, economy, etc. CEFET Maracanã studies and researches this sort of material aiming to develop and test new compositions, in favor of technological advance as well as the learning process of the students. To make this possible, it is important to use testing machines. The use of these machines allows one to evaluate the quality and integrity of the produce and then determine important mechanical characteristics associated to the specimen. The purpose of this paper is to project a machine that can make possible the execution of impact tests with easy operation, low building budget and low-cost maintenance – compared to commercial machines.

Keywords: Project, composite materials, impact test, testing machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carga de Tração	5
Figura 2 - Carga de Compressão	6
Figura 3 - Carga de cisalhamento	6
Figura 4 - Carga de torção	7
Figura 5 - Representação do conceito de energia potencial elástica. A posição (a) representa a inicial e a (b) representa a posição deformada.	9
Figura 6 - Corpo abandonado em queda livre de uma altura "h"	11
Figura 7 - Pêndulo balístico	12
Figura 8 - Corpo de prova IZO D x Charpy	15
Figura 9 - Máquina de ensaio por pêndulo	16
Figura 10 - Máquina de ensaio por queda de peso	17
Figura 11 - Corpo de prova ASTM D7136.....	18
Figura 12 - Diagrama de corpo livre.....	21
Figura 13 - Bate-estacas em operação	21
Figura 14 - Relação de energia	24
Figura 15 - Gráfico de Energia 1,4J.....	26
Figura 16 - Gráfico de Energia 130J.....	28
Figura 17 - Diferentes Perfis Aço SAE 1020	31
Figura 18 – Estrutura	32
Figura 19 - Amortecedor de vibrações	35
Figura 20 - Amortecedor de Vibrações MAC	35
Figura 21 - Base de fixação de acordo com a norma ASTM D136.....	36
Figura 22 - Projeto do Subsistema de fixação do corpo de prova	37
Figura 23 - Proposta de Fixadores Norma ASTM D7136.....	38
Figura 24 - Grampo de fixação do corpo de provas	38
Figura 25 - Conjunto de Suporte e Fixação do corpo de prova	39
Figura 26 - Impactador em tubo guia	40
Figura 27 - Duas colunas guias de deslizamento.....	40
Figura 28 - Conjunto Estrutura, Hastes e apoio do CP.....	41
Figura 29 – Instron CEAST 9310.....	42
Figura 30 - Instron CEAST 9340.....	43

Figura 31 – Pesos.....	43
Figura 32 - Impactador Norma ASTM D7136	45
Figura 33 - Conjunto do impactador.....	46
Figura 34 - Capa para impactador	46
Figura 35 - Bucha de bronze grafitado	47
Figura 36 - Subsistema do conjunto do impactador	48
Figura 37 - Adesivo Supreme 10HT Master Bond.....	49
Figura 38 - Adesivo 3M DP420.....	50
Figura 39 - Adesivo Wurth Titânio	50
Figura 40 - Loctite E-20NS Hysol.....	51
Figura 41 - Drop Weight Tester HIT230F.....	52
Figura 42 - Cabo de Aço.....	53
Figura 43 - Conexões com cabo de aço	54
Figura 44 – Puxador.....	55
Figura 45 - Processo de travamento e liberação da carga.....	55
Figura 46 - Eixos de sinalização	57
Figura 47 - Sensor de contagem	57
Figura 48 - Arduino	58
Figura 49 - Solenóide.....	58
Figura 50 - Piso de borracha.....	59
Figura 51 – Impactador/penetrador com movimentação linear	60
Figura 52 – Penetrador Linear instalado na máquina monotrilha Cadex	60
Figura 53 - Passagem dos eixos pelo sensor.....	62
Figura 54 - Pontos de fixação e distribuição das cargas	64
Figura 55 - Informações de Malha.....	65
Figura 56 - Concentração de Deformações.....	65
Figura 57 - Concentração de Tensões.....	66
Figura 58 - Base da estrutura ampliada	66
Figura 59 - Análise de fator de segurança	67
Figura 60 - Vista em destaque do impactador	68
Figura 61 - Medidas da capa do impactador.....	70
Figura 62: Diagrama de Corpo Livre da Viga de Apoio do Corpo de Prova	71
Figura 63: Diagrama de Esforço Cortante	71

Figura 64: Diagrama de Momento Fletor	72
Figura 65: Seção Transversal da Viga de Suporte das Polias.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de massa e altura para uma energia potencial de 1,4J	26
Tabela 2 - Relação de massa e altura para uma energia potencial de 130J	27
Tabela 3 - Máximos e mínimos de altura e massa calculados	28
Tabela 4 - Máximos e mínimos de altura e massa reais	29
Tabela 5 - Tabela de Operação	29
Tabela 6 - Detalhamento dos valores de energia	30
Tabela 7 - Subsistema Fixação da estrutura da máquina no solo usuais	34
Tabela 8 - Propriedades do Aço 1020.....	63
Tabela 9 - Propriedades da Fibra de Carbono.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

σ	.....	Tensão de engenharia
F	.....	Força aplicada
N	.....	Newton
ϵ	.....	Deformação
l_0	.....	Comprimento inicial
l_i	.....	Comprimento instantâneo
Δl	.....	Varição de comprimento entre o corpo de prova antes e depois da deformação
τ	.....	Tensão cisalhante
θ	.....	Angulo de deformação
E_e	.....	Energia potencial elastica
K	.....	Constante elástica
X	.....	Deformação elastica do corpo deformado
E_p	.....	Energia potencial gravitacional
E_c	.....	Energia Cinética
Q	.....	Quantidade de Movimento
m	.....	Massa
g	.....	Gravidade
h	.....	Altura
CP	.....	Corpo de Prova
END	.....	Ensaio não destrutivo
LADES	.....	Laboratório de adesão e adesivos
Hz	.....	Hertz

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>INTRODUÇÃO</i>	1
1.2. <i>MOTIVAÇÃO</i>	2
1.3. <i>JUSTIFICATIVA</i>	2
1.4. <i>OBJETIVOS</i>	3
1.4.1. Geral.....	3
1.4.2. Específicos	3
1.5. <i>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO</i>	3
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. <i>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</i>	4
2.1.1. Tensão e Deformação.....	4
2.1.2. Atrito	7
2.1.3. Energia Mecânica.....	8
2.1.4. Colisões	11
2.1.5. Corpo de Prova.....	13
2.2. <i>TIPOS DE ENSAIOS E MÁQUINAS</i>	13
2.2.1. Destrutivo x Não Destrutivo	14
2.2.2. Métodos de Ensaio de Impacto	14
2.2.3. Materiais Compósitos.....	19
2.3. <i>CARREGAMENTOS</i>	20
2.3.1. Carregamento Estático e Dinâmico.....	20
2.3.2. Impactos em diferentes velocidades.....	22
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	23
3.1. <i>INTRODUÇÃO</i>	23
3.2. <i>LIMITAÇÕES</i>	23
3.3. <i>ENERGIA DE IMPACTO</i>	24
3.3.1. Estudo dos Extremos.....	25
3.3.2. Conclusões	28
3.4. <i>PROJETO DOS SUBSISTEMAS</i>	31
3.4.1. Subsistema Estrutural.....	31

3.4.2. Subsistema Fixação da Estrutura da Máquina no Solo	32
3.4.3. Subsistema de Apoio ao Corpo de Prova	35
3.4.4. Subsistema de Fixação do Corpo de Prova	37
3.4.5. Subsistema de Guias de Deslizamento	39
3.4.6. Subsistema Peso de Impacto	42
3.4.7. Subsistema Impactador	44
3.4.8. Subsistema de Elevação do Conjunto Massa/Impactador.....	52
3.4.9. Subsistema de Travamento e Liberação do Conjunto Massa/Impactador .	54
3.4.10. Subsistema Anti-rebote	55
3.4.11. Subsistema de Instrumentação	61
CAPÍTULO 4: SIMULAÇÕES E ANÁLISES	63
4.1. <i>SIMULAÇÕES</i>	63
4.1.1. Introdução.....	63
4.1.2. <i>Simulação</i>	63
4.2. <i>ANÁLISES</i>	67
CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO	74
5.1. <i>CONCLUSÕES</i>	74
5.2. <i>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	74
Bibliografia	75

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

Conforme o grande avanço da ciência e tecnologia nas décadas recentes, é natural que seja crescente a procura por materiais cada vez mais leves e resistentes para uso em indústrias como a automotiva, naval, aeronáutica, aeroespacial, etc. Esta busca impulsiona o crescimento do ramo de materiais, onde pesquisadores procuram métodos de produzir materiais com as características físicas requisitadas para determinada tarefa, com a melhor eficiência e relação custo-benefício possível. Destes estudos surgiram os materiais compósitos, que se apresentam como uma alternativa ao uso de materiais convencionais, como mostra (Rezende, 2000). Uma prova disto, é a crescente porcentagem de sua implementação em diversos setores da indústria, chegando nos últimos anos a uma média de crescimento de 5% ao ano.

Os materiais compósitos nasceram da combinação de elementos. Através da distribuição de fibras de um material, dispostas sobre uma matriz composta por um outro, pesquisadores obtiveram um composto resultante que apresenta uma alta resistência, aliada a uma baixa densidade. Por esta razão, os compósitos vêm substituindo outros materiais tão eficientemente.

Podemos citar a fibra de carbono como um exemplo de compósito capaz de substituir ligas metálicas. Encontramos este compósito em aeronaves (na fuselagem, painel, estrutura, etc.), veículos terrestres (para-choques, capô, cárter, molas, painéis, colunas de direção, etc.), próteses, turbinas eólicas, e até quadros de bicicleta. A leveza deste produto juntamente com a sua alta resistência, permitem um aumento na performance e na economia de energia, porém, a falta de ductilidade e a baixa capacidade de absorção de energia de impacto sem causar danos à estrutura, limitam as aplicações desse material.

Assim como a fibra de carbono, outros materiais compósitos são amplamente usados em aplicações de alto desempenho e frequentemente trabalham sob cargas de impacto, onde ocasionalmente podem ocorrer danos à sua estrutura, e conseqüentemente, às suas propriedades mecânicas. Por conta disso, é necessário que se avaliem as conseqüências dos danos aos quais o material estará sujeito durante sua aplicação, para que seja possível determinar se o material utilizado será viável. Existem diversas técnicas e tipos de ensaio capazes de auxiliar na determinação das características mecânicas dos materiais, desde as mais complexas simulações

de modelagem numérica aos mais variados ensaios por máquinas, mas método que será estudado e empregado neste trabalho será o ensaio de materiais compósitos através da queda de peso, ou “drop-weight”.

1.2. MOTIVAÇÃO

Somos extremamente agradecidos a todos os conhecimentos que o CEFET/RJ e nossos professores nos proporcionaram durante esses cinco anos de graduação e ficamos muito felizes em poder contribuir de alguma forma para o desenvolvimento de tecnologias a serem usadas pelas próximas gerações que frequentarão a instituição.

Como citado na introdução, a área de materiais compósitos está em grande ascensão e possui um futuro promissor a frente, e com isso vê-se a necessidade do desenvolvimento de máquinas de teste capazes de determinarem de forma eficiente as propriedades mecânicas desses materiais. Após conversas com a professora orientadora, Doina Mariana Banea, e o professor coorientador, Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti, chegamos à conclusão que uma forma de agregar valor ao CEFET/RJ, seria o desenvolvimento de uma máquina de ensaio por queda de peso à fim de possibilitar os estudos citados.

1.3. JUSTIFICATIVA

O CEFET/RJ, como uma instituição de ensino superior de qualidade, necessita estar atualizado e equipado com o maquinário essencial para a viabilização da pesquisa e estudo de novas tecnologias, bem como estar apto a oferecer a seus alunos e professores condições que não só aumentem, como otimizem sua aprendizagem.

Diante da situação atual da instituição, pareado ao grande desenvolvimento da área de materiais compósitos nas últimas décadas, é quase que primordial a existência de uma máquina de ensaio nos laboratórios da faculdade.

Tendo em vista que esta máquina poderá ser utilizada por alunos com baixo conhecimento na área, ela deverá ser de fácil operação e manutenção, e com um custo de fabricação e conserto inferior às disponíveis no mercado, bem como possuir dimensões que se

adequem ao local onde será instalada e utilizada.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Geral

O objetivo do estudo é projetar uma máquina de ensaio de impacto por queda de peso para testes em compósitos e materiais plásticos, sendo o foco principal seu uso em compósitos.

1.4.2. Específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar máquinas de impacto por queda de peso disponíveis no mercado;
- Estudar os mecanismos e subsistemas que constituem uma máquina de ensaios;
- Simular o funcionamento da máquina através de softwares, visando analisar possíveis falhas ou pontos frágeis no protótipo;

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 5 capítulos, sendo eles:

Capítulo 1: Apresentação da introdução ao tema, motivação, justificativa e objetivos.

Capítulo 2: Será apresentada uma revisão dos tópicos importantes à compreensão do trabalho, como os tipos de ensaios mecânicos, tipos de máquinas, tipos de colisões, etc.

Capítulo 3: Neste capítulo são apresentados os componentes de uma máquina de ensaio bem como os requisitos da norma que define os padrões para a realização de testes em materiais compósitos. Ademais, serão também realizados os projetos dos subsistemas constituintes da máquina.

Capítulo 4: Este capítulo expõe as simulações e análises da estrutura da máquina.

Capítulo 5: Este capítulo conclui o trabalho.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de seguir com o desenvolvimento do projeto, serão recordados conceitos de suma importância para a compreensão de qualquer mecanismo que venha a ser descrito.

2.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo trataremos dos conhecimentos prévios e estudos existentes que serão utilizados ao decorrer do projeto. Serão citados ao longo do estudo alguns termos acadêmicos e conhecimentos previamente adquiridos ao longo da faculdade. Assume-se que o leitor possua algum entendimento sobre os mesmos, mas segue uma breve revisão de alguns conceitos que serão utilizados.

2.1.1. Tensão e Deformação

William D. Callister descreve em sua renomada obra (Callister, 2012 p. 131) que tração, compressão e cisalhamento são as 3 principais maneiras pelas quais uma carga pode ser aplicada sobre um determinado sistema, e seus comportamentos mecânicos podem ser averiguados por meio de ensaio tensão-deformação feitos muitas vezes à temperatura ambiente.

O ensaio de tração pode ser feito para caracterizar diversas propriedades mecânicas do material ensaiado que são importantes para o desenvolvimento do projeto. É aplicada sobre o material uma carga uniaxialmente e é aumentada gradativamente, como pode ser observado na Figura 1, fazendo com que o material se deforme, podendo levar até sua fratura. O resultado de um ensaio de tração é registrado como carga ou força em função do alongamento.

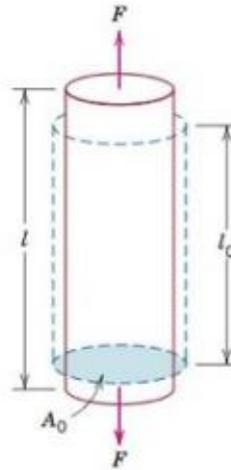


Figura 1 - Carga de Tração

Fonte: (Callister, 2012)

A tensão de engenharia " σ " é definida pela fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2,1)$$

Na qual F é uma força aplicada perpendicularmente à seção transversal do corpo de prova, em unidades de Newton (N) ou em libras-força (lbf), e " A_0 " é a área da seção transversal anterior ao ensaio ser iniciado.

A deformação de engenharia " ε " é definida por:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2,2)$$

De forma que " l_0 " é o comprimento inicial do corpo de prova antes de ser deformado e " l_i " é o comprimento instantâneo. Δl , por sua vez representa a variação ou o alongamento entre o corpo de prova antes e depois de ser ensaiado. A deformação de engenharia é adimensional, pois o valor da deformação é independente do sistema de unidades.

Caso as forças de serviço forem do tipo compressiva, deve ser realizado um ensaio tensão-deformação chamado "Ensaio de compressão". Esse ensaio é conduzido de maneira similar ao citado anteriormente, porém nesse caso a força é compressiva e o corpo de prova se deforma ao longo da direção da carga aplicada, como pode ser observado na Figura 2.

Os ensaios de compressão são usualmente realizados quando se deseja conhecer o comportamento de um material submetidos a deformações grandes e permanentes, ou quando o material é frágil sobre tração. Por convenção uma força compressiva é considerada negativa, o que leva a tensão a ser negativa

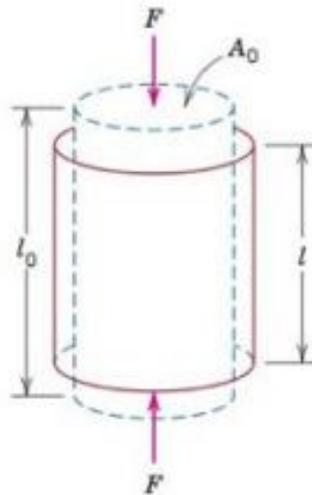


Figura 2 - Carga de Compressão

Fonte: (Callister, 2012)

Ensaio de cisalhamento são realizados sob uma força cisalhante pura, como pode ser observado na Figura 3.

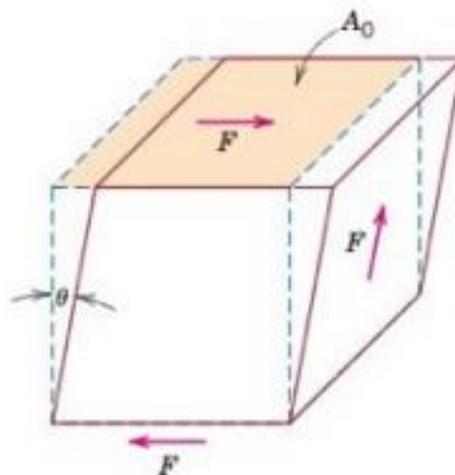


Figura 3 - Carga de cisalhamento

Fonte: (Callister, 2012)

A tensão cisalhante “ τ ” é calculada de acordo com:

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (2,3)$$

Em que F é a força aplicada paralelamente às faces superior e inferior do corpo de prova que possuem áreas. A deformação cisalhante “ ε ” por sua vez é descrita como a tangente do ângulo de deformação “ θ ”, que pode ser observado na figura 4. As unidades para tensão e deformação cisalhante são as mesmas dos seus equivalentes em tração.

Vale lembrar que a torção é uma variação do cisalhamento puro, de forma que o elemento é torcido como pode-se observar na Figura 4, abaixo. As forças de torção resultam em um movimento de rotação em torno do seu eixo longitudinal de uma das extremidades do elemento em relação à outra extremidade.

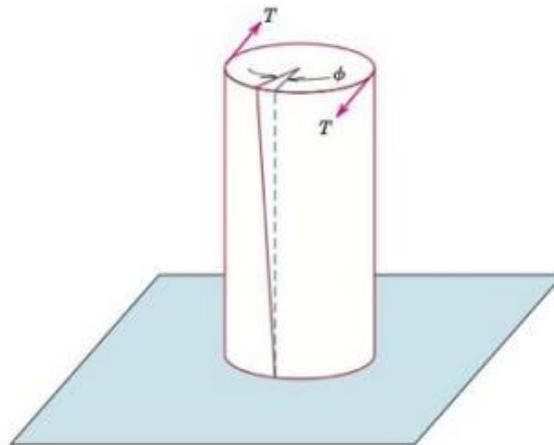


Figura 4 - Carga de torção

Fonte: (Callister, 2012)

Eixos de máquinas, engrenagens e brocas são exemplos de serviços onde cargas de torção são utilizadas.

2.1.2. Atrito

Resumidamente, de acordo com (Pauli, 1997), o Atrito é o mecanismo por onde se

desenvolvem forças de resistência superficiais ao deslizamento de dois corpos em contato. A causa principal para o atrito entre materiais está relacionada como o contato entre pequenas regiões ao longo da superfície deslizante. Estas superfícies apresentam irregularidades microscópicas que podem se descolar pela intensa deformação plástica localizada.

Para atenuar essa propriedade, é comum o uso de lubrificantes.

Algumas das principais funções dos lubrificantes são:

- 1 Controle do atrito: Transformando o atrito sólido em fluido, evitando assim a perda de energia;
- 2 Controle do desgaste: Reduzindo ao mínimo o contato entre superfícies
- 3 Controle da temperatura: Absorvendo o calor gerado durante a fricção
- 4 Controle da corrosão: Evitando que a ação de ácidos destrua o metal

2.1.3. Energia Mecânica

A energia mecânica é a capacidade de um corpo de realizar trabalho, e pode ser calculada através da soma de suas energias potenciais e de sua energia cinética.

Segundo a Professora de matemática e física, Rosimar Gouveia, em seu artigo sobre Energia Potencial (Gouveia, 2020), explicita que a energia armazenada nos corpos com a capacidade de gerar movimento é chamada de energia potencial. Na física existem basicamente dois tipos de energia potencial mecânica: energia potencial gravitacional e energia potencial elástica.

Além da potencial, existe também a energia cinética, que é a energia oriunda do movimento dos corpos. Um corpo adquire energia cinética através da ação de uma força externa, ou através da ação de sua energia potencial.

2.1.3.1. Energia Potencial Elástica

A energia potencial elástica pode ser observada quando um corpo elástico é deformado por uma força externa, passando de uma posição inicial para a posição deformada, como na Figura 5. O corpo tende a recuperar sua forma e tamanho original voltando a posição inicial.

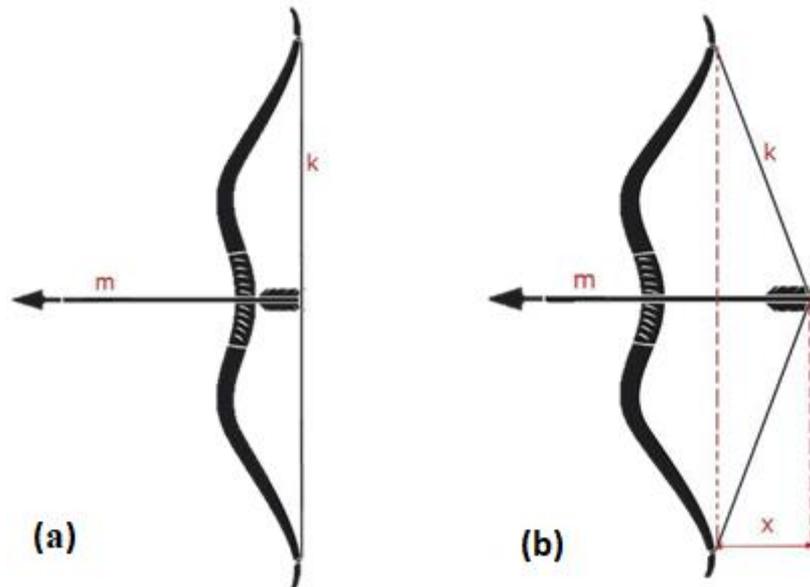


Figura 5 - Representação do conceito de energia potencial elástica. A posição (a) representa a inicial e a (b) representa a posição deformada.

Fonte: Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-potencial/>>

A energia potencial elástica está relacionada com o trabalho realizado pela força elástica do corpo para ir da posição deformada para a posição inicial e é descrita segundo a equação:

$$E_e = \frac{K * x^2}{2} \quad (2,4)$$

Onde K é uma constante da força elástica e X é a medida da deformação quando o corpo passa da posição inicial para a posição deformada.

2.1.3.2. Energia potencial gravitacional

A energia potencial gravitacional possui devido à sua posição em relação a um campo gravitacional e é medida pelo trabalho realizado pelo seu peso para ir de uma posição mais elevada à outra mais baixo.

Como é necessária uma força para elevar um peso a uma determinada altura, nesse ponto mais alto o objeto possui maior energia potencial, quando o objeto despenca ele libera essa energia que será convertida em energia cinética. Logo, a Energia potencial gravitacional (E_p)

está associada à sua altura relativa a um ponto de referência (h), com sua massa (m) e com a força da gravidade (g).

Considerando que a força exigida para elevar um objeto é igual a seu peso, podemos descrever a energia potencial gravitacional como:

$$E_p = m * g * h \quad (2,5)$$

2.1.3.3. Energia Cinética

Energia cinética é a parte da energia que está associada a um corpo em movimento. Esta energia é proporcional à metade da massa multiplicada pelo quadrado da velocidade, e segundo a lei da conservação de energia, a energia mecânica total de um sistema é a soma das energias potenciais e cinética.

$$E_c = \frac{m * v^2}{2} \quad (2,6)$$

A energia cinética de um corpo que é abandonado em certa altura e com velocidade nula pode ser definida empregando a lei de conservação de energia.

Na Figura 6, o corpo na posição B é abandonado em queda livre, tendo em um instante $t=0$, uma velocidade nula. Isso implica que sua energia cinética neste momento é igual a zero, e toda sua energia mecânica está na forma de energia potencial gravitacional. No ponto A, que precede o impacto, a altura em relação ao solo é praticamente zero. Utilizando a lei da conservação de energia, podemos calcular que toda a energia potencial que existia no ponto B foi transformada em energia cinética no ponto A.

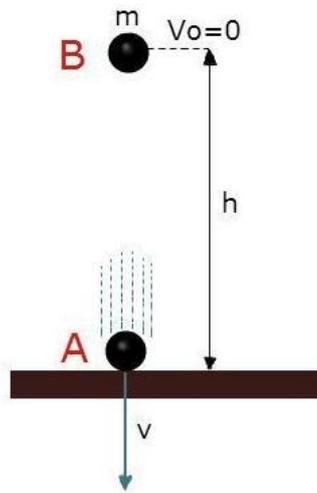


Figura 6 - Corpo abandonado em queda livre de uma altura "h"

Fonte: Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-potencial/>>

2.1.4. Colisões

Colisão é como se denomina o evento do choque entre dois corpos. O entendimento deste conceito é de suma importância para a compreensão deste trabalho, pois a máquina de ensaio neste desenvolvida emprega diretamente a teoria de colisões.

Na física teórica existem três tipos de colisões: elástica, inelástica e parcialmente elástica, cada uma com suas características intrínsecas e diferentes modos de análise. Mas no mundo real, a maioria das colisões são parcialmente elásticas devido a dissipação de energia na forma de som, calor, deformação, etc.

Na análise de um evento de choque vigora a lei da conservação da quantidade de movimento (Q), que nos diz que a quantidade de movimento de um sistema se preserva. A análise dos tipos diferentes de colisão varia de acordo com a perda de energia do evento.

2.1.4.1. Colisão Elástica

Em uma colisão elástica, além da conservação da quantidade de movimento, há conservação da energia mecânica. Este tipo de colisão existe apenas na teoria, já que sabemos da existência da ação de forças dissipativas. O exemplo no mundo real mais próximo de uma colisão perfeitamente elástica que existe é o choque entre bolas de bilhar.

Em um cenário de choque perfeitamente elástico, duas esferas são lançadas de encontro, com velocidades de igual intensidade e mesma direção, mas sentidos opostos. Após o choque as velocidades invertem o sentido, preservando a intensidade, resultando um afastamento entre as esferas. Caso uma esfera B estivesse parada e a esfera A fosse atirada contra ela, a energia cinética seria preservada completamente, fazendo com que, após o choque, a esfera B que estava parada receba toda a energia e comece a se mover com a mesma velocidade da esfera A, e esta perderia completamente a sua energia, tornando-se estática.

2.1.4.2. Colisão Inelástica

Na colisão inelástica, os corpos seguem unidos após o impacto e há perda máxima da quantidade de energia mecânica do sistema. Um exemplo deste tipo de colisão é um pêndulo balístico (Figura 7), onde um projétil é disparado em um bloco de gelatina balística, onde permanece alojado, transferindo sua energia para o bloco e movimentando-o.

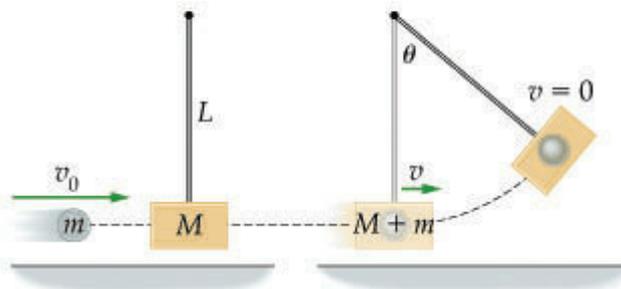


Figura 7 - Pêndulo balístico

Fonte: Disponível em: < <https://www.clutchprep.com/physics/practice-problems/144848/in-a-ballistic-pendulum-an-object-of-mass-m-is-fired-with-an-initial-speed-v0-at> >

2.1.4.3. Colisão Parcialmente Elástica

Nesta colisão, temos a conservação da quantidade de movimento, e há certa perda de energia pela ação de forças dissipativas, mas os corpos não seguem unidos após o impacto como na colisão inelástica. Este fenômeno se observa ao se abandonar uma esfera de borracha no chão. Percebe-se que a esfera atinge o solo e salta verticalmente, mas não atinge a mesma altura

de que foi abandonada. Isso se deve à dissipação da sua energia, que ocorre quando a esfera interage com a superfície. Isso ocorre repetidas vezes até que a energia seja completamente dissipada e a esfera entre em repouso.

Este é o tipo de colisão que ocorrerá durante o uso da máquina de ensaio, e ocorrerá entre o impactador e o corpo de prova. Parte da energia cinética adquirida durante a queda será restituída após o impacto, e parte será perdida, sendo dissipada em forma de energia sonora, energia térmica, e deformação do corpo de prova. É importante ressaltar que, durante o ensaio de impacto é desejável apenas uma interação entre o impactador e o CP, pois o objetivo é analisar o efeito de apenas um impacto, e não de impactos sucessivos.

2.1.5. Corpo de Prova

Um corpo de prova nada mais é do que uma amostra representativa de construção. Alguns ensaios necessitam de um elemento material que replique as propriedades do material que será efetivamente colocado em serviço, podendo ser uma peça inteira ou apenas uma amostra representativa.

Para maior efetividade, existem diversas normas que norteiam como um corpo de prova deve ser feito.

2.2. TIPOS DE ENSAIOS E MÁQUINAS

Os ensaios de materiais servem para determinar as propriedades e características de materiais, componentes, estruturas ou qualquer outro tipo de produto, segundo (Zolin, 2011). É importante estudar-se as propriedades físicas dos materiais para que se possa determinar de que maneira estes reagirão a forças que venham a ser aplicadas. Este conhecimento é fundamental ao se dimensionar peças e componentes, para que se evite desperdícios e acidentes devido a falhas no material.

Podemos descobrir a resistência de um material de maneira empírica, através de testes que submetem amostras ao seu limite, e então examinando as falhas ocorridas nestas amostras. Após a aplicação de ensaios, é determinada grande parte das propriedades mecânicas do material.

Existem disponíveis no mercado diversas máquinas capazes de realizar diversos tipos de testes, ou ensaios, cada um com suas características e aplicações. Para desenvolvermos a nossa máquina, devemos antes entender qual o tipo de aplicação requisitada e com quais parâmetros e limitações trabalharemos. Para isso, faremos uma revisão sobre o assunto.

2.2.1. Destrutivo x Não Destrutivo

Segundo o artigo publicado por (Lourenço, 2012), podemos chamar de “Ensaio não destrutivo” (END ou NDT em inglês – *nondestructive testing*) qualquer tipo de ensaio que não altere de forma permanente as propriedades físicas, químicas, mecânicas e/ou dimensionais do material a ser ensaiado. Dessa forma podemos ser executados nas diversas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção de vários projetos de peças e equipamentos muitas vezes até mesmo enquanto o equipamento está em serviço.

A apostila de (Zolin, 2011), exemplifica e detalha bem a grande variedade de tipos de ensaios mecânicos (destrutivos e não destrutivos). Métodos não destrutivos de ensaio são utilizados para detectar e avaliar falhas nos materiais, geralmente caracterizadas por trincas, inclusões de materiais no cordão de solda ou ainda variações nas propriedades estruturais podendo levar a uma diminuição da resistência e conseqüentemente à falha do material.

Os principais métodos END são: ensaio por inspeção visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrassom, radiografia, emissão acústica e correntes parasitas.

Os ensaios destrutivos, por sua vez, são ensaios mecânicos que necessitam de procedimentos que causem inutilidade no material ensaiado, mesmo que o dano seja pequeno. O conhecimento de certas propriedades dos materiais, muitas vezes só é possível pela aplicação de ensaios que levam a destruição da amostra. Nesse caso, na maioria das vezes, os corpos de prova são feitos do mesmo material que será empregado em serviço.

Os ensaios destrutivos mais utilizados são: ensaio de tração, compressão, impacto, teste de dureza, choque, flexão (dobramento) torção, fadiga e fluência. No caso deste projeto, o foco será no método de ensaio por impacto.

2.2.2. Métodos de Ensaio de Impacto

Este tipo de ensaio é baseado em um choque, causado pelo impacto de uma massa

acelerada em um corpo de prova estático, com o objetivo de causar danos ao mesmo e posteriormente analisar as consequências destes danos à integridade estrutural do material.

A importância desse impacto é mostrar o comportamento dos materiais sob a ação de cargas dinâmicas, o que geralmente difere do comportamento quando sujeitos às cargas estáticas. Um exemplo de aplicação é no caso de coletes balísticos ao serem atingidos por projéteis.

Este método de teste se caracteriza pelo baixo custo de confecção dos corpos de prova e por sua facilidade de realização, podendo ser realizado de duas maneiras diferentes: por pêndulo ou por queda de peso.

2.2.2.1. Pêndulo

Em uma máquina de pêndulo, existem dois métodos de realização de um ensaio de impacto, chamados Charpy e Izod, e servem para medir a energia do impacto. Em ambos os métodos, o corpo de prova possui um formato de uma seção quadrada e apresenta um entalhe em “V”. O que diferencia os dois métodos, é a maneira de sustentação do corpo de prova como pode ser observado na Figura 8. Segundo (Ruckert), no ensaio Charpy o CP é apoiado em dois batentes e o impacto ocorre na face oposta ao entalhe, e no Izod, uma das extremidades é engastada e o impacto ocorre na mesma face do entalhe.

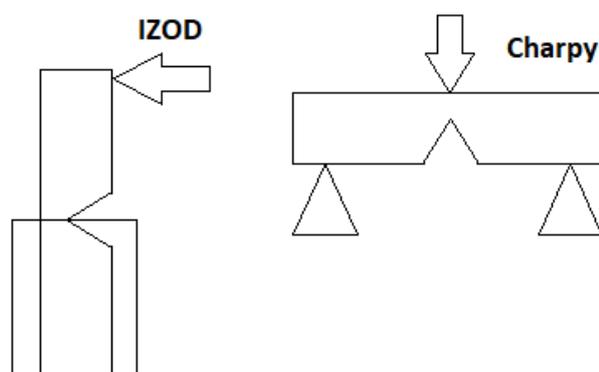


Figura 8 - Corpo de prova IZO D x Charpy

As máquinas de ensaio por pêndulo funcionam mensurando a diferença entre a energia potencial da massa em sua posição inicial e a energia cinética remanescente ao fim do teste,

que é indicada pelo ponteiro do equipamento. A diferença entre elas é a porção de energia que foi absorvida pelo corpo de prova durante o impacto, causando a fratura, como pode ser observado na Figura 9, retirada de (Zolin, 2011).

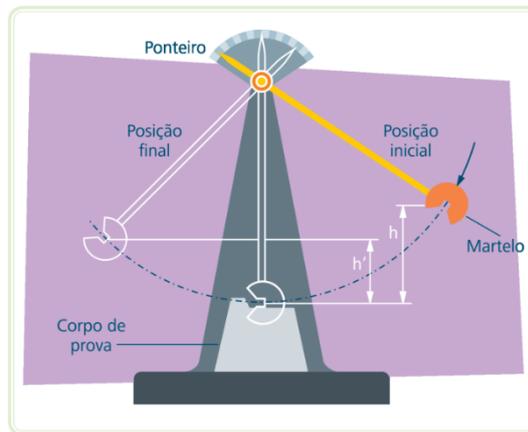


Figura 9 - Máquina de ensaio por pêndulo

Fonte: (Zolin, 2011)

2.2.2.2. Queda de peso

O ensaio por queda de peso surgiu da necessidade da compreensão das falhas frágeis em materiais dúcteis. Este ensaio permite que se conheça a temperatura de transição dúctil-frágil, algo que não é possível de se determinar através do emprego do ensaio com a técnica Charpy (LANCASTER, 1999).

Neste teste, uma massa impactante é liberada de uma certa altura, com o objetivo de atingir o corpo de prova com determinada energia. Existem dois métodos para a realização desse ensaio. A massa pode ser guiada por trilhos, como na Figura 10, ou abandonada através de um tubo guia.



Figura 10 - Máquina de ensaio por queda de peso

Fonte: Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/zwickroell-gmbh-co-kg/product-15660-505671.html>>

Quando a carga está suspensa ela possui uma energia potencial que será convertida em energia cinética assim que iniciar sua queda, e esta energia causará dano ao material, que se encontra na horizontal ao fim do trajeto da massa.

Em geral o ensaio de impacto não causa destruição completa da amostra de teste, permitindo que a energia conservada seja determinada se necessário. A velocidade incidente pode ser determinada a partir das equações de movimento.

Uma das vantagens em relação ao ensaio Charpy e Izod é a possibilidade de variar a geometria das amostras, permitindo que componentes complexos sejam testados.

Na indústria em geral é comum testes de impacto por queda de peso (*drop test*) para avaliar a resistência ao dano de uma estrutura ou produto ou mesmo de um material específico. Esse permite obter informações sobre as propriedades mecânicas na absorção da energia, resistência à fratura, mecanismo de falha e redução da resistência. O ajuste da energia de impacto é conseguido pela variação da massa do impactador e/ou da altura da sua queda. A velocidade de impacto é controlada pela altura da queda.

A norma ASTM D7136 determina a resistência ao dano em materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras em ensaios de impacto por queda de peso. As formas de material compósito são limitadas aos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra contínua, com espessuras variando entre 4 a 6 mm. Segundo a norma, uma placa retangular de

material compósito é sujeita a um impacto concentrado provocado por um peso ligado a um impactador semiesférico. A norma define ainda que o corpo de prova deve ter as dimensões de 100 x 150mm, como pode ser observado na Figura 11, pois este corpo de prova pode ser utilizado no ensaio CAI (Compressão após impacto) onde esse ensaio é utilizado para avaliar a resistência residual dos materiais compósitos após serem submetidos ao impacto de baixas velocidades.

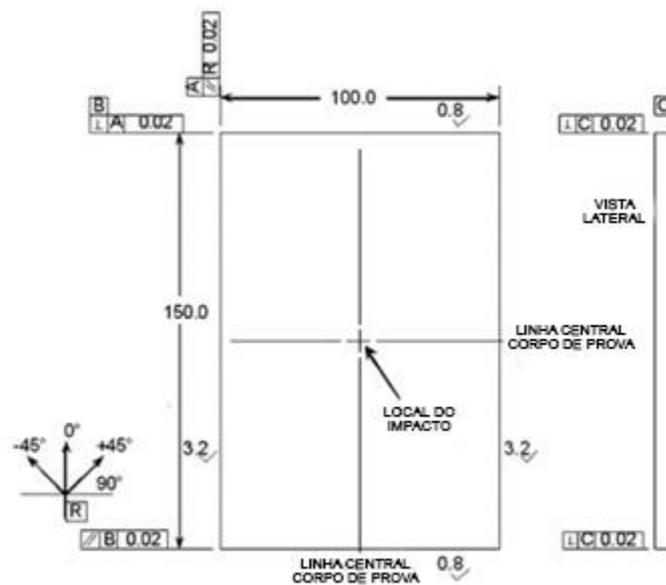


Figura 11 - Corpo de prova ASTM D7136

Fonte: (ASTM D7136/D7136M, 2005)

O teste de impacto pode ser compreendido por alguns aspectos. Primeiro o dano de impacto aparece em múltiplas formas de mecanismos de falha como, por exemplo: ruptura da fibra, ruptura na matriz e de laminação, podendo ocorrer em diferentes níveis de carregamento. No impacto estão envolvidos diferentes componentes de tensão e por isso os mecanismos de danos podem interagir entre si, mas geralmente um ou dois mecanismos são predominantes. Os mecanismos de danos são afetados, em diferentes níveis, por um grande número de fatores, como: massa do impactador, velocidade do impactador, tipo de fibra e matriz, tratamento interfacial, volume percentual de fibra, geometria do laminado, condições de contorno e tensões residuais.

A amostra após ser usinada passa por uma inspeção não destrutiva para detectar falhas ou defeitos que possam existir antes do impacto. Uma variedade de técnicas pode ser utilizada

para detectar falhas superficiais e interiores em compósitos. A inspeção visual e os métodos de penetração de líquidos podem ser usados para identificar defeitos de superfície, enquanto técnicas mais sofisticadas são necessárias para detectar falhas internas, como trincas, divisões e delaminações.

2.2.3. Materiais Compósitos

Por definição, um material compósito é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades” (CALLISTER, 2002, p. 359). Portanto, este tipo de material é produzido ao combinar-se sinergeticamente dois ou mais materiais, classificados de matriz ou reforço, obtendo um único produto com características superiores. Dentre os tipos de materiais compósitos sintéticos, podemos citar a fibra de carbono, de vidro, aramídica e boro. E dentre os naturais, estão as fibras de sisal, juta, etc.

2.2.3.1. Ensaio em compósitos

O ensaio em materiais compósitos é regido pela Norma ASTM D7136/D7136M-07 – “Método padrão para medir a resistência ao dano de impacto por queda de peso em um compósito de matriz polimérica reforçado por fibra”. Esta norma apresenta os requisitos técnicos para o ensaio por queda de peso em materiais compósitos, e será analisada mais a fundo posteriormente.

2.2.3.2. Tipos de falhas em compósitos

Segundo (*Modeling strategies of 3D woven composites: A review, 2011*), durante um carregamento de impacto, o lado impactado do compósito sofre compressão e comumente resultam nos modos de falha de compressão, cisalhamento e falha por tração. O lado oposto sofre de tensão devido aos efeitos da flexão e geralmente resultam no modo de falha por tração. Vale lembrar que falhas por flambagem são raramente observadas. No artigo citado anteriormente, os seguintes modos de falha foram identificados por vários pesquisadores:

- Modo de falha da matriz: Quando há quebra da matriz devido à tensão, compressão e cisalhamento.
- Modo de falha do reboque da fibra: Quando ocorre descolamento ou delaminação do reboque, divisão do reboque, descascamento e arrancamento do reboque devido à tensão, compressão e cisalhamento
- Modo de falha por delaminação: Quando há a descolagem entre camadas.

As condições de carga de impacto podem ser classificadas principalmente dentro de quatro classes, sendo elas: Perfuração; Impacto de baixa velocidade; Impacto de alta velocidade; Impacto balístico.

2.3. CARREGAMENTOS

O entendimento dos tipos de carregamento e dos modos de deformação associados a eles é de crucial importância para a análise e posterior classificação dos danos mecânicos causados a um objeto após um choque. Esta seção aborda os tipos de carregamentos e outros conceitos em torno deste assunto, dando ênfase ao carregamento dinâmico de impacto, que é o tipo de carregamento empregado pela máquina de testes.

2.3.1. Carregamento Estático e Dinâmico

Segundo (Azevedo, 2013), os tipos de carregamento existentes se dividem em: estático, quase estático, e dinâmico, sendo o último subdividido em carregamento variável no tempo e carregamento por impacto.

Nos carregamentos estático e quase estático, a carga não apresenta variações. O que difere os dois é a maneira como esta é aplicada. No estático a carga é aplicada gradativamente, enquanto que no quase estático, a carga é aplicada subitamente. Um carregamento estático pode ser representado por um diagrama de corpo livre como na Figura 12.

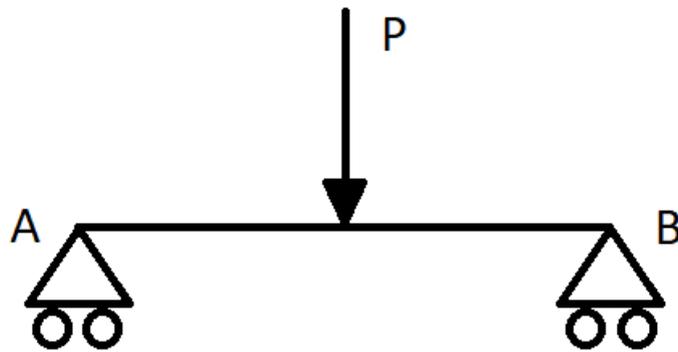


Figura 12 - Diagrama de corpo livre

O carregamento dinâmico é aquele em que o tempo é uma variável considerada na aplicação da carga, podendo ser esta constante ou apresentar variações. Como dito anteriormente, o carregamento dinâmico pode ser por impacto ou variável no tempo.

O carregamento variável no tempo ocorre quando a carga varia ao decorrer do tempo, causando tensões cíclicas que podem ocasionar em uma falha por fadiga no material.

Já no caso do carregamento dinâmico por impacto, a carga é aplicada subitamente através da colisão entre os corpos, o que pode gerar danos aos objetos. Um exemplo é a máquina de bate-estacas da Figura 13. Este é o tipo de carregamento utilizado pela máquina de testes que será projetada ao longo deste trabalho.



Figura 13 - Bate-estacas em operação

Fonte: Disponível em: <<https://www.totalconstrucao.com.br/bate-estaca/>>

As situações de impacto diferem de situações comuns de carregamento ao passo que, em aplicações usuais de engenharia, os materiais costumam operar dentro do limite de deformação elástica, mas a carga de impacto gera uma deformação plástica significativa. É possível prever a deformação de um material através de análises numéricas, mas na prática, isto é feito com o auxílio de instrumentação, como extensômetros.

2.3.2. Impactos em diferentes velocidades

2.3.2.1. Impacto de média velocidade

Segundo (Azevedo, 2017), os impactos de média velocidade são aqueles compreendidos entre os impactos de baixa e de alta velocidade. Esse tipo de impacto ocorre numa velocidade entre 10 e 100m/s. Esse tipo de impacto pode ocorrer no impacto de um taco de baseball contra a bola, em um carro que se choque contra pequenos detritos na estrada.

A importância desse método não é somente a caracterização do dano, mas também o estudo da dissipação da energia ao longo do corpo e o mecanismo de falha.

O tipo de equipamento utilizado para este ensaio geralmente é com armas de gás de alta pressão.

2.3.2.2. Impacto de baixa velocidade

(CANTWELL, 1991) classifica como de baixa velocidade impactos com velocidade até 10 m/s. Materiais compósitos são geralmente submetidos a danos causados por impactos de baixa velocidade. Muitas vezes o dano não é aparente na superfície, mas pode ser crítico em seu interior, reduzindo sua resistência residual e a vida útil da estrutura. Por isso, os testes de impacto deste tipo são conduzidos em aparelhos de queda de peso com impactos normais, e repetidos no centro da amostra de teste até a perfuração.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

3.1. INTRODUÇÃO

Inicialmente serão analisadas as limitações impostas à construção do protótipo como as limitações espaciais, referentes ao tipo de serviço solicitado, perfil de usuário do maquinário, baixo limite orçamentário e normas a serem seguidas.

Posteriormente será analisado cada subsistema presente nas máquinas de ensaio por queda de peso. O estudo será focado em analisar os diversos modelos de equipamentos disponíveis no mercado e definir qual a melhor maneira de implementar tais conceitos neste projeto.

Será feita uma ampla utilização do Software de modelagem tridimensional SolidWorks (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, EUA) para a realização de simulações numéricas e desenhos em 2D de boa precisão e qualidade, que estarão compilados no Apêndice B ao fim do trabalho.

3.2. LIMITAÇÕES

A primeira limitação que foi encontrada para o desenvolvimento do projeto é a física. Como o maquinário seria utilizado no Laboratório de adesão e adesivos (LADES) do CEFET/RJ. Após medições no local chegamos às seguintes dimensões máximas:

- Base: 1200 x 900mm
- Altura: 3000mm

Após conversas com a Professora Doina Mariana Banea sobre as necessidades de condições de contorno relativas à energia de impacto que seria necessária para que bons estudos pudessem ser feitos, chegamos ao seguinte alcance:

- Energia mínima de impacto: 1,4J
- Energia máxima de impacto: 130,0J

Para aumentar a confiabilidade do projeto foi acordado que toda parte relacionada ao

corpo de prova estaria seguindo a norma ASTM D7136, que será descrita posteriormente.

3.3. ENERGIA DE IMPACTO

Definidas as dimensões máximas da máquina e as energias de impacto requeridas para a operação, podem-se calcular as relações de massa e altura para garantir que a altura de rebote do impactador será suficiente para garantir o funcionamento do sistema anti-rebote.

A energia cinética do impacto é calculada em função da velocidade da massa no momento que antecede o choque. Como o impactador é abandonado com velocidade inicial nula, é mais conveniente calcular a energia em função da massa e da altura de queda, utilizando a energia potencial gravitacional, como visto na equação (2,5).

$$E_p = m * g * h \quad (2,5)$$

A aceleração gravitacional é considerada constante, e a energia utilizada para cálculo é a energia requerida para cada teste. Reorganizando a equação, podemos isolar as variáveis que serão analisadas, obtendo a equação (3,1).

$$m * h = \frac{E_p}{g} \quad (3,1)$$

A relação entre a massa e a altura de queda pode ser representada como um retângulo de área numericamente equivalente à razão entre energia solicitada e a aceleração da gravidade, como mostra a Figura 14.



Figura 14 - Relação de energia

Visto isso, a melhor relação entre massa e altura que podemos obter para atingir determinada energia é quando a figura representa um quadrado, pois atingirá a mesma área com o menor perímetro possível. Isto funciona na teoria, mas na prática, há a limitação física de 3m de altura para a máquina.

Além disso, deve-se levar em consideração que o conjunto do impactador não será abandonado da altura de 3m devido a outras necessidades do projeto, como a altura do suporte do CP e um espaço livre na parte superior da máquina para as roldanas. A altura máxima de cálculo considerada será de 2,0m.

3.3.1. Estudo dos Extremos

Para determinar a massa mínima e máxima, bem como a altura mínima e massa, deve-se fazer um estudo dos valores extremos de energia. O foco do estudo será projetar diversas combinações de massa e altura que resultem na energia de impacto desejada e então analisar e considerar qual combinação será mais eficaz dadas as limitações do projeto.

3.3.1.1. Energia Mínima de Impacto

A energia mínima de impacto imposta é 1,4J. Para visualizar as possibilidades de combinações de massa e altura e então selecionar a combinação mais adequada, foi montada a Tabela 1, que relaciona a curva da equação (3,1) com valores de altura de queda pré-determinados e a massa de impacto necessária para cada caso. A menor altura de queda a se considerar será de 0,5m para que haja uma altura de rebote razoável.

Tabela 1 - Relação de massa e altura para uma energia potencial de 1,4J

Energia 1,4J	
m (kg)	h (m)
0,285	0,5
0,238	0,6
0,204	0,7
0,178	0,8
0,159	0,9
0,143	1
0,130	1,1
0,119	1,2
0,110	1,3
0,102	1,4
0,095	1,5
0,089	1,6
0,084	1,7
0,079	1,8
0,075	1,9
0,071	2

Para uma melhor visualização de como é o comportamento da curva de energia, foi elaborado o gráfico da Figura 15:

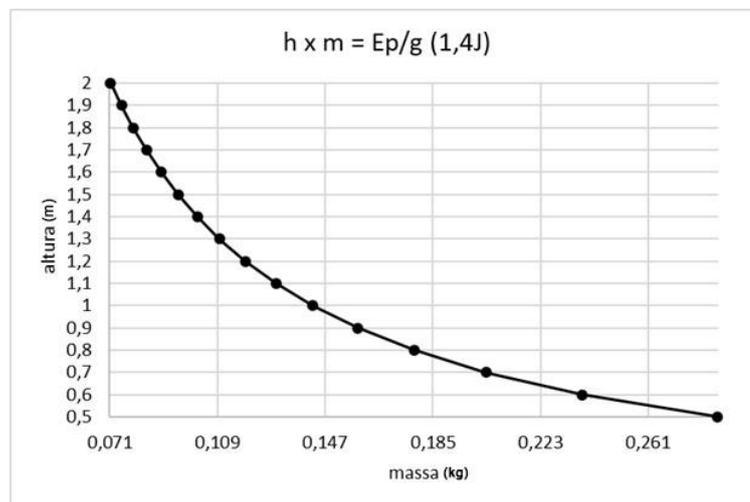


Figura 15 - Gráfico de Energia 1,4J

Para fins de projeto, seria ideal utilizar uma combinação da menor massa e maior altura, para se obter a melhor altura de rebote e oferecer folga para o sistema anti-rebote atuar, impedindo impactos subsequentes no corpo de prova. Porém, a menor massa que pode ser

empregada é a massa do subsistema de peso de impacto sem nenhuma carga adicional. Quanto maior a massa deste, menor deverá ser a altura de queda, resultando em uma menor altura de rebote.

Isso impõe mais uma limitação ao projeto, já que a altura de rebote precisa ter um valor mínimo para que o sistema anti-rebote entre em ação. Ao considerar a altura mínima de abandono do impactador como 0,5m, o gráfico indica que a massa máxima a ser empregada para obtenção dos 1,4J de energia de impacto é de 0,285kg ou 285g, que deverá ser a massa máxima do subsistema do peso de impacto descarregado.

3.3.1.2. Energia Máxima de Impacto

A energia máxima para a máquina será de 130J, e para determinar a massa e altura, foi feito o mesmo processo anterior. A Tabela 2 demonstra as relações de massa e altura em função da curva da razão energia/gravidade.

Tabela 2 - Relação de massa e altura para uma energia potencial de 130J

Energia 130J	
m (kg)	h (m)
26,504	0,5
22,086	0,6
18,931	0,7
16,565	0,8
14,724	0,9
13,252	1
12,047	1,1
11,043	1,2
10,194	1,3
9,466	1,4
8,835	1,5
8,282	1,6
7,795	1,7
7,362	1,8
6,975	1,9
6,626	2

E o gráfico da Figura 16 mostra a curva em relação aos eixos de massa e altura:

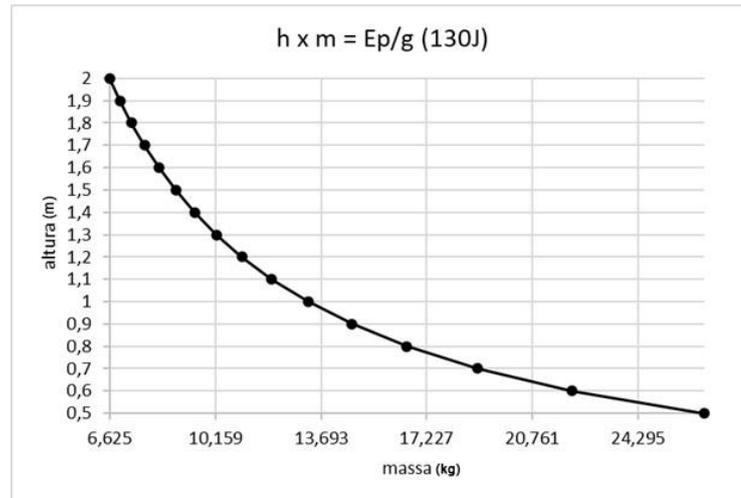


Figura 16 - Gráfico de Energia 130J

Com estas informações pode-se analisar que para a mesma altura de queda de 0,5m utilizada na energia mínima, seria necessária uma massa de aproximadamente 26,5kg. Para reduzir esta massa, será utilizada uma altura maior.

Ao analisar as possíveis combinações, percebe-se que a opção mais conveniente a se utilizar é a liberação de uma massa de 7,362kg a uma altura de 1,8m pois esta configuração atinge a energia requerida deixando um certo espaço físico de folga para ser utilizado pelos outros subsistemas da máquina.

3.3.2. Conclusões

Após análises, foram definidos as massas e alturas máximas e mínimas teóricas necessárias para se obter as energias solicitadas, que são representadas na Tabela 3:

Tabela 3 - Máximos e mínimos de altura e massa calculados

m (kg)	h (m)	Ep
0,285	0,5	1,40
7,362	1,8	130,0

De acordo com estudos de materiais, produzir um conjunto de impactador com essa massa é um desafio de engenharia. Realisticamente, foi projetado um conjunto de impactador feito de fibra de carbono que será apresentado posteriormente neste trabalho e que possui uma massa de aproximadamente 335g. Este é o valor da massa que será adotada na Tabela 4.

Ademais, o valor da massa máxima do sistema também foi ajustado para que se possa utilizar sete massas de 1kg cada, obtendo assim uma boa variedade de energias de impacto.

Tabela 4 - Máximos e mínimos de altura e massa reais

m (kg)	h (m)	Ep
0,335	0,5	1,64
7,335	1,8	129,52

Nota-se uma pequena discrepância nos valores da energia gerada, porém, ao realizar uma comparação com os valores iniciais de projeto, nota-se que a diferença nos valores de energia é tolerável. A máquina operará então com um valor base de 335g e podendo adicionar até 7 massas de 1kg cada para se obter o valor máximo de energia.

As possibilidades de operação da máquina, considerando um ajuste de altura de 0,1m por vez, são representadas na Tabela 5, que deverá permanecer afixada na máquina para conveniência do operador:

Tabela 5 - Tabela de Operação

massa (kg)	altura (m)	energia (J)	massa (kg)	altura (m)	energia (J)	massa (kg)	altura (m)	energia (J)	massa (kg)	altura (m)	energia (J)
0,335	0,5	1,64	1,335	0,5	6,55	2,335	0,5	11,45	3,335	0,5	16,36
	0,6	1,97		0,6	7,86		0,6	13,74		0,6	19,63
	0,7	2,30		0,7	9,17		0,7	16,03		0,7	22,90
	0,8	2,63		0,8	10,48		0,8	18,33		0,8	26,17
	0,9	2,96		0,9	11,79		0,9	20,62		0,9	29,44
	1	3,29		1	13,10		1	22,91		1	32,72
	1,1	3,61		1,1	14,41		1,1	25,20		1,1	35,99
	1,2	3,94		1,2	15,72		1,2	27,49		1,2	39,26
	1,3	4,27		1,3	17,03		1,3	29,78		1,3	42,53
	1,4	4,60		1,4	18,33		1,4	32,07		1,4	45,80
1,5	4,93	1,5	19,64	1,5	34,36	1,5	49,07				
1,6	5,26	1,6	20,95	1,6	36,65	1,6	52,35				
1,7	5,59	1,7	22,26	1,7	38,94	1,7	55,62				
1,8	5,92	1,8	23,57	1,8	41,23	1,8	58,89				
4,335	0,5	21,26	5,335	0,5	26,17	6,335	0,5	31,07	7,335	0,5	35,98
	0,6	25,52		0,6	31,40		0,6	37,29		0,6	43,17
	0,7	29,77		0,7	36,64		0,7	43,50		0,7	50,37
	0,8	34,02		0,8	41,87		0,8	49,72		0,8	57,57
	0,9	38,27		0,9	47,10		0,9	55,93		0,9	64,76
	1	42,53		1	52,34		1	62,15		1	71,96
	1,1	46,78		1,1	57,57		1,1	68,36		1,1	79,15
	1,2	51,03		1,2	62,80		1,2	74,58		1,2	86,35
	1,3	55,28		1,3	68,04		1,3	80,79		1,3	93,54
	1,4	59,54		1,4	73,27		1,4	87,00		1,4	100,74
1,5	63,79	1,5	78,50	1,5	93,22	1,5	107,93				
1,6	68,04	1,6	83,74	1,6	99,43	1,6	115,13				
1,7	72,29	1,7	88,97	1,7	105,65	1,7	122,33				
1,8	76,55	1,8	94,21	1,8	111,86	1,8	129,52				

De acordo com o gradiente de cores, nota-se que alguns valores se repetem diagonalmente, como detalhado na Tabela 6. Para se obter 68J de energia, pode-se combinar 4,335kg abandonado a 1,6m ou então 5,335kg a 1,3m. Nestes casos, deve-se prezar pela utilização da menor massa com a maior altura, para garantir maior altura de rebote e menor dissipação de energia.

Tabela 6 - Detalhamento dos valores de energia

1,64	6,55	11,45	16,36	21,26	26,17	31,07	35,98
1,97	7,86	13,74	19,63	25,52	31,40	37,29	43,17
2,30	9,17	16,03	22,90	29,77	36,64	43,50	50,37
2,63	10,48	18,33	26,17	34,02	41,87	49,72	57,57
2,96	11,79	20,62	29,44	38,27	47,10	55,93	64,76
3,29	13,10	22,91	32,72	42,53	52,34	62,15	71,96
3,61	14,41	25,20	35,99	46,78	57,57	68,36	79,15
3,94	15,72	27,49	39,26	51,03	62,80	74,58	86,35
4,27	17,03	29,78	42,53	55,28	68,04	80,79	93,54
4,60	18,33	32,07	45,80	59,54	73,27	87,00	100,74
4,93	19,64	34,36	49,07	63,79	78,50	93,22	107,93
5,26	20,95	36,65	52,35	68,04	83,74	99,43	115,13
5,59	22,26	38,94	55,62	72,29	88,97	105,65	122,33
5,92	23,57	41,23	58,89	76,55	94,21	111,86	129,52

3.3.2.1. Nota sobre a calibragem

Após a produção e implementação da máquina, a energia obtida experimentalmente não será a mesma projetada. Isso se deve por conta da ação de forças dissipativas como a resistência do ar, atrito das roldanas e das hastes guias. As forças dissipativas atuarão reduzindo a energia mecânica do sistema durante a queda, fazendo com que a energia de impacto seja menor do que a esperada. Isso poderá causar inconsistências nos testes caso seja negligenciado.

Para que isso seja corrigido, a máquina deverá ser calibrada através da medição da velocidade de queda no momento anterior ao impacto para que se possa então calcular a energia cinética obtida na prática. Medir a energia cinética ao invés de projetar a energia potencial gravitacional traz benefícios, pois a projeção da energia potencial desconsidera a ação de forças dissipativas. Esta medição poderá ser realizada através do sistema de instrumentação descrito posteriormente neste projeto, ou então com a implementação de um medidor de energia.

Ademais, caso hajam discrepâncias entre a energia projetada e a obtida, deverá ser adicionada uma carga de compensação que seja suficiente para suprir o déficit de energia cinética no momento do impacto, ou então corrigir a tabela de energias apresentada anteriormente de acordo com os resultados experimentais.

3.4. PROJETO DOS SUBSISTEMAS

A máquina será capaz de atender as necessidades do CEFET/RJ, levando em consideração todas as particularidades de uma instituição de ensino. Dito isto, a máquina apresentará características como:

- Baixo custo de manutenção e fácil manuseio, pois será amplamente utilizada por alunos, que possuem pouca ou nenhuma experiência com esse tipo de equipamento;
- Baixo custo de fabricação e fácil acesso às peças utilizadas, por conta da pouca verba disponibilizada pelo governo;
- Estar dentro dos parâmetros dimensionais disponíveis no ambiente onde a máquina será instalada e utilizada;

Nessa etapa, será analisada cada parte de uma máquina de ensaio no estilo “Drop Weight” e serão apresentadas suas possíveis variações, para que possa ser escolhida dentre elas a que melhor se adequa ao propósito do projeto.

3.4.1. Subsistema Estrutural

Todo o projeto estrutural da máquina deve ser feito com materiais que possam ser facilmente encontrados no mercado e que possuam baixo custo. Por não ser uma estrutura grande que exija grandes trabalhos mecânicos podemos usar perfis de diferentes dimensões de Aço SAE 1020, como exemplificado na Figura 17, de acordo com a necessidade local que possam ser fixados por parafusos.

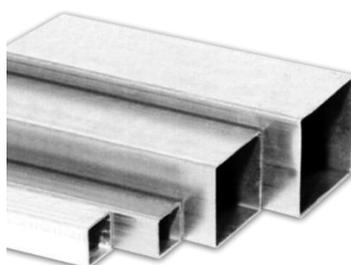


Figura 17 - Diferentes Perfis Aço SAE 1020

Fonte: Disponível em: <<http://www.deltaacos.com.br/produtos/tubos/tubos-quadrados-sae-1010-1020/>>

Além de facilitar a manutenção e troca de peças caso seja necessário, dessa forma o projeto terá uma estrutura de baixo custo, o que possibilita destinar maior verba para subsistemas que exigem maior refino.

Foi esboçada uma estrutura onde posteriormente serão acoplados os demais subsistemas do projeto. A estrutura foi inicialmente montada de perfis retangulares de 2''x1'' e 2mm de espessura por serem facilmente encontradas no mercado e possuírem boa resistência, porém poderá ser futuramente alterada caso suas propriedades não sejam suficientes para a operação de um sistema confiável.

Na Figura 18 podemos observar a montagem desses perfis, onde foi priorizada a fixação de componentes por meio de parafusos ao invés de uniões soldadas, facilitando dessa forma a troca de partes específicas caso seja necessário.



Figura 18 – Estrutura

Vale ainda observar que toda a furação foi padronizada com 10mm de diâmetro para que não haja a necessidade da utilização de parafusos diferentes ao longo da estrutura.

Todo o conjunto estrutural montado possui uma massa total de 24,82kg.

3.4.2. Subsistema Fixação da Estrutura da Máquina no Solo

Alguns fatores como equipamento desnivelado, vibração da estrutura, saltos da base após a ocorrência do impacto podem influenciar nos resultados provenientes do ensaio. Por isso esse subsistema tem a função principal de eliminar ou ao menos reduzir o máximo possível esse fenômeno. Vale ressaltar que quanto maior for a energia de impacto, maior deve ser a rigidez da estrutura, de forma que o ensaio não tenha influência dos problemas expostos.

Foi realizada uma breve pesquisa de mercado para visualizarmos como esse problema é resolvido pela maior parte das empresas especializadas no ramo. Foram encontradas basicamente 4 tipos de fixação da máquina no solo.

A Instron CEAST 9350 padrão utiliza o princípio de solução FE1. Este equipamento realiza ensaios de alta energia, podendo ser considerado confiável em um ensaio de até 1800 Joules. Nessa máquina é utilizado um amortecedor de vibração para que a estrutura seja apoiada no solo.

Os outros sistemas de fixação estudados foram o FE2, FE3 e FE4, desenvolvidos na Universidade de Bolonha na Itália, Faculdade de Engenharia Mecânica e Aeroespacial da Indonésia e na Universidade Técnica de Praga, respectivamente. Ambos os sistemas são de bom desempenho, porém não foram levados em consideração e estudados a fundo pois possuem uma característica em comum que não se adequariam ao presente caso. Esses sistemas são sistemas fixados ao solo por meio de parafusos, concreto e sem nenhum apoio, de forma que o maquinário ficaria restrito ao lugar que foi inicialmente posicionado, perdendo completamente sua mobilidade, perdendo assim o objetivo do desenvolvimento de um projeto que possa ser facilmente manuseado. A Tabela 7 relaciona os tipos de estrutura pesquisados.

Tabela 7 - Subsistema Fixação da estrutura da máquina no solo usuais

Equipamento	Imagem	Princípio de Solução
Instron CEAST 9350		FE1 – Estrutura da máquina com amortecedores de vibrações.
Universidade de Bolonha, Itália – (Ghelli e Minak, 2011)		FE2 – Estrutura fixada no solo com parafusos
Faculdade de Engenharia Mecânica e Aeroespacial, Indonésia (Gunawan et al, 2011)		FE3 – Estrutura fixada no solo com concreto.
Universidade Técnica de Praga – (Kucera, 2008)		FE4 – Estrutura sem fixação com o solo.

Fonte: (JUNIOR, 2014)

Tendo em vista que a máquina a ser desenvolvida deve atender a uma energia máxima de impacto de até 130 Joules, o mecanismo FE1, utilizado na Instron CEAST 9350 atenderia de forma suficiente o que foi solicitado do projeto. Na Figura 19 podemos ver de forma mais nítida como seria um amortecedor de vibrações.



Figura 19 - Amortecedor de vibrações

Fonte: Disponível em: <<https://www.vibra-stop.com.br/produto/linha-tradicional>>

Segundo o site da Fabricante (Vibra Stop), o amortecedor de impacto mais simples disponível trata-se do modelo “MAC”, que suporta uma carga estática de até 200kg e uma carga dinâmica de até 800kg por peça. Logo, o modelo mais simples disponível pode operara em condições muito acima do exigido pelo sistema, como podemos observar na Figura 20, abaixo.



Figura 20 - Amortecedor de Vibrações MAC

Fonte: Disponível em: <<https://www.vibra-stop.com.br/produto/linha-tradicional>>

3.4.3. Subsistema de Apoio ao Corpo de Prova

A base da máquina deve ser uma estrutura rígida que seja resistente o suficiente para não se deformar devido aos constantes impactos sofridos durante a realização dos ensaios e ainda vibrar o mínimo possível para que isso não influencie nos resultados obtidos.

Assim como foi descrito nas limitações de projeto o sistema de apoio ao corpo de prova deve estar de acordo com a norma ASTM D7136. Deve ser fabricada com chapa de alumínio

ou aço, com barras cilíndricas de alumínio e a fixação desses componentes deve ser feita através de parafusos. A base deverá ainda possuir uma abertura no centro para caso o impactador perfure o corpo de prova. Esse subsistema está exemplificado na Figura 21.

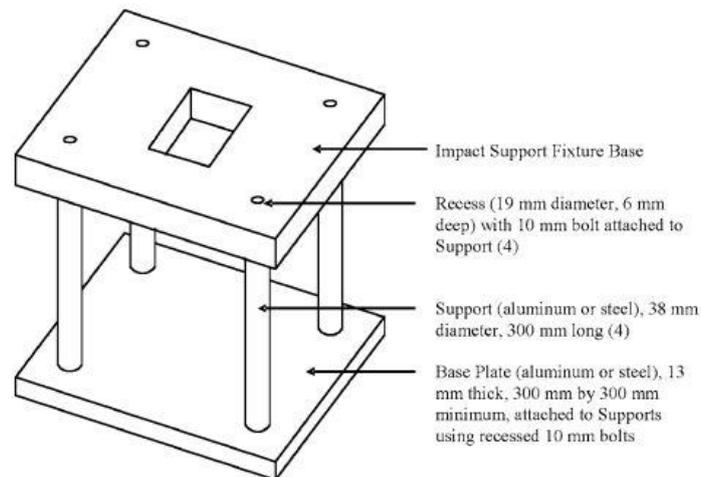


Figura 21 - Base de fixação de acordo com a norma ASTM D136

Fonte: (ASTM D7136/D7136M, 2005)

A placa a ser projetada pelo grupo segue exatamente o proposto pela Norma citada no presente capítulo. Será inicialmente fabricada em liga de Alumínio 1060 devido ao seu baixo custo, boa usinabilidade e por não sofrer de grandes esforços de trabalho. Porém podendo ser posteriormente alterada caso se avalie necessário.

O Subsistema de Apoio do Corpo de prova, exemplificado na Figura 22, seguindo as dimensões propostas em norma e feito em liga de Alumínio 1060, terá uma massa em torno de 9,804 kg. O que torna esse subsistema bastante portátil para um laboratório universitário, além de ser desmontável por se tratar de um sistema travado por parafusos, onde os furos nas chapas são lisos e os furos nas hastes, roscados.

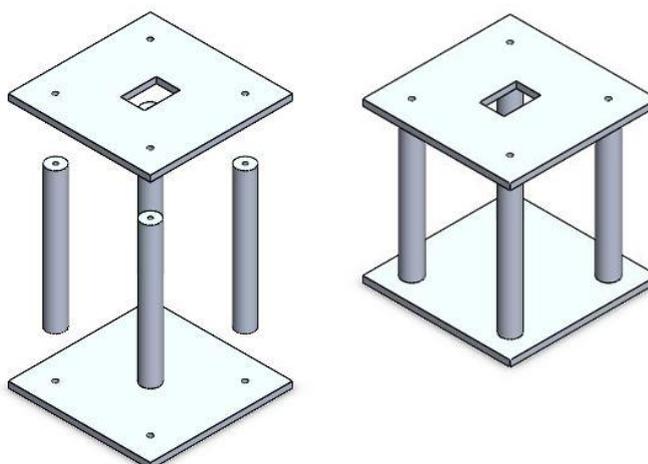


Figura 22 - Projeto do Subsistema de fixação do corpo de prova
Apendice B – Folha 4 e Folha 5

O vão no centro da placa foi dimensionado com 75 x 125mm de acordo com a medida proposta por norma, restando assim uma faixa suficiente para apoio do corpo de prova, sem impedir que o impactador toque a placa caso o corpo de prova seja rompido.

3.4.4. Subsistema de Fixação do Corpo de Prova

O sistema de fixação do corpo de prova tem como objetivo não permitir a movimentação do corpo de prova durante o ensaio. O fixador deve ser de fácil ajuste e não poderá se mover e nem danificar o corpo de prova antes, durante e após o ensaio.

A Norma ASTM D7136, propõe que o corpo de prova seja fixado ao subsistema de apoio do corpo de prova por meio de quatro grampos de forma que ao serem acionados o corpo de prova ficaria totalmente imóvel. Os grampos, que podem ser observados na Figura 23, devem ter uma capacidade de suportar uma força de 1100N (200lbf), devem ser possuir suas ponteiros feitas de borracha em neoprene e uma dureza entre 70 e 80 Shore.

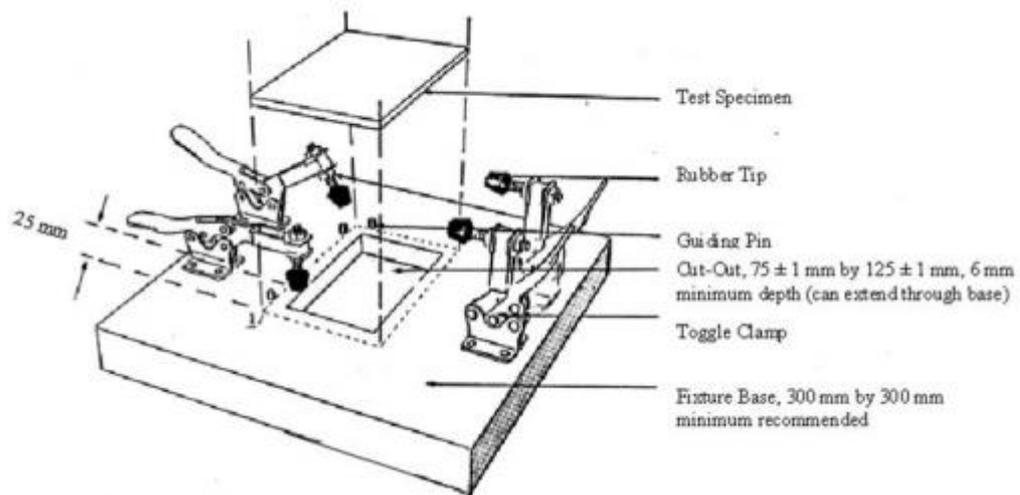


Figura 23 - Proposta de Fixadores Norma ASTM D7136

No site Mc MASTER-CARR foi encontrado o item (McMaster), que pode ser observado na Figura 24, que possui as especificações descritas pela norma e custa aproximadamente US\$ 14,68. Dessa forma, a utilização desta peça é adequada ao presente subsistema.

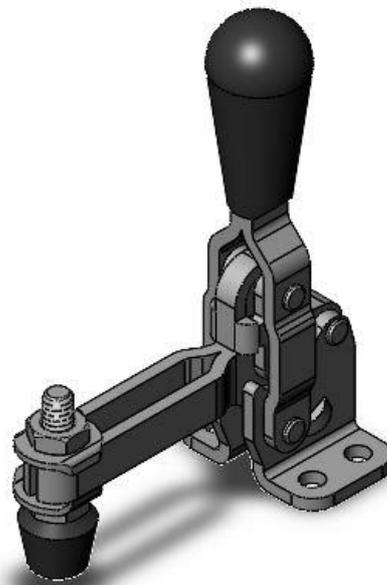


Figura 24 - Grampo de fixação do corpo de provas

Serão abertos 16 furos com rosca M5 x 0,8 no “Subsistema de Apoio do Corpo de prova” para que os grampos possam ser aparafusados por parafusos Allen no sistema e podendo dessa forma, executar a função para que foram instalados. Na Figura 25, podemos observar de forma

completa, como os dois subsistemas em conjunto atuam.

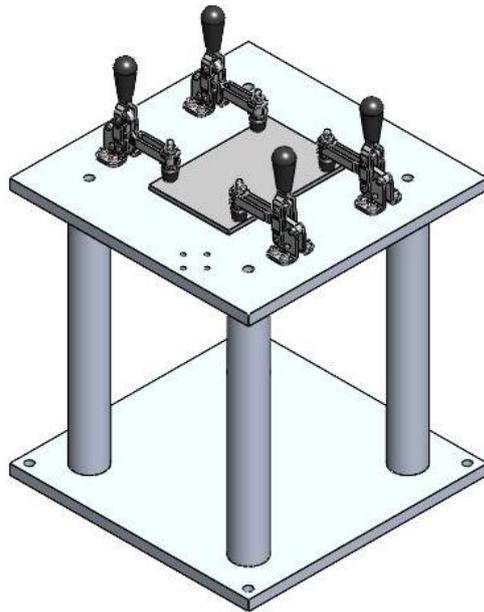


Figura 25 - Conjunto de Suporte e Fixação do corpo de prova

3.4.5. Subsistema de Guias de Deslizamento

A função da guia de deslizamento é orientar o impactador em direção ao corpo de prova. Vale-se lembrar que o atrito entre as partes deslizantes deve ser o menor possível para que a perda de carga durante a queda seja minimizada.

A Norma ASTM D7136 sugere dois diferentes tipos para este sistema. O primeiro consiste em um impactador que é abandonado no interior de um tubo guia, posicionado de maneira que possa guiar o impactador até o centro do corpo de prova, como pode ser observado na Figura 26. A aplicação deste tipo de máquina é pouco usual, sendo utilizado normalmente para testes em materiais plásticos.

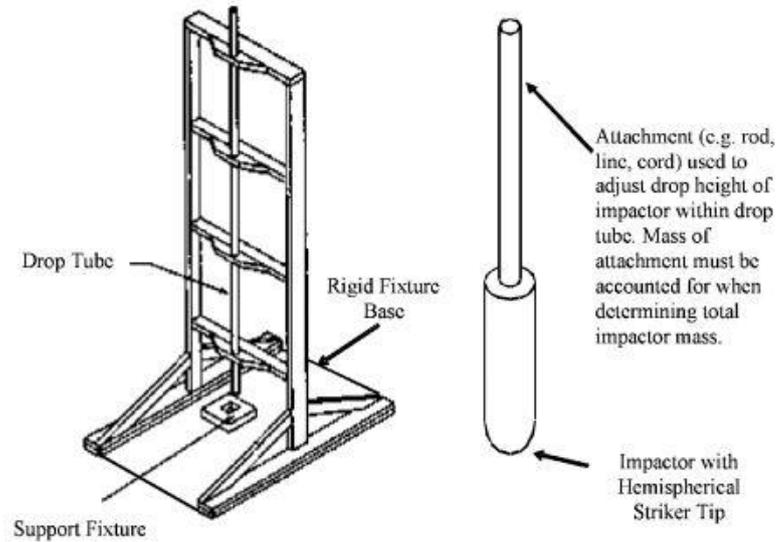


Figura 26 - Impactador em tubo guia

Fonte: (ASTM D7136/D7136M, 2005)

O segundo tipo de sistema para guia de deslizamento segundo a Norma ASTM D7136, consiste em duas colunas guias para um impactador acoplado entre elas, como pode ser observado na Figura 27. Essas guias são fixadas por parafusos na base e na estrutura superior do equipamento. Esse tipo de sistema permite que pesos sejam fixados ao impactador, permitindo assim que consigamos variar a energia de impacto.

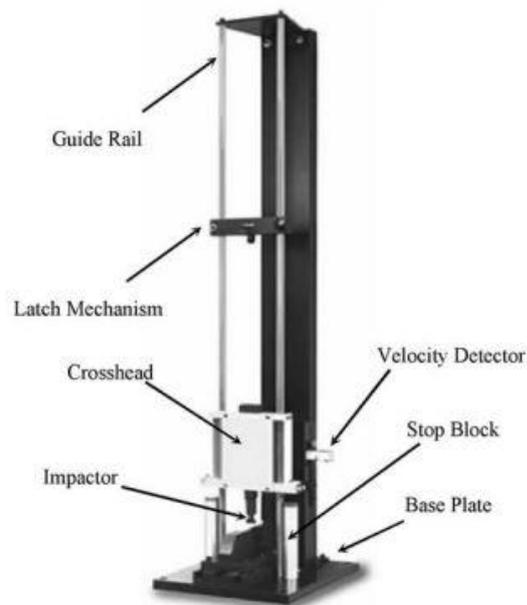


Figura 27 - Duas colunas guias de deslizamento

Fonte: (ASTM D7136/D7136M, 2005)

Principalmente pelo fato de o segundo modelo permitir que consigamos variar a carga durante os ensaios, o mesmo foi escolhido. A maioria das máquinas de ensaio disponíveis no mercado também utilizam esse método, o que traz uma segurança ainda maior para o projeto.

Seguindo os padrões citados, foram utilizadas 2 hastes de aço SAE 1020 de 1/2" de diâmetro e 2mm de espessura, que servirão como guias durante a queda do impactador. Cada extremidade dessa haste terá embutida uma peça que será fixada à estrutura para proporcionar maior rigidez ao sistema.

Na Figura 28 pode-se observar tanto o sistema de haste guia acoplado apenas à estrutura da máquina, como também com os subsistemas de apoio de fixação do corpo de prova.

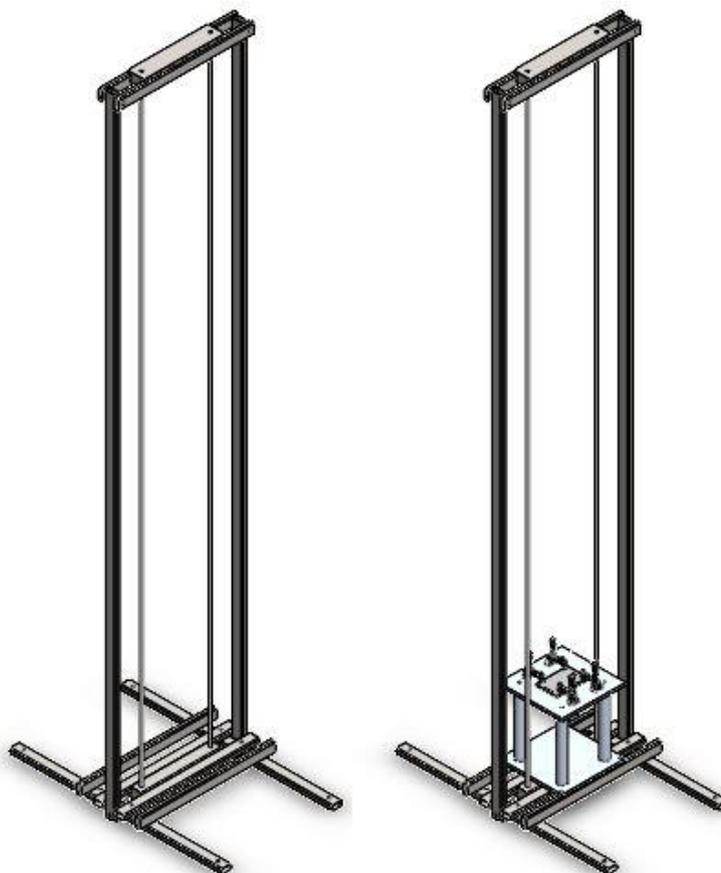


Figura 28 - Conjunto Estrutura, Hastes e apoio do CP

Apendice B – Folha 3

É bom ressaltar que as imagens presentes durante o desenvolvimento do projeto possuem finalidade de transmitir uma melhor visualização e entendimento do leitor ao decorrer

da leitura e que todas as dimensões e desenhos técnicos de cada componente estarão devidamente explicitados ao final do relatório.

3.4.6. Subsistema Peso de Impacto

O subsistema de pesos de impacto é o maior responsável pela energia de impacto que será transferida posteriormente ao corpo de prova. Assim como foi definido no Capítulo 2, na equação (2,5), a energia potencial gerada por esse sistema dependerá da massa e da altura de onde o peso será liberado. Como no LADES possuímos a limitação de 3m para a altura total do maquinário, é primordial que se possa variar o peso de impacto.

Após uma pesquisa de mercado foram constatados 2 principais tipos de peso de impacto que se adequem as limitações propostas. O primeiro, encontrado na Instron CEAST 9310, que utiliza pesos cilíndricos posicionados acima do impactador, como se pode observar na Figura 29.



Figura 29 – Instron CEAST 9310

Fonte: Disponível em: < <https://www.directindustry.com/prod/instron/product-18463-428490.html> >

O segundo modelo, adotado pela Instron CEAST 9340, é semelhante ao citado anteriormente, mas diferem no formato dos pesos. A máquina 9340 utiliza pesos retangulares, como pode ser observado na Figura 30.



Figura 30 - Instron CEAST 9340

Fonte: Disponível em: < <https://www.instron.com/en-us/products/testing-systems/out-of-production-systems/impact-drop-towers-and-pendulums>>

Como ambos modelos permitem que a carga seja variável, qualquer um dentre eles se adequaria ao projeto. Porém o segundo modelo foi o escolhido pelo formato de seus pesos. Um formato retangular permite um melhor aproveitamento do espaço sobre o impactador.

Como descrito no Capítulo 3.3.2, serão usados 7 pesos de 1kg cada um, para que se alcancem os valores descritos na Tabela 5. O peso de impacto será feito em chumbo por possui um baixo custo e uma alta densidade. Como a temperatura de fusão do chumbo é de 327,5°C, o processo de fabricação mais adequado seria o de fundição. A geometria do peso consta na Figura 31.



Figura 31 – Pesos
Apendice B – Folha 11

Segundo o artigo (LUZ, 2018), a densidade (ρ) do aço Chumbo é 11,34 g/cm³.

O peso de impacto dimensionado para o sistema de impacto possui 300mm de comprimento, 30mm de espessura e 10mm de altura. Possui um furo central na peça com ½” de diâmetro e chanfros de 1mm com 45° ao longo de seu contorno e um rebaixo representando o nome da instituição, como pode ser observado na Figura 31. Gerando um volume total de 87,96 cm³.

Logo, teremos uma por peça igual à:

$$\begin{aligned}m &= \rho * V \\m &= 11,34 * 87,96 \\m &= \rho * V = 997,5 \text{ g} \\m &\cong 1 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dessa forma chegou-se a conclusão que o projeto do subsistema do peso de impacto está perfeitamente de acordo com o objetivo do projeto.

3.4.7. Subsistema Impactador

O impactador é a interface entre os pesos de impacto e o corpo de prova. O impactador irá desferir um grande número de impactos sobre diversos corpos de prova, logo deve ser rígido o suficiente para não se deformar com os impactos cíclicos.

Segundo a norma ASTM D7136, o impactador deve conter uma ponta semiesférica lisa com 16mm de diâmetro, a massa deve ser de aproximadamente 5,5kg e a dureza entre 60 e 62HC. Durante a pesquisa de mercado constatou-se que uma parcela considerável disponível, utilizam desse mesmo padrão que pode ser observada na Figura 32.

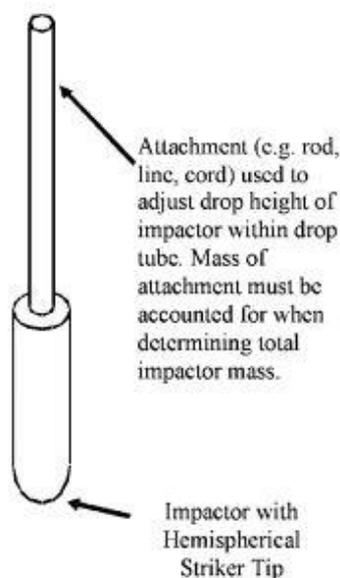


Figura 32 - Impactador Norma ASTM D7136

Fonte: (ASTM D7136/D7136M, 2005)

O modelo possui ainda outras características que se adequam ao projeto. Por possuir uma estrutura simples ao se comparados aos outros disponíveis no mercado possui um baixo custo e uma fácil fabricação.

Porém pelas condições do projeto há a necessidade da redução na massa indicada na norma, para que o mesmo atenda as condições de serviço necessária.

Um dos maiores desafios do projeto era encontrar alguma forma que o impactador tivesse uma massa próxima de 300g, uma dureza cerca de 60HRC e ainda possuísse uma boa resistência para que não chegue à ruptura durante a execução dos ensaios.

A proposta então é a construção de um impactador composto por 3 peças.

A primeira peça, representada em Vermelho na Figura 33, é o corpo sobre o qual serão apoiados os pesos. Em cada extremidade do corpo existem furos por onde passarão as hastes guias, impedindo a rotação durante a execução do ensaio. A peça será fabricada com um compósito de fibra de carbono para que atenda a restrição de massa e ainda assim possua uma resistência acima da necessária para o estudo.

Além disso, no centro da peça em vermelho haverá um furo por onde passará a peça 2 (representada em azul) que também será feito em fibra de carbono. Esse corpo possui duas finalidades. A primeira é servir como encaixe para as massas adicionais, travando-as com o auxílio de um componente fixado através de uma rosca na parte superior da peça, trazendo

simplicidade ao ensaio. A segunda é a parte inferior, que é a parte que fará contato com o corpo de prova durante o impacto.

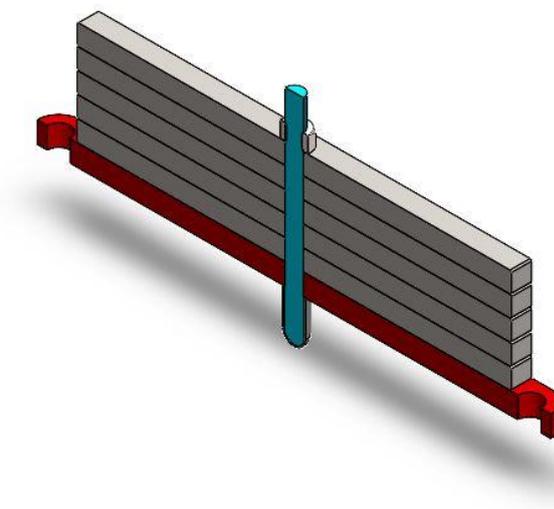


Figura 33 - Conjunto do impactador

Como a fibra de carbono é um material que apesar de muito resistente, possui uma dureza abaixo do exigido por norma. Segundo o estudo (Polímeros – Fibra de Carbono: Propriedades mecânicas, químicas, processo de fabricação e as dificuldades de aplicação em larga escala, 2016), a maior dureza alcançada durante os ensaios foi de 129 Brinell.

Como o ponto crítico onde essa dureza precisa estar próxima a 60 HRC é na ponta do impactador, pois é onde acontecem recorrentes impactos, a solução proposta é que seja utilizada uma “Capa” de Aço SAE 4140, como na Figura 34, que possui entre 55 e 60HRC de dureza.

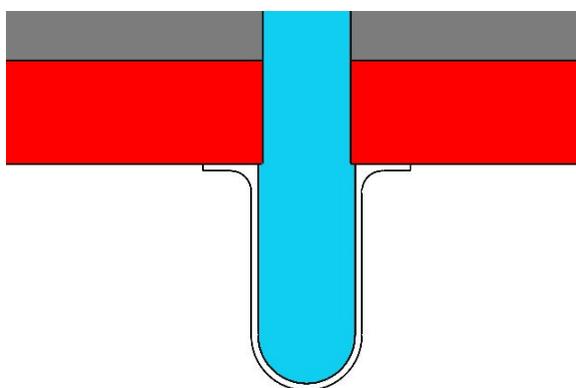


Figura 34 - Capa para impactador

A união entre as partes será feita por meio de uma junta adesiva descrita na seção seguinte.

Outro ponto importante a se destacar é que se optou pela utilização de uma bucha de bronze grafitado, também conhecido como bronze auto-lubrificante. A bucha exibida na Figura 35 fará a separação entre o corpo ilustrado em vermelho e as hastes guias.

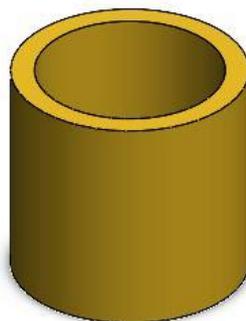


Figura 35 - Bucha de bronze grafitado

Apendice B – Folha 10

Essa a escolha passa por 2 principais vantagens:

1. O bronze grafitado, por conta de seu processo de fabricação (sinterização) possui uma característica de auto-lubrificação permanente. Dessa forma diminui-se o atrito entre o impactador e as hastes, dissipando menos energia e possibilitando uma melhor precisão de análises.
2. O valor do bronze grafitado é muito inferior ao de um compósito de fibra de carbono, e ao fazer a utilização dessas buchas podemos realizar apenas a troca das mesmas quando forem desgastadas com o tempo, diminuindo assim gastos futuros em manutenção.

O valor desse subsistema realmente ficará acima dos demais, mas por ser um dos pontos mais críticos do sistema, acredita-se que o investimento é válido. Dessa forma foi construído um conjunto que possui aproximadamente 333,13g (dado retirado do SolidWorks), possui cerca de 60 HRC de dureza e 16mm de diâmetro na esfera onde o impacto de fato ocorre. Na Figura 36 podemos ver o subsistema completo da sua forma final com e sem peso para um melhor entendimento

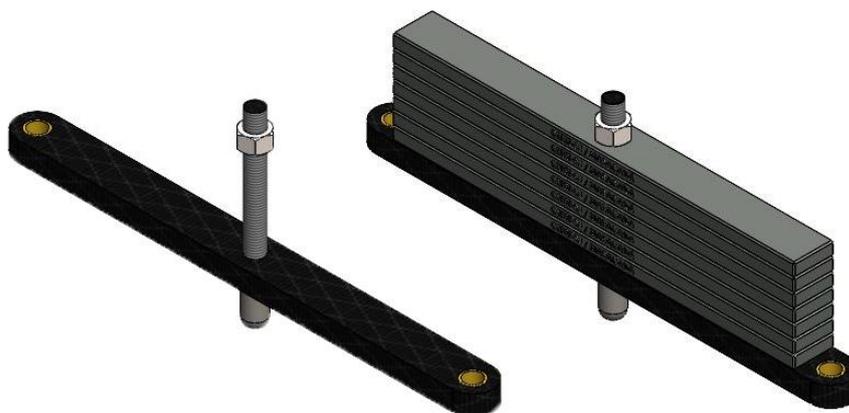


Figura 36 - Subsistema do conjunto do impactador
Apendice B – Folha 8 e Folha 9

3.4.7.1. Estudo da Junta Adesiva da Capa do Impactador

Um material compósito pode ser unido a outro material através da utilização de juntas adesivas. Estes materiais podem ser unidos a outros compósitos, plásticos ou metais. Caso o adesivo seja corretamente selecionado, a junta resultante apresentará propriedades mecânicas superiores às propriedades dos materiais isoladamente.

Para a confecção da junta, as superfícies devem passar por um processo de preparo para que o adesivo possa se fixar apropriadamente e minimizar o risco de ruptura interfacial. A preparação da superfície é realizada em etapas e consiste em: limpeza inicial e secagem, isolamento da área através do uso de fita, lixamento da superfície, limpeza final, aplicação e cura do adesivo. Em alguns casos, pode-se fazer necessária a utilização de microesferas de vidro, que possuem como finalidade controlar a espessura da camada de adesivo entre as superfícies, mantendo a distribuição uniforme.

Para realizar a união entre um compósito e um metal, é comumente utilizado um adesivo de epóxi ou poliuretano, por apresentarem alta qualidade estrutural. Para a aplicação neste projeto, a junta não será sujeita a grandes variações de temperaturas nem altas cargas trativas e compressivas. A junta será submetida apenas a situação de impacto e, devido à geometria da peça, não correrá grandes riscos de ruptura coesiva ou interfacial.

Foram pesquisadas e analisadas diversas opções de adesivos para a aplicação neste

projeto e foram filtradas as mais adequadas, que são detalhadas nos tópicos seguintes e podem ser vistas na Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40.

A. Adesivo Supreme 10HT Master Bond:



Figura 37 - Adesivo Supreme 10HT Master Bond

Fonte: Disponível em: <<https://www.masterbond.com/applications/composite-metal-adhesives-bonding>>

Este adesivo também é composto de epóxi. Seu tempo de trabalho é infinito a temperatura ambiente, sendo a cura realizada a alta temperatura (entre 60 e 70 minutos a 120°C). Este adesivo resiste a forças cisalhantes de até 3600psi (253 kgf/cm²) e forças de arrancamento de até 30pli. Sua resistência é menor do que a do EP31, mas esse adesivo apresenta melhor resistência a choques mecânicos e vibrações. Isto é uma grande vantagem pois neste projeto o adesivo será diretamente submetido a esse tipo de estresse. O lado negativo é que este adesivo precisa ser importado.

B. Adesivo 3M DP420:



Figura 38 - Adesivo 3M DP420

Fonte: Disponível em: <<https://www.rockwestcomposites.com/shop/materials-tools/resins-adhesives/adhesives/3m-adhesives>>

O 3M DP420 apresenta um tempo de trabalho de 20 minutos e cura a temperatura ambiente em 24h. Sua resistência a cisalhamento é de 4500psi (316 kgf/cm²) e resistência a arrancamento de 50piw (libras por polegada de largura). Segundo a tabela de adesivos encontrada na página virtual da empresa “RockWest Composites”, este adesivo possui alta resistência a impacto, mas assim como o anterior, precisa ser importado.

C. Adesivo Wurth Titânio:



Figura 39 - Adesivo Wurth Titânio

Fonte: (Wurth, 2012)

O adesivo Wurth apresenta menor resistência mecânica, apresentando

aproximadamente 1730psi (122kgf/cm²) de resistência a cisalhamento e possui uma dureza Shore D de 92. Sua cura ocorre em 24h a temperatura ambiente. Este adesivo não é tão resistente quanto os outros apresentados, mas apresenta preço no varejo menor e maior facilidade de aquisição em relação aos demais, sendo encontrado no mercado nacional. Apesar de não possuir as características mecânicas superiores, este adesivo desempenha o trabalho necessário, visto que a aplicação em questão não será extrema.

D. Loctite E-20NS Hysol:



Figura 40 - Loctite E-20NS Hysol

Fonte: Disponível em: <<https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/adesivo-estrutural-55g-hysol-e-20ns-loctite-107327>>

Outro adesivo de fácil acesso no Brasil é o Loctite E-20NS Hysol. É mais caro do que o Wurth Titânio, mas apresenta melhores qualidades. Sua resistência a tração é de 3335psi (234 kgf/cm²), que é quase o dobro da outra alternativa no mercado nacional. A resistência ao arrancamento não foi encontrada, mas estima-se que esta seja também superior. O tempo de cura deste adesivo é de 24h a temperatura ambiente e o tempo de trabalho é de 20 minutos.

O adesivo de escolha para a aplicação é o Loctite E-20NS Hysol. Seu preço no varejo nacional gira em torno de R\$200 na loja Anhanguera Ferramentas e apresenta as qualidades necessárias para realizar a união eficiente do metal com a fibra de carbono e aguentar os impactos da realização dos testes.

3.4.8. Subsistema de Elevação do Conjunto Massa/Impactador

Esse subsistema é responsável pela elevação da carga até a altura necessária para a realização do ensaio. É de suma importância que esse sistema seja confiável de forma que não solte o conjunto podendo acarretar em danos no corpo de prova ou acidentes operacionais.

Um sistema simplificado de operação constitui num modo de içamento onde o próprio operador do equipamento eleva o conjunto massa/impactador até a altura necessária sem a utilização de equipamentos auxiliares para a realização do ensaio, como pode ser observado na Figura 41.



Figura 41 - Drop Weight Tester HIT230F

Fonte: (ZwickRoell, 2021)

Esse modelo atenderia às necessidades deste projeto pois como não serão necessárias grandes cargas sendo elevadas, essa elevação poderia ser feita manualmente pelo próprio operador, resultando assim em uma máquina mais simples, porém optamos pela utilização de um cabo de aço que passará por duas roldanas e será acoplado a um puxador para facilitar a operação.

3.4.8.1. Cabo de aço

A força máxima que será exigida do cabo de aço durante o ensaio é resultante da aceleração durante a queda da carga multiplicada pelo máximo de carga que será utilizada durante o ensaio.

$$P = m * g$$
$$P = ((7 * 1) + 0,3) * 9,81$$
$$P = 71,61 \text{ kgf}$$

Utilizando a tabela de cabos de aço (Cable MAX, 2010), podemos observar que o cabo de aço 6x7 AF com diâmetro de 1/16” possui uma carga de ruptura de 151kgf, o que proporciona um coeficiente de segurança de 2,10. Podemos observar na Figura 42, como serão posicionados as polias e o cabo de aço para que o sistema opere corretamente.



Figura 42 - Cabo de Aço

A extremidade à direita do cabo de aço será acoplada ao impactador por meio de um gancho que será acoplado ao fuso do impactador, representado na imagem à direita da Figura 43. A extremidade à esquerda do cabo de aço, será acoplada ao puxador por meio de um

mecanismo de gancho similar ao do impactador, representado na imagem à esquerda da Figura 43. Ambos os sistemas serão detalhados na parte referente aos desenhos técnicos.

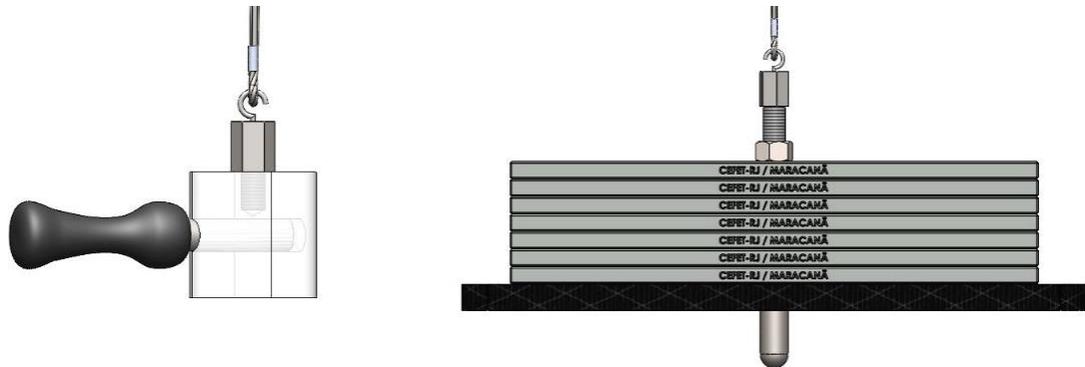


Figura 43 - Conexões com cabo de aço

3.4.9. Subsistema de Travamento e Liberação do Conjunto Massa/Impactador

Esse subsistema é responsável pelo travamento e liberação do conjunto massa/impactador para a realização do ensaio. O sistema deve ser suficientemente confiável para que não ocorra a liberação do conjunto antes do momento necessário, podendo ocasionar acidentes.

O sistema desenvolvido propõe um puxador dividido em 3 parte como pode ser observado na Figura 44. O primeiro item, na parte superior da figura, é responsável pelo acoplamento com o cabo de Aço, que fara o içamento do impactador. O segundo item, localizado à direita da figura é o corpo central, que se moverá verticalmente dentro de um tubo guia até a localização exata onde a carga será travada. O terceiro item, localizado a esquerda da figura, é o pino de liberação. O pino de liberação é o único item desse subconjunto onde o usuário do equipamento realmente terá contato.

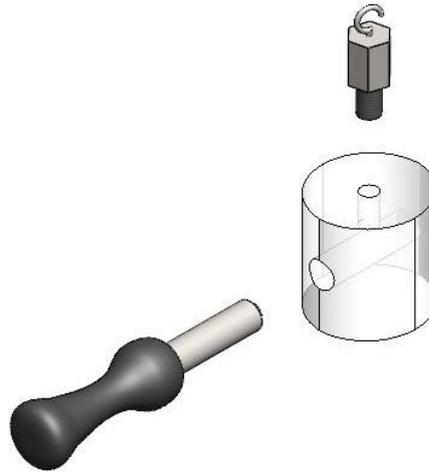


Figura 44 – Puxador
Apendice B – Folha 16

O conjunto descrito anteriormente percorrerá um tubo na vertical com uma ranhura reta na vertical que possibilitará o deslocamento da carga até a altura desejada. Quando a carga estiver na altura desejada, o usuário movimentará o pino para sua esquerda com a finalidade de travar a carga nessa altura. Quando tudo estiver pronto para o ensaio, o pino deverá ser puxado para fora da estrutura, liberando a carga para queda. Todo esse procedimento pode ser observado detalhadamente na Figura 45.

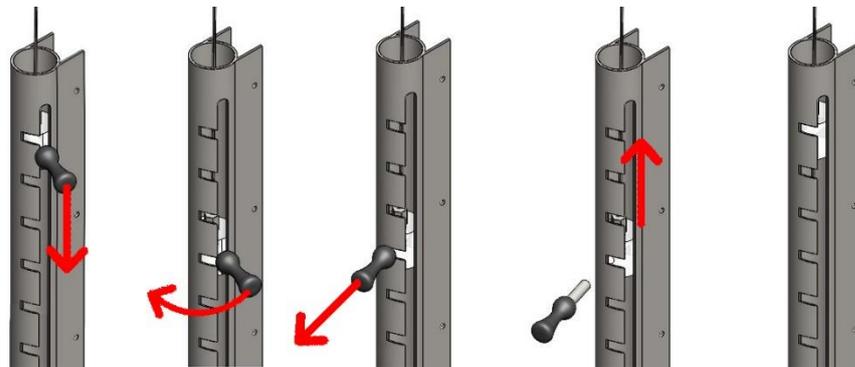


Figura 45 - Processo de travamento e liberação da carga

3.4.10. Subsistema Anti-rebote

A norma diz que o capturador é uma trava ativada de maneira inercial, que entra em ação após o primeiro impacto, capturando o impactador na segunda descida. Isso impede impactos sucessivos no corpo de prova, o que causaria erros no estudo da resistência do

compósito. É de suma importância que o sistema anti rebote não interfira no movimento do impactador até que este tenha perdido contato com o CP.

Segundo a norma, o uso de um sistema não é obrigatório, sendo possível a inserção manual de um calço rígido sob o sistema do impactador após o impacto. Isto requer uma altura de rebote razoável, já que o tempo de reação humano não se compara com o de uma máquina.

3.4.10.1. Problematização

A principal questão a se atentar nesta parte do projeto é a altura de rebote. Não importa qual seja o sistema utilizado, é necessário que o subsistema do impactador possua uma altura de rebote razoável para que seja possível a atuação do sistema anti-rebote sem que seja necessária uma alta precisão. Como segundo efeito, uma altura de rebote razoável possibilita que o anti-rebote seja feito de forma manual (como citado anteriormente) caso surja algum defeito no sistema que não possa ser sanado imediatamente.

Para viabilizar a altura ideal de rebote, estes conceitos foram levados em consideração na seção de energia de impacto a fim de determinar alturas de quedas propícias ao bom funcionamento do sistema anti-rebote. Aliado a isto, a fabricação de um protótipo da máquina e a realização de testes experimentais colaborariam na definição das alturas perfeitas de queda, porém, por conta da pandemia de COVID-19 que perdura até o momento da realização deste trabalho, o protótipo da máquina não poderá ser construído.

3.4.10.2. Opções de mecanismos anti-rebote

Foram cogitadas duas possibilidades de implementação para o projeto. Uma delas é um mecanismo instrumentado ativado por sensor e arduino, e a segunda seria o emprego de um impactador inspirado em um modelo da “Cadex Inc.”, que possui o sistema embutido ativado de forma mecânica.

3.4.10.2.1. Anti-rebote instrumentado

Este sistema é constituído por um sensor de contagem posicionado próximo a um dos

tubos-guias, que fará a leitura da passagem de dois pequenos eixos posicionados na lateral do sistema do impactador, como ilustrado na Figura 46.

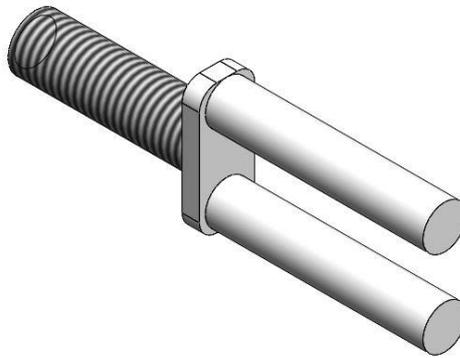


Figura 46 - Eixos de sinalização
Apendice B – Folha 15

O sensor de contagem que registrará a passagem dos eixos poderá ser do tipo chave ótica (Figura 47) ou então poderá ser montado com dois diodos (um receptor e um emissor). O funcionamento é o mesmo em ambos os casos.

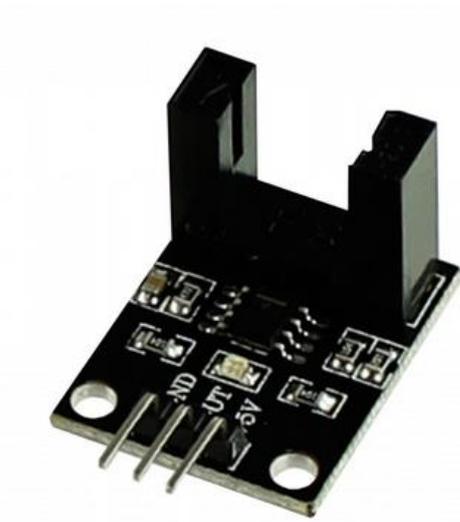


Figura 47 - Sensor de contagem

Fonte: Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-velocidade/sensor-de-contagem-sensor-de-velocidade-chave-optica-para-encoder-10mm-3512.html>>

O sensor estará conectado a um arduino (Figura 48), que além de realizar a leitura,

marcará a velocidade de queda, e controlará também dois solenóides, responsáveis por empurrar os calços que impedirão o segundo contato do impactador com o CP.



Figura 48 - Arduino

Fonte: Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino>>

Os solenóides representados na Figura 49 são ativados de forma automática após o rebote do impactador e ficam ativadas até que o arduino seja reiniciado de forma manual através do botão “reset” ou até que a fonte de alimentação seja desconectada.

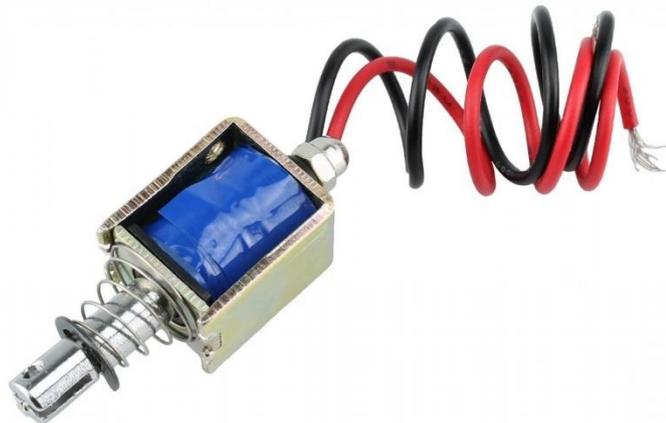


Figura 49 - Solenóide

Fonte: Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/mini-fechadura-eletrica-solenoides/mini-solenoides-12v-nf-tipo-tranca-jf-0520b-5246.html>>

Ao serem acionados, os solenóides empurrarão para debaixo do impactador dois pedaços de

borracha dura, que serão responsáveis por deter a descida do impactador. A borracha utilizada deve apresentar capacidade de absorção de impacto para não prejudicar a integridade do sistema, mas também pouca ou nenhuma deformação plástica, para garantir a durabilidade.

Serão utilizados recortes de piso de borracha para academias, representados pela Figura 50.



Figura 50 - Piso de borracha

Fonte: Disponível em: <<https://www.gohardbr.com.br/pisos-e-revestimentos/piso-de-borracha-ecologico-anti-impacto-1-metro-x-1-metro-x-25mm>>

A vantagem da utilização de um mecanismo anti rebote controlado por instrumentos é que este não requer habilidade manual do operador para o rápido posicionamento de um calço, eliminando também o risco de acidentes.

Já como argumento contrário, a desvantagem é a necessidade de alimentação elétrica para o uso do sistema. Este argumento é válido, mas na falta de eletricidade, a altura de rebote definida no projeto possibilitaria também o emprego do anti-rebote manual.

3.4.10.2.2. Anti-rebote mecânico

Este segundo mecanismo foi pensado com a intenção de possibilitar o teste de maneira automática mesmo sem energia elétrica. O sistema de anti-rebote embutido no impactador se aproveita de um movimento conjunto em queda livre e da energia restituída do impacto para ativar uma trava mecânica acoplada no impactador. Os dispositivos da Figura 51 são comercializados pela empresa “Cadex Inc.”.

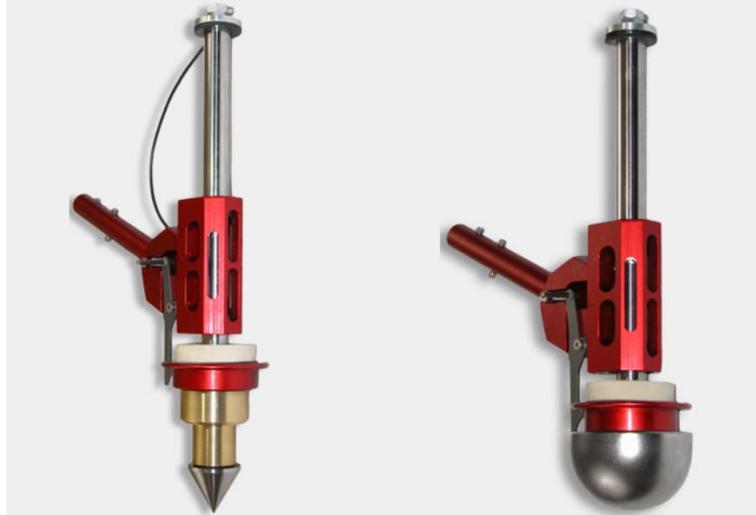


Figura 51 – Impactador/penetrador com movimentação linear

Fonte: Disponível em: < http://www.cadexinc.com/linear_impactor_penetrator.php>

O emprego deste tipo de mecanismo originalmente é feito em máquinas de apenas um tubo-guia como mostrado na Figura 52. Mas o mesmo conceito pode ser adaptado para utilização em outros tipos de máquina.



Figura 52 – Penetrador Linear instalado na máquina monotrilha Cadex

Fonte: Disponível em: < http://www.cadexinc.com/linear_impactor_penetrator.php>

A vantagem deste tipo de sistema é, como dito anteriormente, a funcionamento automático independente de energia elétrica.

Uma desvantagem é um maior número de partes móveis no subsistema do impactador. Isto requer maior manutenção e lubrificação, e abre brecha para falhas no funcionamento. Outra desvantagem a ser apontada é a maior dificuldade na variação da energia do impacto através da modificação do peso, já que as massas adicionais deverão ser instaladas no próprio corpo do impactador para que sua energia seja transferida para o CP.

3.4.10.3. Escolha do mecanismo

Analisando as vantagens e desvantagens de cada sistema, optamos pela utilização do sistema instrumentado, devido ao menor número de partes móveis e pela facilidade e custo de aplicação. Escolhemos o sistema instrumentado também pela possibilidade da realização de medição de velocidade, e outras medições através de futuros updates no software do arduino caso seja necessário.

3.4.11. Subsistema de Instrumentação

Pela norma, não é necessário utilizar equipamentos de aquisição de dados em testes simples de impacto por queda de peso, mas será implementado um sistema de instrumentação para controlar o sistema anti-rebote e também para realizar a medição da velocidade de queda e calibrar a energia de impacto entregue pela máquina.

Além disso, o uso do arduino possibilita a implementação futura de outros tipos de medição com o uso de transdutores ou extensômetros.

A programação a ser implementada no arduino pode ser vista no Apêndice A.

Este programa possibilita a medição da velocidade de queda através do uso de um computador como meio de leitura de dados e também possibilita a implementação do sistema anti-rebote apenas com os sensores, o arduino, e as solenóides.

O funcionamento do sistema é como o descrito nas etapas abaixo:

- a. O arduino é alimentado e iniciado;
- b. A queda é iniciada;
- c. O eixo inferior passa pelo sensor e o arduino marca o tempo de sua passagem;

- d. O eixo superior passa pelo sensor, possibilitando o arduino calcular a velocidade de queda através da distância entre os eixos e o tempo decorrido entre suas passagens;
- e. O impactador atinge o CP e inicia o rebote;
- f. O eixo superior torna a passar em frente ao sensor, o que diz para o arduino ativar as solenóides;
- g. O impactador desce novamente, mas é impedido de tocar o CP pelas borrachas posicionada sob o corpo do impactador;

Após o uso, o impactador deve ser erguido e o arduino resetado antes de se iniciar um novo teste. Para melhor visualização, a Figura 53 mostra os eixos na posição que antecede sua detecção pelos sensores.

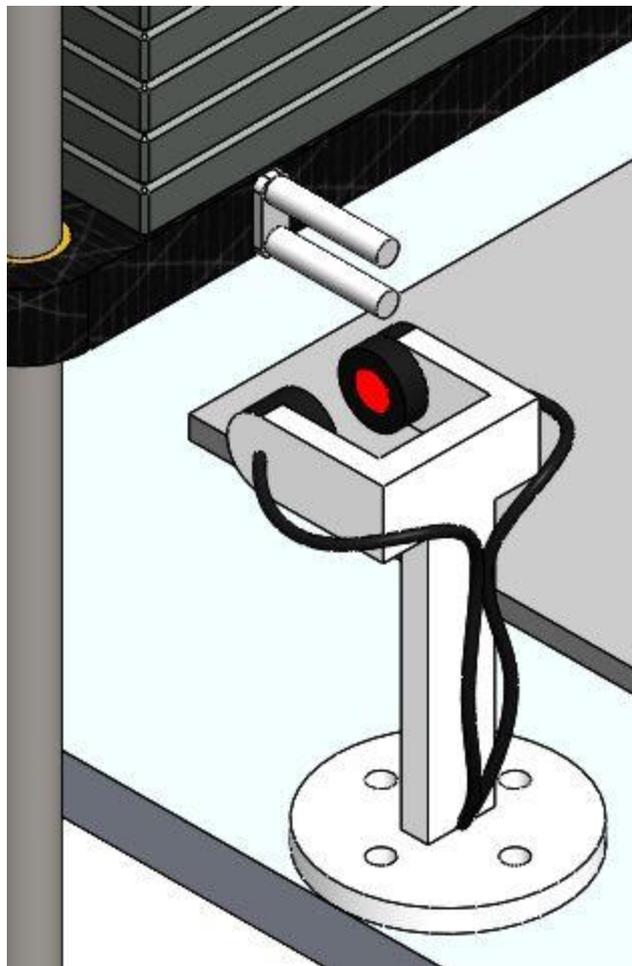


Figura 53 - Passagem dos eixos pelo sensor

CAPÍTULO 4: SIMULAÇÕES E ANÁLISES

4.1. SIMULAÇÕES

4.1.1. Introdução

Foi realizada uma simulação na estrutura através do SolidWorks (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, EUA) com o intuito de analisar o efeito das tensões decorrentes do peso de impacto.

O peso do conjunto do impactador está distribuído igualmente entre as polias, que são sustentadas pela estrutura. A avaliação dos efeitos das tensões nos pontos críticos é essencial para garantir que a máquina não sofrerá deformações.

4.1.2. Simulação

Segundo (LUZ, 2018) as propriedades mecânicas do aço 1020 são como listadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades do Aço 1020

Propriedades do Aço 1020	
Limite de Escoamento	350 MPa (50800 psi)
Resistência a Tração	420 MPa (60900 psi)
Tensão Admissível	Depende do coef de segurança do projeto
Módulo de Elasticidade	205 GPa (29700 ksi)
Dureza Brinell	121
Dureza Rockwell B	68
Dureza Vickers	126

Fonte: Adaptado (LUZ, 2018)

Como descrito anteriormente, a massa da estrutura será de 24,82kg. Ademais, conta-se

ainda com o peso do impactador, que possui 7,335kg. Ao observar as propriedades mecânicas do aço 1020, percebe-se que o mesmo possui plena capacidade de operação nas condições do projeto sem grandes riscos de falhas. Apesar disso, foram feitas simulações a fim de comprovar a integridade da estrutura. Nestas simulações, os pontos de apoio fixos considerados são os locais onde os amortecedores de vibração serão aparafusados.

As forças consideradas foram as seguintes:

1. Gravidade
2. Força peso do impactador carregado (71,96N)

Obs.: O peso do impactador foi aplicado nos locais onde as polias se acoplam na estrutura.

Na Figura 54 podem se observar os pontos de aplicação das forças e os pontos fixos no solo.

Nome do acessório de fixação	Imagem do acessório de fixação	Detalhes do acessório de fixação	
Fixo-3		Entidades: 8 faces	
		Tipo: Geometria Fixa	

Forças Resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de Reação (N)	5,722E-06	473,847	-2,575E-05	473,847
Momento de Reação (N.m)	0	0	0	0

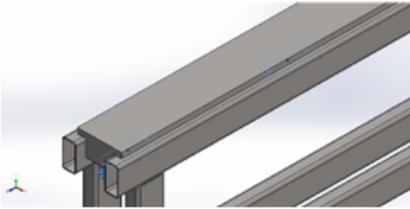
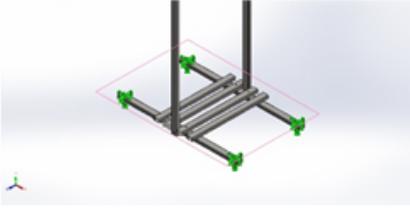
Nome da carga	Imagem	Detalhes de carga	
Força-1		Entidades:	2 faces(s)
		Tipo:	Aplicar força normal
		Valor:	-71,613 N
Gravidade-1		Referência:	Plano superior
		Valores:	0 0 -9,81
		Unidades:	m/s^2

Figura 54 - Pontos de fixação e distribuição das cargas

Para fins de esclarecimento, foram incluídas na Figura 55 as informações de malha da simulação.

Informações de malha	
Tipo de malha	Malha triangular
Gerador de malhas usado:	Malha padrão
Pontos Jacobianos para malha de alta qualidade	16 Pontos
Tamanho do elemento	18,8004 mm
Tolerância	0,940022 mm
Qualidade da malha	Alta

Informações de malha - Detalhes	
Total de nós	120075
Total de elementos	62152
Proporção máxima	178,29
% de elementos com Proporção < 3	4,31
Porcentagem de elementos com Proporção > 10	55,8
Porcentagem de elementos distorcidos	0

Figura 55 - Informações de Malha

Na Figura 56, o gradiente de cores indica a distribuição das deformações ao longo de cada componente da estrutura.

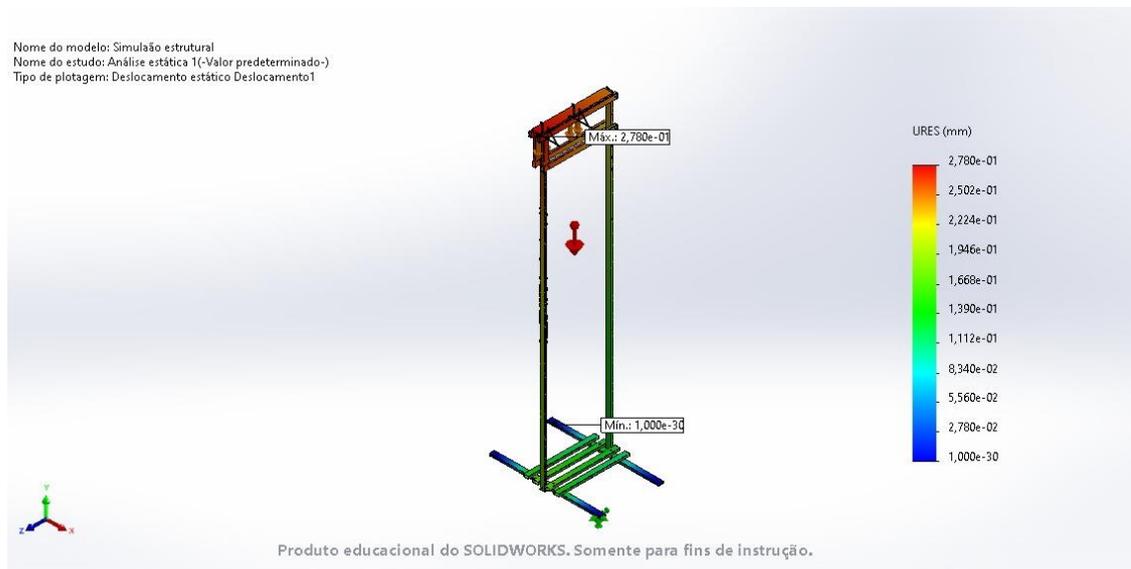


Figura 56 - Concentração de Deformações

Além das deformações, foram simuladas também as tensões. Estas são demonstradas pela Figura 57. Percebe-se que a maior tensão se encontra nos perfis da base da estrutura. Apesar disso, a tensão nestes pontos é menor do que a tensão de escoamento do perfil utilizado,

garantindo a estabilidade da estrutura.

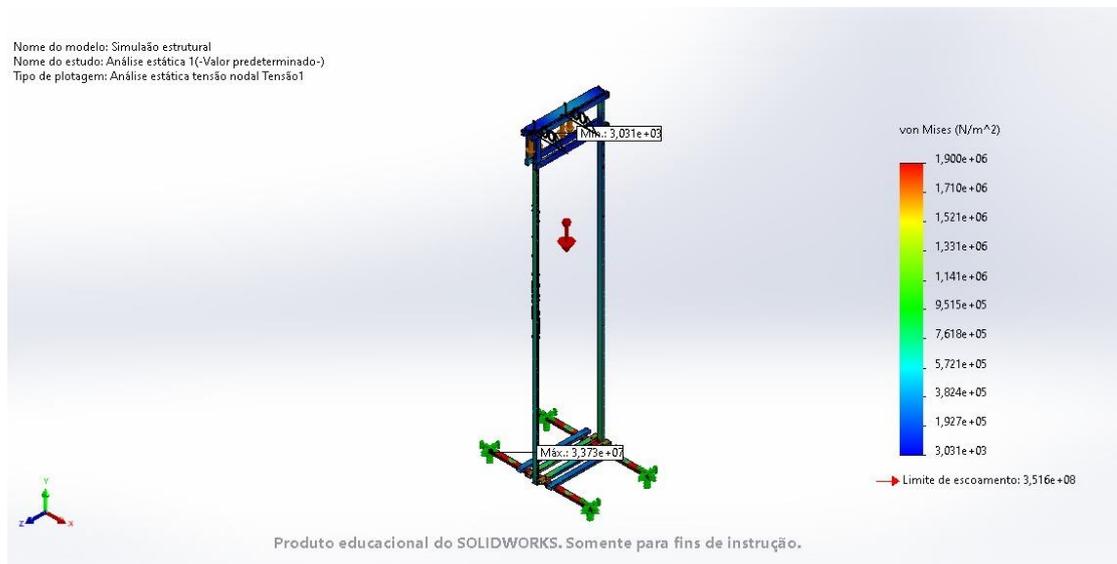


Figura 57 - Concentração de Tensões

A Figura 58 exibe com maiores detalhes a base da estrutura, que é o local de maior sollicitação de toda a máquina.

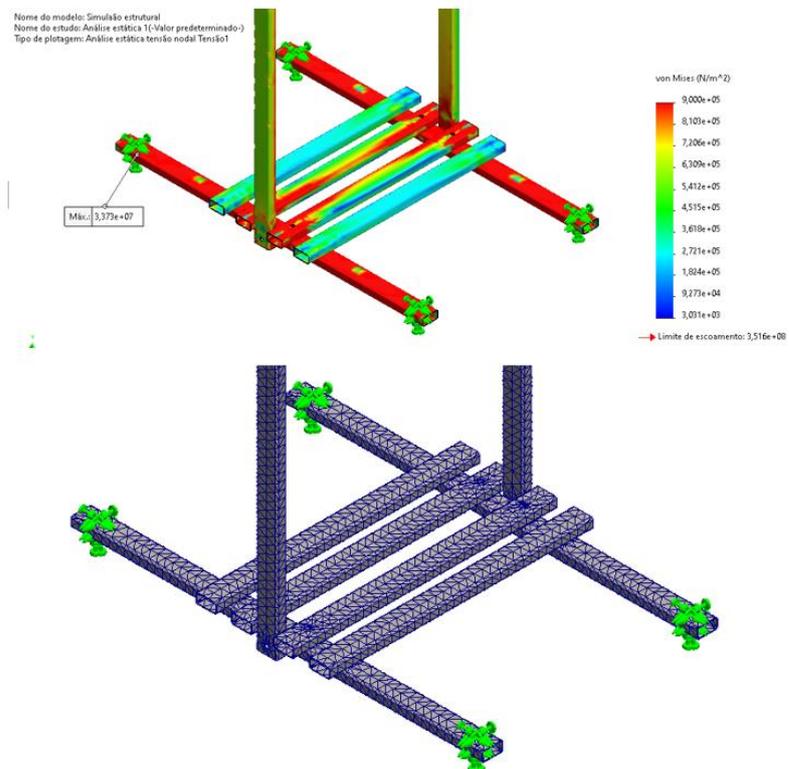


Figura 58 - Base da estrutura ampliada

Por fim, foi feita também uma análise de fator de segurança, para que seja fácil visualizar a segurança do projeto frente às solicitações. A Figura 59 representa a estrutura na escala de cores correspondente.

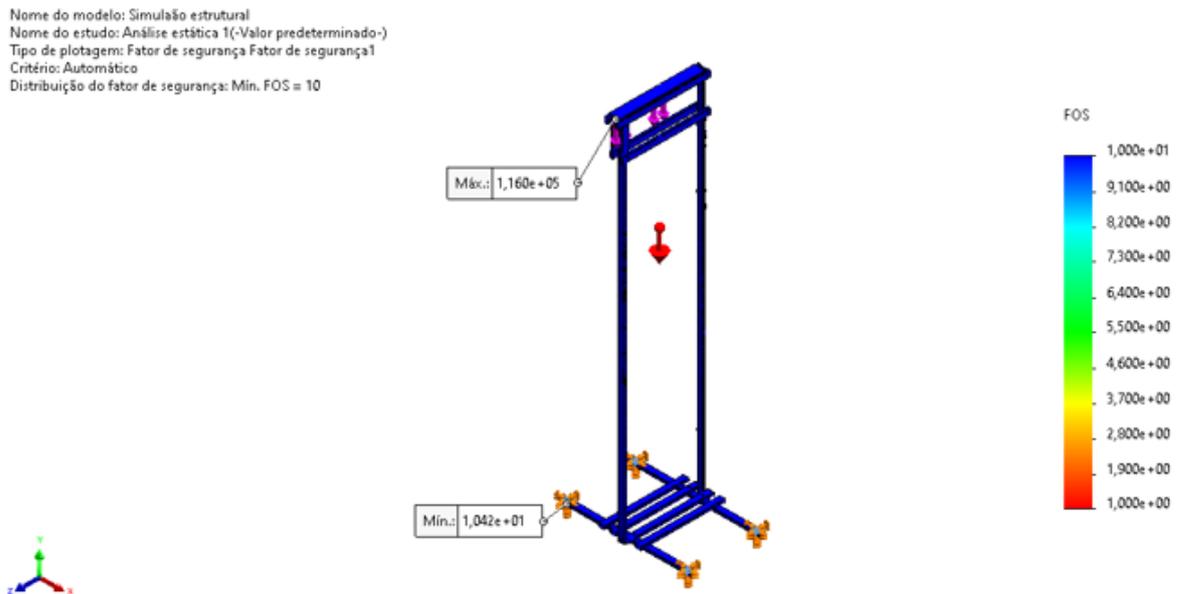


Figura 59 - Análise de fator de segurança

4.2. ANÁLISES

Além da simulação dos efeitos das tensões na estrutura, um outro ponto importante de ser analisado é a peça de fibra de carbono do impactador. A peça em destaque na Figura 60 estará sujeita a tensões compressivas devido a carga de impacto e deverá ser analisada matematicamente para garantia da estabilidade da mesma.

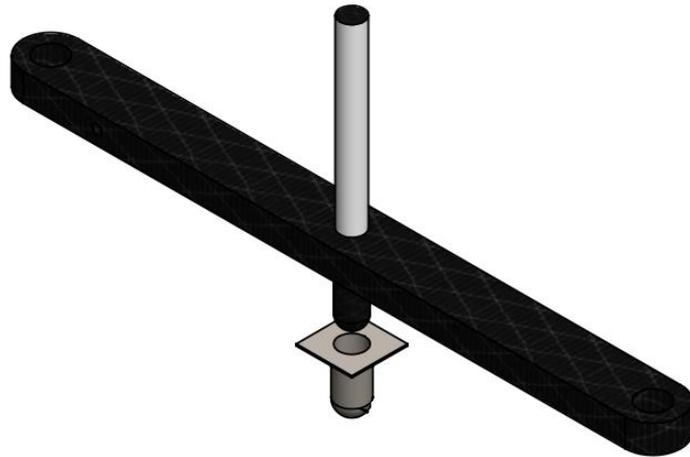


Figura 60 - Vista em destaque do impactador
Apendice B – Folha 9

Foram realizados cálculos para garantir que a peça não corre risco de fratura com o choque. Na Tabela 9, encontram-se as propriedades mecânicas da fibra de carbono de uso geral, empregada no projeto. Estas informações seguem o manual de (Machado, 2006).

Tabela 9 - Propriedades da Fibra de Carbono

Tipo de Fibra de Carbono	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência Máxima de Tração (MPa)	Deformação de Ruptura (%)
De uso geral	220 – 235	< 3790	> 1,2
Alta resistência	220 – 235	3790 - 4825	> 1,4
Ultra alta resistência	220 – 235	4825 - 6200	> 1,5
Alto módulo	345 – 515	> 3100	> 0,5
Ultra alto módulo	515 – 690	> 2410	> 0,2

Fonte: Adaptado (Machado, 2006)

Sabendo estas informações, é possível avaliar a peça em seu estado crítico, que é o momento de impacto em uma situação de carga máxima, utilizando as sete adições de 1kg.

No impacto, a ponta do impactador atinge o corpo de prova, que, segundo a terceira lei de Newton, reage com a mesma intensidade. Isso ocorre ao considerar um corpo indeformável e sem perdas de energia. Os cálculos serão realizados da maneira mais conservativa possível, considerados os piores casos para falha, o que garantirá sempre os maiores valores que a peça

poderá ser sujeita. O intuito deste tipo de análise é provar que o corpo resistirá a qualquer situação imposta em aplicações reais. Ademais, vale-se ressaltar que as equações para cálculo das informações aqui expostas estão de acordo com (Hibbeler, 2012).

As nomenclaturas utilizadas nos cálculos serão:

- A – Área de contato
- σ – Tensão compressiva estática
- σ_{max} – Tensão compressiva de impacto
- Δ_{max} – Deformação máxima no impacto
- $\%AL$ – Deformação percentual
- W – Peso da carga
- L – Espessura da peça
- E – Módulo de Elasticidade
- h – Altura de queda máxima (1,8m)

Os valores que comprovarão a integridade da peça serão Δ_{max} e σ_{max} . Ao demonstrar que os valores se encontram dentro dos limites da *Tabela 9 - Propriedades da Fibra de Carbono*, garantimos que o projeto estará em plena condição de operação.

Para calcular σ_{max} , utiliza-se a equação (5,1):

$$\sigma_{max} = \sigma + \sqrt{(\sigma)^2 + \frac{2 \cdot E \cdot h \cdot \sigma}{L}} \quad (5,1)$$

Para obter este valor, é necessário saber o valor de σ , que se encontra através da equação (5,2):

$$\sigma = \frac{W}{A} \quad (5,2)$$

Para se encontrar o valor da Δ_{max} , utiliza-se a equação (5,3):

$$\Delta_{max} = \frac{\sigma_{max} \cdot L}{E} \quad (5,3)$$

O valor de W a ser considerado será o valor do peso do conjunto inteiro do impactador, sob uma força gravitacional de 10 m/s^2 . O valor de W é de $73,35 \text{ N}$.

A área de contato da capa do impactador com a peça de fibra de carbono consiste na área da borda quadrada da capa somada à área da superfície da semiesfera referente à ponteira. As medidas podem ser conferidas na Figura 61, e nos levam à equação (5,4), onde $r_1 = 7 \text{ mm}$, $l = 30 \text{ mm}$ e $r_2 = 7 \text{ mm}$.

$$A = [l^2] - [\pi(r_1^2)] + \left[\frac{4\pi r_2^2}{2} \right] = 1053,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (5,4)$$

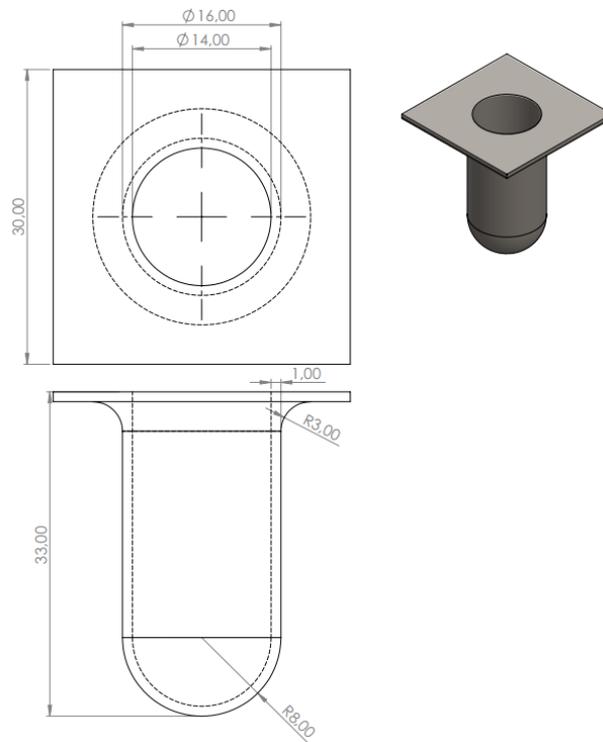


Figura 61 - Medidas da capa do impactador

Apendice B – Folha 12

Com o valor da força W aplicada e da área de contato W , pode-se calcular a tensão compressiva estática através da equação (5,2). O resultado obtido é $\sigma = 69,6 \text{ kPa}$.

Através dessa informação, determinamos com a equação (5,1) que a tensão de impacto é $\sigma_{max} = 1917,02 \text{ MPa}$. Como visto na Tabela 9, a tensão máxima de impacto é inferior à tensão máxima admissível (3790 MPa).

Tendo o valor da tensão máxima, pode-se calcular Δ_{max} com o valor nominal do módulo

de elasticidade $E = 220 \text{ GPa}$ e a espessura da peça $L = 15 \text{ mm}$. A deformação máxima é $\Delta_{max} = 0,13107 \text{ mm}$. Com essa informação, vê-se que a deformação percentual $\%AL$ é de $0,871\%$. Essa deformação é inferior ao limite de $1,2\%$ e não causa ruptura na peça.

Ademais, foi realizado o cálculo analítico da viga de suporte das polias. Visando um cálculo conservador, foi considerada a peça como sendo apoiada nas extremidades, para que se obtenha uma tensão calculada maior do que a que realmente estará presente na máquina.

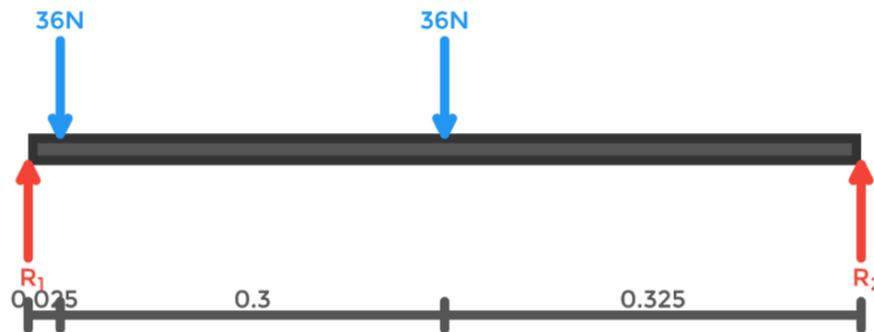


Figura 62: Diagrama de Corpo Livre da Viga de Apoio do Corpo de Prova

Fonte: Disponível em: < <https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online>>

As tensões exercidas pelos fios nas roldanas estão representadas em azul, e os apoios em laranja. A carga considerada é do impactador plenamente carregado, o que resulta numa carga de aproximadamente 72N .

Após a realização dos cálculos dos esforços cortantes, obtém-se o valor máximo de tensão cisalhante de $52,62\text{N}$.

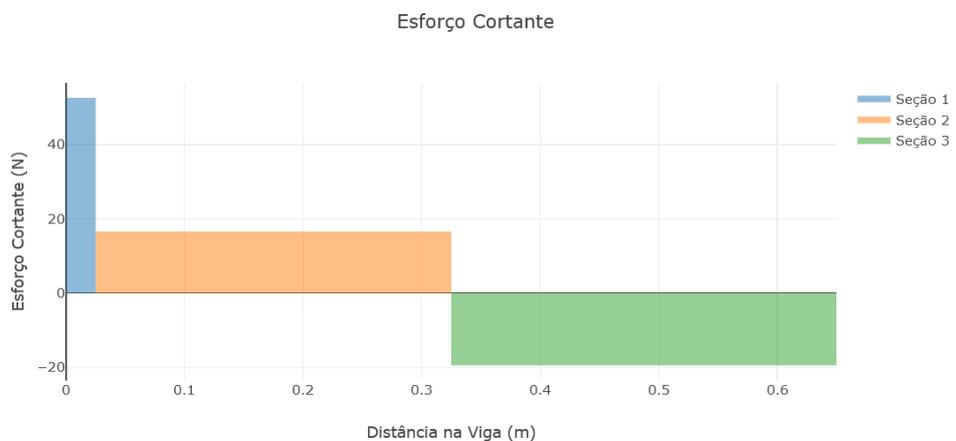


Figura 63: Diagrama de Esforço Cortante

Fonte: Disponível em: < <https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online>>

Após os cálculos do momento fletor, a tensão máxima de flexão é de 6,3Nm, com $M(x) = -19,3846x + 12,6$.

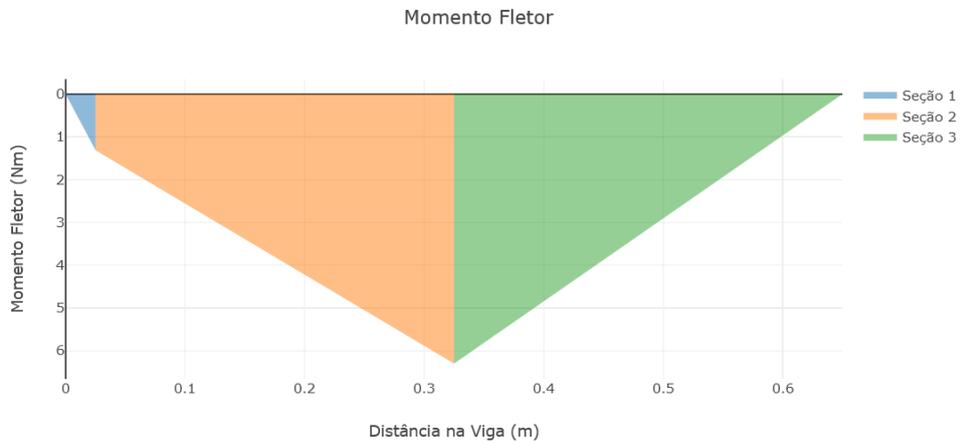


Figura 64: Diagrama de Momento Fletor

Fonte: Disponível em: < <https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online> >

Sabendo o momento interno que atua na viga, pode-se então calcular a tensão máxima de flexão através da fórmula:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (5,5)$$

Onde:

- M: Momento interno
- c: Distância perpendicular do eixo neutro a um ponto mais afastado do eixo neutro
- I: Momento de Inércia da área da seção transversal

Analisando a seção transversal da viga, e utilizando-se do teorema dos eixos paralelos, pode-se calcular o momento de inércia da seção. $I = 3,308 * 10^{-7} m^4$.

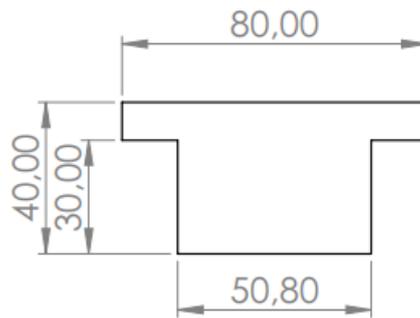


Figura 65: Seção Transversal da Viga de Suporte das Polias

Apêndice B – Folha 15

Assim, obtém-se $\sigma_{max} = 416,87 kPa$. Percebe-se que este valor se encontra muito abaixo da tensão limite de escoamento do aço utilizado (350MPa).

Pode-se também calcular a deflexão através da equação:

$$EI \frac{\delta^2 v}{\delta x^2} = M(x) \quad (5,6)$$

Após as integrações aplicação das condições de contorno da viga, obtém-se que a deflexão máxima (no centro da viga) é $v_{max} = -1,76 * 10^{-8} m$.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES

A partir das pesquisas e cálculos desenvolvidos na elaboração deste projeto, conclui-se que é possível o desenvolvimento de uma máquina de ensaio de impacto por queda livre para materiais compósitos capaz de gerar uma energia de impacto entre 1,64J e 129,52J.

Foram utilizados como base para a pesquisa algumas máquinas já existentes no mercado e com isso percebeu-se que muitos dos componentes utilizados nos projetos podem ser facilmente encontrados no mercado a um preço acessível quando comparado com o custo de manufaturar de maneira personalizada todos os componentes. Isso reduz o custo do projeto e o tempo de fabricação da máquina, bem como facilita a reposição de peças em caso de falha devido a desgaste ou mau uso.

Todas as limitações propostas no modelo foram satisfeitas teoricamente e encontram-se completamente alinhada com as expectativas iniciais, sendo elas: baixo custo; fácil manuseabilidade; fácil manutenção e precisão para estudo acadêmicos suficientemente satisfatórias.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Construir um protótipo e testá-lo, para garantir a qualidade do projeto e então realizar ajustes caso seja necessário.
- Aprimorar o sistema de instrumentação da máquina para permitir a medição de outros parâmetros, possibilitando o aumento da precisão do ensaio.
- Desenvolver um sistema de liberação automática do conjunto do impactador, o que aumentará a segurança da realização do teste.
- Testar a máquina em compósitos de propriedades já conhecidas para analisar a precisão dos resultados da máquina.

Bibliografia

Anhanguera. Anhanguera Ferramentas. [Online] <https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/adesivo-estrutural-55g-hysol-e-20ns-loctite-107327>.

Azevedo, Camilla de Medeiros Dantas. 2017. *Estudo da resistência residual de compósitos poliméricos de fibra de vidro-e e kevlar 49 após sofrerem impacto de baixa velocidade.* 2017.

Azevedo, Domingos F. O. 2013. *domingosfoaz. Tipos de Carregamento.* [Online] 2013. <https://sites.google.com/site/domingosfoaz/mef/car>.

Cable MAX. 2010. Cabos de aço e acessórios para elevação e amarração de cargas. *Cable MAX.* [Online] CABLEMAX CABOS DE AÇO E ACESSORIOS LTDA., 2010. <http://www.cabosdeacocablemax.com.br/tabela-de-cabos-de-aco.html>.

Cadex. 2021. Cadex Inc. [Online] 2021. http://www.cadexinc.com/linear_impactor_penetrator.php.

Callister, William D. 2012. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução.* Rio de Janeiro : LTC, 2012. ISBN 978-85-216-2124-9.

CANTWELL, W.J. 1991. The impact resistance of composite material. *Composites.* september de 1991.

Composites, Rock West. Composite Bonding Overview. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=y1GVeANOUNA>.

Desconhecido. Bate Estaca – O Que É E Como Funciona? *Total Construção.* [Online] <https://www.totalconstrucao.com.br/bate-estaca/>.

—. Cálculo dos Esforços em Vigas. *slideshare.* [Online] <https://pt.slideshare.net/willliandesa35/3-clculo-dos-esforos-em-vigas>.

—. Tubos Quadrados SAE-1010/1020 . *Delta Aços.* [Online] Delta Aços. <http://www.deltaacos.com.br/produtos/tubos/tubos-quadrados-sae-1010-1020>.

Ellsworth. Ellsworth Adhesives. [Online] <https://www.ellsworth.com/products/adhesives/epoxy/henkel-loctite-hysol-e-20ns-epoxy-adhesive-50-ml-cartridge/>.

2020. EPO.ORG. *EPO.ORG.* [Online] 21 de 10 de 2020. <https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics.html>.

Forums, Physics. Physics Forums. [Online]

<https://www.physicsforums.com/threads/ballistic-pendulum-physics-problem.604518/>.

Gouveia, Rosimar. 2020. Energia Potencial Gravitacional. [Online] 11 de Novembro de 2020. <https://www.todamateria.com.br/energia-potencial-gravitacional/>.

Hibbeler, Russell Charles. 2012. *Resistência dos Materiais*. s.l. : Pearson, 2012.

Impact Drop Towers and Pendulums. *Instron*. [Online] <https://www.instron.com/en-us/products/testing-systems/out-of-production-systems/impact-drop-towers-and-pendulums>.

Impact testing machine 9310. *Direct Industry*. [Online] <https://www.directindustry.com/prod/instron/product-18463-428490.html>.

Instron. *Instron*. [Online] Instron. <https://www.instron.com/en-us/>.

JUNIOR, FRANCISCO GALDINO. 2014. *DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE IMPACTO*. Campina Grande : Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

LANCASTER, J F. 1999. *Metallurgy of Welding*. 1999.

Lourenço, Cirlei de Souza. 2012. *Os ensaios não destrutivos como ferramenta indispensável na garantia total da qualidade nos projetos de engenharia de tecnologia militar da marinha do Brasil*. Rio de Janeiro : Universidade Candido Mendes, 2012.

Luz, Gelson. 2017. Aço SAE 1020 Propriedades (Mec, Qui e Lista de Fornecedores do Aço 1020). 2017.

LUZ, Gelson. 2018. Densidade do Chumbo (e meu Infográfico!) rev. 2021. *Densidade do chumbo*. [Online] 09 de 2018. [Citado em: 16 de 08 de 2021.] <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/densidade-do-chumbo.html>.

Machado, Ari de Paula. 2006. *Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibra de Carbono*. 2006.

MasterBond. MasterBond. [Online] <https://www.masterbond.com/applications/composite-metal-adhesives-bonding>.

McMaster. Hold-Down Toggle Clamp. *McMaster*. [Online] <https://www.mcmaster.com/5126A65/>.

Modeling strategies of 3D woven composites: A review. **Ansar, Mahmood. 2011.** 2011, Composite Structures, pp. 11-13.

Pauli, Evandro Armini. 1997. *Lubrificação - Mecânica*. Espírito Santo : SENAI, 1997.

Polímeros – Fibra de Carbono: Propriedades mecânicas, químicas, processo de fabricação e as dificuldades de aplicação em larga escala. **Portilho, João Ricardo dos Santos. 2016.** Fortaleza : Associassao Brasileira de Engenharia e Ciencias Mecanicas, 2016.

Rezende, Mirabel C. 2000. O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial. *Scielo*. [Online] junho de 2000. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282000000200003&script=sci_arttext&tlng=pt.

Vibra Stop. Amortecedores de Impacto e vibração. [Online] <https://www.vibra-stop.com.br/produto/linha-tradicional>.

West, Rock. Rock West Composites. [Online] <https://www.rockwestcomposites.com/shop/materials-tools/resins-adhesives/adhesives/3m-adhesives> .

Wurth. 2012. *Adesivo Epóxi Titânio*. 2012.

Zolin, Ivan. 2011. *Ensaio Mecânicos e Análise de Falhas*. Santa Maria : e-Tec Brasil, 2011.

ZwickRoell. 2021. Drop Weight Tester HIT230F. 2021.

Apêndice A – Programação do Sistema de Instrumentação

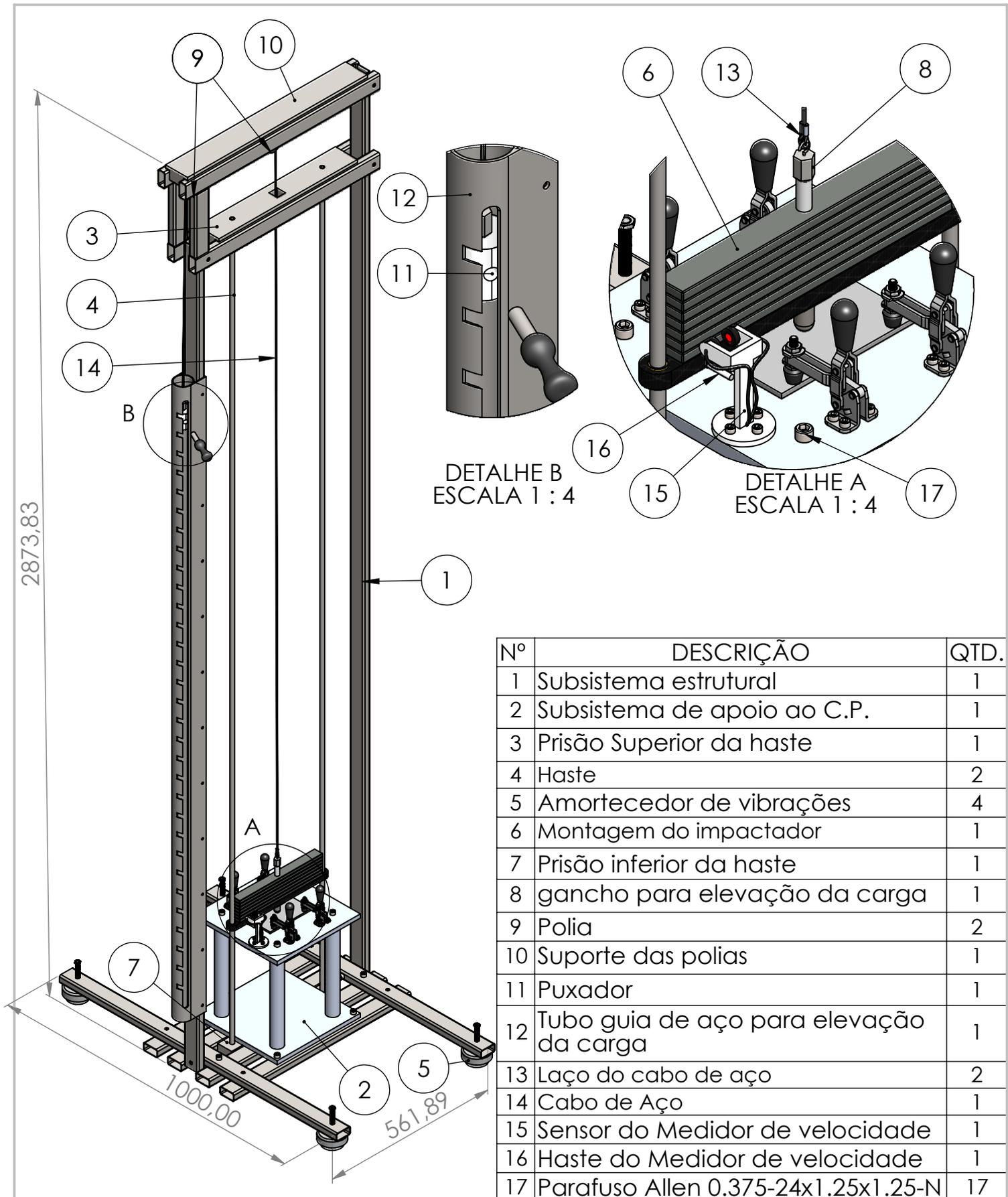
```
unsigned long tempo_1;
unsigned long tempo_2;
float velocidade;
int flag_1 = 0;
int flag_2 = 0;
int pinoSensor = 8; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO SENSOR
int pinoSolenoide = 7; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO SOLENOIDE

void setup(){
  pinMode(pinoSensor, INPUT); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA
  pinMode(pinoSolenoide, OUTPUT); //DEFINE O PINO COMO SAÍDA
  digitalWrite(pinoSolenoide, HIGH);
  Serial.begin(9600); //INICIA O MONITOR SERIAL
  delay(100);
}

void loop(){
  if (digitalRead(pinoSensor) == HIGH && flag_1 == 0 && flag_2 == 0){ //PASSAGEM
  DA PRIMEIRA FLAG NO SENSOR
    tempo_1 = millis();
    flag_1 = 1;
  }
  if (digitalRead(pinoSensor) == LOW && flag_1 == 1 && flag_2 == 0){
    flag_2 = 1;
  }
  if (digitalRead(pinoSensor) == HIGH && flag_1 == 1 && flag_2 == 1){ //PASSAGEM
  DA SEGUNDA FLAG NO SENSOR
    tempo_2 = millis() - tempo_1;
    velocidade = 10/tempo_2;
    Serial.print("Velocidade máxima: ");
    Serial.print(velocidade);
  }
```

```
Serial.println("m/s ");
flag_2 = 0;
flag_1 = 0;
delay(100);
}
if (digitalRead(pinoSensor) == HIGH && flag_1 == 0 && flag_2 == 0){ //TERCEIRA
PASSAGEM DA FLAG NO SENSOR
    digitalWrite(pinoSolenoid, LOW);
}
}
```

Apêndice B – Desenhos Técnicos do Projeto



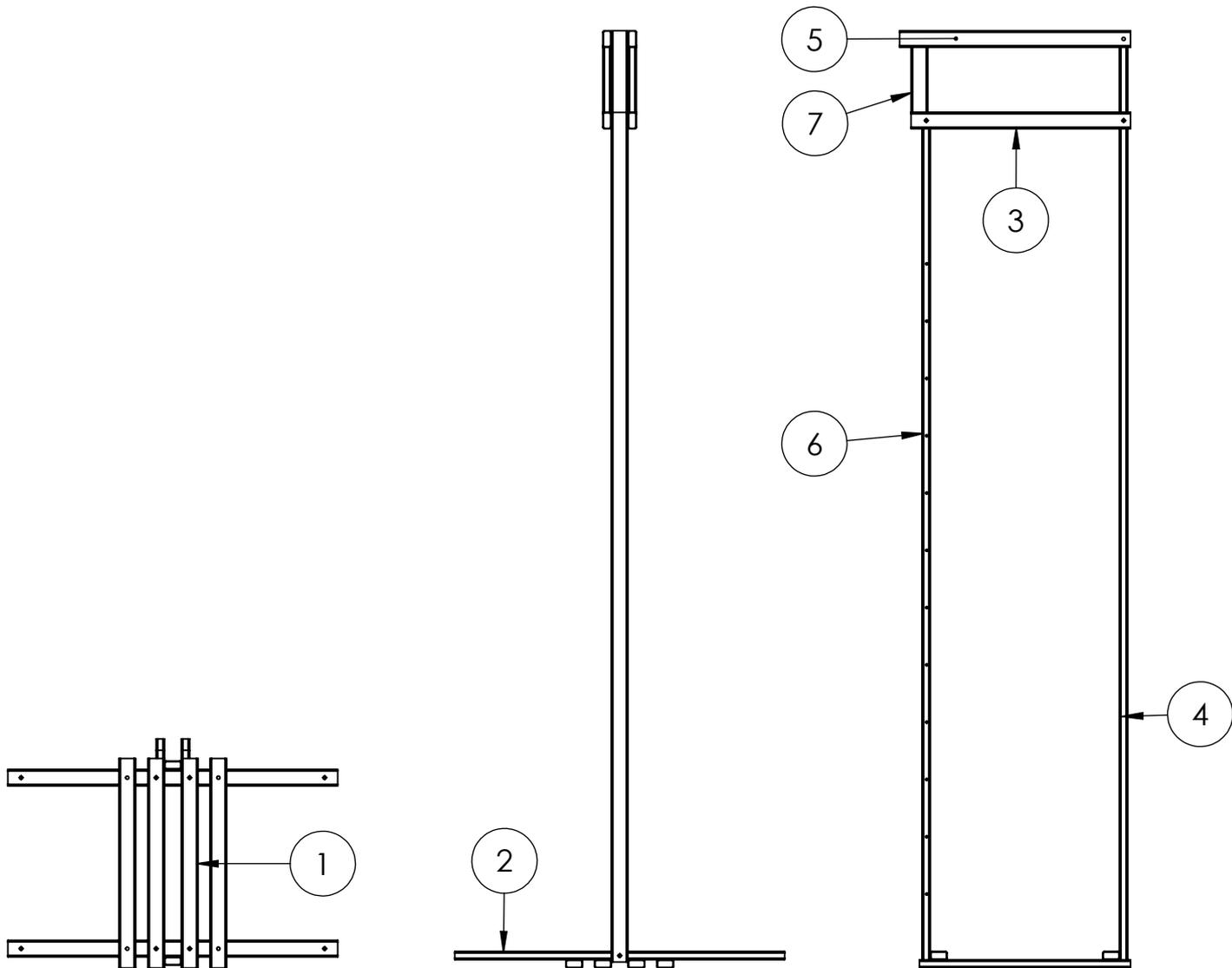
Nº	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Subsistema estrutural	1
2	Subsistema de apoio ao C.P.	1
3	Prisão Superior da haste	1
4	Haste	2
5	Amortecedor de vibrações	4
6	Montagem do impactador	1
7	Prisão inferior da haste	1
8	gancho para elevação da carga	1
9	Polia	2
10	Suporte das polias	1
11	Puxador	1
12	Tubo guia de aço para elevação da carga	1
13	Laço do cabo de aço	2
14	Cabo de Aço	1
15	Sensor do Medidor de velocidade	1
16	Haste do Medidor de velocidade	1
17	Parafuso Allen 0.375-24x1.25x1.25-N	17

ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia	
PROF	Mariana Banea	
DATA	31/08/2021	VISTO



ESC.	TÍTULO
1:13	Lista de Materiais - Montagem Geral

TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 1
NUMERO DO DESENHO 1		

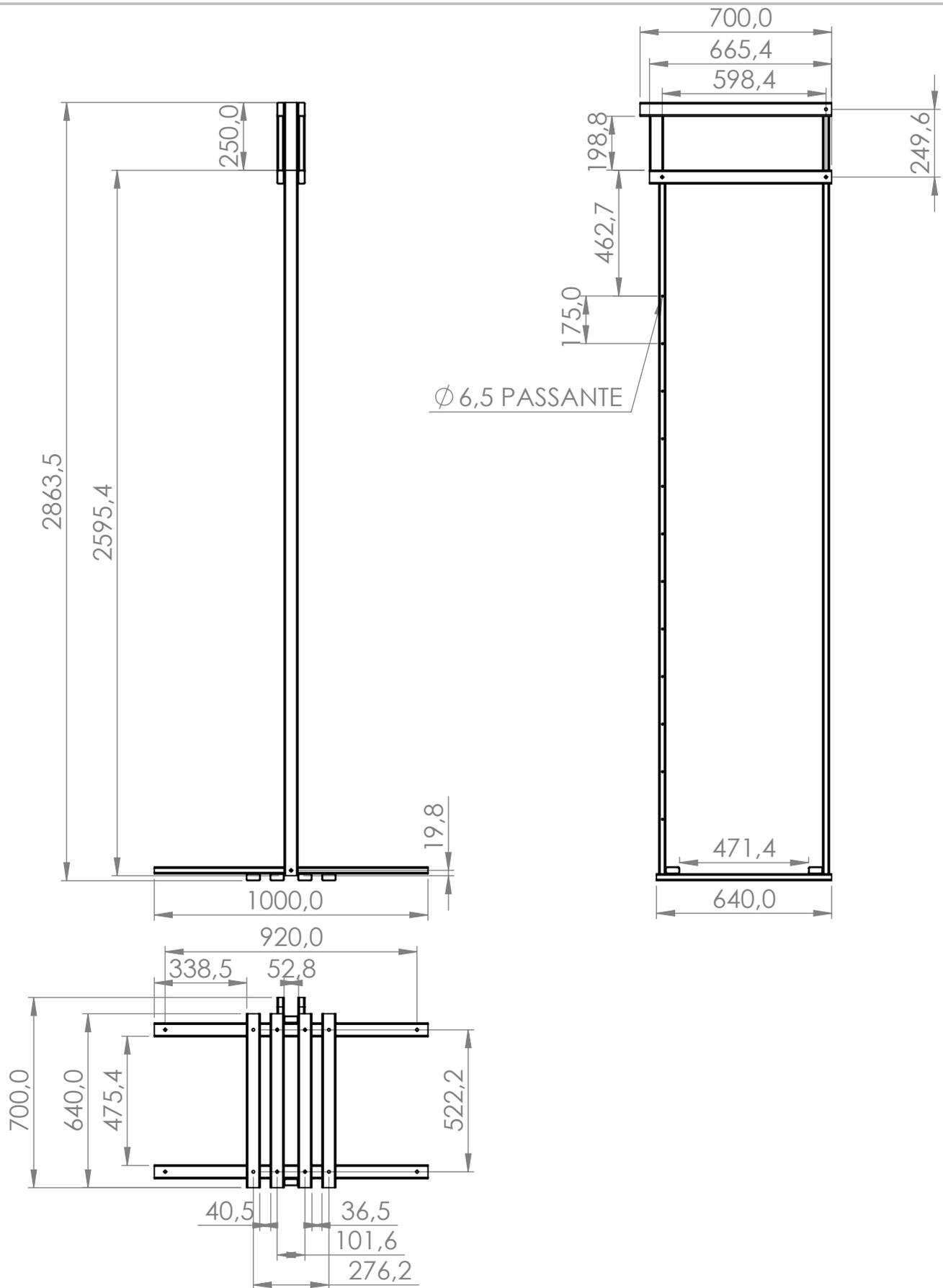


Nº DO ITEM	QTD.	DESCRIÇÃO	COMPRIMENTO
1	6	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	640
2	2	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	1000
3	2	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	665.4
4	1	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	2845.4
5	2	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	700
6	1	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	2595.4
7	2	TUBE, RECTANGULAR 50,80 X 25,40 X 2,00	198.8

ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia	
PROF	Mariana Banea	
DATA	31/08/2021	VISTO

CEFET/RJ

ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:20	Lista de Materiais - Estrutura	GMEC		2
		NUMERO DO DESENHO		
		1		

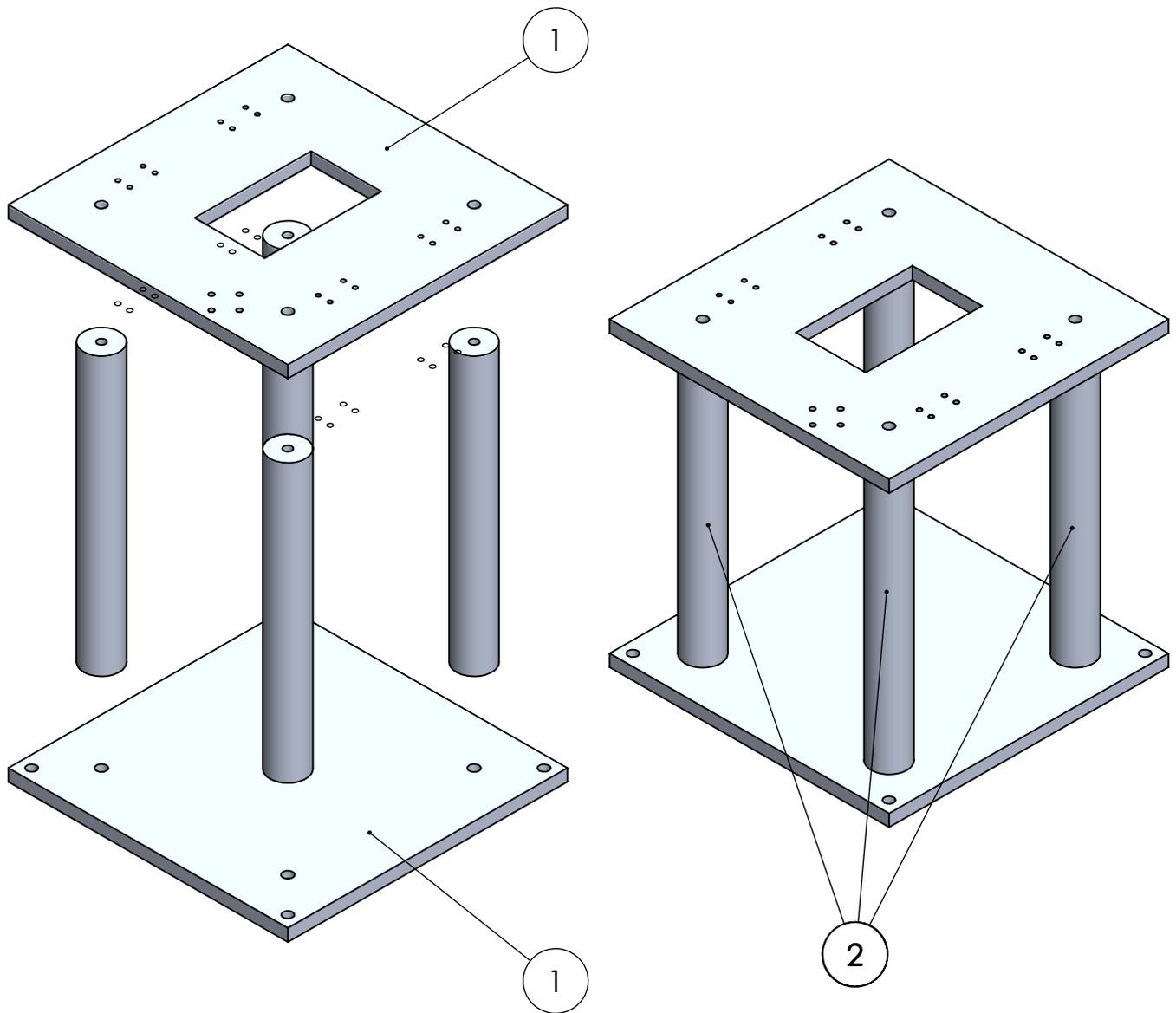


ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia	
PROF	Mariana Banea	
DATA	31/08/2021	VISTO



ESC.	TÍTULO
1:20	Dimensões - Estrutura

TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 3
NUMERO DO DESENHO 2		

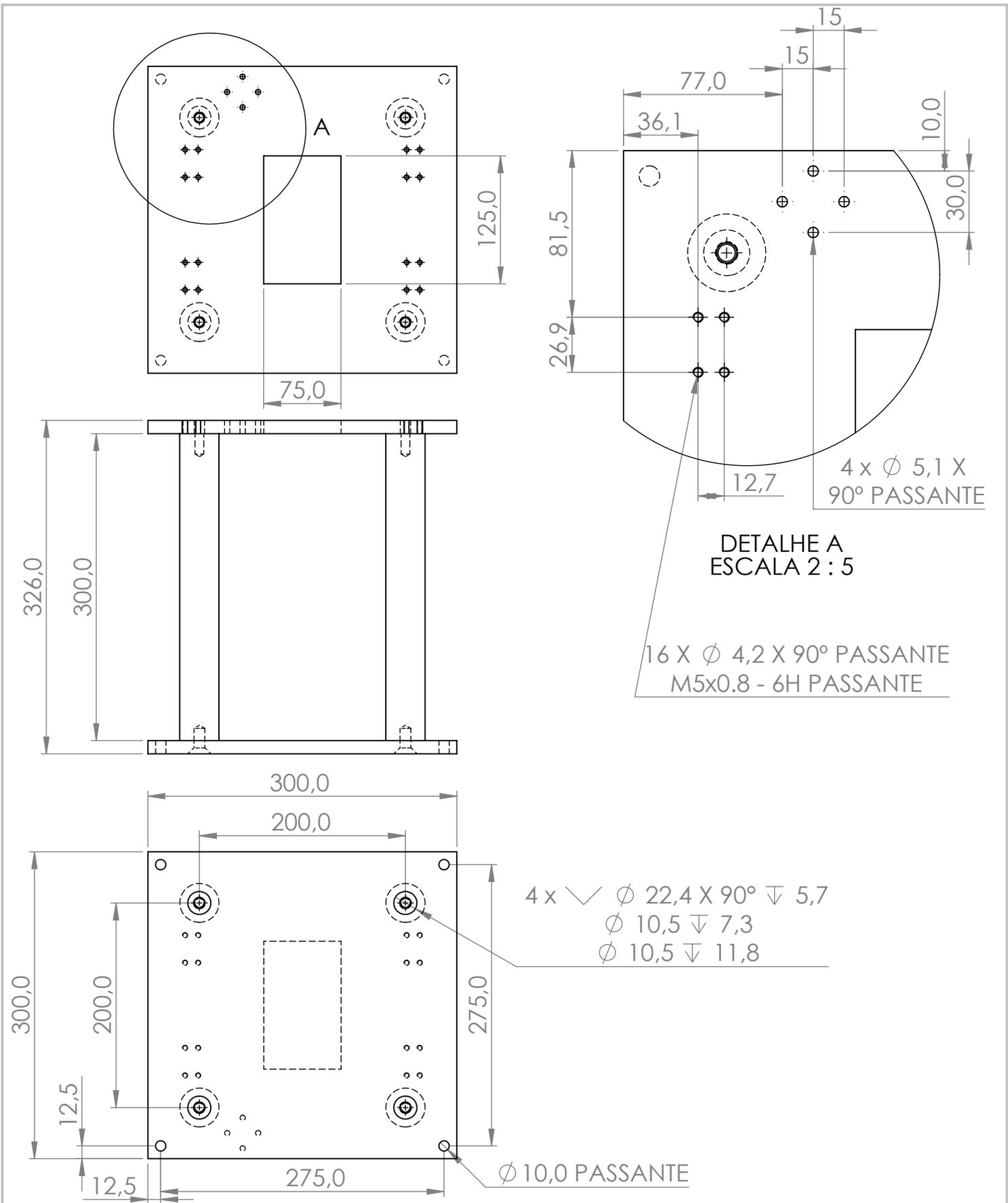


Nº do Item	Descrição	Dimensões	QTDE
1	Chapa de alumínio	300 x 300 x 13mm	2
2	Barra cilíndrica de alumínio	Ø38 x 300mm	4

ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	31/08/2021	VISTO	



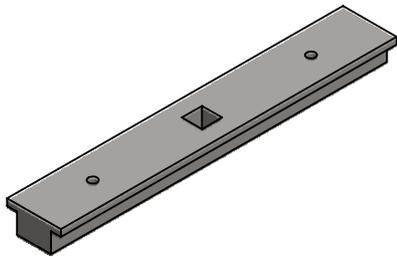
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:5	Lista de Materiais Subsistema de apoio ao C.P.	GMEC		4
		NUMERO DO DESENHO		
		1		



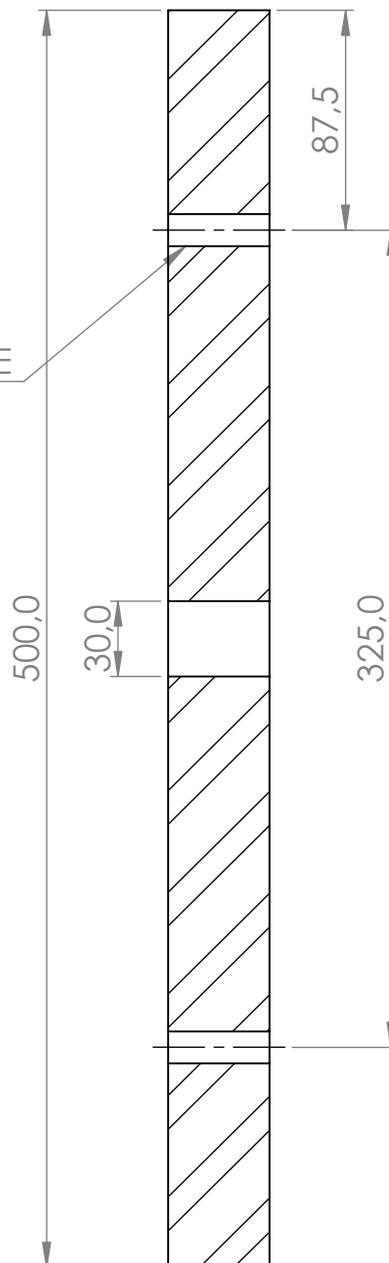
ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia	
PROF	Mariana Banea	
DATA	31/08/2021	VISTO

CEFET/RJ

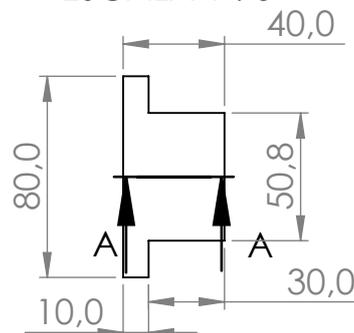
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:5	Dimensões Subsistema de apoio ao C.P.	GMEC		5
		NUMERO DO DESENHO		
		2		



Ø 12,8 PASSANTE



SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 3



ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	31/08/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:3	Prisão superior da haste		



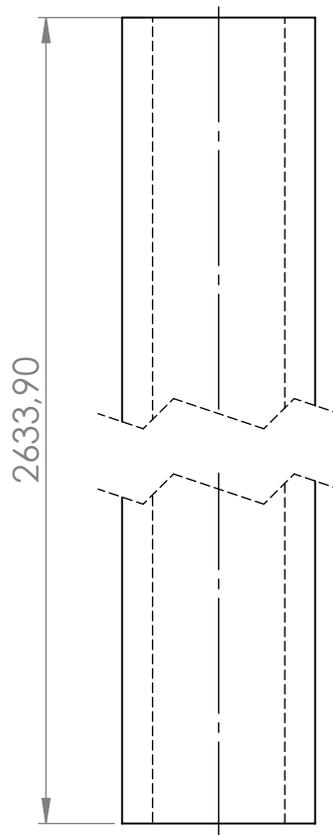
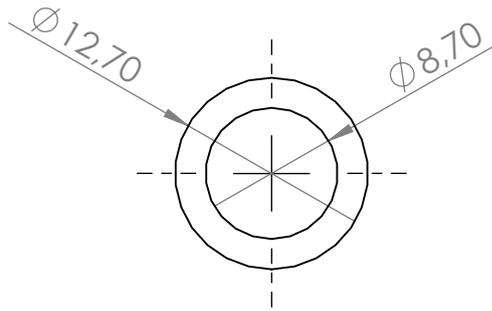
TURMA
GMEC

NÚMERO

FOLHA Nº
6

NUMERO DO DESENHO
1



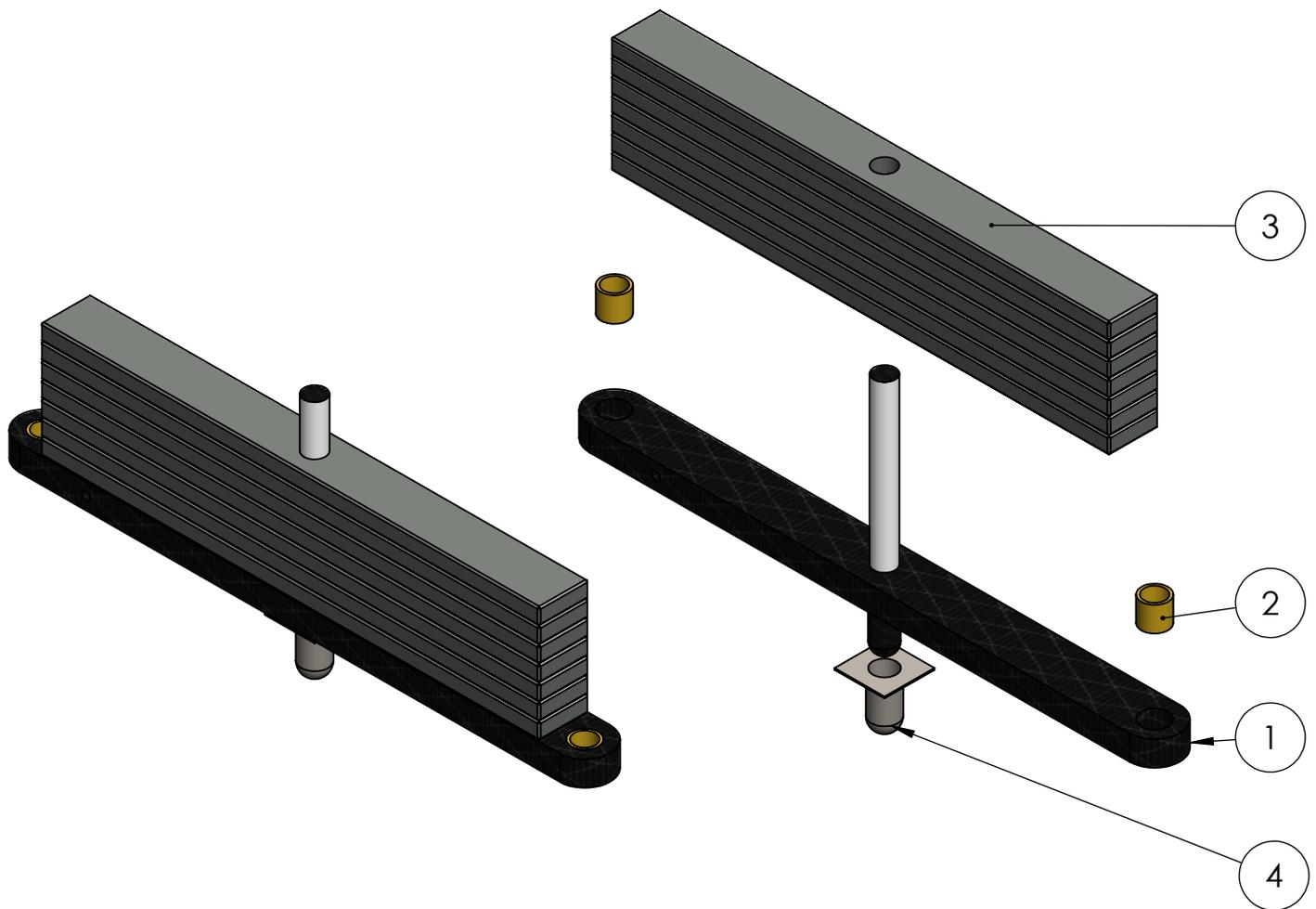


ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	31/08/2021	VISTO	

CEFET/RJ

ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
2:1	Haste	GMEC		7
		NUMERO DO DESENHO		
		1		



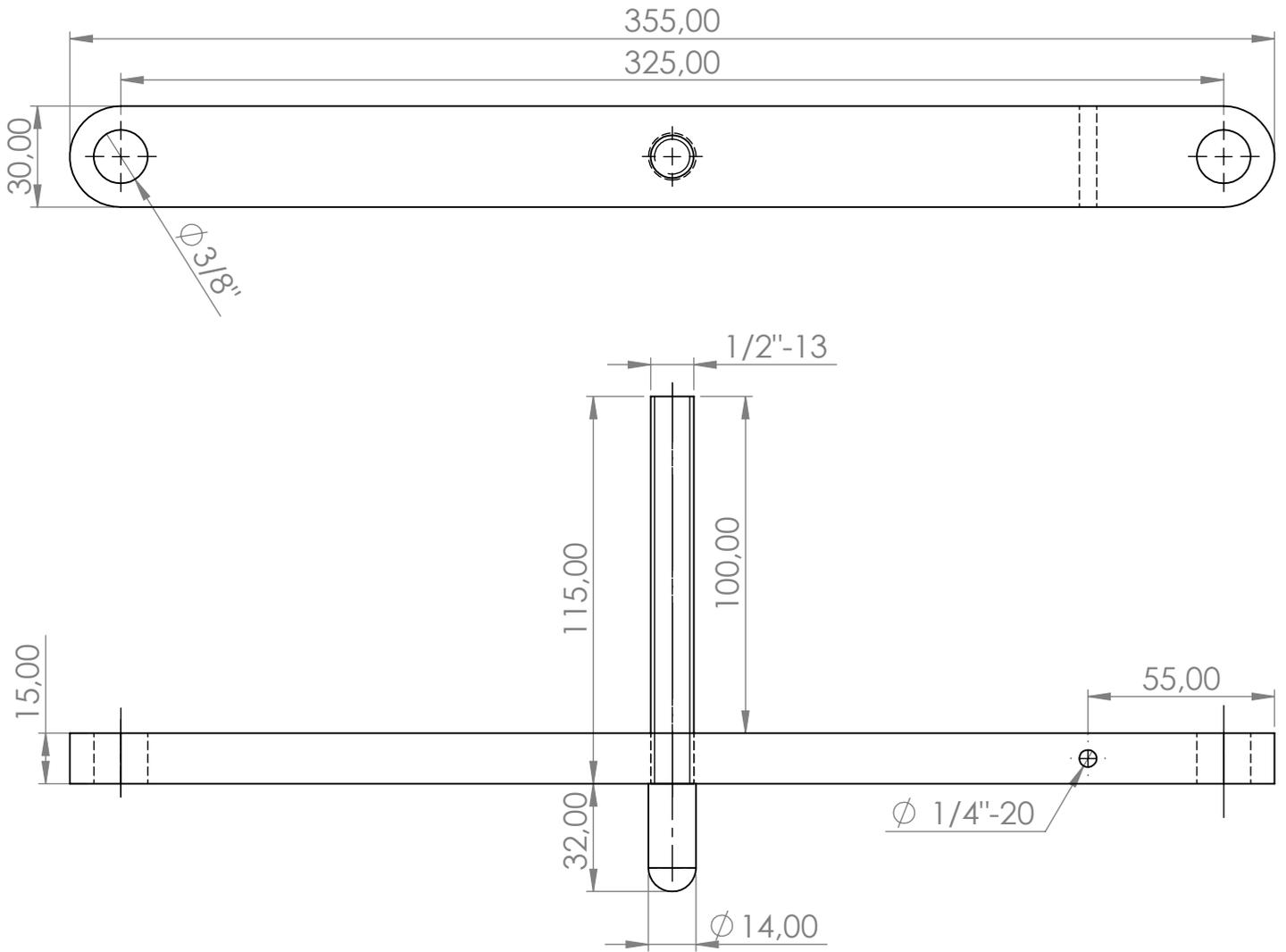
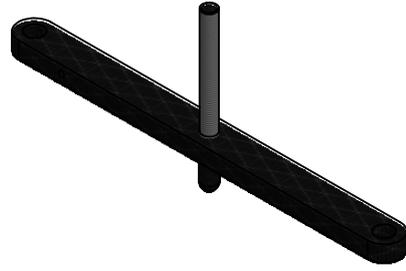


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Impactador	1
2	Bucha de Bronze grafitado	2
3	Pesos de chumbo de 1 Kg	7
4	Capa de aço	1

ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	03/09/2021	VISTO	

CEFET/RJ

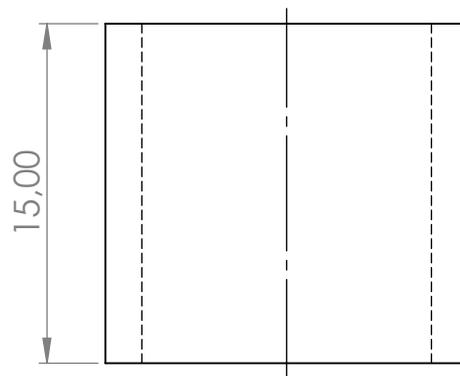
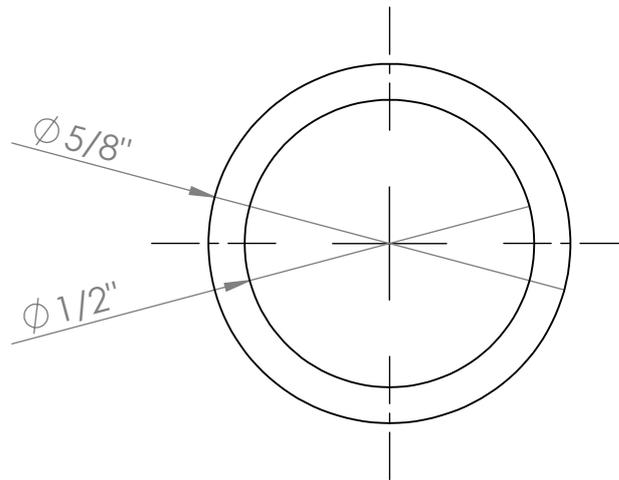
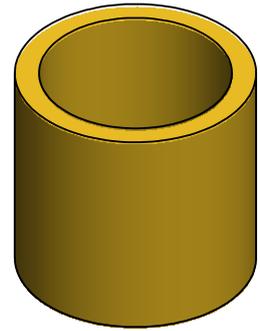
ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
3:1	Lista de Materiais - Montagem Geral	GMEC		8
		NUMERO DO DESENHO		
		1		



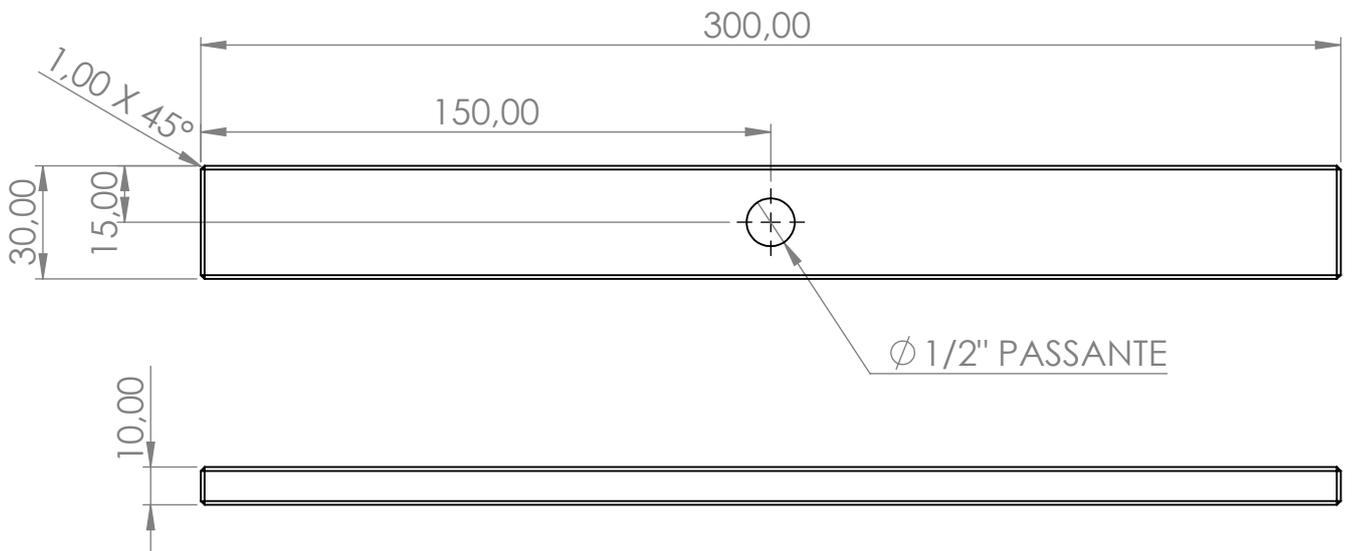
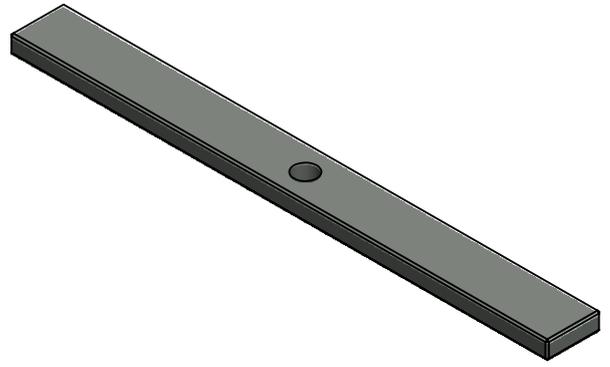
ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	03/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:2	Impactador		



TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 9
NUMERO DO DESENHO 2		



ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		 CEFET/RJ		
PROF	Mariana Banea				
DATA	03/09/2021	VISTO			
ESC.	TÍTULO			TURMA	NÚMERO
	3:1 Bucha de bronze grafitado			GMEC	
				NUMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
				3	10
					



ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	03/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:2	Peso de chubo - 1kg		



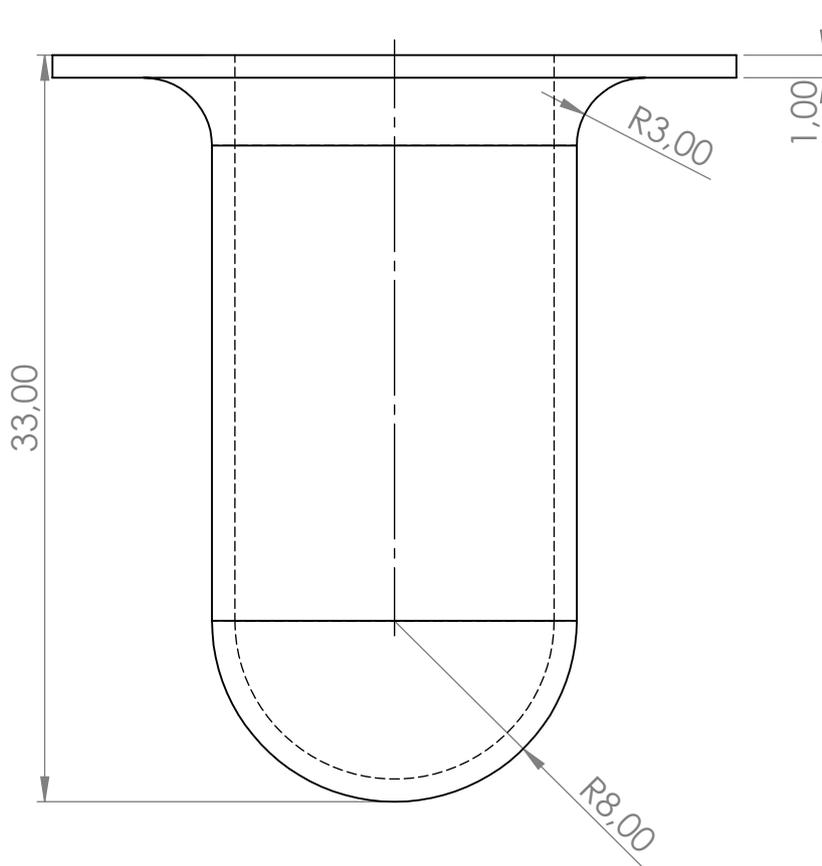
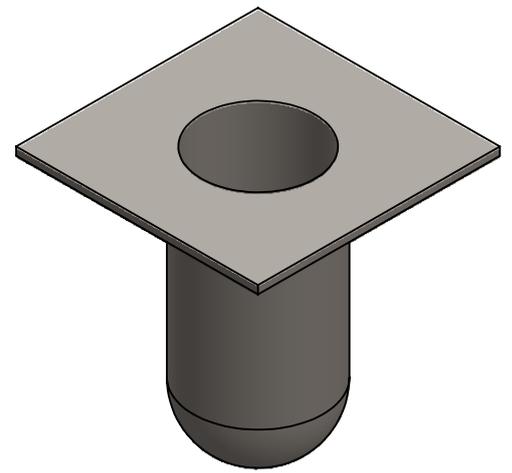
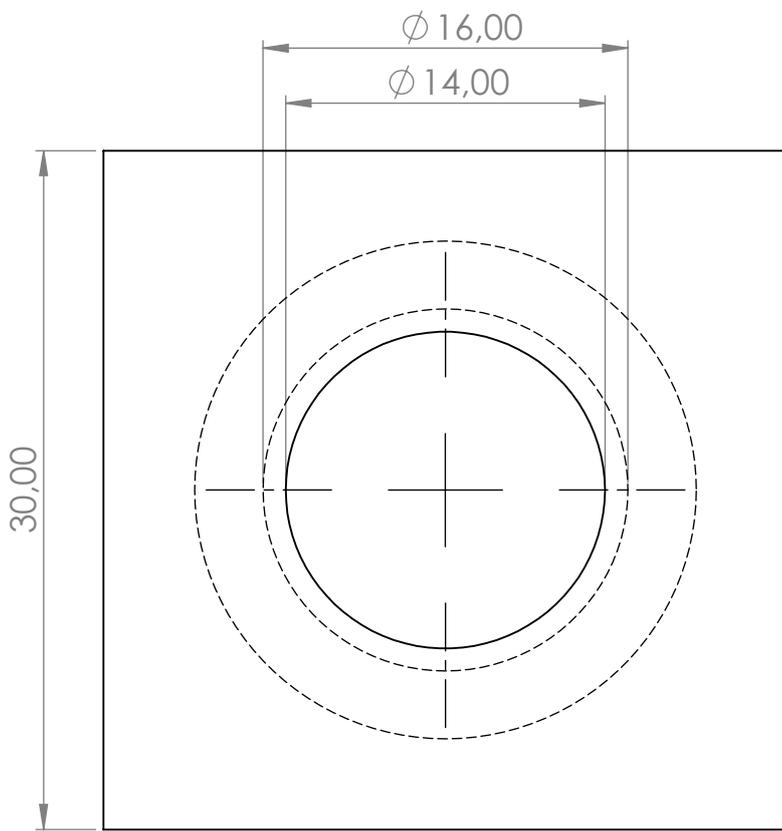
TURMA
GMEC

NÚMERO

FOLHA Nº
11

NUMERO DO DESENHO
4

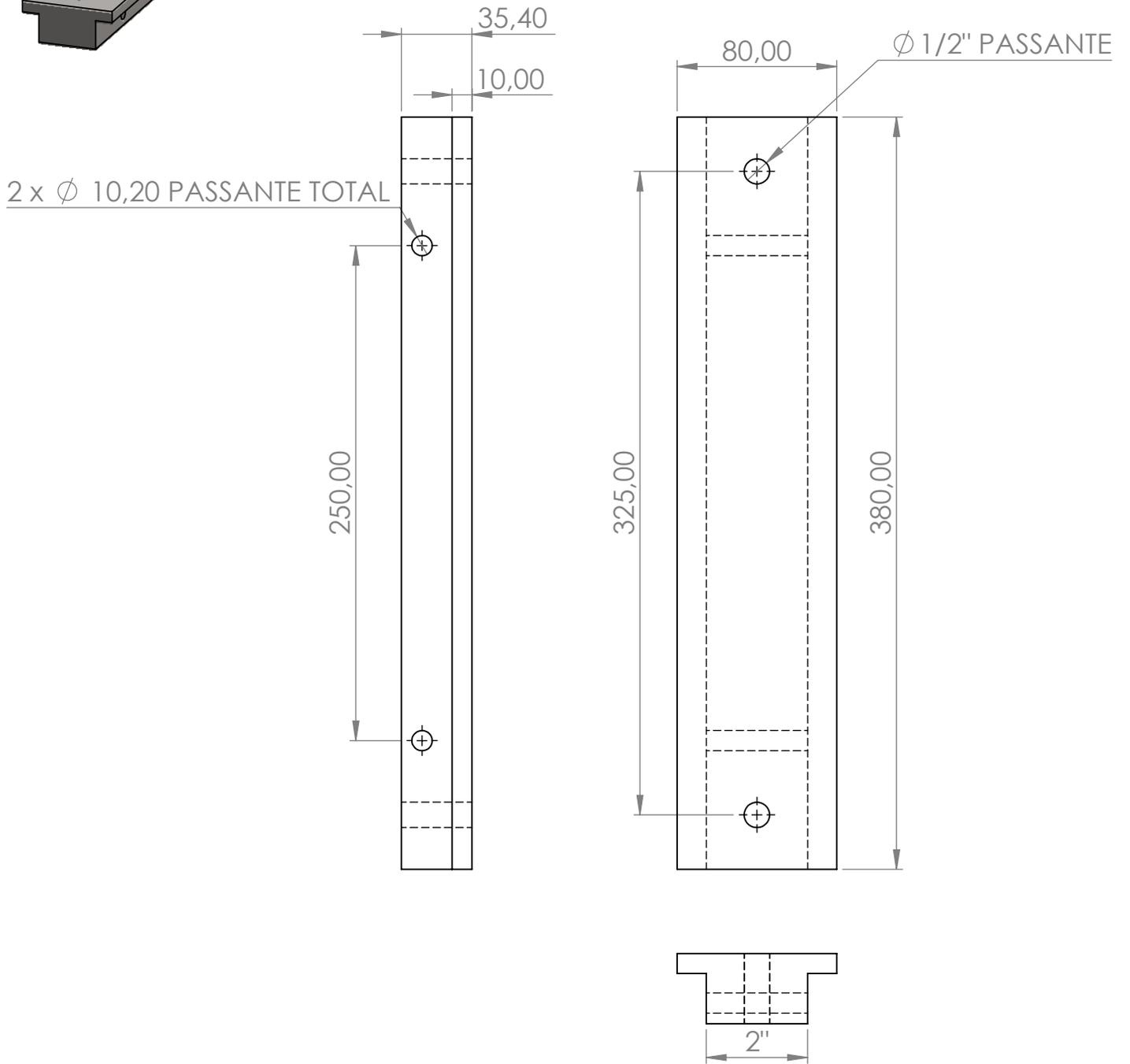
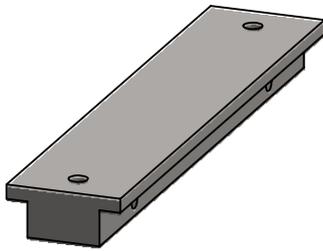




ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	03/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
3:1	Capa de aço 4140 - Impactador		



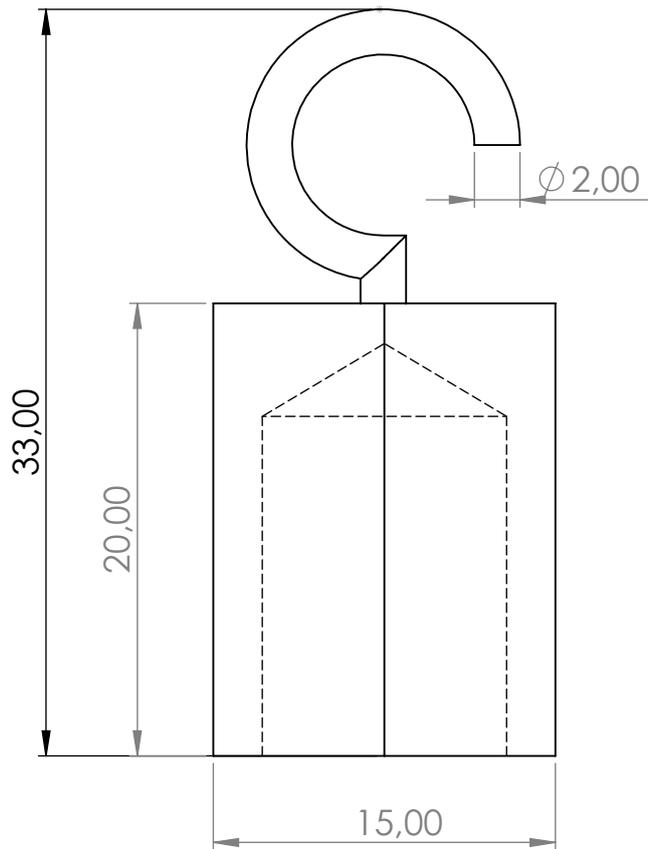
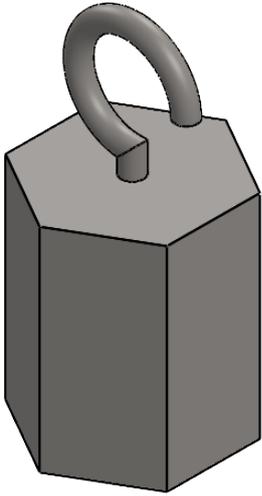
TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 12
NUMERO DO DESENHO 5		



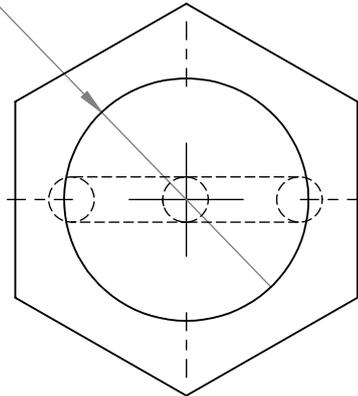
ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	05/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:3	Prisão do eixo inferior		



TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 13
NUMERO DO DESENHO 1		



$\phi 1/2"-13 \nabla 15,00$



ALUNO Ramon Curi e Matheus Garcia

PROF Mariana Banea

DATA 05/09/2021

VISTO

CEFET/RJ

ESC. TÍTULO

3:1 gancho para elevação da carga

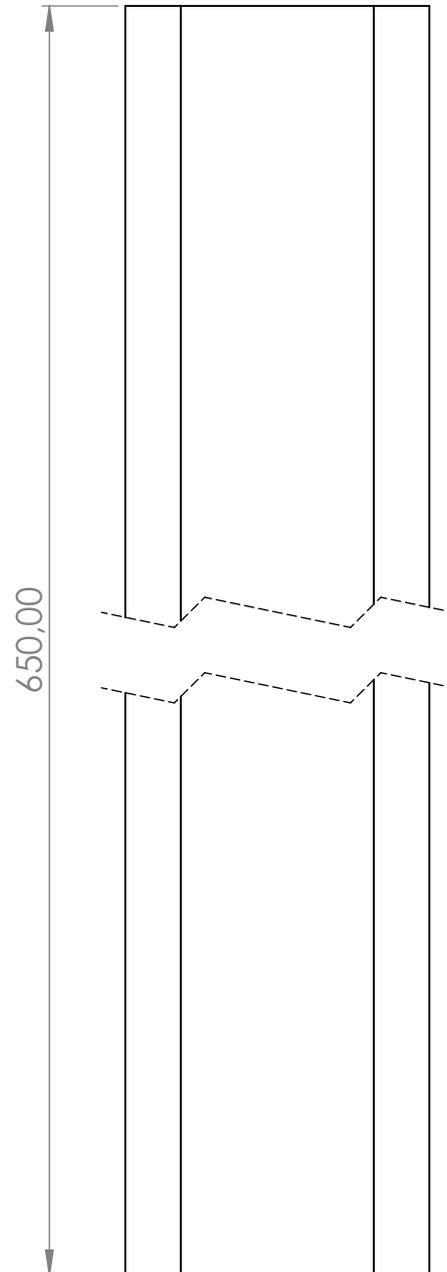
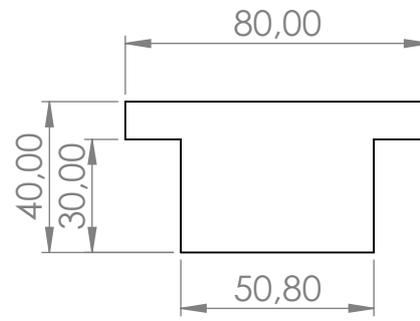
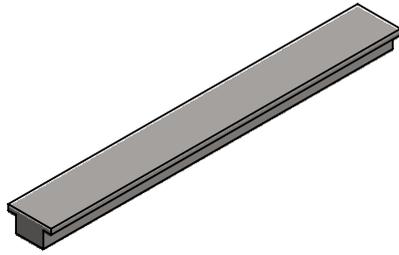
TURMA
GMEC

NÚMERO

FOLHA Nº
14

NUMERO DO DESENHO
1

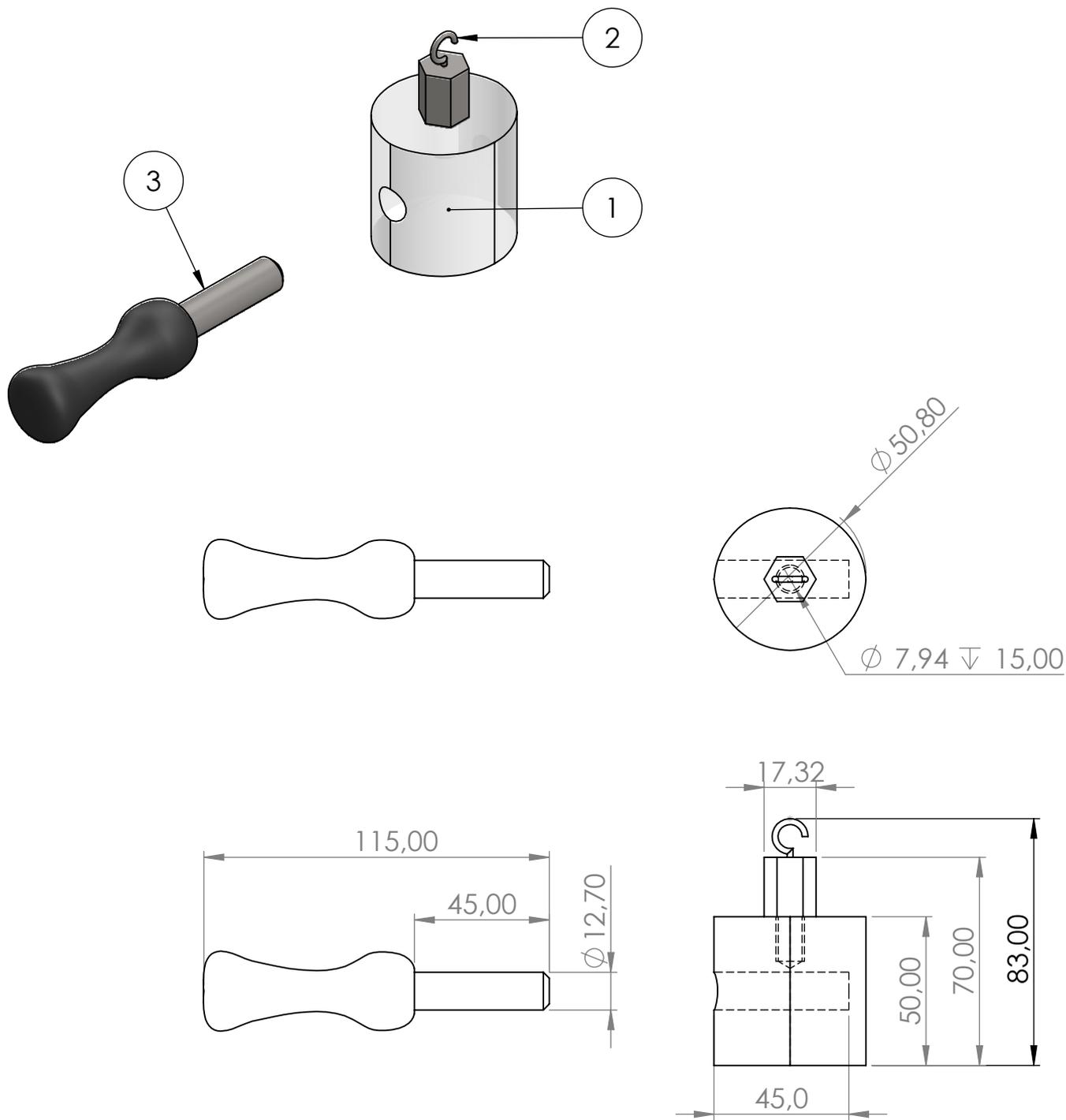




ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	08/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:2	Suporte das polias		



TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 15
NUMERO DO DESENHO 1		

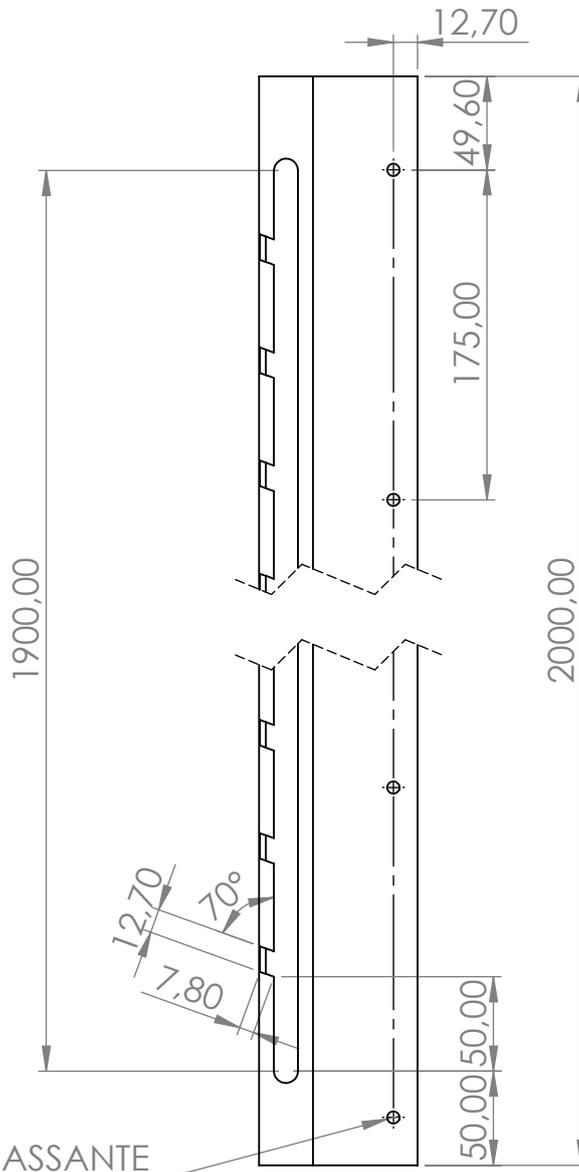
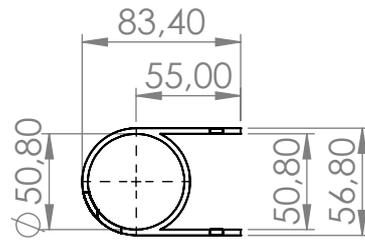


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Embolo para elevação da carga	1
2	gancho para tarugo de nylon	1
3	Pino de liberação da carga	1

ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia	
PROF	Mariana Banea	
DATA	08/09/2021	VISTO

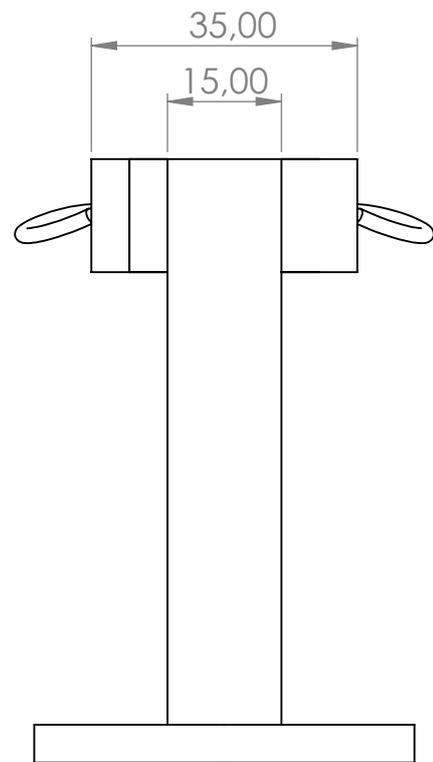
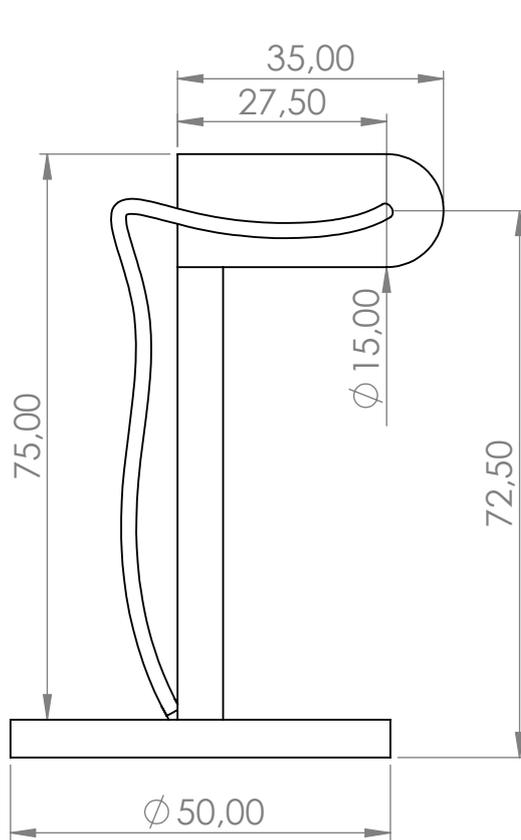
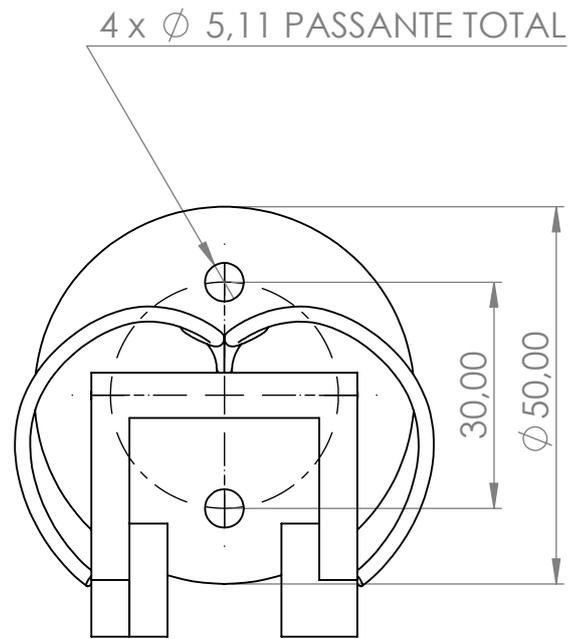
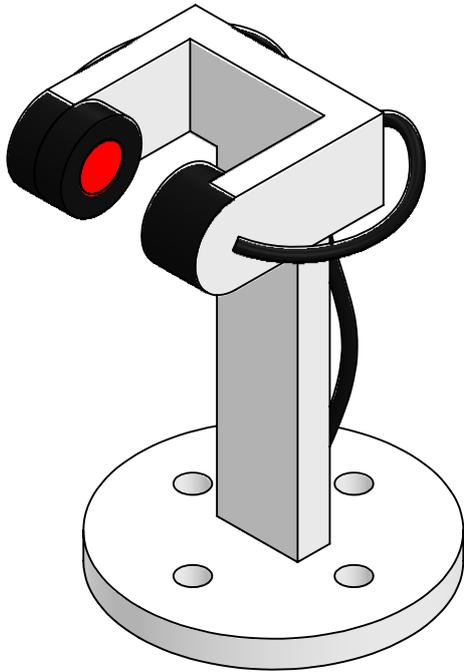
CEFET/RJ

ESC.	TÍTULO	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
1:2	Puxador	GMEC		16
		NUMERO DO DESENHO		
		1		



25 x ϕ 6,53 PASSANTE

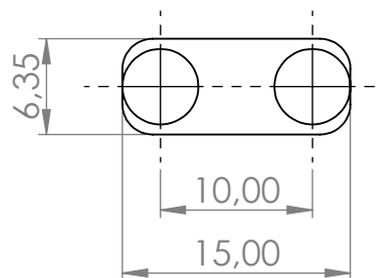
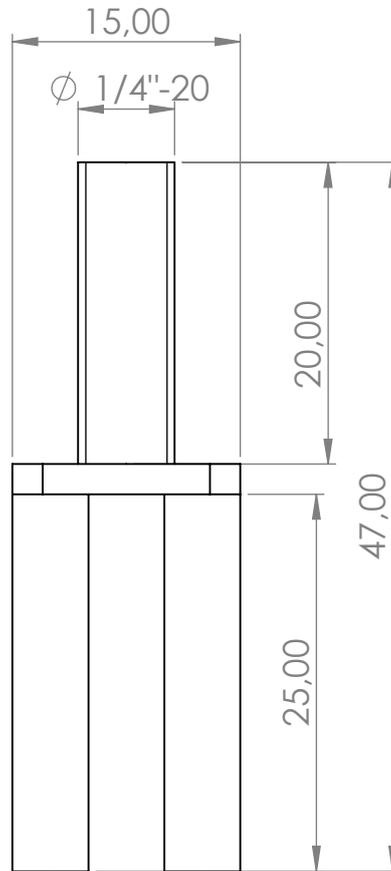
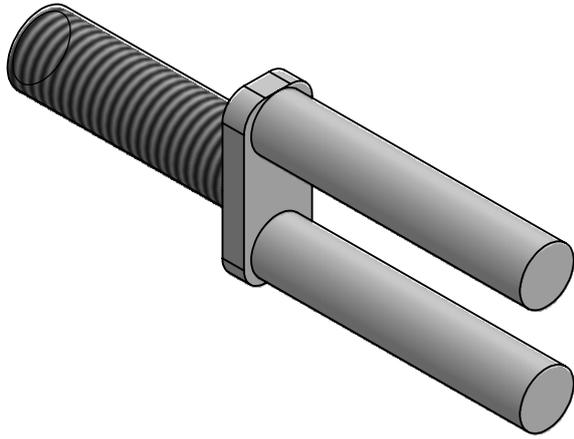
ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		 CEFET/RJ	TURMA	NÚMERO	FOLHA Nº
PROF	Mariana Banea			GMEC		17
DATA	09/09/2021	VISTO			NUMERO DO DESENHO	
ESC.	TÍTULO			1		
1:4	Tubo guia de aço para elevação da carga					



ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	09/09/2021	VISTO	
ESC.	TÍTULO		
1:1	Sensor do Medidor de velocidade		



TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 18
NUMERO DO DESENHO 1		



ALUNO	Ramon Curi e Matheus Garcia		
PROF	Mariana Banea		
DATA	10/09/2021	VISTO	
ESC. 2:1	TÍTULO Haste do Medidor de velocidade		



TURMA GMEC	NÚMERO	FOLHA Nº 15
NUMERO DO DESENHO 1		