



João Pedro Rodrigues Gardin

**PROJETO DE UMA ESTRUTURA PNEUMÁTICA PARA REABILITAÇÃO FÍSICA
DE MEMBROS INFERIORES**

Horizontina - RS

2019

João Pedro Rodrigues Gardin

**PROJETO DE UMA ESTRUTURA PNEUMÁTICA PARA REABILITAÇÃO FÍSICA
DE MEMBROS INFERIORES**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Paulo Marcos Flores.

Horizontina - RS

2019

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

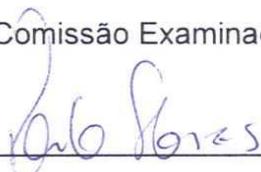
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Projeto De Uma Estrutura Pneumática Para Reabilitação Física De Membros Inferiores”

Elaborada por:
João Pedro Rodrigues Gardin

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

Aprovado em: 04/12/2019
Pela Comissão Examinadora



Mestre. Paulo Flores

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Mestre. Paulo Soliman

FAHOR – Faculdade Horizontina



Mestre. Rafael Schneider

FAHOR – Faculdade Horizontina

DEDICATÓRIA

Dedico meu trabalho aos meus pais Jeferson Gardin e Marcia Rodrigues por toda educação que me foi dada, aos meus irmãos Leonardo e Gustavo, a minha noiva Nathalie Hermes pelo apoio dado durante todo o curso e, em especial, ao meu filho Davi Hermes Gardin por ser o meu motivo de inspiração. Eu amo vocês!

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos professores e funcionários da instituição, bem como os colegas que de alguma forma contribuíram para minha formação, muito obrigado pelos ensinamentos e pelas amizades durante todo o curso.

Agradeço também a empresa Methal Agricola Ltda. pela doação de todo material de chapas de aço que foram utilizadas no projeto, muito obrigado pelo apoio.

“Eu sei o preço do sucesso: dedicação, trabalho duro, e uma incessante devoção às coisas que você quer ver acontecer”.

Frank Lloyd Wright

RESUMO

Com a crescente evolução de novas tecnologias, buscam-se facilitadores do cotidiano dos mais variados segmentos, tanto no ambiente industrial quanto no doméstico. Neste contexto, o presente trabalho aborda as dificuldades encontradas no tratamento de pacientes com problemas de mobilidade de joelhos e pernas, assim como as adversidades vistas por fisioterapeutas em relação ao esforço braçal que os mesmos fazem neste tipo de tratamento. O objetivo final visa o desenvolvimento e manufatura de uma estrutura mecânica com acionamento pneumático, através do modelamento em *software* de CAD. Espera-se que, futuramente, com o aprofundamento deste estudo, esta estrutura possa auxiliar os profissionais da fisioterapia na forma de tratamento destes pacientes, com foco principal em um menor desgaste do profissional, quando esse julgar viável.

Palavras-chave: Reabilitação. Fisioterapia. Pneumática.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quadro geral de compressores industriais.....	17
Figura 2: Fases do desenvolvimento do projeto por Amaral	20
Figura 3: Metodologia de Trabalho criada por Bruno Munari	21
Figura 4: Fluxograma de método proposto por Munari	25
Figura 5: Protótipo completo por vista isométrica.....	28
Figura 6: Adaptador para regulagem de ângulo	29
Figura 7: Estrutura principal.	30
Figura 8: Base de apoio para as pernas.	30
Figura 9: Peças de fixação do cilindro (separadas).....	31
Figura 10: Tubo de movimentação do protótipo.	31
Figura 11: Vista Explodida do protótipo.....	32
Figura 12: Circuito pneumático para movimentação do protótipo de acordo com a norma ISSO 1219.....	33
Figura 13: Cilindro pneumático Festo DNC-40-125-PPV	34
Figura 14: Diagrama de blocos no MatLab/Simulink	39
Figura 15: Trajetória do movimento por simulações computacionais.....	39
Figura 16: Peça usinada para acoplar no eixo do cilindro.....	43
Figura 17: Estruturas Laterais para o Cilindro:	44
Figura 18: Conjunto Soldado "SB002":	45
Figura 19: Estrutura para reabilitação física finalizada:.....	45
Figura 20: Teste 1 realizado com a estrutura:	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estudos e projetos realizados no âmbito da reabilitação:.....	15
Tabela 2: Vantagens do sistema pneumático:.....	18
Tabela 3: Método proposto por Bruno Munari (1998) ajustado para o projeto.	25
Tabela 4: Equipamentos e Materiais utilizados no projeto.	26
Tabela 5: Parâmetros protótipo reduzido:	40
Tabela 6: Lista itens comprados de balcão:	41
Tabela 7: Peças cortadas plasma	42
Tabela 8: Material utilizado para montagem:.....	43
Tabela 10: Detalhados de peças e conjuntos.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

CAD - *Computer-Aided Design* (Desenho assistido por computador)

SI – Sistema Internacional de Unidades

ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.4 HIPÓTESES.....	12
1.5 JUSTIFICATIVA	13
1.6 OBJETIVOS	13
1.6.1 Objetivo Geral	13
1.6.2 Objetivos Específicos	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 PROJETOS SEMELHANTES PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS	15
2.2 PNEUMÁTICA.....	16
2.2.1 AR COMPRIMIDO	17
2.2.2 VANTAGENS DO SISTEMA PNEUMÁTICO	18
2.3 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DO PRODUTO	20
2.4 ERGONOMIA	21
2.5 FISIOTERAPIA.....	23
2.5.1 REABILITAÇÃO MUSCULAR	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	25
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	26
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4.1 MODELAMENTO DO PROJETO	28
4.1.1 Dimensionamento pneumático	32
4.2 AQUISIÇÃO DE PEÇAS	41
4.2.1 Itens Comprados	41
4.2.2 Itens Manufaturados	42
4.3 CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO	43
4.3.1 Ferramental utilizado para montagem	43
4.3.2 Montagem dos conjuntos e peças	44
4.4 TESTES DO PROTÓTIPO	46
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS PEÇAS E CONJUNTOS	52
APÊNDICE B – SISTEMA MODELADO NO FLUIDSIM	74

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico está a cada dia chamando mais atenção pela sua evolução rápida e constante, e com isso vão criando-se ideias de dispositivos e produtos para facilitar e aperfeiçoar a vida das pessoas, mudando o modo como fazemos nossas ações diariamente. Dessa maneira, precisa-se pensar no desenvolvimento de projetos que vão de encontro ao que necessitamos.

Na área da saúde muito se estuda neste sentido, sendo possível identificar oportunidades de ferramentas que facilitem o tratamento e reabilitação de pacientes. Do mesmo modo, deseja-se simplificar a forma como profissionais que atuam nessa área executam seu trabalho, oferecendo-lhes facilitadores que possam auxiliá-los, quando esses julgarem viável.

Com isto, pensou-se em um projeto que busca adaptar uma cadeira comum para ser utilizada por profissionais em seções de fisioterapia, visando minimizar o auxílio humano para a elevação repetitiva de membros inferiores. Para a reabilitação das pessoas com perda parcial ou completa da função motora das pernas, torna-se imprescindível a prática de atividades físicas, tais como, a movimentação repetitiva das pernas, visando proporcionar uma melhor circulação sanguínea, ajudar a manter-se saudável durante a recuperação do trauma sofrido ou no retardo de doenças degenerativas.

O trabalho irá focar no desenvolvimento do projeto em ferramenta de CAD e a aplicação do projeto de produto, que visa à construção e testes de funcionalidade do produto. Espera-se que o projeto ajude na reabilitação das pessoas com dificuldades de movimentos causados por algum tipo de trauma, e ainda possibilite a redução do esforço braçal do cuidador/fisioterapeuta, quando este julgar conveniente.

1.1 TEMA

O tema deste estudo tem como foco principal o desenvolvimento do projeto de produto de uma estrutura pneumática para reabilitação física.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema restringe-se em projetar um produto de baixo custo, mas que possa auxiliar na reabilitação de pessoas que sofrem de algum trauma nos membros inferiores.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O projeto consiste no desenvolvimento de uma estrutura mecânica adaptada a uma cadeia comum, dotada de um sistema pneumático capaz de auxiliar na reabilitação de membros inferiores em pessoas com deficiências e/ou acidentados.

Para a recuperação de pessoas com perda de função motora das pernas, a execução de movimentos repetitivos em seções de fisioterapia contribui significativamente para uma melhora da pessoa debilitada. A perda destes movimentos dificulta diversas ações que consideramos simples em nosso dia a dia. Com isto pensou-se na possibilidade de cooperar com a melhora do indivíduo e, também, proporcionar um melhor condicionamento ergonômico aos profissionais responsáveis pelas seções de fisioterapia.

Considerando estes aspectos, com este trabalho, pretende-se responder a seguinte questão: é possível desenvolver um equipamento de baixo custo que possa auxiliar na reabilitação de pessoas com algum tipo de trauma nos membros inferiores, utilizando componentes da linha pneumática?

1.4 HIPÓTESES

Com base no problema relatado, foram feitas suposições sobre o tema. Sendo elas:

- Hipótese 1: Soluções tecnológicas para a reabilitação dos membros inferiores podem facilitar o tratamento de acidentados, idosos e pessoas com deficiência.
- Hipótese 2: Fisioterapeutas tendem a ter um desgaste físico devido ao esforço realizado em movimentos repetitivos no atendimento dos seus pacientes com problemas de mobilidade física.
- Hipótese 3: Facilidade em limitar o esforço aplicado com atuadores pneumáticos nos membros inferiores, devido a praticidade de controlar a pressão do ar comprimido.
- Hipótese 4: A reabilitação física é muito importante no tratamento de pessoas acidentadas e com problemas neurológicos.

1.5 JUSTIFICATIVA

Estudos recentes, focado em reabilitação, mostraram que os exoesqueletos estão sendo usados no tratamento de reabilitação, a fim de melhorar as limitações de mobilidade e, conseqüentemente, contribuir para mudanças significativas na qualidade de vida. Estas pesquisas visam compreender e encontrar formas de introduzir protótipos para cooperar com a recuperação, de forma que se tenha uma movimentação das articulações, com o intuito de acelerar o processo de recuperação do paciente.

Com o avanço tecnológico que cresce exponencialmente com o passar dos anos, torna-se essencial à introdução de métodos que vão de encontro ao desejo de fisioterapeutas de aperfeiçoar seus tratamentos fisioterápicos, através de dispositivos que atendam as necessidades de seus pacientes de forma adequada.

O trabalho justifica-se pelo fato de que pessoas com limitações físicas necessitam de exercícios para estimular a mobilidade das pernas e, com isto, o trabalho do fisioterapeuta acaba por necessitar de um esforço braçal no atendimento dos seus pacientes, o que acarreta em um desgaste do mesmo. Visto isto, foi pensado em projetar a estrutura pneumática que traz certa tecnologia para pessoas em processo de reabilitação e que além de facilitar o trabalho do fisioterapeuta, auxiliará na recuperação e melhora do paciente.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é projetar e produzir um mecanismo de baixo custo capaz de auxiliar na reabilitação de membros inferiores de pessoas acidentadas e/ou com dificuldades motoras, através da ação de um sistema pneumático.

1.6.2 Objetivos Específicos

Destacam-se como objetivos específicos deste projeto:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica;
- Identificar as necessidades e os requisitos de projeto para reabilitação de membros inferiores.

- Desenvolver o projeto detalhado em um software de CAD para a concepção de um dispositivo com acionamento pneumático;
- Adequar um atuador pneumático para o funcionamento do sistema;
- Construir o protótipo;
- Testar o funcionamento do protótipo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão de literatura serão abordados temas de relevância para o projeto, focando principalmente no sistema pneumático, passando pela reabilitação e como a mesma é utilizada para recuperação física e o embasamento para o desenvolvimento do projeto.

2.1 PROJETOS SEMELHANTES PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS

Neste capítulo serão mencionados alguns projetos e estudos com foco na reabilitação física de membros, para se compreender o quão amplo tem sido as pesquisas de desenvolvimento de artigos e protótipos focados neste tema.

Tabela 1: Estudos e projetos realizados no âmbito da reabilitação:

Título	Autores	Instituição de Ensino/Publicação	Descrição
Robotic Systems for Gait Rehabilitation	Anacecilia Villa Parra, Denis Delisle Rodríguez, Flávia Loteiro, Thomaz Botelho	UFES - Universidade Federal do Espírito Santo	Tem por objetivo desenvolver um exoesqueleto robótico comandado por sinais elétricos da perna e do tronco, e sinais do cérebro, para ser utilizado na reabilitação do joelho.
Modelagem Matemática de uma Bancada Robotizada com Acionamento Pneumático para Reabilitação Física	Roberta Goergen	UNIJUI - Universidade Regional	Tem como objetivo a pesquisa e desenvolvimento da modelagem matemática de um mecanismo robótico, que dispõe de atuadores pneumáticos, utilizado para reabilitação física de pacientes.
Desenvolvimento de uma estrutura robótica atuada por cabos para reabilitação/recuperação dos movimentos do ombro	Wilgo Moreira Nunes	UFU - Universidade Federal de Uberlândia	Desenvolvimento de uma estrutura para reabilitação do ombro e sua modelagem matemática através da criação de um protótipo, simulações gráficas e testes experimentais.
Emerging Robotics Devices for Therapeutic Rehabilitation of the Lower Extremity	Chathuri Senanayake, Arosha Senanayake	2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics	Estudo realizado para compreender o impacto nos desenvolvimentos no que diz respeito a reabilitação para entender as limitações e os desafios encontrados por pesquisadores do assunto.

A Review of Lower Extremity Assistive Robotic Exoskeletons in Rehabilitation Therapy	Gong Chen, Chow Khuen Chan, Zhao Guo, & Haoyong Yu	Critical Reviews™ in Biomedical Engineering, 41(4–5):343–363 (2013)	Estudo baseado em reabilitação das extremidades inferiores através de esteiras. Uma análise dos sistemas mecânicos, forma de atuação e entendimento do porque a interação entre os componentes são cruciais para o desempenho ideal, discutindo também as limitações e os desafios técnicos encontrados.
Design of a Parallel Actuated Exoskeleton for Adaptive and Safe Robotic Shoulder Rehabilitation	Hsiang-Chien Hsieh, Dian-Fu Chen, Li Chien, and Chao-Chieh Lan	DOI 10.1109/TMECH.2017.2717874, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	Estudo de um exoesqueleto para o ombro, acionado por atuadores.

Fonte: Autor (2019)

Cada estudo citado acima auxiliará no desenrolar do trabalho, sendo possível identificar ideias, uma vez que cada projeto e estudo têm características que podem ser de grande valia para as etapas conseguintes do desenvolvimento de uma estrutura para reabilitação.

2.2 PNEUMÁTICA

A pneumática origina-se do grego “PNEUMA”, e tem como significado vento, fôlego, sopro e conceitua-se como a matéria que trata dos movimentos e fenômenos dos gases (FIALHO, 2011). A pneumática deriva da transformação em ar comprimido em certa pressão de trabalho, através da compressão do ar atmosférico em um reservatório. O compressor é o responsável pela execução deste processo. (BONACORSO; NOLL, 2000).

Fialho (2011) explica que os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que transformam a energia cinética em energia pneumática, através de movimentos lineares ou rotativos, resultando em trabalho.

Os atuadores pneumáticos são muito utilizados na indústria e normalmente a aplicação requer apenas controle ponto a ponto, porém devido à capacidade de precisão de rastreamento, ser leve e de velocidade alta, os mesmos podem ser muito utilizados em aplicações robóticas e médicas (LEE; CHOI; CHOI, 2002).

2.2.1 AR COMPRIMIDO

O sistema pneumático utiliza do ar em determinadas condições como fonte de energia para seu acionamento, sendo elas a pressão adequada e qualidade do ar, condições essas que são alcançadas através de compressores para a pressão e recursos como secadores e filtros para a qualidade do ar (FIALHO, 2011). O ar comprimido age sobre o pistão produzindo uma força que irá mover um equipamento ou carga (STEWART, 1981). O ar não tem forma definida, assim como todos os gases, permitindo adquirir a forma de um recipiente que o tenha, alterando-se com o mínimo esforço e podendo assim preencher todo espaço do mesmo (FIALHO, 2015).

No que diz respeito à distribuição do ar comprimido, Fialho (2011) cita que a instalação de uma rede de ar comprimido requer alguns cuidados como a localização do compressor, o dimensionamento, forma de montagem e fixação do sistema, tratamento do ar e o seguimento de normas técnicas.

Sobre a produção e distribuição do ar comprimido Fialho (2011) comenta que os compressores mais utilizados na indústria são os alternativos, de palhetas, de parafusos, de lóbulos, centrífugos e axiais. Podem ser classificados conforme a Figura 1:

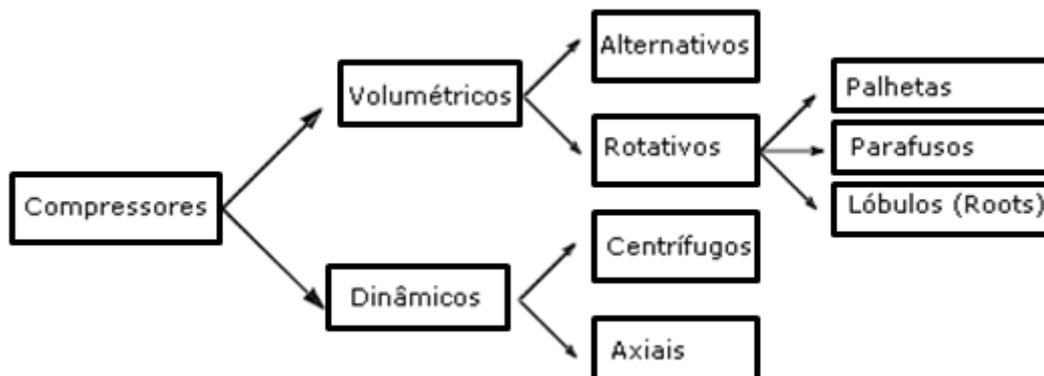


Figura 1: Quadro geral de compressores industriais.

Fonte: Adaptado de FIALHO (2011).

Fialho (2011) ainda explica que para a escolha de um compressor ideal precisa-se olhar para características como o volume de ar fornecido, pressão, acionamento e sistema de regulagem.

2.2.2 VANTAGENS DO SISTEMA PNEUMÁTICO

Comparando-se com a hidráulica, a pneumática se torna um recurso simples, de maior rendimento e barato, podendo se utilizar em diversos imbróglis de automatização, devido ao uso do ar como fluido de aplicação (UZUKA et al, 2009).

A Tabela 2 apresenta algumas vantagens do sistema pneumático.

Tabela 2: Vantagens do sistema pneumático:

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
Quantidade	O ar comprimido existe em quantidades ilimitadas.
Transporte	Transporta-se com facilidade através de tubulações.
Armazenagem	Por ser armazenado em um reservatório, não necessitando que o compressor trabalhe continuamente.
Temperatura	Insensível a oscilações de temperatura.
Segurança	Trabalha com baixa pressão, evitando perigos de incêndios ou explosões.
Limpeza	Não há riscos de poluição ambiental no caso de vazamentos de componentes mal vedados.
Construção	Não necessita materiais robustos, utilizando materiais de construção simples.

Velocidade	Permite alta velocidade de deslocamento, com condições normais entre 1 e 2m/s.
Regulagem	Não possui uma escala de regulagem, podendo ser regulado em velocidade e força, variando do mínimo ao máximo.
Segurança contra sobrecarga	Os elementos pneumáticos podem ser acionados, em carga, até parar, sem ocorrer danos e voltando normalmente ao funcionamento.

Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

FIALHO (2011, p.26) afirma que, para compreender as vantagens da utilização da pneumática para a automação, estudam-se as três propriedades físicas do ar que concede a pneumática o status de baixo custo, limpo e alta rentabilidade no meio da automatização, sendo elas a expansibilidade, compressibilidade a temperatura constante e elasticidade.

2.3 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DO PRODUTO

Segundo Baxter (2011), o desenvolver de produtos novos é uma tarefa de complexidade, que envolve diversas áreas e habilidades, sendo elas, os consumidores que prezam por produtos cada vez melhores e baratos, vendedores que almejam produtos competitivos no mercado, engenheiros que desejam a facilidade de fabricação e montagem, os *designers* que querem inovação de materiais e produtos e os empresários que ambicionam retorno de capital a investimentos baixos.

Podemos visualizar um projeto como sendo um ambiente de negociação e tomada de decisão, onde os integrantes de uma equipe estão habilitados, por ter um conhecimento comum, a decidir e compartilhar informações úteis e relevantes à equipe (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Sobre projetar, Pahl et al. (2007) diz que, em aspectos sistemáticos, é a melhoria de objetivos determinados parcialmente, que mudam com o tempo, de forma que uma determinada solução só pode ser otimizada em circunstâncias de um conjunto específico.

Visto isso, parte-se então para as fases de desenvolvimento, na qual um planejamento é utilizado e atualizado durante a realização do projeto propriamente dito (AMARAL et al, 2006), como podemos ver na figura abaixo. Complementando, Amaral et al (2006) diz que, a divisão varia e não existe um padrão de regra a ser seguido.

Figura 2: Fases do desenvolvimento do projeto por Amaral:



Fonte: Adaptado de AMARAL et al. 2006.

É importante que ao final de cada fase as tomadas de decisões e lições aprendidas sejam documentadas e registradas formalmente para servir de fonte de pesquisa para realização de melhorias (AMARAL et al., 2006).

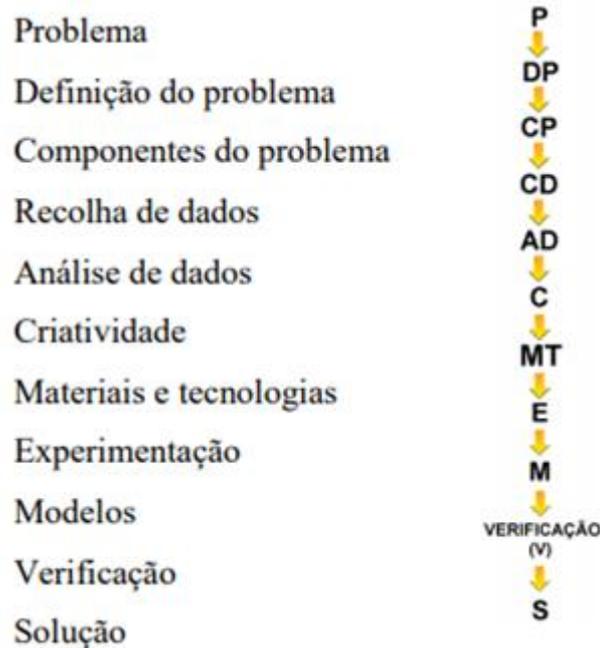
Outro método existente no desenvolvimento de projetos é o método proposto por Bruno Munari no livro “Das Coisas Nascem Coisas”, onde a estrutura da

metodologia se faz de maneira mais simplificada, tornando possível uma visão ampla do projeto e das atividades a serem executadas (MUNARI, 1998).

Barbosa (2013) comenta que Munari defende em seu método a criatividade como um valor objetivo que vai desenvolvendo conforme se encontra soluções para o problema do projeto.

Na Figura 3 se mostra como se divide a metodologia de Munari.

Figura 3: Metodologia de Trabalho criada por Bruno Munari:



Fonte: BARBOSA (2013)

No geral, a metodologia de projeto de Munari (1998) vem a ser um instrumento muito útil, tendo como a principal virtude, a capacidade de organizar um processo de desenvolvimento de projeto simples e que pode se alterar conforme necessidade (BARBOSA, 2013).

2.4 ERGONOMIA

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, que engloba desde os trabalhos executados em máquinas até toda a situação de relacionamento entre o homem uma atividade operacional (IIDA, 2005).

Já a ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia (www.abergo.org.br) define ergonomia como sendo a disciplina científica que estuda as interações entre o homem e os outros elementos, a aplicação da teoria, com o intuito de melhorar o bem estar e o desempenho no trabalho.

Quando fala-se em desenvolvimento de produtos, Romeiro Filho et al. (2010) enfatiza que no momento atual as empresas priorizam muito a ergonomia para adequação ao usuário, visando o conforto e a segurança e utilizando o assunto até mesmo como forma de publicidade.

Da visão ergonômica, Lida (2005) aponta três características básicas para que os produtos tenham uma boa funcionalidade e adaptação com os usuários. São eles:

- Qualidade técnica – É a parte de funcionamento do produto, considerando a forma como o produto desempenha sua função desde o rendimento nas conversões de energia, facilidade de limpeza e manutenção, ausência de vibração e barulho, entre outros fatores.
- Qualidade ergonômica – Onde se garante a qualidade de experiência do usuário com o produto, apontando características como a facilidade de manuseio, adaptação ao corpo e tópicos relacionados a segurança e conforto do cliente.
- Qualidade estética – É onde se proporciona o prazer ao usuário através da harmonização e formas, cores e acabamentos, tornando o produto atraente aos olhos do consumidor.

Do ponto de vista de desenvolvimento, designers tem dificuldade em encontrar opções satisfatórias para ergonomia e utilizam a abordagem baseada em objetos e em efeitos para atender aos requisitos necessários (PAHL et al., 2007).

Pahl et al. (2007) explica o que significa as abordagens baseadas em objetos e efeitos:

- Abordagem baseada em objetos: Nestes casos, as partes que precisam ser ergonômicas no projeto são conhecidas e documentadas é importante atentar-se aos requisitos específicos do sistema.
- Abordagem baseada em efeitos: Nesta abordagem, olha-se para requisitos no que diz respeito a perigos à segurança e limitações e é utilizado quando não se tem o objeto definido. Compara os efeitos do sistema com os requisitos ergonômicos.

2.5 FISIOTERAPIA

Segundo Pinheiro (2009, apud LOPES,2005) define-se a fisioterapia como sendo a ciência da saúde que estuda, previne e trata problemas funcionais em órgãos e no corpo humano, ocorridos por traumas, genética ou doenças contraídas.

O fisioterapeuta é o profissional que previne ou diminui problemas físicos através de avaliação, ações de prevenção e reabilitação dos pacientes, mediante recursos fisioterapêuticos não cirúrgicos ou invasivos (PINHEIRO, 2009).

Sobre a área de atuação, Pinheiro (2009) explica que o fisioterapeuta consegue trabalhar em qualquer uma das áreas da fisioterapia após a formação, podendo optar se deseja desenvolver-se em alguma especialização ou atuar de maneira mais generalista.

2.5.1 REABILITAÇÃO MUSCULAR

Sobre a reabilitação, Fernandes et al (2015) diz que a demanda de serviços de reabilitação está aumentando em decorrência do envelhecimento populacional e dos avanços na medicina. Isto ocorre, pois a tecnologia vem melhorando em relação a reabilitação, tendo o objetivo de simplificar a vida para pessoas com necessidades especiais através da melhora em treinos específicos para otimizar o estímulo e melhora de pacientes (FERNANDES et al., 2015).

Morfológica e funcionalmente os tecidos do corpo humano são classificados como epitelial, nervoso, conjuntivo e muscular (DUTTON, 2010). O tecido muscular é o responsável pelo movimento de substâncias em todo o corpo, pela movimentação de uma parte em relação à outra e pela locomoção, sendo separado em três grupos: liso, cardíaco e esquelético (DUTTON, 2010).

As distensões musculares são classificadas de acordo com a gravidade, sendo elas elencadas como distensão leve (Grau I), distensão moderada (Grau II) e distensão grave (Grau III), sendo definida perante o tempo que a reabilitação completa irá durar (DUTTON, 2010).

A reabilitação muscular deve seguir etapas que consistem na proteção da lesão, ganho total da amplitude do movimento, prevenir o músculo de atrofiar, fortalecer o músculo, devolver a agilidade para atividades distintas, entre outros (PLAPLER, 1995).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi necessário à realização de um levantamento bibliográfico para a formulação do referencial, onde serão retiradas as informações essenciais para o desenvolvimento da estrutura, garantindo o embasamento para a funcionalidade do projeto.

O projeto será de caráter pesquisa-ação, uma vez que será trabalhada com as pesquisas anteriores referentes ao assunto, a aplicação de um protótipo visando testes de funcionalidade do mesmo e também por seguir a partir de um problema, que são as dificuldades no tratamento de pessoas com delimitações nos membros inferiores e os desgastes que isto causa aos pacientes e ao cuidador/fisioterapeuta.

Segundo Gil (2002), existe muita controvérsia sobre a pesquisa-ação, devido à necessidade do envolvimento ativo do pesquisador e a aplicação das pessoas envolvidas no problema. Devido à flexibilidade deste tipo de pesquisa, onde além da pesquisa em si, conta-se com a ação do pesquisador, é difícil ter-se um planejamento ordenado de forma temporal (GIL, 2002).

Foi aplicado um questionário a um profissional da área de fisioterapia, com a intenção de compreender a dificuldade no atendimento dos seus pacientes com problemas de mobilidade, para entender o real impacto que este projeto pode ter no tratamento de pessoas com limitações físicas, para extrair os dados referentes aos requisitos do cliente e para ter o conhecimento de como dimensionar o circuito pneumático no que diz respeito a ângulos de avanço e velocidade de trabalho.

Também foram calculadas as forças com que o cilindro pneumático atuaria dentro do sistema, para saber qual a velocidade de trabalho e a pressão máxima admissível para um bom funcionamento do sistema.

Após todo o levantamento de dados necessários para entender quais os principais pontos de abordagem no projeto e definido a aparência da estrutura e a escolha dos acionamentos, iniciou-se o projeto do protótipo em um *software* de CAD 3D e, paralelamente a isto, foi-se adquirindo o material que seria necessário para a construção do mesmo.

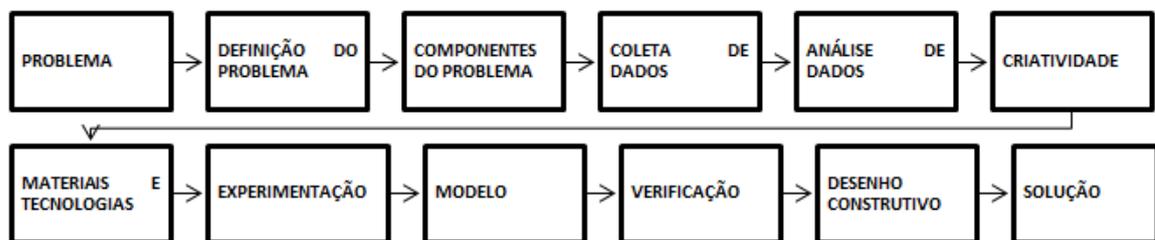
Algumas peças foram terceirizadas para evitar possíveis erros no projeto, diminuir o tempo da montagem e garantir uma maior qualidade durante os testes do mesmo. Os materiais pneumáticos a ser utilizado serão de equipamentos já existentes na instituição de ensino para reduzir os custos eminentes.

E, por fim, foi feita a montagem do protótipo e realizado teste de funcionalidade.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O método utilizado foi o descrito por Bruno Munari no livro *Das Coisas Nascem Coisas* (1998), caracterizada pelo fluxograma exposto na Figura 4 e explicado de forma adaptada ao projeto na Tabela 3.

Figura 4: Fluxograma de método proposto por Munari:



Fonte: Autor, 2019

Tabela 3: Método proposto por Bruno Munari (1998) ajustado para o projeto.

PROBLEMA	Dificuldade na reabilitação de pessoas com problemas nos membros inferiores por conta do desgaste de fisioterapeutas.
DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	Fisioterapeutas tendem a fazer movimentos repetitivos no atendimento de pacientes, ocasionando em um desgaste e cansaço do profissional.
COMPONENTES DO PROBLEMA	Falta ergonomia para os fisioterapeutas e equipamentos tecnológicos para a reabilitação de pacientes com problemas nas pernas/joelhos.
COLETA DE DADOS	Estudar através de questionamento aos profissionais da área para averiguar quais os requisitos necessários e a estudo de equipamentos parecidos no mercado.
ANÁLISE DE DADOS	Adaptar materiais de baixo custo para o uso no projeto, realizando inovações conforme os requisitos apontados na coleta de dados.
CRIATIVIDADE	Após o estudo dos dados, a compreensão de como abordar o problema relatado, entende-se que a ideia de desenvolver uma cadeira com uma estrutura que irá fazer o movimento das pernas através de um sistema pneumático torna-se viável e conseguirá atender aos desejos dos clientes de forma satisfatória.
MATERIAIS E TECNOLOGIAS	Serão utilizados chapas e tubos de material aço AISI 1020 na estrutura, por se tratar de um material de baixo custo e por ser fácil de encontrar no mercado e não necessitando de equipamentos especiais para soldagem e corte dos mesmos. Também serão utilizados equipamentos pneumáticos existentes na instituição de ensino para atender a funcionalidade do projeto.

EXPERIMENTAÇÃO	Consistirá na montagem do projeto e realização de testes iniciais, verificando se o funcionamento estará conforme o desejado e idealizado no início do desenvolvimento.
MODELO	Será modelado no <i>software</i> de CAD podendo-se optar já pela matéria prima a ser utilizada no projeto.
VERIFICAÇÃO	Avaliar se o modelo da estrutura será funcional no mesmo <i>software</i> que foi modelado o produto.
DESENHO CONSTRUTIVO	Depois de finalizado o desenho do protótipo e verificado o funcionamento do sistema, serão feitos os desenhos detalhados com as especificações técnicas de cada componente para poder ser executada a manufatura das peças.
SOLUÇÃO	O produto pronto será uma estrutura para reabilitação física dos membros inferiores, tendo diferentes níveis de regulagem para o uso, facilitando o trabalho do fisioterapeuta no tratamento de seus pacientes, diminuindo o desgaste físico do mesmo.

Fonte. Autor, 2019.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Neste capítulo listam-se os materiais e os equipamentos que foram utilizados durante todo o desenvolvimento do projeto conforme visto na Tabela 4.

Tabela 4: Equipamentos e Materiais utilizados no projeto.

Nome	Descrição	Forma que foi aplicado
Software de CAD 3D	Programa de modelagem de componentes 3D	Modelamento de componentes e detalhamento do protótipo.
Microsoft Excel	Aplicativo de criação de planilhas eletrônicas	Realização de cálculos para o dimensionamento pneumático do sistema, bem como para a criação das tabelas e quadros utilizados.
FluidSIM	Software de modelamento e simulação de circuitos pneumáticos, hidráulicos e comandos elétricos.	Verificar a forma como o sistema se comporta para aplicá-lo na prática.

MATLAB/SIMULINK	O MATLAB é um sistema interativo cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento.	Utilizado para simulação da trajetória de movimento e encontrar o valores de problemas numéricos.
Câmera fotográfica digital	Aparelho para a captura de imagens.	Utilizou-se de uma câmera fotográfica para fotografar imagens dos componentes do projeto e durante a montagem.

Fonte: Autor (2019).

Para realizar a concepção do projeto, utilizou-se o *software* de CAD SolidWorks 2018 para o modelamento e detalhamento do protótipo, sendo uma ferramenta muito utilizada dentro do mundo da engenharia. Usou-se do Microsoft Excel para realizar os cálculos de dimensionamento do sistema pneumático e do FluidSIM para ver como se comporta o sistema no programa para aplicá-lo na prática.

Serão utilizados também os laboratórios de usinagem, solda e pneumática da faculdade para a montagem e desenvolvimento do projeto.

No laboratório de usinagem serão utilizadas as máquinas de torno fresador e torno mecânico para usinar algumas peças do projeto. Para o laboratório de soldagem será utilizado uns dos aparelhos de solda MIG/MAG disponíveis na instituição. Para realização dos testes, será utilizada a instalação de ar comprimido existente no laboratório de pneumática.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir do presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos através da metodologia escolhida para o projeto de produto. Com isto serão visualizadas todas as partes do projeto, apresentando desde os dados até a concepção final do produto.

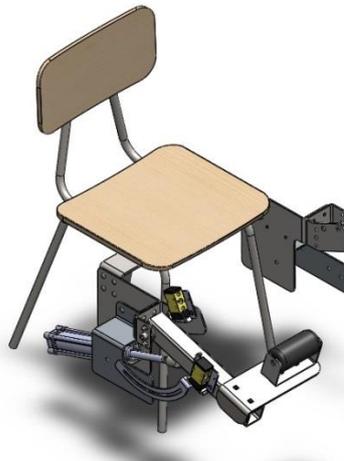
4.1 MODELAMENTO DO PROJETO

A modelagem para o desenvolvimento do projeto foi empregada pela coleta e análise dos dados levantados, através da leitura de trabalhos já existentes, analisando os produtos similares do mercado atual, utilizando da criatividade do projetista para adequá-las para a funcionalidade desejada do sistema.

Todas as chapas e tubos de aço utilizadas no projeto são aço AISI 1020, por se tratar de um material muito difundido no ramo metal-mecânico e de fácil manuseio no que diz respeito à soldagem, usinagem e corte do mesmo, não precisando de ferramental especial para os processos de fabricação.

Desta forma, chegou-se a um modelo de projeto que aceitaria utilizar um cilindro pneumático no uso. Com isto criou-se uma estrutura que será soldada na parte inferior de uma cadeira convencional de sala de aula, proporcionando um modelo que pode ser replicado a nível comercial. A Figura 5 mostra a vista isométrica do protótipo inteiro, com todas as chapas e materiais nos seus devidos lugares.

Figura 5: Protótipo completo por vista isométrica.



Fonte: Autor (2019)

Para compreender mais detalhadamente, explica-se o desenvolvimento e utilidade de cada um dos componentes do protótipo.

Uma peça chave para todo o funcional do trabalho foi o regulador de ângulo criado com o intuito de haver uma regulação propriamente dita para a utilização do protótipo. Esta peça foi projetada pelo fato de que normalmente o paciente não está com a mobilidade completa do membro inferior e fazer este esforço de movimentar o joelho em 90° graus poderia causar algum esforço exagerado e desnecessário no membro, conforme explicado por um profissional do ramo, entrevistado durante as fases iniciais do projeto.

A regulação será feita com parafusos M8, que serão presos entre o mecanismo de regulação angular e o conjunto que fixa o cilindro pneumático na estrutura. Na Figura 6, é possível ver a vista isométrica da peça.

Figura 6: Adaptador para regulação de ângulo:

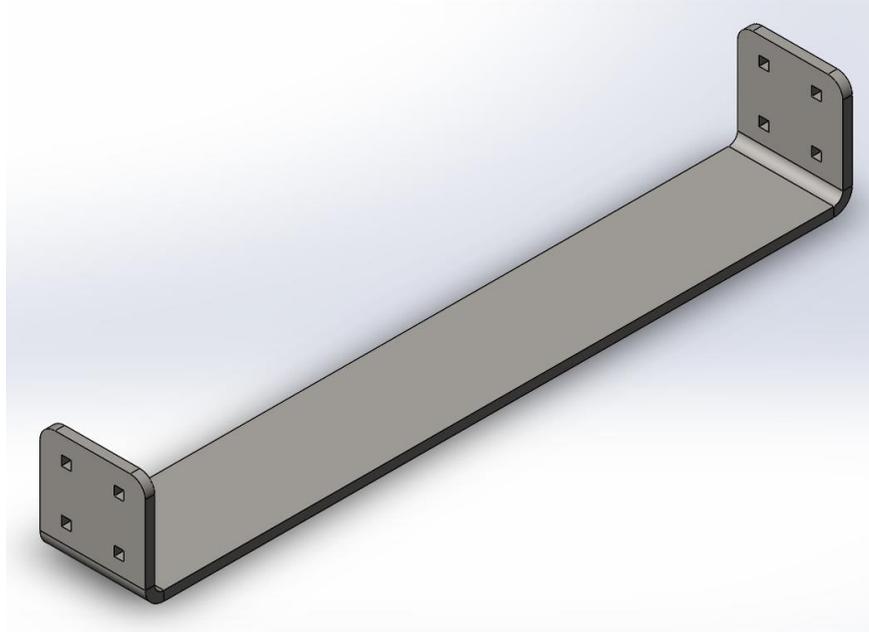


Fonte: Autor (2019)

Outro ponto importante que vale ressaltar é que, para ter um produto que possa ser utilizado para ambos os lados, projetou-se a estrutura de forma que as partes móveis adequem-se aos dois lados, sendo possível assim a mudança dos componentes para o outro lado da cadeira, tornando o protótipo funcional para ambas as pernas.

A Figura 7 mostra a estrutura principal, posta abaixo da cadeira, que serve como suporte para alterar as chapas de lado.

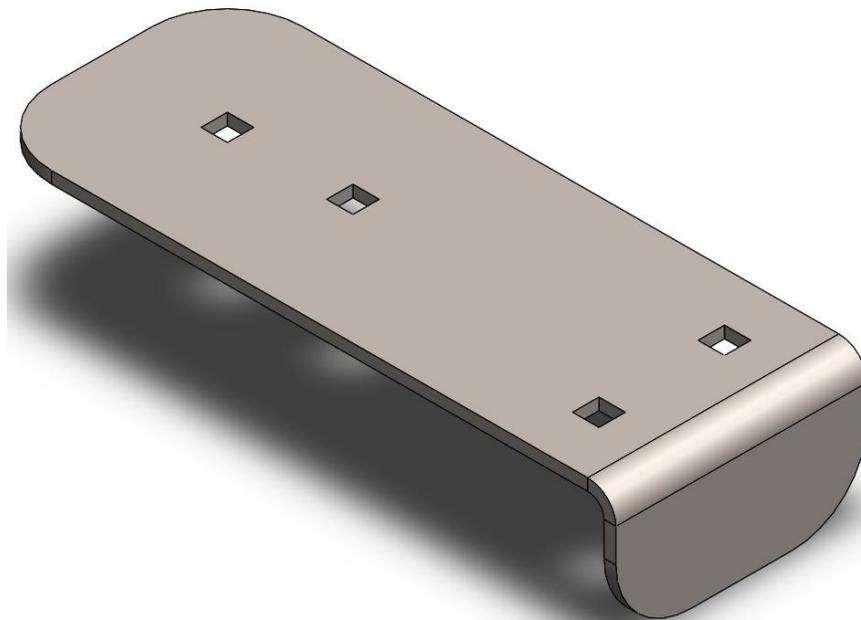
Figura 7: Estrutura principal.



Fonte: Autor (2019).

Para que a base de apoio para as pernas também seja funcional para os dois lados, foi projetada uma chapa que prende-se através de parafusos e que pode ser fixado para ambos os lados do tubo que atua como o mecanismo de movimentação do protótipo. Na Figura 8 consegue-se ter uma ideia de como será esta base de apoio.

Figura 8: Base de apoio para as pernas.

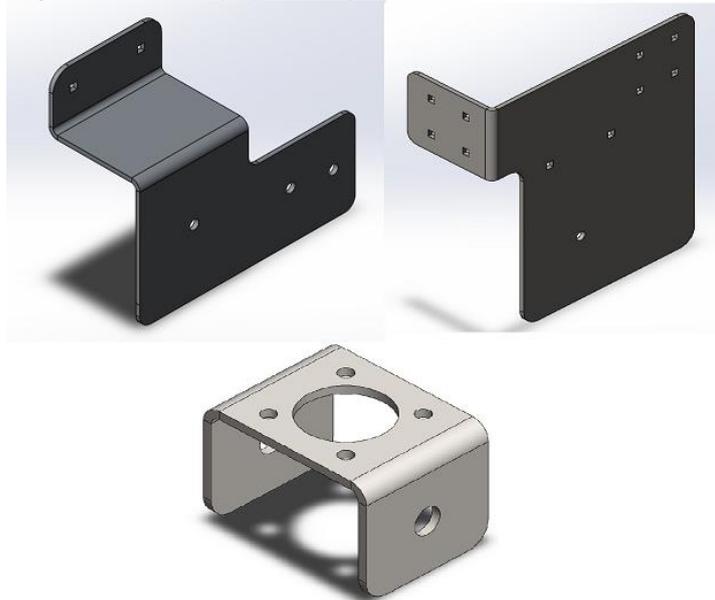


Fonte: Autor (2019).

Para fixar o cilindro pneumático no sistema, foi criada uma estrutura composta por três chapas que permitem acoplar o cilindro e mantê-lo estável, podendo fazer movimentos leves e funcionais de todo o sistema. Por ser fixado por parafusos francês, a estrutura torna-se ainda mais simples e prática para a montagem e desmontagem do mesmo.

Abaixo, na Figura 9, visualizam-se as peças da estrutura separadas e montadas, para entender a forma de utilização das mesmas no sistema.

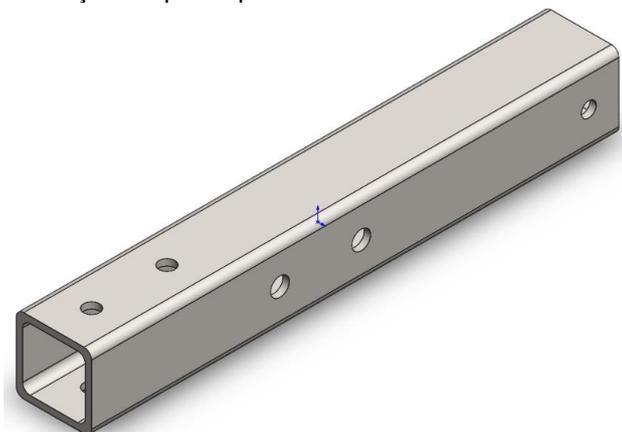
Figura 9: Peças de fixação do cilindro (separadas):



Fonte: Autor (2019).

O material responsável por realizar a elevação das pernas é um tubo quadrado de 0,04 x 0,04 x 0,35 metros feito de aço AISI 1020 e projetado para que possa ser utilizado dos dois lados da cadeira, sendo fixado em dois mancais que possibilitam o movimento.

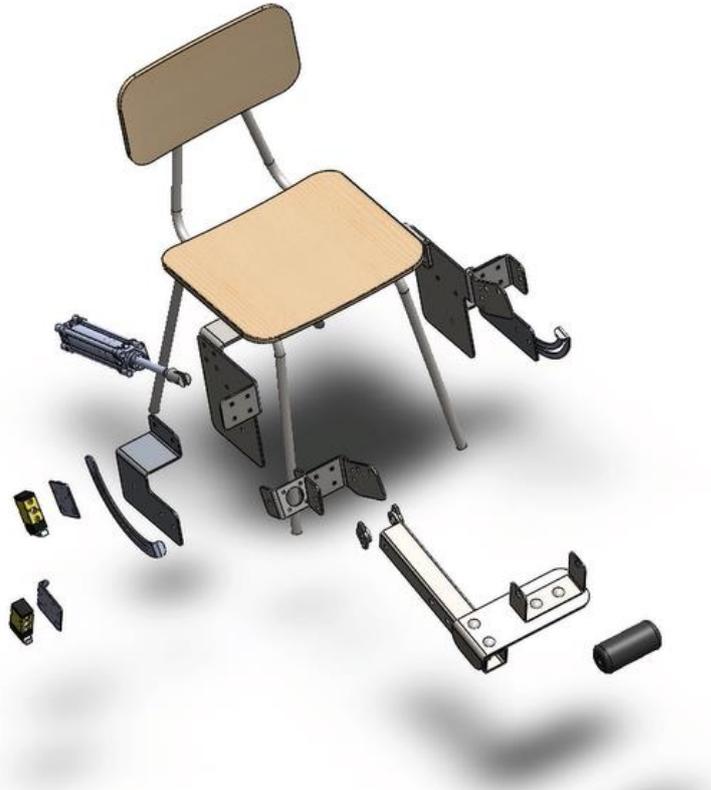
Figura 10: Tubo de movimentação do protótipo.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 11 é possível visualizar a vista explodida do protótipo montado, identificando as peças mencionadas nas Figuras acima, para compreender de forma visual a localização de cada peça do projeto.

Figura 11: Vista Explodida do protótipo



Fonte: Autor (2019)

4.1.1 Dimensionamento pneumático

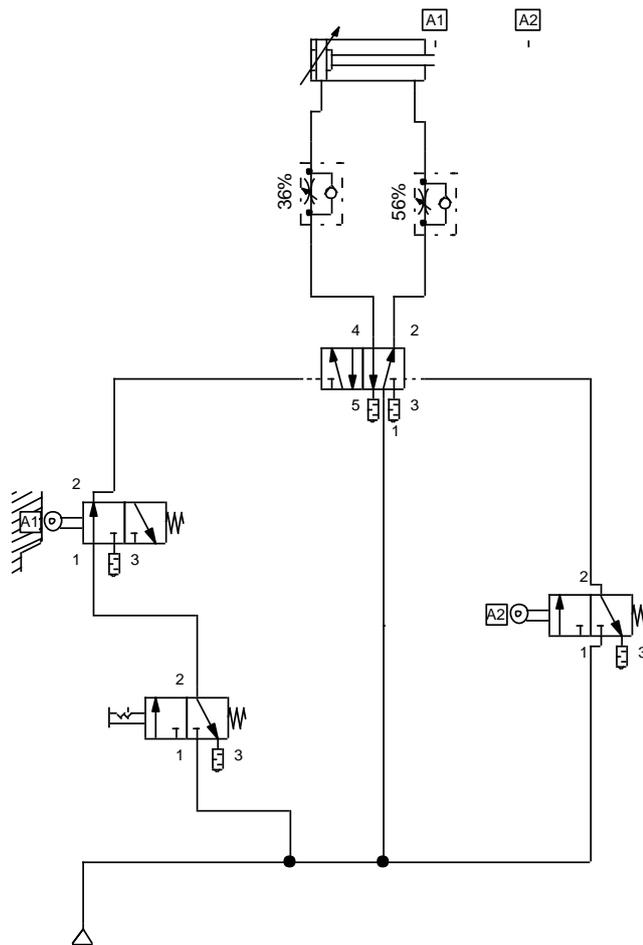
Após a modelagem, dimensiona-se o sistema para verificar as forças que serão aplicadas. Na realização dos cálculos será ignorada a força de atrito gerado, pois se entende que a mesma não fará diferença nos resultados e por necessitar de *softwares* para se conseguir esse tipo de valor. Os cálculos mostrarão o motivo de escolha das tomadas de decisões durante o projeto.

Para melhor funcionamento do protótipo, adotou-se para o ângulo θ máximo de 80° , maior ângulo de alcance de trabalho do protótipo, e massa m considerada de 20 quilogramas, peso aproximado considerado da perna, na realização do movimento. Lembrando que utilizadas unidades do SI. A pressão considerada, foi de 6 bar ou, convertendo, 6×10^5 Pascal.

4.1.1.1 Acionamento

O sistema de acionamento do protótipo é composto por um cilindro pneumático diferencial de dupla-ação, quatro válvulas, uma unidade de conservação e preparação de ar e compressor. Na Figura 12 apresenta-se o desenho do circuito pneumático do manipulador robótico de acordo com a norma ISO 1219.

Figura 12: Circuito pneumático para movimentação do protótipo de acordo com a norma ISSO 1219.



Fonte: Autor (2019).

4.1.1.2 Especificações do cilindro pneumático

O cilindro escolhido para o projeto foi um cilindro pneumático normalizado DNC-40-125-PPV de Dupla-Ação da marca FESTO, disponível na instituição de ensino para utilização. O cilindro tem um diâmetro do pistão de 40 milímetros, curso de 125 milímetros. Na Figura 13, retirada do site oficial da FESTO, podemos ver o cilindro que se utilizou no protótipo.

Figura 13: Cilindro pneumático Festo DNC-40-125-PPV:



Fonte: Imagem coletada do site www.festo.com.

4.1.1.3 Forças atuantes nos eixos X e Y

O modelo dinâmico que representa o protótipo, por assemelhar-se ao de um corpo rígido, e considerando a ausência de forças externas na extremidade da estrutura e desprezando-se o atrito, pode ser escrito na forma de um Lagrangeano do sistema mecânico como (SICILIANO et al., 2009):

$$L = K - U \quad (1)$$

Onde K é a energia cinética e U é a energia potencial total do sistema. Então as equações de Lagrange são expressas por:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \xi_i \quad (2)$$

Onde ξ_i é a força generalizada associada com as coordenadas generalizadas q_i . Estabelecendo relações entre as forças generalizadas aplicadas ao manipulador e as posições das juntas, velocidades e acelerações. Assim, eles permitem a derivação do modelo dinâmico do manipulador a partir da determinação da energia cinética e potencial energia do sistema mecânico (SICILIANO et al., 2009).

A energia cinética total (K) é dada pela soma das contribuições em relação ao movimento de cada elo e de contribuições relativas ao movimento de cada atuador. Dessa forma a energia cinética do elo i é dada pela equação (3).

$$K = \sum_{i=1}^n (K_{l_i} + K_{m_i}) \quad (3)$$

Onde K_{l_i} é a energia cinética no elo e K_{m_i} é a energia cinética do motor atuando na junta i . Neste estudo não estamos considerando a existência do motor atuando na junta i . Assim a equação (4) fica expressa por:

$$K = \sum_{i=1}^n K_{l_i} \quad (4)$$

A contribuição da energia cinética é dado por:

$$K_{l_i} = \frac{1}{2} \int_{V_{l_i}} \dot{p}_i^{*T} \dot{p}_i^* \rho dV \quad (5)$$

Onde \dot{p}_i^* denota o vetor da velocidade linear e ρ é a densidade da partícula elementar de volume dV ; V_{l_i} é o volume do link i .

A contribuição da translação na energia cinética é dada por:

$$\frac{1}{2} m_{l_i} \dot{p}_{l_i}^T \dot{p}_{l_i} \quad (6)$$

A contribuição da rotação na energia cinética é dada pela por:

$$\frac{1}{2} w_i^T R_i I_{l_i}^i R_i^T w_i \quad (7)$$

Somando a contribuição da translação e da rotação (6) e (7), a energia cinética no elo i é:

$$K_{l_i} = \frac{1}{2} m_{l_i} \dot{p}_{l_i}^T \dot{p}_{l_i} + \frac{1}{2} w_i^T R_i I_{l_i}^i R_i^T w_i \quad (8)$$

Onde, m_{l_i} é a massa em cada elo, R_i é a matriz de rotação do elo i para a base fixa, $I_{l_i}^i$ é uma matriz simétrica e representa o tensor de inércia relativo ao centro de massa. Dessa forma, calcula-se:

$$K_{l_1} = \frac{1}{2} m_{l_1} \dot{p}_{l_1}^T \dot{p}_{l_1} + \frac{1}{2} w_1^T R_1 I_{l_1}^1 R_1^T w_1 \quad (9)$$

Com a escolha das coordenadas, conforme Figura 3.1, usando a convenção de Denavit-Hartenberg (D-H), tem-se para:

$$\dot{p}_{l_1} = \begin{bmatrix} -l_1 s \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 \\ l_1 c \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad w_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}, \quad R_1 = \begin{bmatrix} c \theta_1 & -s \theta_1 & 0 \\ s \theta_1 & c \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad I_{l_1}^1 = \begin{bmatrix} I_{xx}^1 & -I_{xy}^1 & -I_{xz}^1 \\ -I_{yx}^1 & I_{yy}^1 & -I_{yz}^1 \\ -I_{zx}^1 & -I_{zy}^1 & I_{zz}^1 \end{bmatrix}$$

Substituindo em (10):

$$\begin{aligned} K_{l_1} = & \frac{1}{2} m_{l_1} \begin{bmatrix} -l_1 s \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 & l_1 c \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 & 0 \\ l_1 c \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 & & \\ 0 & & \end{bmatrix} + \\ & + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \theta_1 & -s \theta_1 & 0 \\ s \theta_1 & c \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx}^1 & -I_{xy}^1 & -I_{xz}^1 \\ -I_{yx}^1 & I_{yy}^1 & -I_{yz}^1 \\ -I_{zx}^1 & -I_{zy}^1 & I_{zz}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \theta_1 & s \theta_1 & 0 \\ -s \theta_1 & c \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

Ou seja,

$$\begin{aligned} K_{l_1} = & \frac{1}{2} m_{l_1} (l_1^2 s^2 \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_1^2 c^2 \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2) + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx}^1 & -I_{xy}^1 & -I_{xz}^1 \\ -I_{yx}^1 & I_{yy}^1 & -I_{yz}^1 \\ -I_{zx}^1 & -I_{zy}^1 & I_{zz}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \\ = & \frac{1}{2} m_{l_1} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 (s^2 \theta_1 + c^2 \theta_1) + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -I_{zx}^1 \cdot \dot{\theta}_1 & -I_{zy}^1 \cdot \dot{\theta}_1 & I_{zz}^1 \cdot \dot{\theta}_1 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

Considerando $s^2 \theta_1 + c^2 \theta_1 = 1$, obtemos a energia cinética:

$$K = K_{l_1} = \frac{1}{2} m_{l_1} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} I_{zz}^1 \cdot \dot{\theta}_1^2 \quad (12)$$

Assim como foi feita para energia cinética, a energia potencial (U) armazenada é dada pela soma das contribuições relativas a cada elo, e pode ser calculada utilizando a equação (13).

$$U = \sum_{i=1}^n (U_{l_i} + U_{m_i}) \quad (13)$$

Para este trabalho não estamos considerando a existência da contribuição do rotor, assumimos que a energia potencial é calculada por:

$$U = \sum_{i=1}^n U_{l_i} \quad (14)$$

A contribuição devida somente a força gravitacional é expressa por:

$$U_{l_i} = -m_{l_i} g_0^T p_{l_i} \quad (15)$$

Onde g_0 é o vetor de aceleração da gravidade.

A energia potencial para o caso é dado por:

$$U_{l_1} = -m_{l_1} g_0^T p_{l_1} \quad (16)$$

Onde $g_0 = \begin{bmatrix} g \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ e $p_{l_1} = \begin{bmatrix} l_1 c \theta_1 \\ l_1 s \theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$.

Logo, substituindo na equação (17), tem-se:

$$U_{l_1} = -m_{l_1} g_0^T p_{l_1} = \begin{bmatrix} g & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 c \theta_1 \\ l_1 s \theta_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Portanto a energia potencial é dada por:

$$U = U_{l_1} = -m_{l_1} \cdot g \cdot l_1 \cdot c \theta_1 \quad (18)$$

Substituindo na Equação (1), a equação da energia cinética obtida em (13) e a equação da energia potencial obtida em (18), obtém-se a Equação Lagrangeana (19).

$$L = \frac{1}{2} m_{l_1} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} I_{zz}^1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + m_{l_1} \cdot g \cdot l_1 \cdot c \theta_1 \quad (19)$$

Realizando a derivação parcial de L em relação à θ_1 , obtém-se

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -m_{l_1} \cdot g \cdot l_1 \cdot s\theta_1 \quad (20)$$

Agora realizando a derivação parcial de L em relação à $\dot{\theta}_1$, obtêm-se

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = m_{l_1} l_1^2 \dot{\theta}_1 + I_{zz}^1 \dot{\theta}_1 \quad (21)$$

Realizando a derivação no tempo da equação (21), tem-se.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) = m_{l_1} l_1^2 \ddot{\theta}_1 + I_{zz}^1 \ddot{\theta}_1 \quad (22)$$

Aplicando as equações (19), e (21) na equação (1), obtemos como resultado a equação (23), chegando à formulação de Lagrange apresentada na equação (1).

$$\left(m_{l_1} l_1^2 + I_{zz}^1 \right) \ddot{\theta}_1 + 0 \cdot \dot{\theta}_1 + m_{l_1} \cdot g \cdot l_1 \cdot s\theta_1 = \xi_1 \quad (23)$$

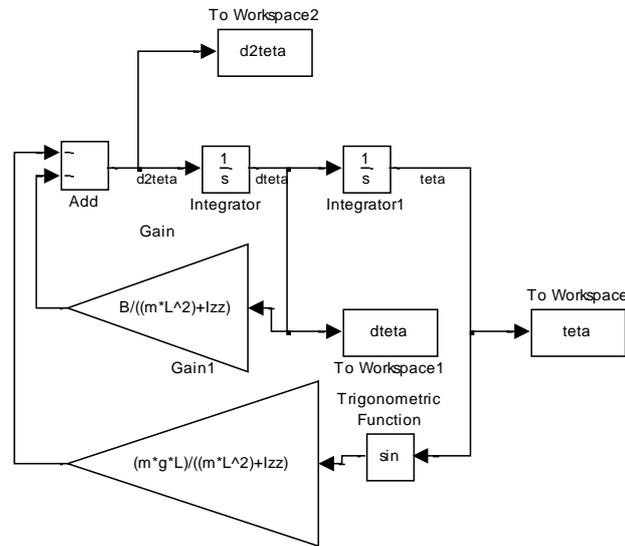
Portanto, a equação de Lagrange é dada pela equação (24)

$$\left(m_{l_1} l_1^2 + I_{zz}^1 \right) \ddot{\theta}_1 + m_{l_1} \cdot g \cdot l_1 \cdot s\theta_1 = \tau_1 \quad (24)$$

A partir da definição da equação que torna possível saber o torque/força necessária para movimentar o mecanismo do protótipo, foram realizadas simulações computacionais com subsídio do software MatLab/Simulink, e o método numérico utilizado na solução das equações é o Runge Kutta, para a resolução numérica de soluções de equações diferenciais ordinárias, com passo de integração 0,0001 segundos para obter, além do torque/força necessária, a velocidade e a aceleração durante o movimento. Vale destacar que as simulações computacionais foram comparadas com dados reais obtidos através de testes experimentais/visuais.

O diagrama de blocos (Figura 14) construído no software MatLab/Simulink representa a equação obtida no lagrangeano.

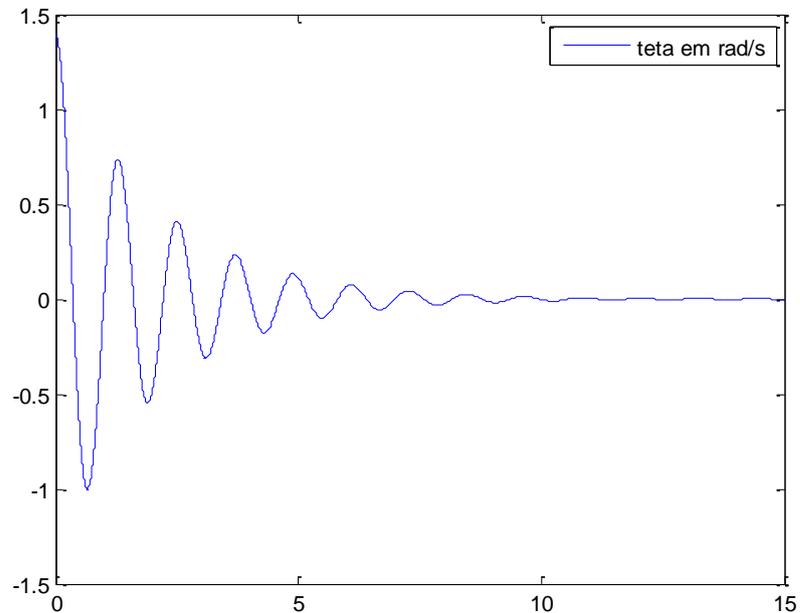
Figura 14: Diagrama de blocos no MatLab/Simulink



Fonte: Autor (2019)

A Figura 15 mostra a trajetória do movimento obtida a partir de simulações computacionais de corpo livre, utilizada para compreender o movimento do protótipo atuando sem interferências.

Figura 15: Trajetória do movimento por simulações computacionais:



Fonte: Autor (2019)

Tabela 5: Parâmetros protótipo reduzido:

Descrição do parâmetro	Elo 1	Observações:
Comprimento do suporte de apoio	$L = 0,350 \text{ m}$	Medição direta
Massa	$m_{li} = 3,48 \text{ kg}$	Medição indireta a partir do projeto detalhado
Momento de inércia em relação ao centro de massa	$I_{zz} = 5.2083e - 7 \text{ kg m}^2$	Medição indireta a partir do projeto detalhado

Fonte: Autor (2019)

A partir das simulações realizadas no MatLAB e cálculos verificou-se o torque/força necessária para o movimento da junta é de aproximadamente 11,77 N.m, considerando apenas a massa das peças movidas do protótipo, sem levar em consideração a massa da perna do paciente que está utilizando.

4.1.1.4 Força Pneumática

Para calcular a força pneumática, usam-se os dados retirados do cilindro pneumático, para saber os valores necessários durante a resolução da equação.

Inicialmente calcula-se as áreas do cilindro, pela equação descrita abaixo por:

$$\begin{aligned}
 A1 &= \pi \cdot r_{\text{embolo}}^2 \\
 A1 &= \pi \cdot 0,02^2 \\
 A1 &= 1,26 \times 10^{-3} \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Sendo esta área a total do cilindro, mas também se calcula a área total descontando a área da haste do pistão do cilindro, que aplicando a equação, fica:

$$\begin{aligned}
 A2 &= \pi \cdot (r_{\text{embolo}}^2 - r_{\text{haste}}^2) \\
 A2 &= \pi \cdot (0,02^2 - 0,008^2) \\
 A1 &= 1,05 \times 10^{-3} \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Podemos assim definir a força pneumática de avanço, sendo essa força que o cilindro irá exercer durante a execução do trabalho, lembrando que não será considerada a força de atrito que age no sistema. Com os valores de área, determina-se o cálculo da força pela fórmula dada por:

$$\begin{aligned}
 F_p &= P \cdot A1 \\
 F_p &= 6 \times 10^5 \cdot 1,26 \times 10^{-3} \\
 F_p &= 756 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Este valor encontrado será a força máxima que o cilindro conseguirá trabalhar durante a utilização do protótipo, mostrando-se a capacidade limite de que o mesmo irá atuar no protótipo.

4.2 AQUISIÇÃO DE PEÇAS

Depois de realizada a modelagem do protótipo e escolhido os componentes pneumáticos que serão utilizados, foi feito o levantamento dos materiais que seriam comprados e manufaturados.

Com este levantamento foi possível identificar os custos de um projeto deste tipo e também para ter um planejamento durante o desenvolvimento do presente trabalho.

4.2.1 Itens Comprados

Para os itens que foram comprados no mercado, podemos separar em dois modelos, sendo as peças que foram desenvolvidas especialmente para o projeto, como as chapas e tubos utilizados, e os itens que podem ser encontrados comercialmente, sendo estes padronizados e fáceis de encontrar.

A Tabela 6 abaixo especifica os itens padronizados que são encontrados no mercado e que foram adquiridos para a produção do projeto.

Tabela 6: Lista itens comprados de balcão:

Descrição	Qtde	Custo da peça	Custo ao projeto
Parafuso Francês M6 x 20mm	24	R\$ 0,30	R\$ 7,20
Parafuso Francês M10 x 25mm	2	R\$ 0,80	R\$ 1,60
Parafuso Francês M10 x 70mm	2	R\$ 1,40	R\$ 2,80
Parafuso Allen M6 x 20mm	12	R\$ 0,35	R\$ 4,20
Parafuso Allen M6 x 35mm	1	R\$ 0,40	R\$ 0,40
Parafuso Allen M10 x 110mm	1	R\$ 3,75	R\$ 3,75
Parafuso Sextavado M8 x 25mm	6	R\$ 0,39	R\$ 2,34
Parafuso Sextavado M12 x 30mm	2	R\$ 1,07	R\$ 2,14
Parafuso Sextavado M12 x 70mm	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Porca Sextavada Trava M6	33	R\$ 0,15	R\$ 4,95
Porca Sextavada Trava M8	2	R\$ 0,28	R\$ 0,56
Porca Sextavada Trava M10	7	R\$ 0,60	R\$ 4,20
Arruela M6	37	R\$ 0,09	R\$ 3,33
Arruela M8	4	R\$ 0,15	R\$ 0,60
Arruela M10	8	R\$ 0,17	R\$ 1,36

Porca M8 borboleta	4	R\$ 0,60	R\$ 2,40
Porca M12 borboleta	4	R\$ 1,00	R\$ 4,00
Cilindro Pneumático DNC-40-125-PPV	1	R\$ 299,00	R\$ 299,00
Válvula 3/2 Vias Pneumática Acionamento Rolete Mola 1/4 Bsp	2	R\$ 59,90	R\$ 119,80
Válvula Pneumática Duplo Piloto 5/2 Vias Rosca 1/4 Bsp	1	R\$ 62,80	R\$ 62,80
Válvula Pneumática 3/2 Vias Botão Seletor Com Trava 1/4 Bsp	1	R\$ 59,80	R\$ 59,80
Lubrificador Filtro Regulador Lubrificador Rosca 1/4 + Manômetro	1	R\$ 58,99	R\$ 58,99
Mancal Com Rolamento P/ Eixo 10mm Kfl000	2	R\$ 19,00	R\$ 38,00
TOTAL	159		R\$ 688,22

Fonte: Autor (2019)

Os itens que foram desenvolvidos especialmente para o projeto foram fabricados por uma empresa terceirizada e é possível visualizar os custos que os mesmos apresentaram ao trabalho na Tabela 7.

As peças foram todas feitas com corte a plasma, por não ter uma complexidade muito alta e por se tratar de um processo de fabricação mais barato que o corte a laser.

Tabela 7: Peças cortadas plasma

Nº peça	Descrição	Qtd	Custo Total
0002	Chapa Lateral Direita	1	R\$ 22,00
0004	Suporte Braço Suporte Panturrilha	1	R\$ 20,00
0007	Suporte Lateral Direito Cilindro	1	R\$ 17,00
0008	Suporte Cilindro	1	R\$ 12,00
0009	Encosto Panturrilha	1	R\$ 10,00
0010	Suporte Fim de Curso	2	R\$ 8,00
0020	Regulador de Ângulo Direito	1	R\$ 9,90
0025	Regulador de Ângulo Esquerdo	1	R\$ 9,90
0022	Chapa Articulação Cilindro Esq.	1	R\$ 17,00
0023	Chapa Articulação Perna Esq.	1	R\$ 20,00
0024	Chapa Suporte Lado Esq.	1	R\$ 22,00
Total			R\$ 167,80

Fonte: Autor (2019)

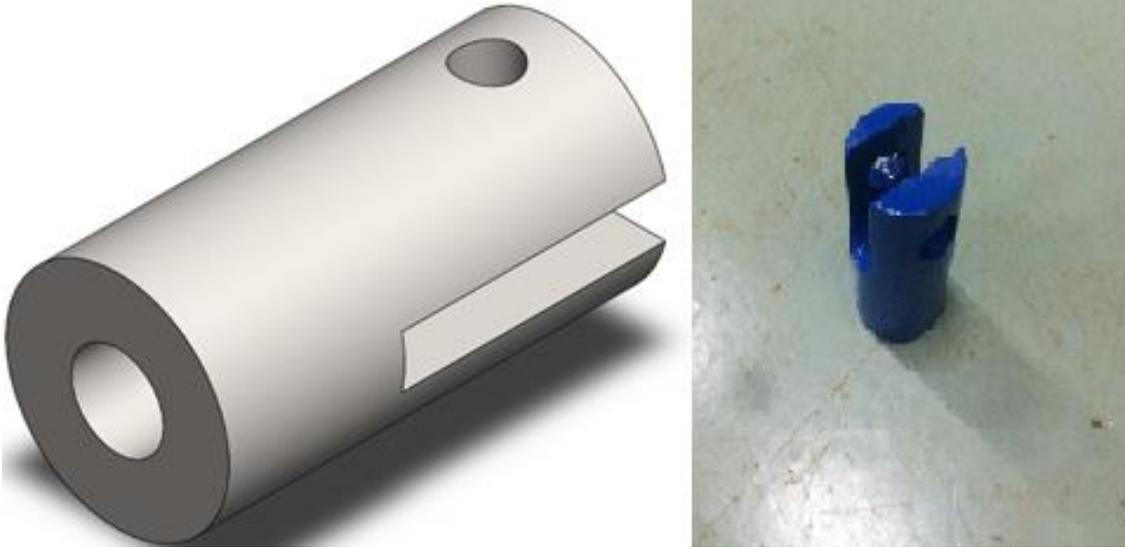
Os desenhos detalhados de todas as peças cortadas e desenvolvidas no projeto constam no APÊNDICE A.

4.2.2 Itens Manufaturados

Para o desenvolvimento da bucha articuladora, optou-se por realizar a usinagem no laboratório da faculdade, visando reduzir alguns custos e por ser de fácil manufatura.

Podem-se visualizar pela imagem isométrica abaixo, obtida do software de CAD, da peça que foi usinada e também a imagem da peça já fabricada.

Figura 16: Peça usinada para acoplar no eixo do cilindro.



Fonte: Autor (2019).

4.3 CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO

Com o desenho do projeto definido e a aquisição do material feita, é possível determinar o ferramental necessário para construir o mesmo. Em seguida serão mostrados os principais pontos ocorridos durante a construção e montagem do protótipo.

4.3.1 Ferramental utilizado para montagem

Todas as ferramentas utilizadas na montagem dos conjuntos do projeto constam na Tabela 8.

Tabela 8: Material utilizado para montagem:

Descrição da ferramenta
Chave de boca 10
Chave de boca 13
Chave de boca 17
Chave Allen 8
Chave Allen 4
Aparelho de Solda MIG
Esquadro

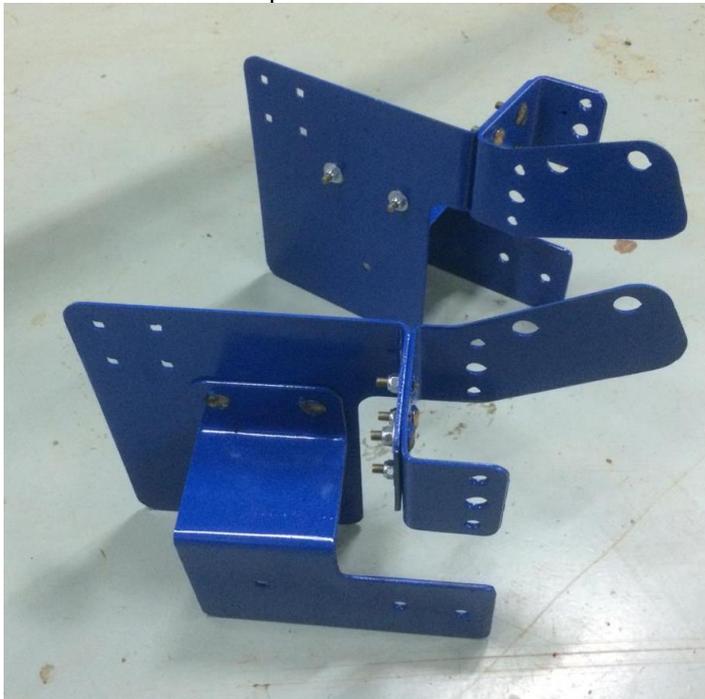
Fonte: Autor (2019)

4.3.2 Montagem dos conjuntos e peças

Os conjuntos foram montados de forma simples e prática. Primeiramente foi montado o conjunto de suporte para as pernas, responsável por fazer o movimento e por acomodar as pernas. Este conjunto é nomeado de “SB001”. O mesmo é fixado por parafusos e a soldagem da orelha para ação do cilindro. O conjunto pode ser visto na Figura 17.

As peças que tem por objetivo acomodar o cilindro e o conjunto “SB001” na estrutura da cadeira, onde foram montadas com parafusos francês. As ferramentas utilizadas foram chave de boca 10 e 13.

Figura 17: Estruturas Laterais para o Cilindro:



Fonte: Autor (2019)

O conjunto soldado “SB002” formado pela cadeira e a chapa nº “0001” onde foram soldados para ser a estrutura principal da cadeira, conforme Figura 18.

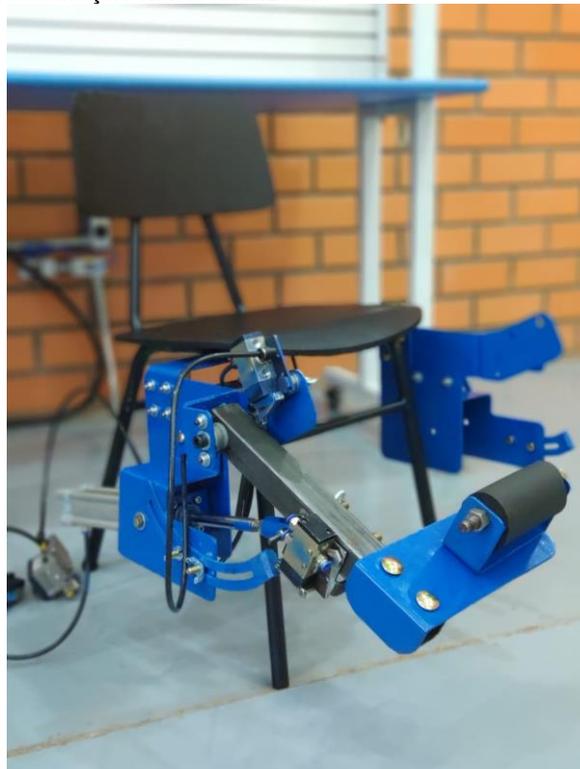
Figura 18: Conjunto Soldado "SB002":



Fonte: Autor (2019)

Abaixo, na Figura 19, a imagem da cadeira com toda a estrutura finalizada, podendo assim partir para os testes funcionais do protótipo.

Figura 19: Estrutura para reabilitação física finalizada:



Fonte: Autor (2019)

4.4 TESTES DO PROTÓTIPO

Depois de finalizado a montagem do protótipo, foi preciso testá-lo para aferir se o funcionamento seria de acordo com o proposto e com isto foi concluir o principal requisito do projeto. Utilizou-se a instalação de ar comprimido existente em um dos laboratórios da instituição de ensino para realizar os testes, uma vez que a compra de um compressor não foi contemplada no projeto.

A estrutura foi testada com diferentes pessoas, com padrões físicos diferentes, para ver como isto afetaria no desempenho funcional do projeto. Abaixo, na Figura 20 e Figura 21, imagens para demonstrar os testes.

Figura 20: Teste 1 realizado com a estrutura:



Fonte: Autor (2019)

Figura 21: Teste 2 realizado com a estrutura:



Fonte: Autor (2019)

Com isto, permitiu-se analisar que o sistema atua de forma linear e não tem grandes dificuldades quando aplicado para diferentes biotipos, mostrando-se funcional tanto para pessoas de baixa quanto de alta estatura.

CONCLUSÃO

Durante todo o desenvolvimento do projeto em questão, objetivou-se desenvolver uma estrutura pneumática funcional que auxiliaria no tratamento de reabilitação, diminuindo a energia gasta pelo fisioterapeuta através do esforço braçal necessário para executar exercícios de movimentação em pacientes com problemas de mobilidade de joelhos e pernas.

No desenvolvimento do protótipo tiveram-se dificuldades encontradas para conseguir adequar um cilindro pneumático no sistema, e com isto foi possível perceber os obstáculos existentes para criação de um produto.

A confecção e manufatura do projeto mostraram-se simples e intuitiva, podendo ser considerado um ponto positivo da modelagem 3D realizada. O protótipo também ficou robusto devido o tipo de material utilizado, porém o mesmo não teve nenhum impacto considerado negativo no trabalho.

Mesmo optando por um sistema considerado barato como o pneumático e utilizando materiais facilmente encontrados no mercado, o custo do projeto ficou um pouco acima do que se esperava, mas ainda assim pode se considerar um dispositivo de baixo custo quando comparado aos produtos mais complexos disponíveis no mercado.

Com a realização dos testes desejados foi possível identificar que podem ser feitas melhorias futuras na parte de automação, mas que, de uma forma geral, o trabalho alcançou todos os objetivos que foram traçados inicialmente, concluindo com satisfação o projeto.

REFERÊNCIAS

- ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.abergo.org.br/index.php>>. Acesso em: 29 set. 2019.
- AMARAL, Daniel Capaldo. et al. **Gestão de Projetos em Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- BARBOSA, T.J.V. **Metodologia projectual, um método para atingir a criatividade**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Artes Visuais no 3º Ciclo do Ensino Básico e no ensino Secundário) - Universidade Católica Portuguesa - Centro Regional de Braga, 2013.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3ª ed. Editora Blucher, 2011
- BONACORSO, Nelso Gauze; NOLL, Valdir. **Automação eletropneumática**. 3ª ed. Editora Érica LTDA, 1999.
- DUTTON, Mark. **Fisioterapia Ortopédica: Exame, Avaliação e Intervenção**. Tradução de Paulo Henrique Machado e Maria da Graça Figueiró da Silva. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- FERNANDES, Carlos, A., RAMOS, Rosa, A. C., FILHO, M., de, M. C., ARES, Marcelo. **Reabilitação**. 2ª ed. Barueri – SP: Manole, 2015.
- FESTO Brasil. [s.d.]. Disponível em: <https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products DNC>. Acesso em: 24 out. 2019.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- _____. **Automatismos Pneumáticos - Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes e Aplicações Práticas**. São Paulo: Érica, 2015.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002
- Chen, G., Chan, C. K., Guo, Z., & Yu, H. **A Review of Lower Extremity Assistive Robotic Exoskeletons in Rehabilitation Therapy**. Critical Reviews in Biomedical Engineering, 41(4-5), 343–363, 2013.
- H. Hsieh, D. Chen, L. Chien and C. Lan. **Design of a Parallel Actuated Exoskeleton for Adaptive and Safe Robotic Shoulder Rehabilitation**. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 22, no. 5, pp. 2034-2045, Oct. 2017.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 2 ed. E ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

LEE, Han Koo; CHOI, Gi Sang; CHOI, Gi Heung. **A study on tracking position control of pneumatic actuators**. *Mechatronics*, 12.6 (2002): 813-831.

MUNARI, B. **Das Coisas Nascem Coisas**. 1ª ed. Martins Fontes, 1998. v. 1.

NUNES, W. M. **Desenvolvimento de uma Estrutura Robótica atuada por Cabos para Reabilitação/Recuperação dos Movimentos do Ombro**. 2012. 132f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PAHL, G., et al. **Engineering Design: a Systematic Approach**. Third Edition. Ed. Springer, 2007.

PINHEIRO, Gisele. **Introdução à Fisioterapia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan Ltda, 2009.

PLAPLER, Pérola Grinberg. **Reabilitação do joelho**. *Acta Ortop Brás*, 3(4), p. 1-5. [S.L.] (1995).

REGNER, R. R. **Modelagem Matemática Da Dinâmica da Roda de Tração de um Veículo com Acionamento Elétrico**. 2019. Mestrado em Modelagem Matemática - UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi – RS, 2019.

ROMEIRO FILHO, Eduardo. FERREIRA, CV et al. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda, 2010.

_____. **Projeto do Produto** - Apostila do Curso. Segundo semestre de 2004. 7ª Edição. Universidade Federal de Minas Gerais

SENANAYAKE, C. SENANAYAKE, S. M. N. A. **Emerging robotics devices for therapeutic rehabilitation of the lower extremity**. 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2009.

SICILIANO, B.; SCIAVICCO, L.; VILLANI, L.; ORIOLO, G. **Modelling, Planning and control**. Springer: London, 2009.

STEWART, Harry L. **Manual de Hidráulica e Pneumática**. Tradução de Luis Roberto de Godoi Vidal. 3º ed. [S.I.]: Hemus livraria editora Ltda., 1981.

UZUKA, K; ENOMOTO, I; SUZUMORI, K; **Comparative Assessment of Several Nutation Motor Types Mechatronics**, In: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 14, No. 1, pp. 82-92. 2009.

VILLA-PARRA, A.C.; DELISLE-RODRIGUEZ, D.; et al. **Robotic Systems for Gait Rehabilitation**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. (Org.). Robotic

Systems for Gait Rehabilitation. 1ed.São Paulo: Canal 6 Editora, 2014, v. 1, p. 264-279.

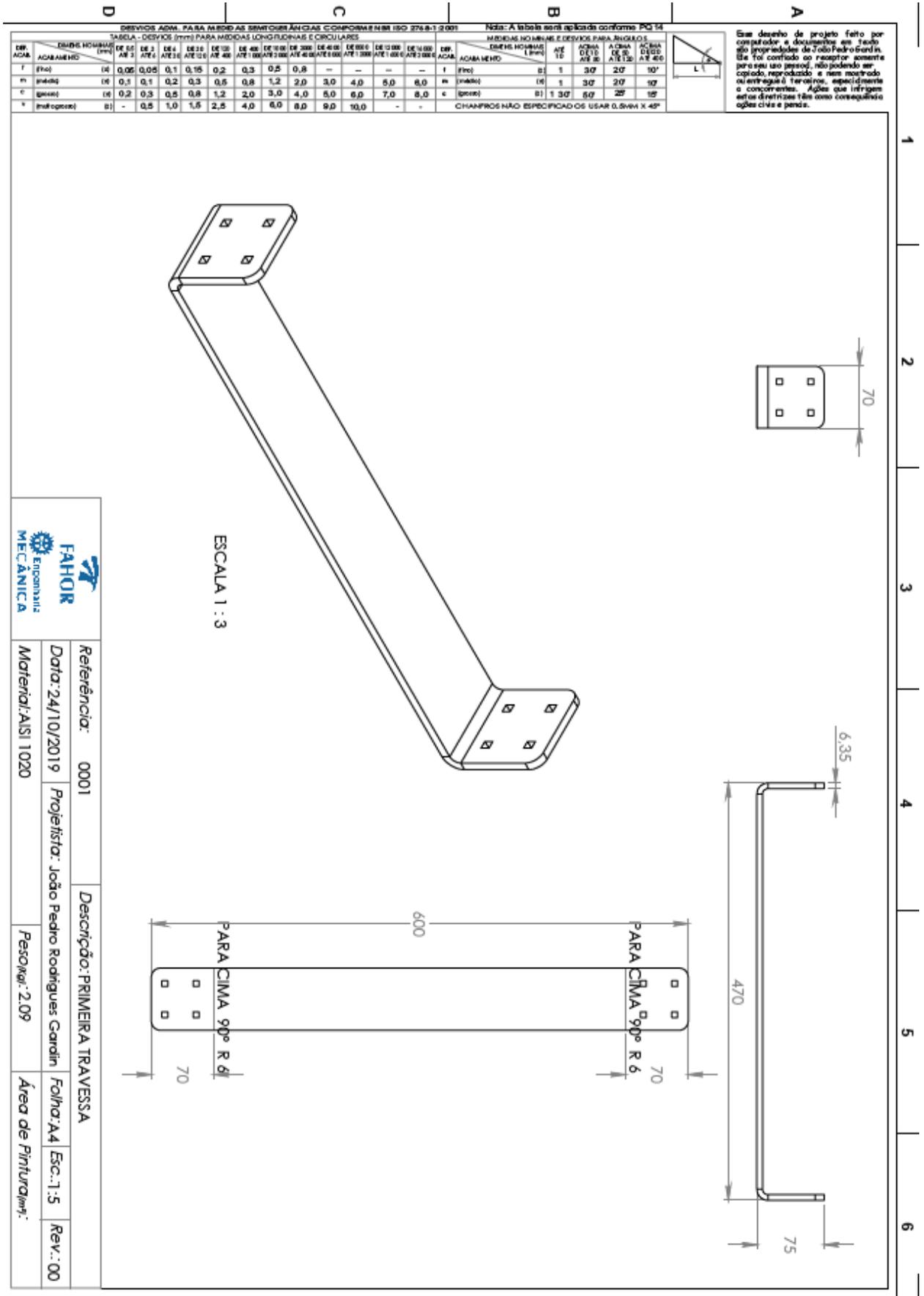
APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS PEÇAS E CONJUNTOS

No presente apêndice encontram-se todas as peças detalhadas utilizadas na montagem do protótipo, conforme ordem vista na tabela abaixo.

Tabela 9: Detalhados de peças e conjuntos

Nº peça	Descrição	Qtd
0001	Primeira Travessa	1
0002	Chapa Lateral Direita	1
0004	Suporte Braço Suporte Panturrilha	1
0005	Bucha Articuladora	1
0006	Orelha Ação Cilindro	1
0007	Suporte Lateral Direito Cilindro	1
0008	Suporte Cilindro	1
0010	Suporte Fim de Curso	2
0012	Suporte Panturrilha	1
0013	Tubo Suporte Perna	1
0020	Regulador de Ângulo Direito	1
0022	Chapa Articulação Cilindro Esq.	1
0023	Chapa Articulação Perna Esq.	1
0024	Chapa Suporte Lado Esq.	1
0025	Regulador de Ângulo Esquerdo	1
0026	Chapa_Panturrilha	1
SB001	Conjunto Montado Suporte Perna	1
SB002	Conjunto Soldado Cadeira e Suporte	1
SB004	Montagem Cilindro Com Bucha Articuladora	1
SB010	Conj. Soldado Suporte Articulado	1
Montagem Final	Montagem Final Cadeira Reabilitação	1

Fonte: Autor (2019)



DEVIOS ADM. PARA MEDIDAS SIMILARES ANGLAS CONFORME NBR ISO 2768-1:2001

Nota: A tabela será aplicada conforme PG 14

DIM. NOMINAL (mm)	TABELA - DEVIOS (mm) PARA MEDIDAS LONGITUDINAIS E CIRCULARES										DIM. NOMINAL (mm)	MEDIAS NOMINAIS E DEVIOS PARA ANGULO			
	DE 0,1 A 0,2	DE 0,2 A 0,3	DE 0,3 A 0,5	DE 0,5 A 0,8	DE 0,8 A 1,2	DE 1,2 A 1,8	DE 1,8 A 3,0	DE 3,0 A 4,0	DE 4,0 A 6,0	DE 6,0 A 10,0		DE 10,0 A 15,0	DE 15,0 A 30,0	DE 30,0 A 60,0	DE 60,0 A 120,0
f (mm)	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-	-
m (mm)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	-	-	-
c (mm)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	-	-	-
v (mm) optax	-	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0	-	-	-	-	-

ACABAMENTO

ACABAMENTO	DE 0,1 A 0,2	DE 0,2 A 0,3	DE 0,3 A 0,5	DE 0,5 A 0,8	DE 0,8 A 1,2	DE 1,2 A 1,8	DE 1,8 A 3,0	DE 3,0 A 4,0	DE 4,0 A 6,0	DE 6,0 A 10,0	DE 10,0 A 15,0	DE 15,0 A 30,0	DE 30,0 A 60,0	DE 60,0 A 120,0	DE 120,0 A 250,0
f (mm)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	-	-	-
m (mm)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	-	-	-
c (mm)	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0	-	-	-
v (mm) optax	-	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0	-	-	-	-	-

CHAMFROS NÃO ESPECIFICADOS USAR 0,5MM X 45°



Este desenho de projeto feito por computador e documentado em todo o projeto de João Pedro Rodrigues, se foi confiado ao receptor somente para seu uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem mostrado ou entregue a terceiros, especialmente a concorrentes. Agilize que infringe estas diretrizes terá como consequência ações civis e penais.

FAHOR
Empenhada
MECÂNICA

Referência: 0001

Data: 24/10/2019

Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin

Folha: A4

Esc.: 1:5

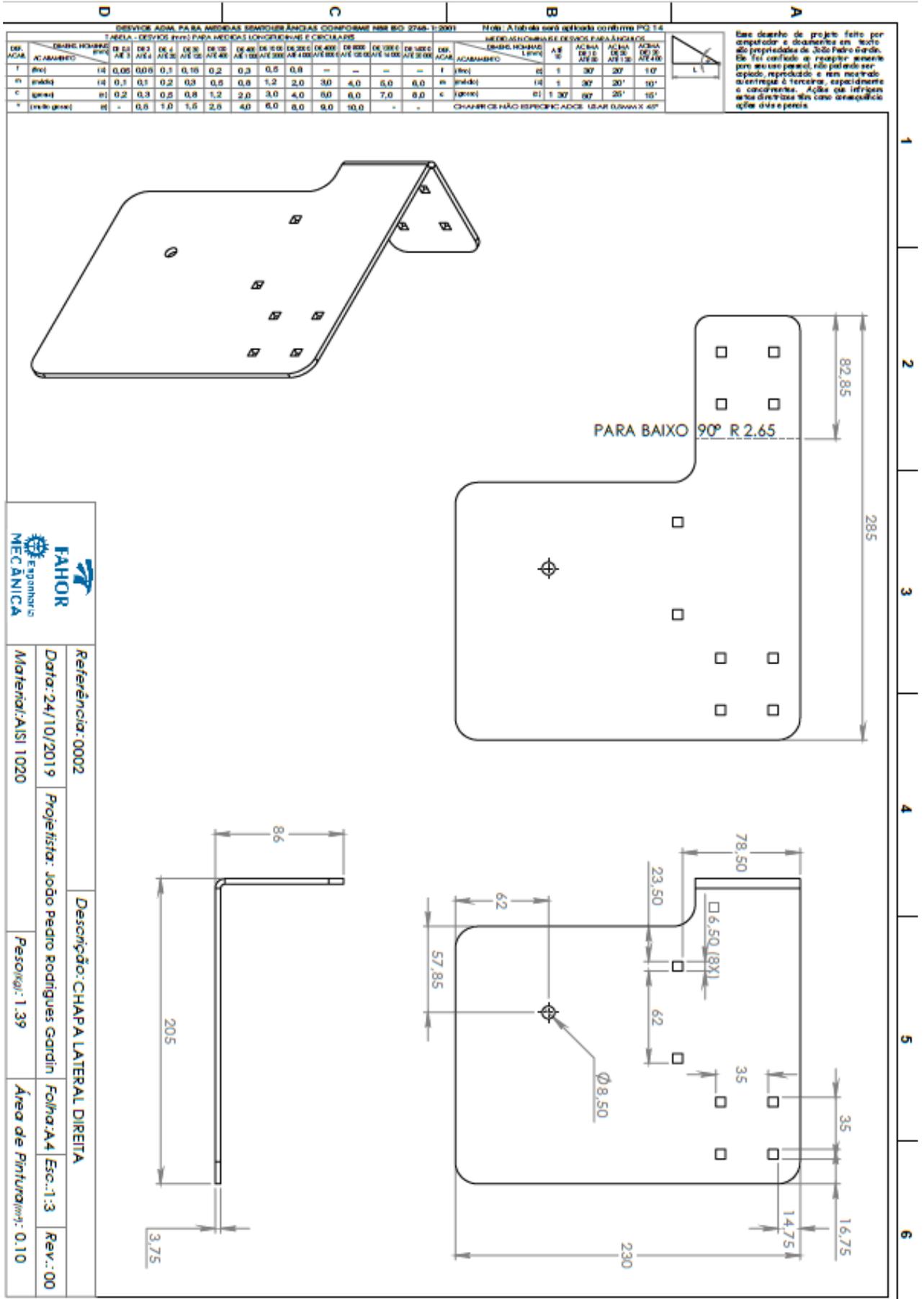
Rev.: 00

Material: AISI 1020

Peso: 2,09

Área de Pintura(m²):

Descrição: PRIMEIRA TRAVESSA



FAHOR
E SÓCIO
MECÂNICA

Referência: 0002

Data: 24/10/2019

Material: AISI 1020

Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin

Resolva: 1.39

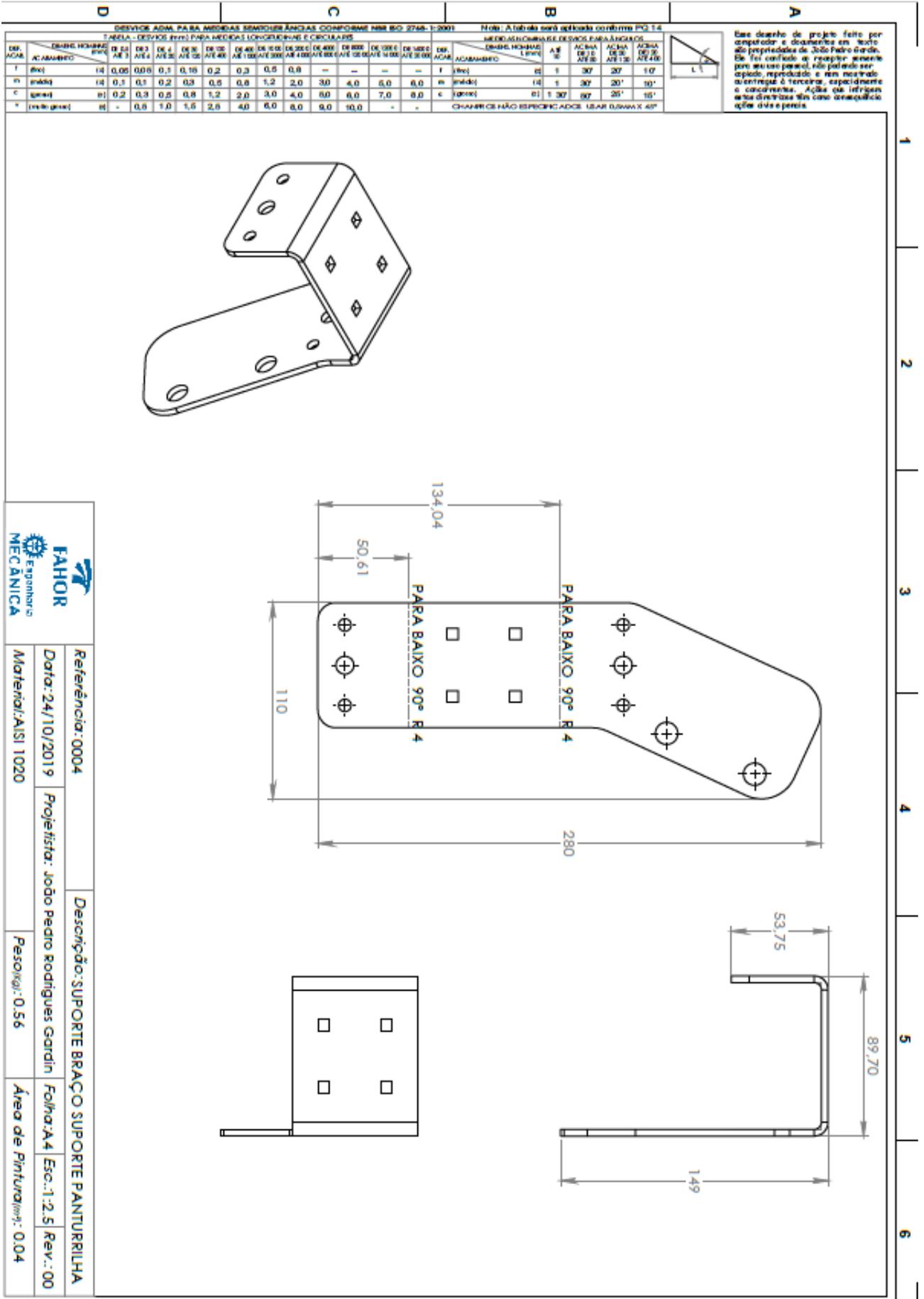
Desenho: CHAPA LATERAL DIREITA

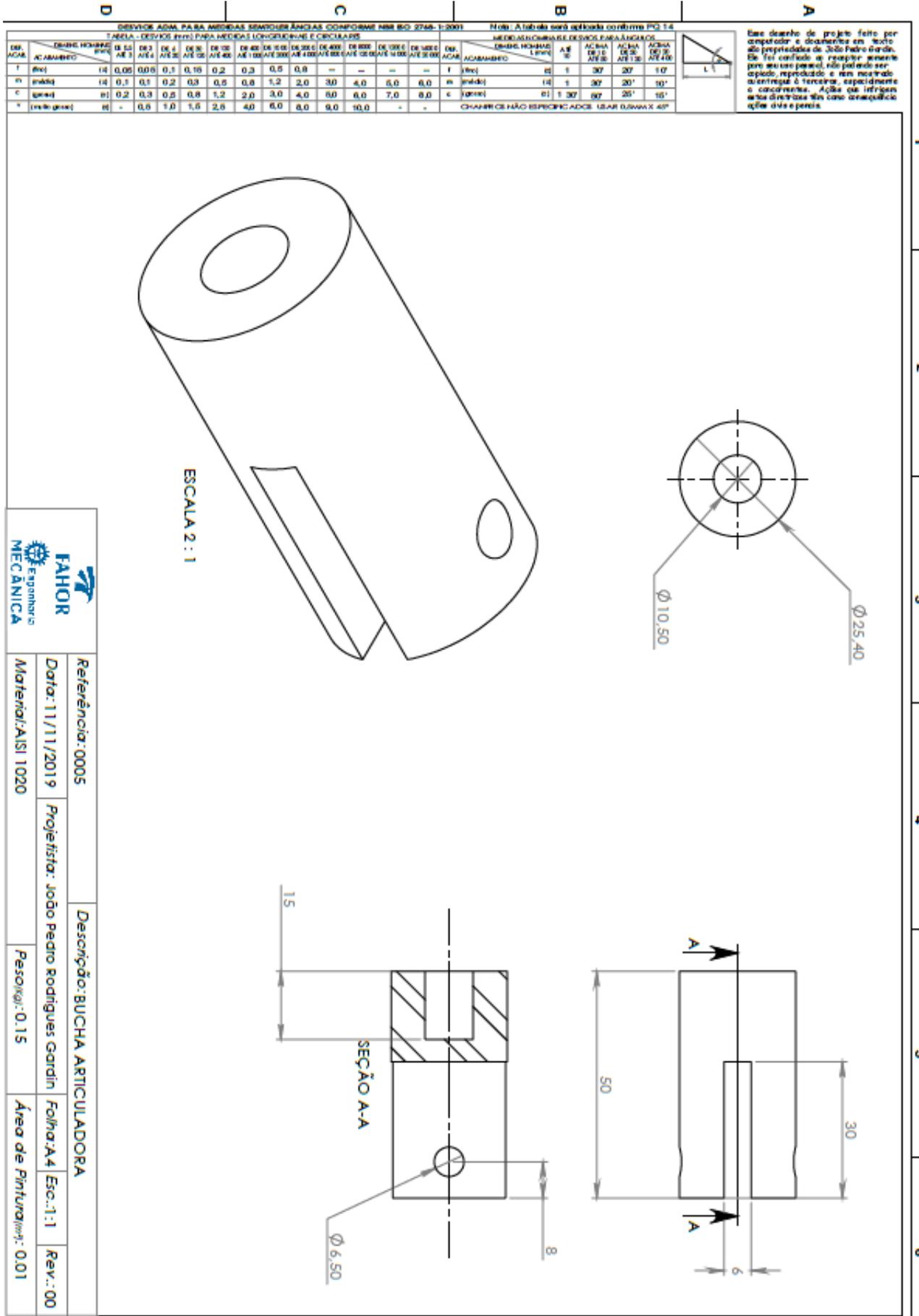
Folha: A4

Esc.: 1:3

Rev.: 00

Área de Pintura: 0.10

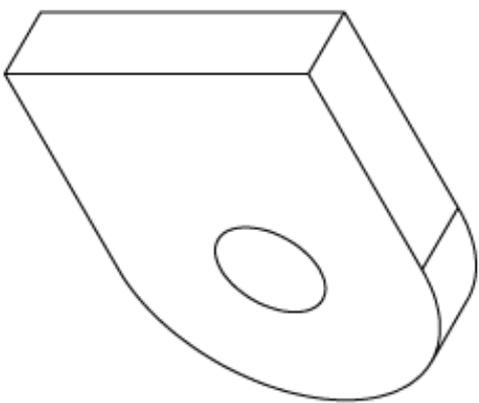


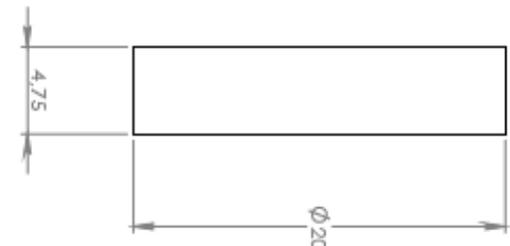


 FAHOR Engenharia MECANICA	Referência: 0005		Descrição: BUCHA ARTICULADORA	
	Data: 11/11/2019	Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin	Folha: A/4	Esc.: 1:1
Material: AISI 1020	Peso: 0,15	Área de Pintura: 0,01	Rev.: 00	

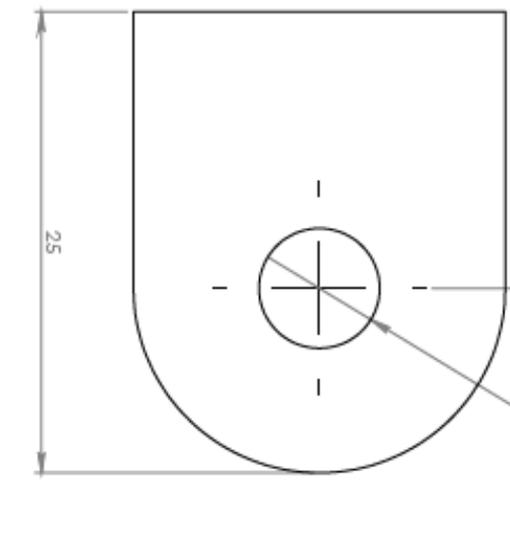
SERVIÇO ADMS PARA MEDIDAS SEMICURVILÍNEAS CONFORME NBR ISO 2748-1:2001												Nome: A tabela será anexada ao projeto PQ 1.4					
TABELA - SERVIÇOS PARA MEDIDAS SEMICURVILÍNEAS E CIRCULARES												MEDIDAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS PARA ANELAS					
DEF. ACAB.	DIMENS. NOMINAIS (mm)	SERVIÇOS										ACABAMENTO					
		DE 0,01 ATE 0,1	DE 0,1 ATE 0,2	DE 0,2 ATE 0,3	DE 0,3 ATE 0,5	DE 0,5 ATE 0,8	DE 0,8 ATE 1,0	DE 1,0 ATE 2,0	DE 2,0 ATE 3,0	DE 3,0 ATE 4,0	DE 4,0 ATE 6,0	DE 6,0 ATE 10,0	RA	AC/BA	AC/BA	AC/BA	
f	(mm)	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
m	(mm)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	0,1	0,1	0,1	0,1
c	(graus)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	10,0	10,0	0,1	0,1	0,1	0,1
x	(mm)	-	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-

CHAMRIS NÃO ESPECIFICADAS USAR 0,05mm X 45°



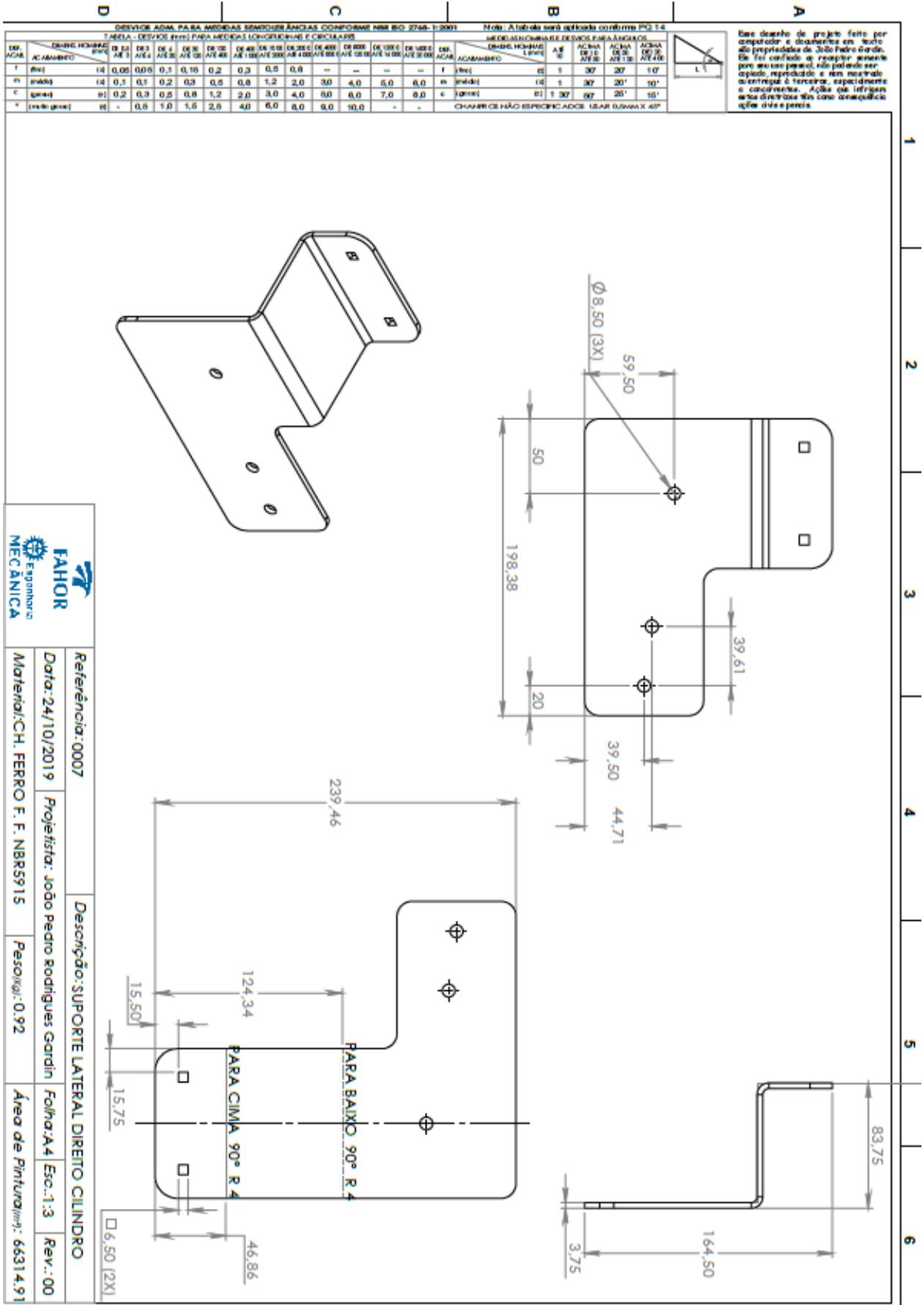




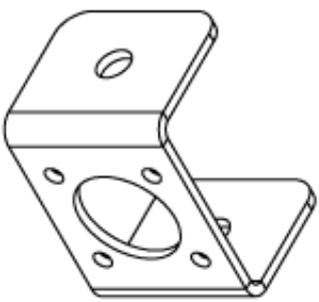
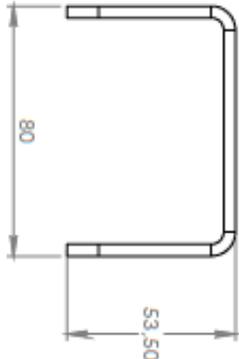


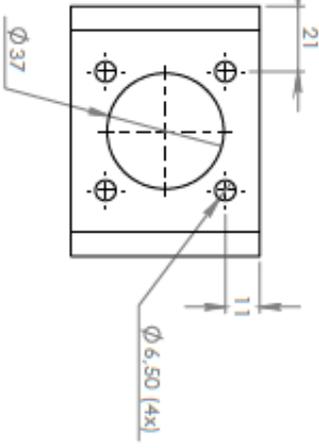


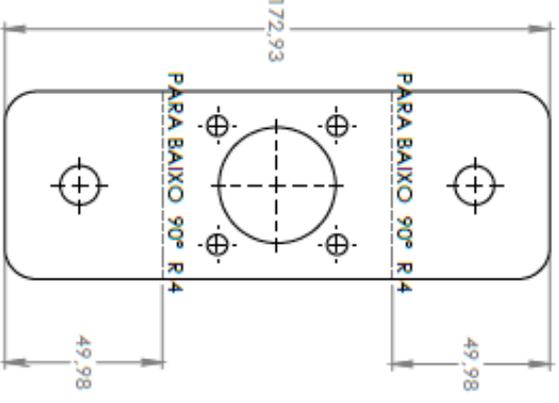
Referência: 0006	Data: 11/11/2019	Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin	Descrição: ORELHA AÇÃO CILINDRO
Material: AISI 1020		Pesq: 0,02	Folha: A4
			Esc: 3:1
			Rev.: 00
			Área de Pintura(m²): 0,00

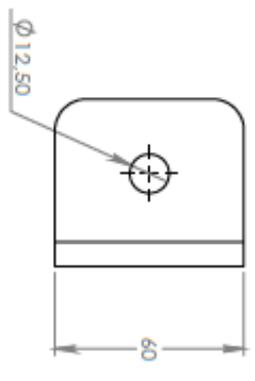


DESENHO ADMA PARA MEDIDAS DIMENSIONAIS CONFORME NBR 8403-1:2001												Nota: A tabela está subdividida conforme PG. 1 e 2									
TABELA - DIMENSÕES PARA MEDIDAS LONGITUDINAIS E CIRCUNFERENCIAIS												TABELA - DIMENSÕES PARA MEDIDAS ANGULARES									
DEF. ADMA	DIMENS. NOMINAIS (mm)						DIMENS. NOMINAIS (mm)						DIMENS. NOMINAIS (mm)								
	DE 0,1 A 0,3	DE 0,3 A 0,6	DE 0,6 A 1,0	DE 1,0 A 1,5	DE 1,5 A 2,0	DE 2,0 A 3,0	DE 3,0 A 4,0	DE 4,0 A 5,0	DE 5,0 A 6,0	DE 6,0 A 7,0	DE 7,0 A 8,0	DE 8,0 A 10,0	DE 10,0 A 15,0	DE 15,0 A 20,0	DE 20,0 A 30,0	DE 30,0 A 40,0	DE 40,0 A 50,0	DE 50,0 A 60,0	DE 60,0 A 70,0	DE 70,0 A 80,0	
T (mm)	0,00	0,00	0,1	0,10	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1
H (mm)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0	10	1	1	1	1	1	1
C (mm)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,0	8,0	10	1	1	1	1	1	1
A (mm)	-	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1

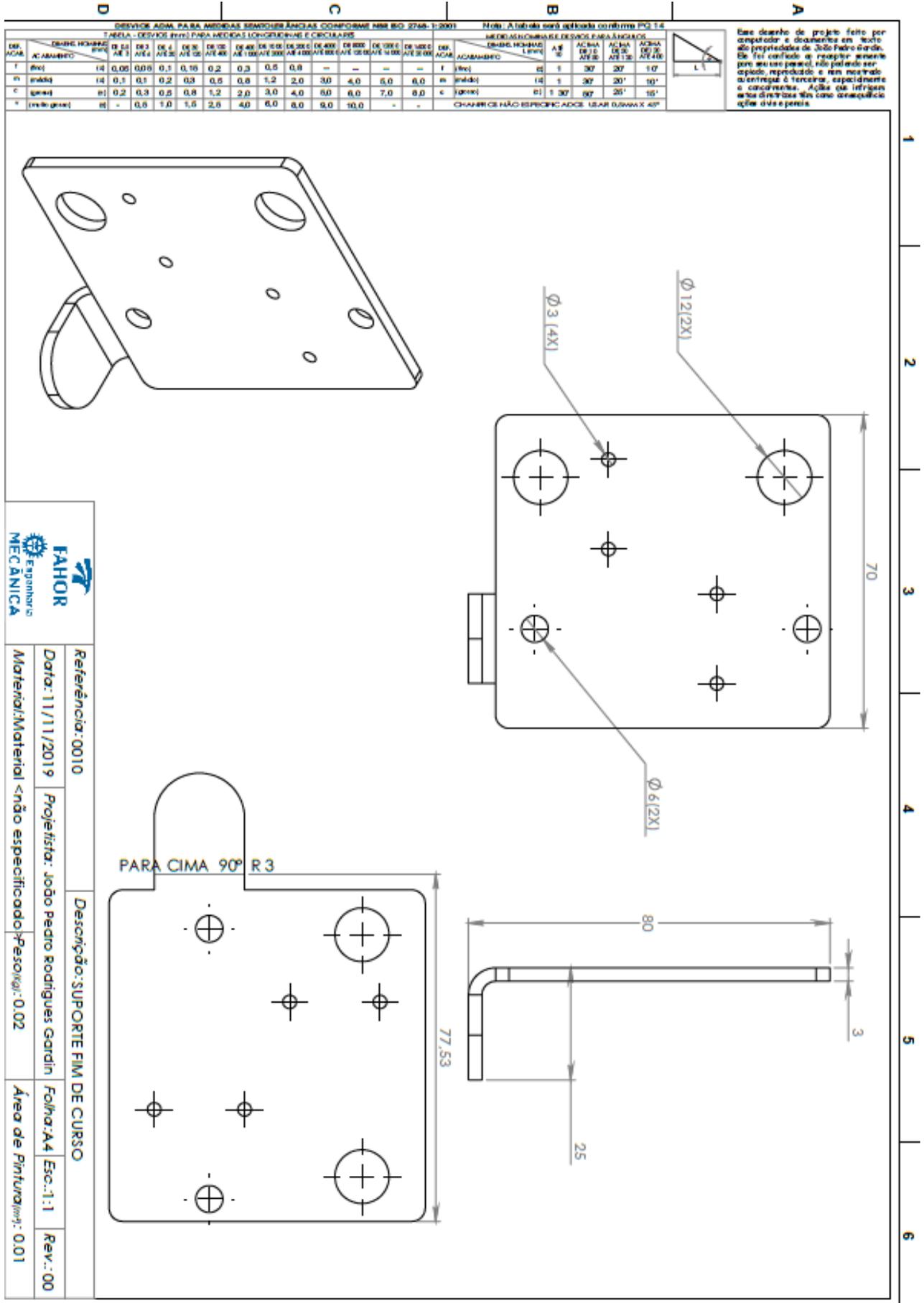








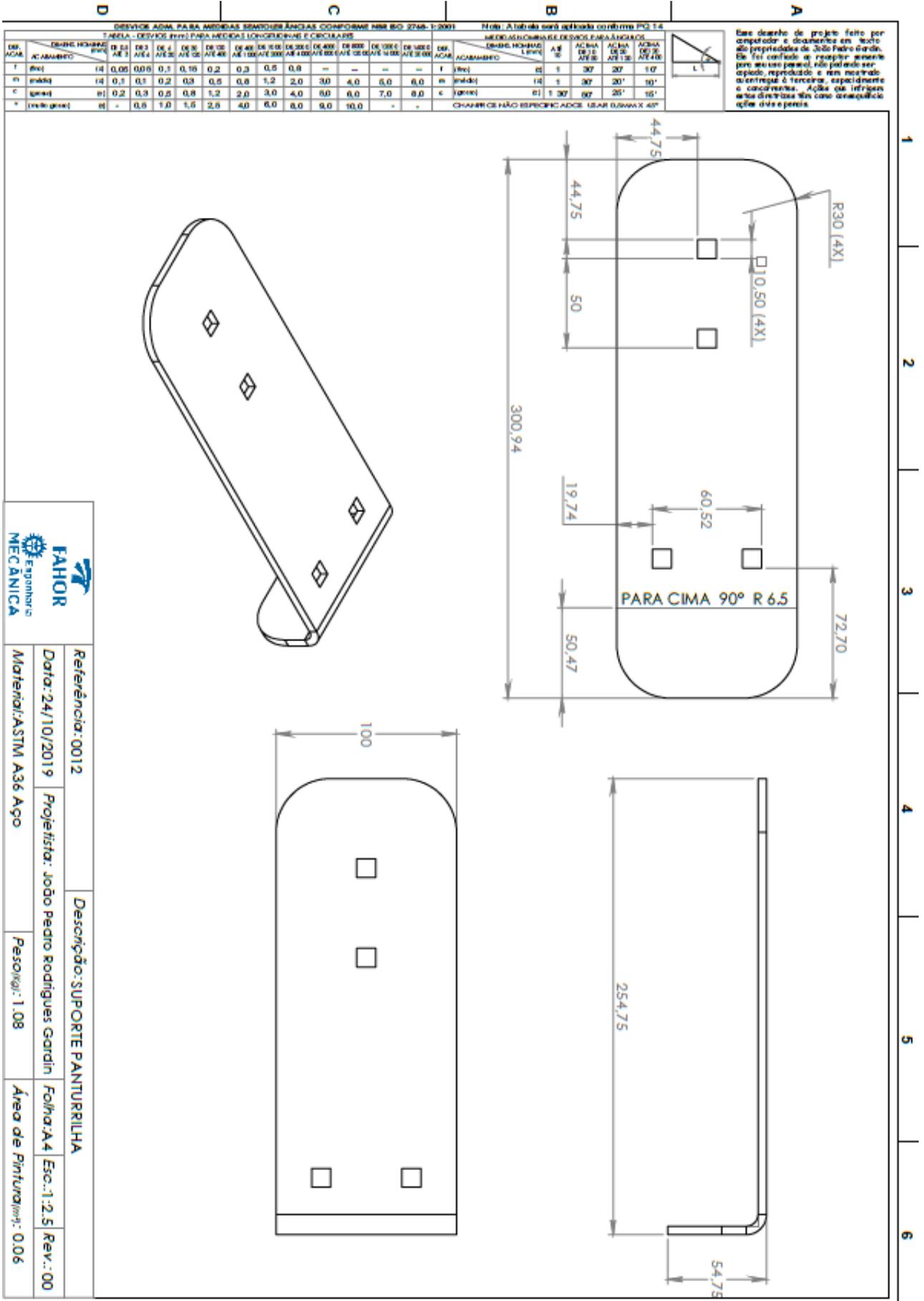
Referência: 0008	Descrição: SUPORTE CILINDRO		
Data: 11/11/2019	Projetista: João Pedro Rodrigues Gardin		Folha: A4
Material: AISI 1020	Peso: 0,26		Esc.: 1:2
			Rev.: 00
			Área de Pintura(m²): 0,02



FAHOR
Esp. em
MECÂNICA

Referência: 0010	Descrição: SUPORTE FIM DE CURSO		
Data: 11/11/2019	Proj. e fisar: João Pedro Rodrigues Gardin		
Material: Material <não especificado>	Peso: 0,02	Folha: A4	Esc.: 1:1
		Área de Pintura: 0,01	Rev.: 00

Este desenho de projeto feito por computador e documentado em AutoCAD é propriedade de João Pedro Gardin. De foi confiado a receptor somente para seu uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem mostrado a terceiros, sem a autorização expressa do autor. Qualquer uso não autorizado será considerado crime de violação de segredo industrial e passível de punição legal.



FAHOR
Engenharia MECÂNICA

Referência: 0012

Data: 24/10/2019

Material: ASTM A36 Aço

Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin

Peso: 1.08

Descrição: SUPORTE PANTURRILHA

Folha: A4

Esc.: 1:2.5

Rev.: 00

Área de Pintura: 0.06

DESENHO ADMS PARA MEDIDAS DIMENSIONAIS CONFORME NBR 6027:2001

TABELA - DESVIOS (mm) PARA MEDIDAS LONGITUDINAIS E CIRCULARES

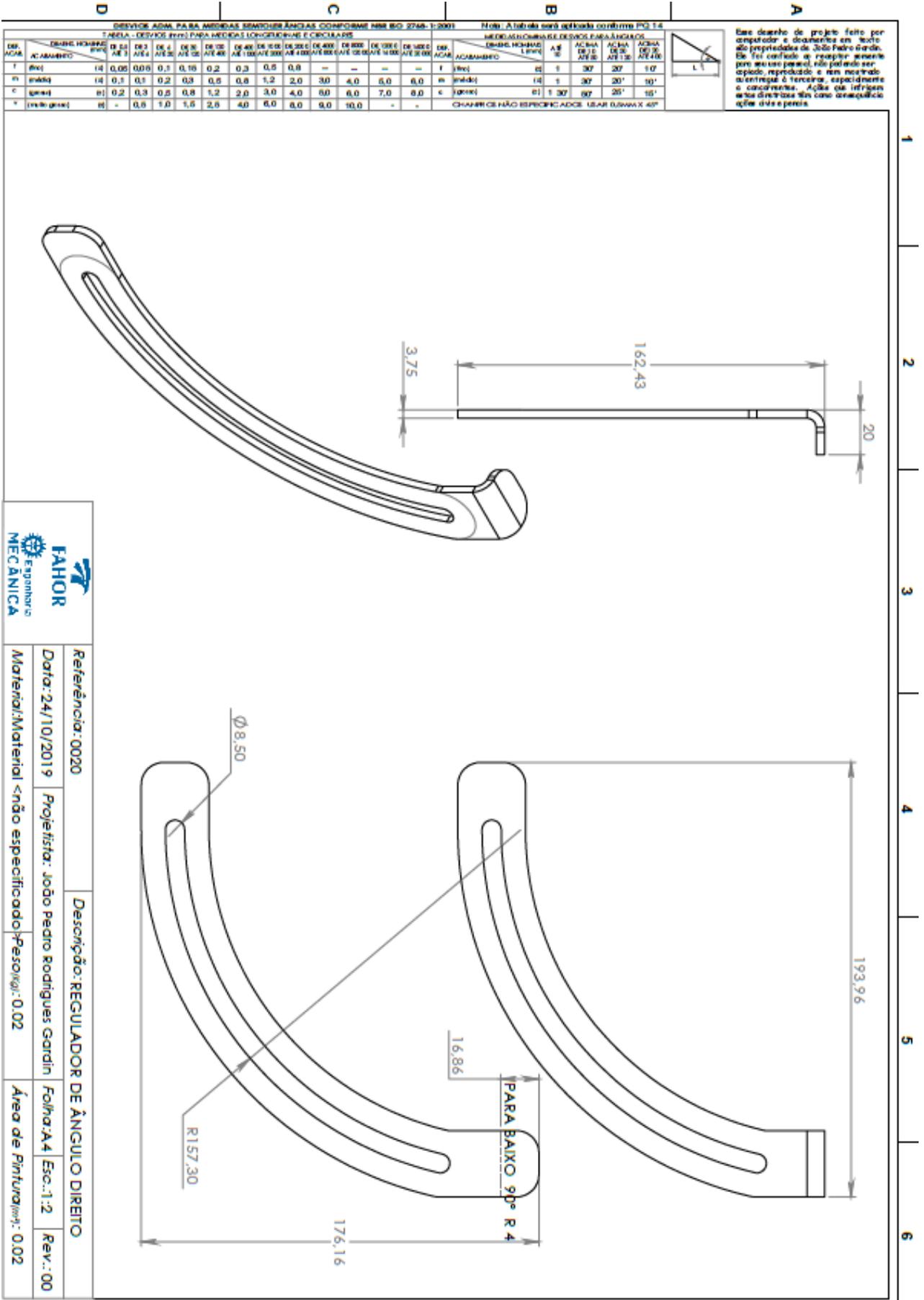
DEF. ACAR	MEDIDAS NOMINAIS DE 1000	DE 1000 ATE 10000	DE 10000 ATE 100000	DE 100000 ATE 1000000	DE 1000000 ATE 10000000	DE 10000000 ATE 100000000	DE 100000000 ATE 1000000000	DE 1000000000 ATE 10000000000	DE 10000000000 ATE 100000000000	DE 100000000000 ATE 1000000000000	DE 1000000000000 ATE 10000000000000	MEDIDAS NOMINAIS DE DESVIOS EN ÂNGULOS				
												DEF. ACAR	ACABAMENTO	AC/BA DE 10 ATE 30	AC/BA DE 30 ATE 100	
1	10	0,05	0,08	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	10'	10'	10'	10'
2	30	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	10'	10'	10'	10'
3	100	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	15,0	10'	10'	10'	10'
4	300	-	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	-	10'	10'	10'	10'

Este desenho de projeto feito por computador e documentado em AutoCAD é propriedade de João Pedro Gardin. Ele foi criado e receptor somente para uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem retransmitido em qualquer forma, especialmente a eletrônica. Ação de infração desta diretriz é punida com a aplicação da pena de prisão.

ESCALA 1 : 3

FAHOR
FABRICANTE DE
MECÂNICA

Referência: 0013	Descrição: TUBO SUPORTE PERNA	Folha: A4	Esc.: 1:4
Data: 18/11/2019	Projeto: João Pedro Rodrigues Gardin		Rev.: 00
Material: AISI 1020	Peso: 2.12	Área de Pintura: 0.12	

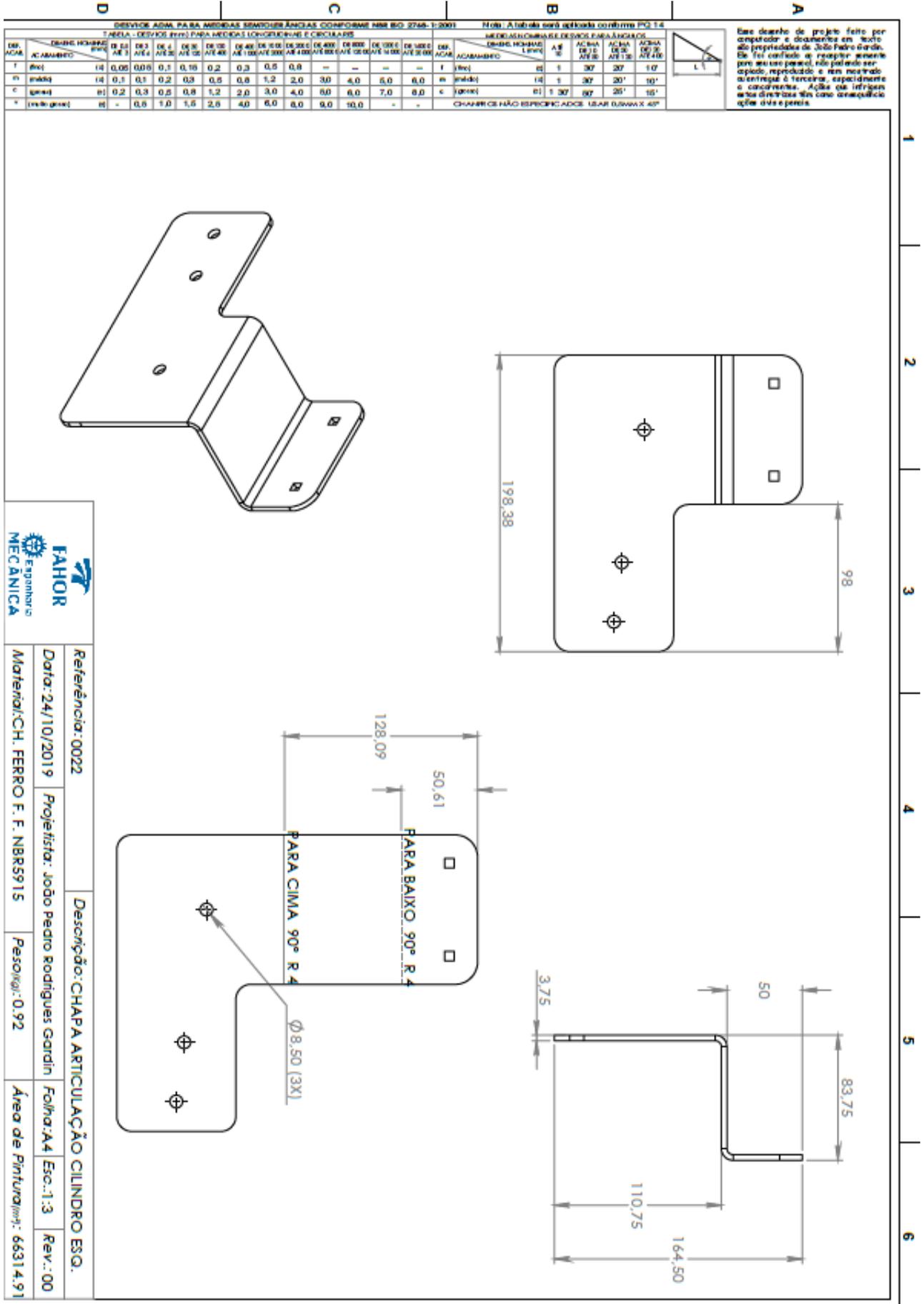


FAHOR
ENGENHARIA MECÂNICA

Referência: 0020 Descrição: REGULADOR DE ÂNGULO DIRETO

Data: 24/10/2019 Projetista: João Pedro Rodrigues Gardin Folha: A4 Esc.: 1:2 Rev.: 00

Material/Material <não especificado> Pesq: 0,02 Área de Pintura(m²): 0,02



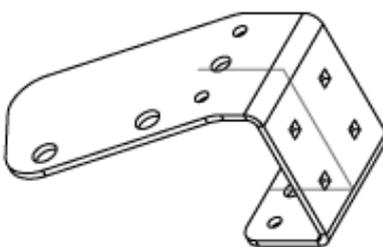
Este desenho de projeto feito por computador e documento em texto não propiedade de João Pedro Gardin. Se for copiado ou reusado sem o seu consentimento, não poderá ser usado, reproduzido e nem transmitido eletronicamente ou mecanicamente. Ações que infringirem estas diretrizes são passíveis de ação judicial.

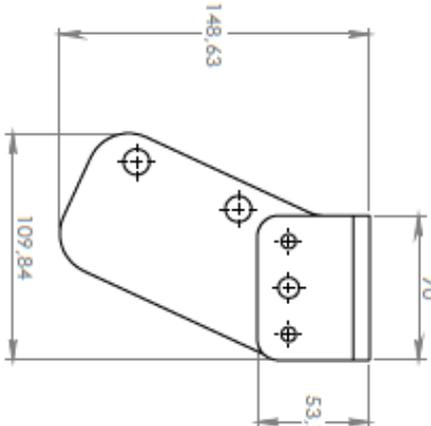
D
C
B
A

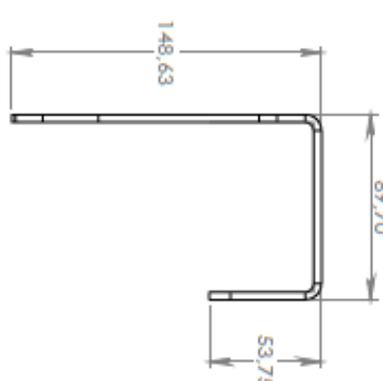
1
2
3
4
5
6

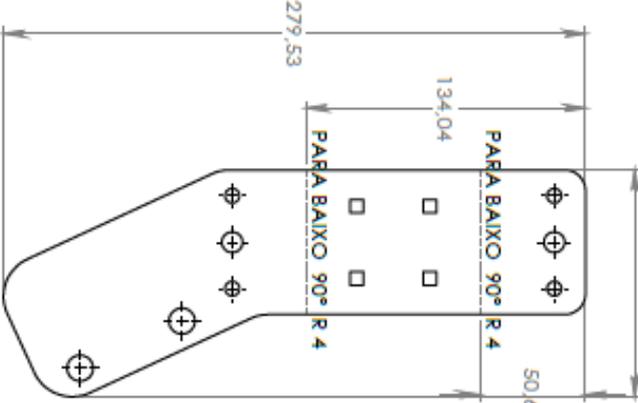
FAHOR
Engenharia
MECÂNICA

TABELA - DESLIZAMENTO PARA MEDIDAS NOMINAIS CONFORME NBR 3748-1:2001												Nota: A tabela será aplicada conforme PG 14						
DEL. ACAB.	TABELA - DESLIZAMENTO PARA MEDIDAS NOMINAIS CONFORME NBR 3748-1:2001											MEDIDAS NOMINAIS DE DOIS EMBALAGENS						
	DE 0,01 A 0,05	DE 0,05 A 0,1	DE 0,1 A 0,15	DE 0,15 A 0,2	DE 0,2 A 0,3	DE 0,3 A 0,5	DE 0,5 A 0,8	DE 0,8 A 1,0	DE 1,0 A 1,5	DE 1,5 A 2,0	DE 2,0 A 3,0	DE 3,0 A 4,0	DE 4,0 A 6,0	DE 6,0 A 10,0	DE 10,0 A 15,0	DE 15,0 A 20,0	DE 20,0 A 30,0	DE 30,0 A 40,0
t (mm)	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h (mm)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9	10	12	15
c (mm)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9	10	12	15	20	25
φ (mm)	-	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-









PARA BAIXO 90° R 4

PARA BAIXO 90° R 4

Referência: 0023

Data: 24/10/2019

Material: AISI 1020

Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin

Peso (kg): 0,56

Descrição: CHAPA ARTICULAÇÃO PERNA ESQ.

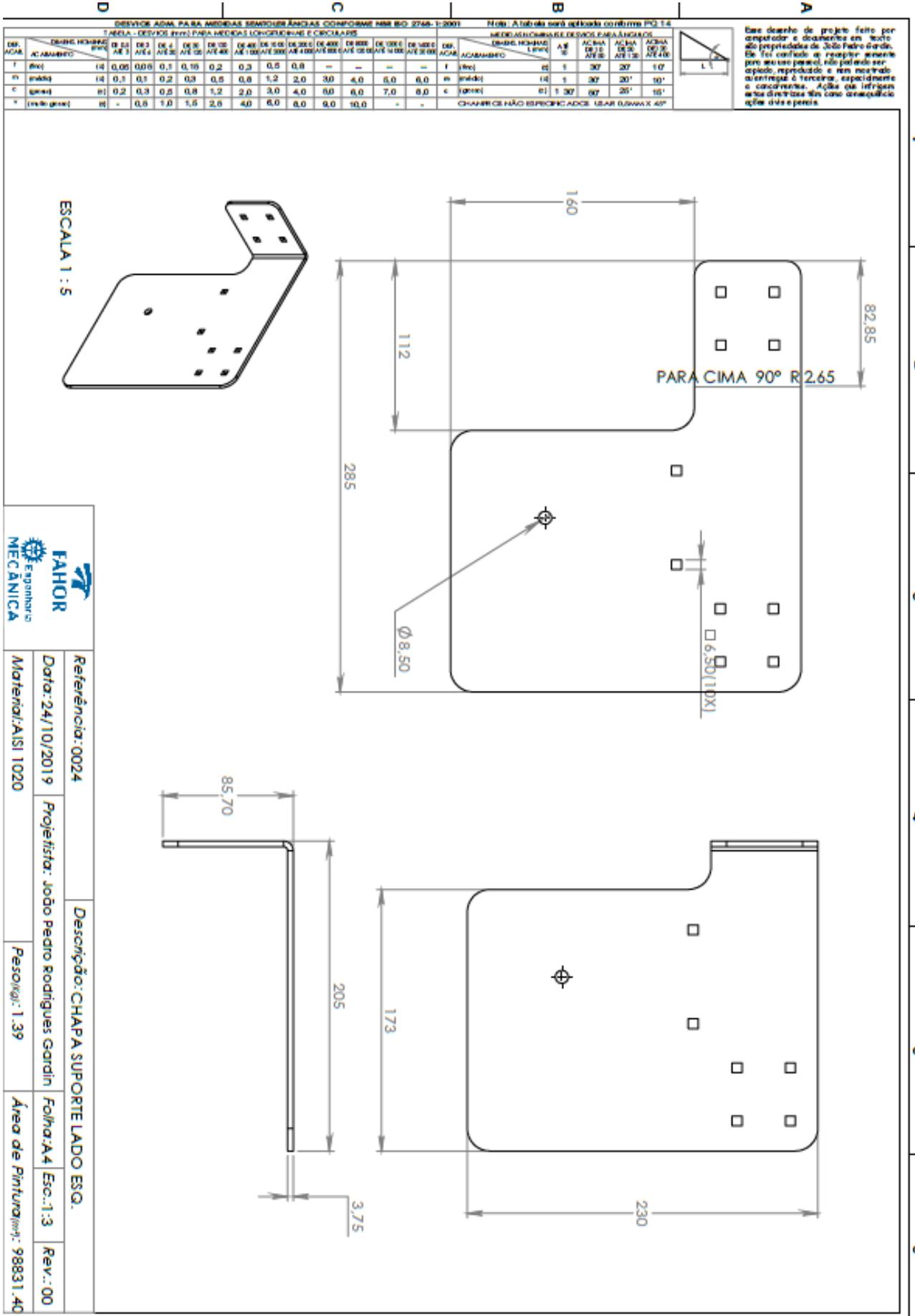
Folha: A4

Esc.: 1:3

Rev.: 00

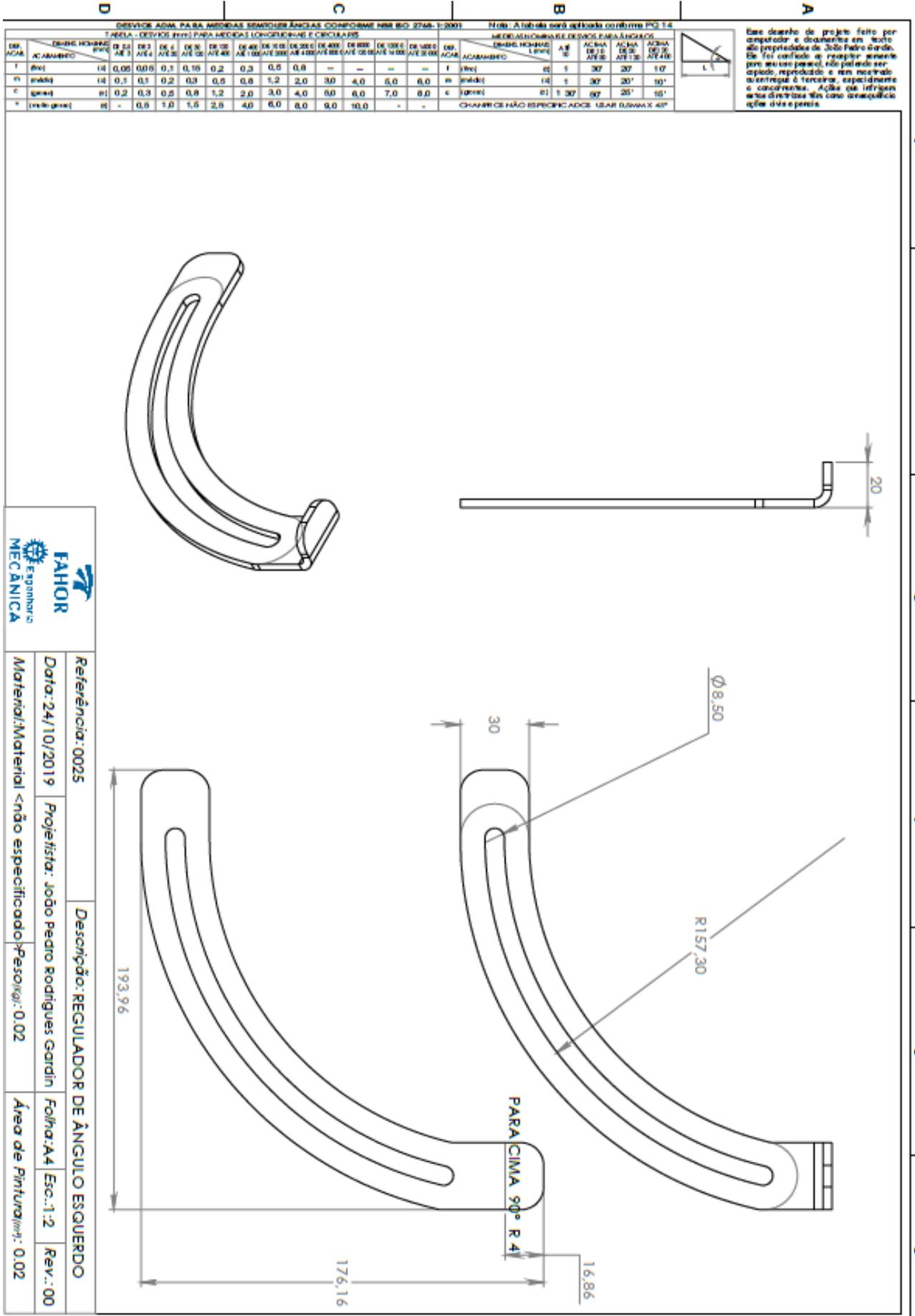
Área de Pintura (m²): 0,04

Este desenho de projeto feito por computador e digitado em texto não possui validade jurídica. Ele foi criado em resumo apenas para seu uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem mostrado ou entregue a terceiros, especialmente a concorrentes. Ação que infrinja este direito será punida com as penas da lei.



FAHOR
ENGENHARIA MECÂNICA

Referência: 0024	Descrição: CHAPA SUPORTE LADO ESQ.	
Data: 24/10/2019	Projeto: João Pedro Rodrigues Gardin	Folha: A4 Esc.: 1:3
Material: AISI 1020	Peso (kg): 1,39	Rev.: 00
		Área de Pintura (m²): 98831,40



FAHOR
Engenharia Mecânica

Referência: 0025 Descrição: REGULADOR DE ÂNGULO ESQUERDO

Data: 24/10/2019 Projeto: João Pedro Rodrigues Gardin Folha: A4 Esc.: 1:2 Rev.: 00

Material/Material <não especificado> Peso(kg): 0,02 Área de Pintura(m²): 0,02

Este desenho de projeto feito por computador e documentado em formato eletrônico de João Pedro Gardin. De fato, confiado ao projetista, não poderá ser copiado, reproduzido e nem mesmo alterado sem a autorização expressa do autor. Ações de infrigência serão tomadas nos casos de cópia não autorizada.

A
B
C
D

DESCRIÇÃO DO PROJETO

Este desenho de projeto feito por computador e documentos em texto são propriedade de João Pedro Gardin. Se foi confiado a receptor, somente para esse uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem retransmitido a terceiros, especialmente e concretamente. Ação de infração será distribuída em caso anulação após dila e perita.

Medidas Chama e Desvios em Ângulos

Medidas Chama e Desvios em Ângulos	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO
DE 10 A 15	DE 16 A 20	DE 21 A 25	DE 26 A 30	DE 31 A 45
10	10	10	10	10
15	15	15	15	15
20	20	20	20	20
25	25	25	25	25
30	30	30	30	30
35	35	35	35	35
40	40	40	40	40
45	45	45	45	45

Medidas Chama e Desvios em Ângulos

Medidas Chama e Desvios em Ângulos	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO
DE 10 A 15	DE 16 A 20	DE 21 A 25	DE 26 A 30	DE 31 A 45
10	10	10	10	10
15	15	15	15	15
20	20	20	20	20
25	25	25	25	25
30	30	30	30	30
35	35	35	35	35
40	40	40	40	40
45	45	45	45	45

Medidas Chama e Desvios em Ângulos

Medidas Chama e Desvios em Ângulos	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO	ACABAMENTO
DE 10 A 15	DE 16 A 20	DE 21 A 25	DE 26 A 30	DE 31 A 45
10	10	10	10	10
15	15	15	15	15
20	20	20	20	20
25	25	25	25	25
30	30	30	30	30
35	35	35	35	35
40	40	40	40	40
45	45	45	45	45

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	0012	SUPORTE PANTURRILHA	1
2	0026	CHAPA PANTURRILHA	1
3	AR0003	ARUELA M10 (ITEM COMERCIAL)	4
4	PO0003	PORCA M10 TRAVA (ITEM COMERCIAL)	4
5	PR0050	PARAFUSO FRANCES M10 X 70mm (ITEM COMERCIAL)	2
6	PR0063	PARAFUSO FRANCES M10 X 35mm (ITEM COMERCIAL)	2
7	SB010	CONJ. SOLDADO SUPORTE ARTICULADO	1

FAHOR
Especialista em Mecânica

Referência: SB001

Data: 11/11/2019

Material/LISTA DE MATERIAS

Projeto: João Pedro Rodrigues Gardin

Pesquisar: 3.52

Descrição: CONJUNTO MONTADO SUPORTE PERNA

Folha: A4 Esc.: 1:4

Rev.: 00

Área de Pintura: 0.23

SERVIÇO ADM. PARA MEDIDAS SEMICIRCULARES COMPOSTAS NBR 600 2748-1:2001															
TABELA - DESLIZOS (mm) PARA MEDIDAS LONGITUDINAIS E CIRCULARES															
SER. ACAB.	DEBIL. HOMOG. (mm)	DE 0,1 A 10,0								DE 10,0 A 100,0			DE 100,0 A 1000,0		
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	100	1000
1	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-	-
2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	-	-
3	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	-	-	-	-
4	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-

MEDIDAS CIRCULARES DE DIÂMETRO PARA ÂNGULO													
SER. ACAB.	DEBIL. HOMOG. (mm)	ACIMA DE 15°			DE 15° A 30°			DE 30° A 45°			DE 45° A 60°		
		15°	30°	45°	15°	30°	45°	15°	30°	45°	15°	30°	45°
1	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8	1,2	1,5	2,0	2,0	3,0	3,0
3	0,2	0,3	0,5	0,8	0,8	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	4,0	6,0	6,0
4	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	10,0	-	-

CHAMISCE NÃO ESPECIFICADO USAR DIMENSÃO 45°

Este desenho de projeto feito por computador e documentado em texto são propriedade de João Pedro Gardin. De seu conteúdo e qualquer maneira para seu uso pessoal, não poderá ser copiado, reproduzido e nem mesmo a entrega à terceiros, especialmente e concorrentes. Ação de infração será de rigorosa fiscalização após dois meses.

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	SB003	CADEIRA	1
2	0001	PRIMEIRA TRAVESSA	1

Referência: SB002	Descrição: CONJUNTO SOLDADO CADEIRA E SUPORTE
Data: 11/11/2019	Projetaor: João Pedro Rodrigues Gardin
Material: LISTA DE MATERIAS	Peso: 7,27
	Folha: A4
	Esc.: 1:8
	Rev.: 00
	Área de Pintura(m²): 0,94

SERVIDOR ADIAL PARA MEDIÇAOES SEMICOM ANGAIS CONFORME NBR 800 2746-1:2001													
TABELA - DIMENSÕES PARA MEDIÇAOES LONGITUDINAIS E CIRCUMFERENCIAIS													
SER. ADIAL	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	MEDIÇAOES LONGITUDINAIS								MEDIÇAOES CIRCUMFERENCIAIS			
		DE 00 ATE 01	DE 01 ATE 02	DE 02 ATE 03	DE 03 ATE 04	DE 04 ATE 05	DE 05 ATE 06	DE 06 ATE 08	DE 08 ATE 10	DE 00 ATE 01	DE 01 ATE 02	DE 02 ATE 03	DE 03 ATE 04
1	14	0,08	0,08	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,8	-	-	-	-
2	14	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
3	14	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
4	14	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	10,0
5	14	-	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0	-	-

ACABAMENTO

ACABAMENTO	DE 00 ATE 01	DE 01 ATE 02	DE 02 ATE 03	DE 03 ATE 04
1	30'	20'	20'	10'
2	30'	20'	20'	10'
3	30'	20'	20'	10'
4	30'	20'	20'	10'

CHAMFRES NÃO ESPECIFICADOS USAR 0,5MM X 45°

Este desenho de projeto feito por computador e documentos em texto são propriedade de João Pedro Gardin. De foi confiado a receptor somente para seu uso pessoal, não podendo ser copiado, reproduzido e nem mesmo alterado sem a autorização expressa do autor. Qualquer uso não autorizado será considerado crime de falsificação de documento e passível de punição legal. Assinatura: João Pedro Gardin

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	0006	ORELHA AÇÃO CILINDRO	1
2	0013	TUBO SUPORTE PERNA	1

Referência: SB010	Descrição: CONJ. SOLDADO SUPORTE ARTICULADO
Data: 11/11/2019	Projeta: João Pedro Rodrigues Gardin
Material/LISTA DE MATERIAS	Peso/qlt: 2,13
Folha: 4	Esc.: 1:3
Rev.: 00	Área de Pintura(m²): 0,12

APÊNDICE B – SISTEMA MODELADO NO FLUIDSIM

