

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME STASIAK JADOSKI

DESENVOLVIMENTO DE MECANISMO DE REGULAGEM APLICADO AO EQUIPAMENTO
“ROSCA SCOTT MÁQUINA”

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

GUILHERME STASIAK JADOSKI

**DESENVOLVIMENTO DE MECANISMO DE REGULAGEM APLICADO AO
EQUIPAMENTO "ROSCA SCOTT MÁQUINA"**

**Development of an adjustment mechanism applied to the "Scott Curl
Machine" equipment**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Rodrigo Mandello Rodrigues

PATO BRANCO

2021



4.0 Internacional

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE MECANISMO DE REGULAGEM APLICADO AO EQUIPAMENTO "ROSCA SCOTT MÁQUINA"

Guilherme Stasiak Jadoski

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 03/12/2021 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Fábio R. Mandello Rodrigues
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado principalmente aos meus pais, mas também a todos que me ajudaram nesta jornada. É graças ao seu esforço e motivação que hoje posso concluir o meu curso.

AGRADECIMENTOS

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado nesta jornada. À minha família, que me incentivou nos momentos difíceis. À Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante toda a minha trajetória de estudos. Às pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

Don't think for too long, do it. But don't do it for too long, think.
(CONFUCIUS)

Não pense por muito tempo, faça. Mas não faça por muito
tempo, pense (CONFÚCIO)

RESUMO

JADOSKI, Guilherme S. Desenvolvimento de mecanismo de regulagem aplicado ao equipamento "Rosca Scott Máquina". 2021. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

É notório nas academias de musculação, que a sobrecarga ocasionada por escolha inadequada da carga pelo usuário, ou, principalmente pela inadequação de sistemas de regulagem, ocasionam lesões, que podem ser agravadas por esforços de repetição, que acabam por lesionar progressivamente as estruturas atingidas, causando prejuízos a saúde dos usuários. O presente trabalho, teve como objetivo desenvolver uma melhoria que possibilite regulagem do sistema de transmissão de forças aplicada à equipamentos denominados Rosca Scott Máquina, utilizados em musculação, visando aumento da ergonomia do usuário, com o desenvolvimento de uma polia de raio variável e componentes mecânicos adjacentes. Foram considerados diversos aspectos de metodologia unificada de PDP, sendo aplicados os procedimentos desenvolvidos na macrofase de pré-desenvolvimento com a criação do escopo do produto, e na macrofase de desenvolvimento, com procedimentos de fases do projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. Com a realização do trabalho, passa a ser disponibilizada uma sequência metodológica, que pode servir de base para o ajuste e dimensionamento de sistemas mecânicos similares, aplicados a equipamentos Rosca Scott Máquina ou em outros equipamentos e condições.

Palavras-chave: Equipamentos para academia. Processo de desenvolvimento de produtos. Prototipagem virtual.

ABSTRACT

JADOSKI, Guilherme S. Development of an adjustment mechanism applied to the "Scott Curl Machine" equipment. 2021. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

It's notorious in fitness gyms that the overload caused by the user's inadequate choice of load, or, mainly due to the inadequate user adjustment systems, causes injuries, which can be aggravated by repetition efforts, which end up progressively injuring the affected structures, causing harm to user's health. This work, had as general objective to develop an improvement that allows adjustments of the force transmission system applied to the Scott Curl Machine, used in bodybuilding gyms, enabling increased user ergonomics, with the development of a variable radius pulley and adjacent mechanical components. Several aspects of a unified PDP methodology were considered, applying the procedures developed in the Pre-Development macro-phase with the creation of the product scope, and in the Development macro-phase, with phase procedures of informational design, conceptual design and detailed design. With the completion of this work, a methodological sequence becomes available, which can serve as a basis for adjustments and dimensioning of similar mechanical systems, applied to the Scott Curl Machine or other equipment and conditions.

Keywords: Gym equipment. Product development process. Virtual prototyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - " <i>Grand Gymnase</i> " de Hippolyte Triat, em Paris (1865).....	14
Figura 2 – Sistema de transmissão e redução de carga tipo braço-polia	20
Figura 3 – Exemplo de Máquina Extensora.....	21
Figura 4 – Representação de sistemas de uma Máquina Rosca Scott.....	21
Figura 5 - Percentual do máximo braço de alavanca entre uma carga vertical e o eixo de articulação do cotovelo em diferentes estágios de movimento	22
Figura 6 - Braço de alavanca constante em torno à articulação no equipamento <i>Rosca Scott Máquina</i>	23
Figura 7 - Medição entre antebraço-centro de pegada	24
Figura 8 – Modelo Unificado de PDP	27
Figura 9 – Sistema de Estágios e Gates.....	28
Figura 10 - Metodologia seguida no desenvolvimento do projeto.....	33
Figura 11 - Modelamento funcional de uma <i>Rosca Scott Máquina</i>	41
Figura 12 – Esboço da geometria inicial da polia.....	46
Figura 13 - Corte da ponta do sólido	46
Figura 14 - Desbaste interno da geometria	47
Figura 15 - Vista em corte da sobreposição da polia	48
Figura 16 - Seccionamento da polia	48
Figura 17 - Forças atuando nos pesos	49
Figura 18 - Forças atuantes na polia	50
Figura 19 - Seção de parede da polia	52
Figura 20 - Região de interesse para seção	53
Figura 21 – Seção transversal da parede da polia	53
Figura 22 - Diagrama de corpo livre da polia movida	54
Figura 23 - Diagrama de corpo livre para o eixo de suporte das polias	55
Figura 24 - Dados de entrada do material para simulação de vida em fadiga ...	57
Figura 25 - Inserção de informações sobre ciclo das forças. Sendo os valores de 0 à 1 em suas respectivas porcentagens.....	58

Figura 26 - Tamanho da malha e posicionamento das forças atuantes na peça	59
Figura 27 - Resultados para a simulação de Vida em Fadiga (resultado em número de ciclos de carregamento aos quais a geometria suporta)	59
Figura 28 – Disposição das Tensões de Von Mises na peça e ponto de concentração de tensão próximo à raiz da seção da polia	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre pesos livres e máquinas	19
Tabela 2 - Comprimento do antebraço ao centro de pegada	39
Tabela 3 - Comparação entre opções de configurações de torre de pesos.....	40
Tabela 4 - Portadores de efeito	43
Tabela 5 - Combinação de portadores de efeito	44
Tabela 6 - Fatores para correção do limite de fadiga	51
Tabela 7 - Dados obtidos para o eixo de suporte da polia	55
Tabela 8 - Dados para o dimensionamento do parafuso de potência	56
Tabela 9 - Resultados do dimensionamento do parafuso de potência	56

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Coeficiente de inclinação da linha de vida em fadiga	-
F	Força	N
F_{max}	Força Máxima	N
$(2/3)F_{max}$	Dois terços da Força Máxima	N
Kt	Fator de concentração de tensão (estático)	-
Kf	Fator de concentração de tensão (dinâmico)	-
M_{max}	Momento fletor máximo	N*m
N	Força Normal	N
N_0	Número de ciclos inicial	
N_e	Número de ciclos para vida infinita em fadiga	
P	Força Peso	N
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos	-
q	Fator de sensibilidade ao entalhe	-
R_n	Força de Reação	N
S_e	Limite de resistência do material para N_0 ciclos	Pa
S_u	Limite de resistência do material para 10^6 ciclos	Pa
σ	Tensão	MPa
σ_{max}	Tensão máxima	MPa

SUMÁRIO

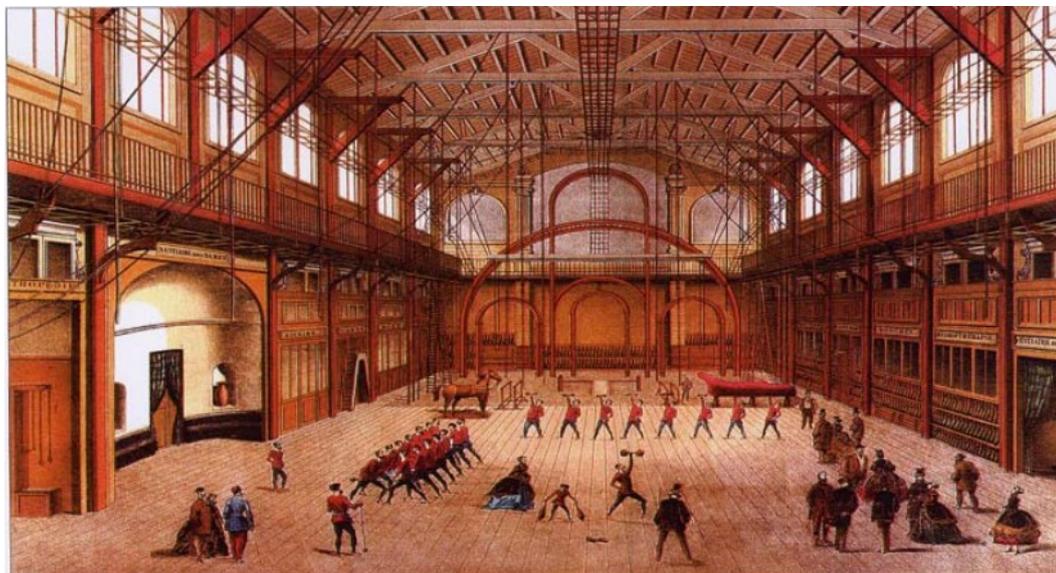
1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 EQUIPAMENTOS DE ACADEMIA	18
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	25
2.2.1 Conceito de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) e sua importância	25
2.2.2 Modelo Unificado de PDP	26
2.3 PROTOTIPAGEM	32
2.3.1 Prototipagem Virtual (PV)	32
3 METODOLOGIA	33
3.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO	34
3.2 PROJETO INFORMACIONAL	34
3.3 PROJETO CONCEITUAL	34
3.4 PROJETO DETALHADO	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO	36
4.1.1 Escopo do projeto	36
4.2 PROJETO INFORMACIONAL	37
4.2.1 Requisitos de utilização:	37

4.2.2 Requisitos do produto.....	37
4.2.3 Cálculos de apoio.....	38
4.2.4 Especificações meta.....	40
4.3 PROJETO CONCEITUAL.....	41
4.3.1 Modelamento funcional.....	41
4.3.2 Desenvolvimento de princípios de solução para a <i>Rosca Scott Máquina</i> :.....	41
4.3.3 Seleção de alternativas-solução.....	43
4.4 PROJETO DETALHADO.....	45
4.4.1 Dimensionamento dos componentes.....	45
4.4.2 Validação por simulação.....	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A – CÁLCULOS DE APOIO.....	66
APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno fitness é comumente visto como surgido no final do século XX, porém suas raízes estendem-se além de um século atrás, como explica Van Hilvoorde (2008, p.1306-1325). No contexto continental europeu, um dos primeiros a desenvolver ideais fitness, abrindo academias comercialmente (Figura 1), foi Hippolyte Triat, em Liège, Bruxelas e Paris. Nelas, a ginástica foi transformada em espetáculos teatrais, que utilizavam bases do circo (utilizando barras, trapézios, cordas e mastros) e conjuntos de pesos (halteres, barras, clavas indianas, dentre outros). Enquanto, no contexto holandês, tem-se o Doutor Geraldus Arnoldus Nicolaas Allebe como pessoa de grande relevância. Na Alemanha, surgiam ideias de máquinas focadas em grupos musculares. Finalmente, quando artistas empreendedores, como Sandow e MacFadden conectam-se à sua audiência, a evolução dos equipamentos fitness definitivamente começa.

Figura 1 - "Grand Gymnase" de Hippolyte Triat, em Paris (1865)



Fonte 1: SIRVENT (2007)

Atualmente, equipamentos fitness modernos e tecnológicos formam um mercado de considerável sucesso. O setor privado da indústria global de fitness e

academias encontra-se em crescimento contínuo, e suas instalações atendem cerca de 162 milhões de pessoas ao redor do mundo. Tendo perspectivas promissoras, espera-se que a indústria fitness prospere no mercado global, visando atender as variadas necessidades dos clientes com diversas instalações fitness, instrutores, *personal trainers* e *coaches* (International Health, 2017).

Um centro fitness moderno é altamente eficiente no uso do espaço e tempo, tanto por sua arquitetura como pelo uso simultâneo dos seus equipamentos e tecnologias. A globalização destes centros pode ser considerado um grande exemplo de impulso em direção à uma cultura globalizada, sendo um fenômeno que pode ser reconhecível em escala global (Europe Active, 2018).

Com mudanças no estilo de vida, causadas pela redução da jornada de trabalho e aumento de renda familiar, espera-se que este seja cada vez mais confortável e próspero (Chung, 2006, p.129-138), enquanto a saúde física e mental tende a piorar, como resultado da falta de atividades físicas e da supernutrição.

Com estas mudanças, políticas nacionais de diversos países, voltadas à saúde física e mental, cada vez mais associam estes fatores como fatores de risco à saúde populacional (Sekendiz, 2014, p.165-183), e neste papel tomam cada vez maior importância academias e centros fitness. Relacionado a este fenômeno está a alta anual de 20% do mercado de fitness e de equipamentos esportivos, estes que podem ser utilizados para melhorar a constituição física, fortalecer músculos, melhorar a função cardiorrespiratória e a constituição física (Wang, 2012, p.12833-12840).

É notório nas academias de musculação, que a sobrecarga ocasionada pela escolha inadequada da carga pelo usuário, ou, principalmente pela inadequação dos sistemas de regulagem, ocasionam lesões, que podem ser agravadas por esforços de repetição, lesionando progressivamente as estruturas atingidas, causando prejuízos a saúde dos usuários.

Neste trabalho percebeu-se que os equipamentos Rosca Scott Máquina, em utilização nas academias, não apresentam possibilidade de ajuste entre a carga escolhida e a força exercida pelo usuário, e não se consideram as implicações da existência de diferenças nas dimensões corporais, portanto, ocorrem variações nas

forças experimentadas, mesmo com a mesma carga selecionada, gerando riscos de lesões corporais. O que justifica o objetivo deste trabalho, considerando apresentar uma melhoria para este aspecto, que possa ser aplicada tanto em equipamentos Rosca Scott Máquina como em outros que utilizam sistemas mecânicos similares.

Com os componentes mecânicos a serem desenvolvidos neste trabalho, a o funcionamento pleno do equipamento poderá ser finalizado com a inserção de componentes eletroeletrônicos, que terão a finalidade de automatizar o sistema de ajuste ao usuário.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver melhoria do sistema de transmissão de forças aplicada à equipamentos Rosca Scott Máquina, utilizados em musculação, possibilitando aumento da ergonomia do usuário, com o desenvolvimento de uma polia de raio variável e componentes mecânicos adjacentes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Aprofundar o conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de produtos;
- Conhecer melhor o funcionamento dos atuais equipamentos Rosca Scott Máquina em utilização nas academias;
- Desenvolver projeto informacional, conceitual e detalhado com o dimensionamento e prototipagem para o conceito desenvolvido para a melhoria da máquina;
- Catalogar os procedimentos realizados para embasamento de eventuais dimensionamentos deste equipamento.

1.3 JUSTIFICATIVA

Apesar das diferentes definições de ergonomia no mundo acadêmico, de acordo com Lida (2005), uma das melhores definições foi feita pelo Conselho Brasileiro de Ergonomia, onde entende-se esta como sendo o estudo entre interações de pessoas com o ambiente, tecnologia e organização, tendo como objetivo a melhoria integrada da segurança, conforto, bem-estar e eficiência das atividades desenvolvidas.

Segundo o mesmo autor, ergonomistas costumam trabalhar em certas categorizações deste sistema, sendo estas especialmente divididas em ergonomia física, cognitiva e organizacional.

Dentre estas, a ergonomia física, a qual possui maior relevância neste trabalho, trata de questões relacionadas à anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica.

Diante deste conceito, percebe-se que apesar de toda a evolução e dos esforços na melhoria da ergonomia em todos os setores da sociedade, ainda existem problemas básicos, de questões ergonômicas, em estabelecimentos focados em melhorar a qualidade de vida da população: as academias.

Nelas, percebe-se a falta de informações sobre a carga a qual o usuário está sujeito ao utilizar máquinas de musculação, um dos dados mais básicos ao se realizar um exercício

De acordo com Mónico et al. (2020), lesões de sobrecarga vêm sendo referidas como o tipo de lesão de maior frequência na prática esportiva. Estas lesões ocorrem sem um traumatismo agudo identificável, e geralmente são causadas por um microtraumatismo de repetição, que acaba por lesionar progressivamente as estruturas atingidas, sendo estas pela carga exercida superar as capacidades adaptativas dos tecidos ou ainda pela falta de recuperação destes tecidos entre as cargas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EQUIPAMENTOS DE ACADEMIA

Atualmente, dentro da musculação, são realizadas duas modalidades de treinos de resistência, os movimentos de peso livre, como exercícios com pesos, barras e massa muscular, e os exercícios com máquinas, sendo que cada um destes tem suas características, com suas vantagens e desvantagens.

Programas de treinamento que envolvem ambas as modalidades são comumente criadas com o objetivo de melhorar características de força, potência e performance atlética, não existindo consenso entre atletas, treinadores, técnicos e cientistas sobre modalidades ou combinações entre estas que otimizem os resultados. Com o propósito de discutir os aspectos quanto as duas modalidades, Haff (2000) levantou em uma mesa redonda vantagens e desvantagens entre estas, as quais estão dispostas na Tabela 1.

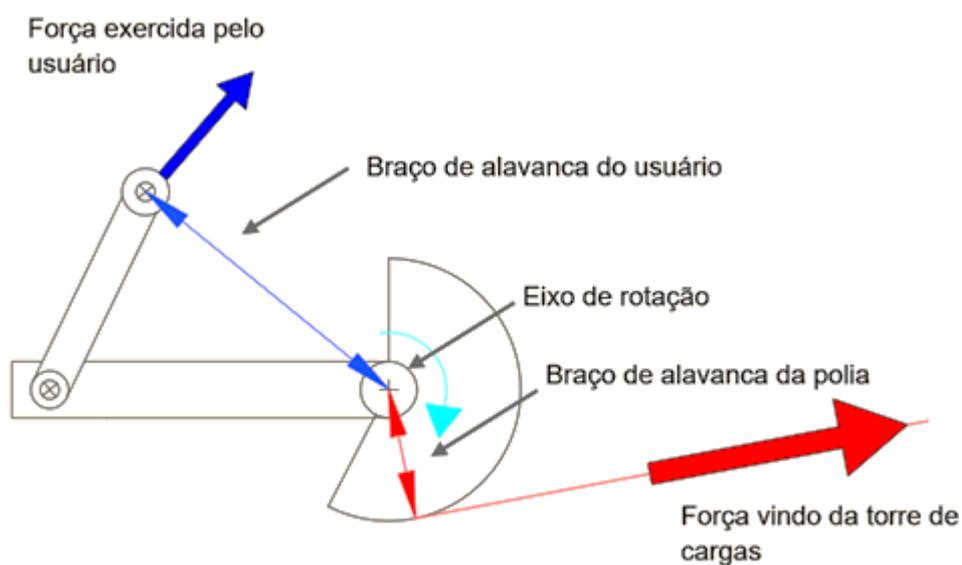
Tabela 1 - Comparativo entre pesos livres e máquinas

Pesos livres		Máquinas	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Exercitam maiores grupos musculares	Alguns movimentos requerem observadores	Podem exercer resistência em direções diferentes	Exercitam menores grupos musculares
Exercita equilíbrio e coordenação	Requerem equilíbrio e coordenação	Em geral oferecem troca de resistência mais rápida	Apresentam maior custo
Simulam movimentos de levantamento reais	Exercícios para alguns grupos musculares difíceis de se realizar	Em geral não requer observador para segurança	Menor ou nenhuma variação de exercícios por máquina
Preço menor em relação à máquinas	Requer mais tempo para ajuste da carga ao se utilizar placas de pesos	Pode ser organizado em circuito	Podem apresentar pouca variação de resistência
Maior adaptabilidade ao movimento desejado	Requer organização das placas e pesos	Comumente de fácil utilização	Podem apresentar menor ajustabilidade ergonometrica
Não possui restrição por tamanho físico do usuário	Susceptível a lesões devido à desbalanços e forma imprópria de execução	Alguns grupos musculares são mais facilmente exercitados	Requerem maior manutenção
	Requer mais conhecimento sobre correta execução	Requer menos conhecimento sobre correta execução	
	Resistências atuam somente para baixo	Requer menos equilíbrio	
	Pode ser intimidante para pessoas sem confiança em sua habilidade atlética	Menos intimidante para novos usuários	
		Podem oferecer resistência maior ao longo da amplitude de movimento	

Fonte: adaptado de Haff (2000)

Dentre as duas modalidades, os exercícios do tipo máquina podem ser classificados ainda quanto ao tipo de transmissão de forças, destacando-se entre elas as máquinas de transmissão direta ao usuário e máquinas do tipo braço-polia (Figura 2), nomenclatura esta criada pelo autor deste trabalho, dentre as quais se encaixam as máquinas de Extensora (Figura 3), Flexora, Abdutora, Adutora, Voadora, Rosca Scott, dentre outras, onde um cabo tende a manter a perpendicularidade à polia durante a realização dos movimentos no exercício.

Figura 2 – Sistema de transmissão e redução de carga tipo braço-polia

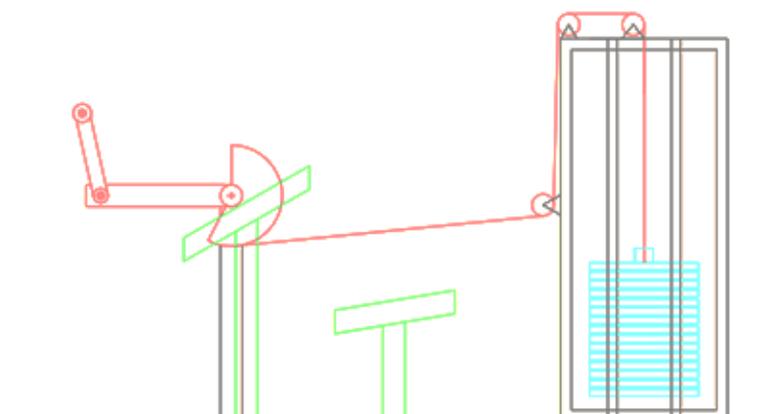


Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 3 – Exemplo de Máquina Extensora

Fonte: Shutterstock (2021).

As máquinas deste tipo podem ser divididas em algumas sessões principais, descritas na representação de uma Rosca Scott Máquina, (onde o usuário se acomoda em um banco, aproxima o tronco de um suporte, apoia os braços sobre uma mesa inclinada e alinha as articulações do cotovelo com o eixo da máquina), simplificada na Figura 4, onde em laranja representa-se o sistema de redução e transmissão da carga ao usuário, em cinza representa-se a estrutura da máquina, em verde representa-se a estrutura de suporte ao usuário e em azul representa-se a massa que será utilizada como carga.

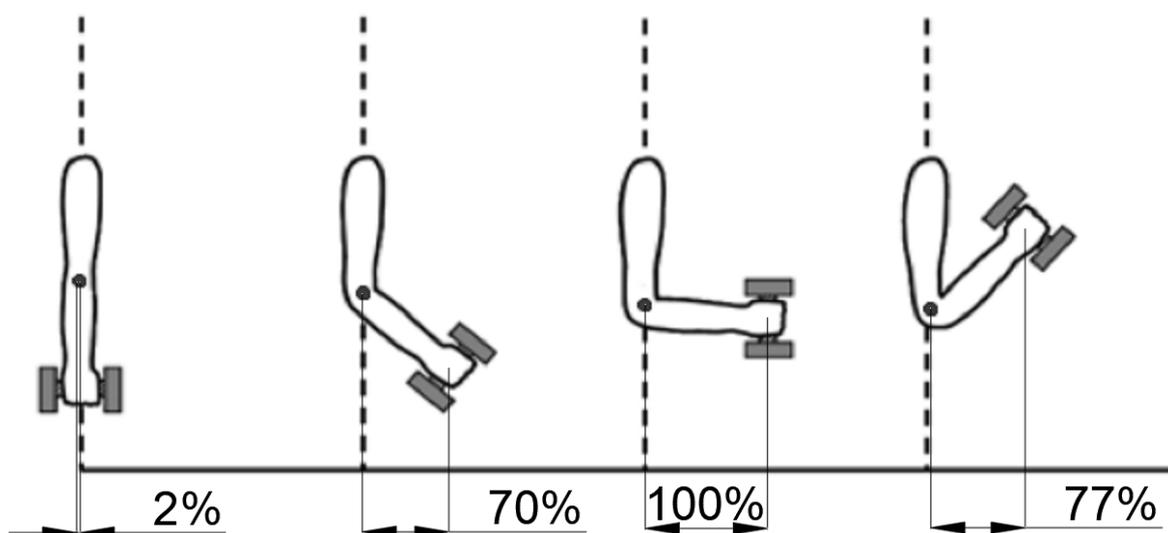
Figura 4 – Representação de sistemas de uma Máquina Rosca Scott

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao se comparar a execução dos movimentos realizados com pesos livres e com os dois tipos de máquinas, é notável a diferença entre a percepção do usuário quanto à resistência que está sujeito.

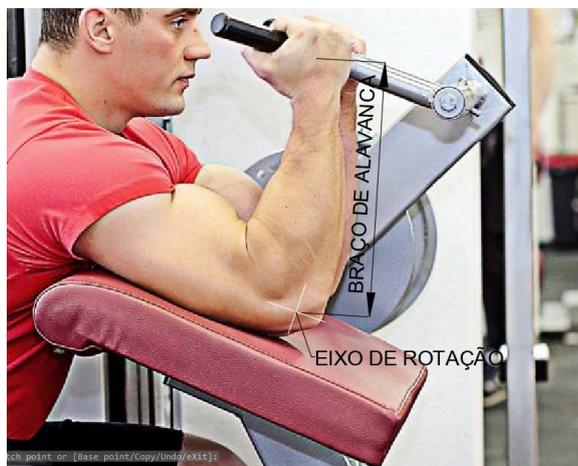
Em movimentos de pesos livres, a resistência ao movimento atua apenas verticalmente, em direção ao solo. Com essa restrição no sentido da força, ao se executar um movimento, como indicado na Figura 5, a força tende a ser máxima apenas quando o braço está paralelo ao solo. Em movimentos onde a máquina transmite a carga ao usuário diretamente com um cabo, a força será máxima apenas onde o usuário estiver com o maior braço de alavanca em relação ao eixo do movimento, sendo que geralmente existem pontos onde os músculos desejados são pouco ativados. Em movimentos onde a máquina utiliza o sistema braço-polia, a resistência aplicada tende a ser constante sobre o usuário, independentemente do estágio do movimento, já que esta máquina utiliza “equilíbrio” de momentos, por meio de dois braços de alavanca, os quais rotacionam em torno do centro das articulações (Figura 6).

Figura 5 - Percentual do máximo braço de alavanca entre uma carga vertical e o eixo de articulação do cotovelo em diferentes estágios de movimento



Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2008)

Figura 6 - Braço de alavanca constante em torno à articulação no equipamento *Rosca Scott Máquina*



Fonte: Adaptado de Flame Sport (2021)

Em exercícios de musculação, os movimentos dividem-se em duas fases, a concêntrica e a excêntrica, onde uma equivale a contração muscular para realizar o movimento, e a outra onde os músculos “relaxam”, realizando o movimento de volta.

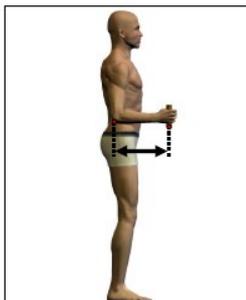
Usualmente, na realização dos movimentos, busca-se a máxima ativação dos músculos na maior amplitude possível. Neste quesito entram as diferenças entre as modalidades de treino e as diferenças entre os equipamentos.

Como exemplificado na Figura 6, nos equipamentos tipo braço/polia, com a força e torque atuando de maneira constante durante toda a amplitude do movimento, espera-se que ocorra maior criação de força muscular.

Os equipamentos do tipo braço/polia fazem um equilíbrio de momentos em torno do seu eixo de rotação, e como o braço de alavanca do usuário irá variar de pessoa para pessoa, a maneira de se manter constante a razão entre os momentos é pela variação proporcional do braço de alavanca da polia (seu raio).

De acordo com levantamentos realizados pela segunda Pesquisa Antropométrica do Pessoal do Exército dos Estados Unidos (Gordon et al., 2014), variações de medidas entre o antebraço-centro de pegada (Figura 7) variaram em 58%, da menor para a maior medida.

Figura 7 - Medição entre antebraço-centro de pegada



Fonte: Gordon et al. (2014)

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

2.2.1 Conceito de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) e sua importância

A definição de um processo, para Clark e Fujimoto (1991), baseia-se em um conjunto de atividades ordenadas contínuas e repetitivas no decorrer do tempo, que possuem entradas e saídas, com seus objetivos atualizados recorrentemente.

Para Rozenfeld et al. (2006), o PDP situa-se na interface entre empresa e mercado, sendo um importante processo de negócio, pois influência de modo direto na competitividade das empresas, procurando identificar e atender as presentes e futuras necessidades do mercado. Por meio deste processo desenvolvem-se produtos e serviços a serem oferecidos, os quais devem proporcionar a renda das empresas no decorrer do tempo.

Um projeto, formado por um conjunto de atividades, é único e temporário (Project Management Institute – PMI, 2000). Isto implica em que deve ter duração definida, com início e fim, podendo variar de meses à anos. Seu fim geralmente sucede quando seu objetivo foi alcançado, ou, por diversos motivos teve de ser encerrado. A singularidade de um projeto está em suas peculiaridades, que por menor que sejam, o diferenciam de outros projetos existentes.

Clark e Fujimoto (1991) consideram o PDP como um fluxo de atividades e informações. As atividades seguem a sequência Projetar, Construir, Testar, Otimizar, podendo estas relacionarem-se à um conceito, especificação, tolerância do produto ou processo de produção. O fluxo de informações decorre da abundância de informações geradas e coletadas durante o processo.

Com o decorrer do tempo o PDP e a forma como é conduzido avançou, e assim, a partir da clássica Abordagem Sequencial surgiram inúmeras outras abordagens. De acordo com Rozenfeld (2006), cada modelo de abordagem busca contornar problemas encontrados pelas empresas na condução e gestão do PDP. Dentre elas, destacam-se as seguintes:

- Abordagem Sequencial;
- Engenharia Simultânea;
- *Stage-Gates*;
- Metodologias de Projeto;
- Funil de Desenvolvimento;
- Desenvolvimento Integrado do Produto;
- Modelos e Maturidade;
- Gerenciamento do Ciclo de Vida de Produtos;
- Desenvolvimento Lean;
- Design for Six Sigma;

Apesar de todos os avanços nas abordagens, os resultados do PDP sempre apresentarão um elevado grau de incertezas e riscos, correlacionados a ausência de informações apuradas sobre os requisitos do mercado e sobre requisitos legais, aos métodos de solução de problemas técnicos e à imprevisibilidade de consequências de decisões tomadas (Toledo et al., 2006).

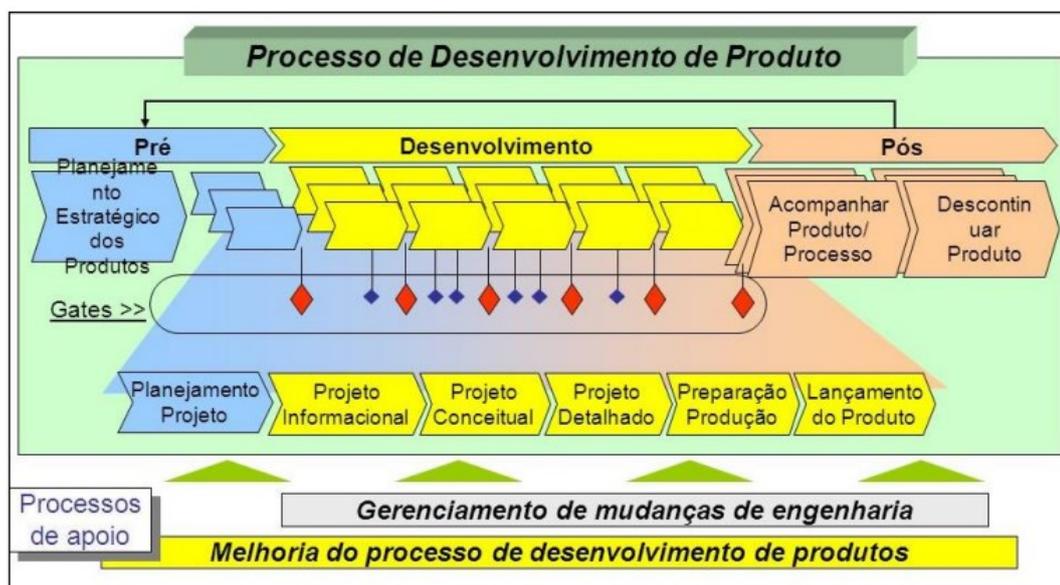
Além disso, a maior parte de decisões técnicas são realizadas nas fases iniciais do processo, quando existem muitas incertezas com relação às características do produto final e suas especificações. Bart e Schneberger (1992) estimam que 85% do custo final do produto são oriundas das decisões de fases iniciais do PDP.

2.2.2 Modelo Unificado de PDP

Proposto por Rozenfeld et al (2006), a abordagem do Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produtos originou-se da união de metodologias, estudos de caso, modelos, experiências, o que acaba por incorporar boas práticas da gestão do PDP, destinando-se particularmente a empresas de bens de consumo duráveis e de capital, o que envolve o setor de máquinas de musculação e fitness, área do produto a ser trabalhado neste estudo.

Antes de serem detalhadas as fases, macrofases e tarefas do Modelo Unificado (Figura 8), faz-se necessária a revisão sobre o sistema de *gates*.

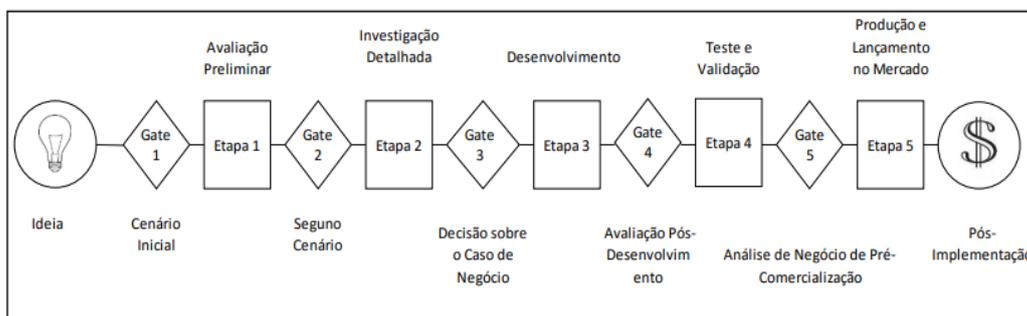
Figura 8 – Modelo Unificado de PDP



Fonte: Rozenfeld (2006)

Estágios denominados *gates* foram propostos por Cooper (1990), onde estes atuam como pontos de tomada de decisões durante o desenvolvimento de produtos (Figura 9), onde em cada um, após serem revisadas e avaliadas as informações da fase do projeto, são efetuadas decisões. Todas as decisões a serem tomadas no futuro serão influenciadas por decisões anteriores, pois cada *gate* é subordinado ao anterior (Guedes, 2015). Assim, é recorrente no processo de desenvolvimento de produtos a atualização de estágios passados devido às consequências que estas acarretam no rumo em que as futuras decisões acabam se restringindo.

Figura 9 – Sistema de Estágios e Gates



Fonte: Guedes (2015)

Segundo Rozenfeld (2006), a sistemática de *gates* possui as seguintes atividades:

- Definição de critérios a serem realizados ao final de uma fase;
- Avaliação frequente do cumprimento dos critérios;
- A realização do *gate*, dividido em duas partes:
 - Auto-avaliação executada pelo time de desenvolvimento;
 - Aprovação após relatório da auto-avaliação ser analisado pelo time de avaliação (onde este é comparado com os demais projetos do portfólio e é realizada a análise do estudo de viabilidade econômica).

O modelo unificado de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld (2006) apresenta três macrofases, sendo elas a de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós desenvolvimento. Cada uma das macrofases pode ser subdividida em diversas fases. Cada fase corresponde a um *gate*, onde decisões devem ser tomadas antes de se prosseguir para a próxima fase.

A macrofase de pré-desenvolvimento é composta por duas fases: Planejamento Estratégico dos Produtos e Planejamento do Projeto.

Planejamento Estratégico dos Produtos

Por meio desta fase ocorre a conexão entre os objetivos do projeto e os objetivos da empresa. Nela é definido o portfólio de produtos (que inclui produtos em planejamento, em desenvolvimento e os já comercializados) e as minutas de projeto, feitas com base no planejamento estratégico da empresa, oportunidades e restrições.

Planejamento do Projeto

Nesta fase é definido o plano de projeto, que trata do desenvolvimento de um produto em específico do portfólio, onde definem-se o escopo do produto e do projeto, os recursos necessários, o tempo e custos de produção. Também são feitas análises de risco e são avaliados indicadores de desempenho de projetos anteriores. Segundo Toledo (2010) esta fase somente se inicia quando a data prevista para o início do projeto determinada anteriormente no Planejamento Estratégico se acerca.

A macrofase de desenvolvimento é composta por cinco fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto.

Projeto informacional

A partir do Plano de Projeto, nesta fase são criadas as Especificações-Meta do produto, concebidas a partir dos requisitos do produto e de informações provenientes de outras fontes, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, de modo que o produto atenda às necessidades dos clientes. Estas especificações são as que se busca cumprir ao final das atividades de engenharia.

Projeto Conceitual

Nesta fase, o produto é modelado e descrito de forma abstrata, buscando-se soluções variadas sem que preconceitos formem uma barreira contra novas soluções (Rozenfeld et al., 2006). Como resultado desta fase é obtido o conceito do produto, com seus princípios de funcionamento, arquitetura, layout, estilo, macroprocessos de fabricação e montagem, listas iniciais de sistemas, subsistemas e componentes do produto (SSCs).

Projeto Detalhado

De acordo com Simões (2007), nesta fase são feitos os detalhamentos dos sistemas, subsistemas e componentes do produto, além de desenhos finais do produto e embalagens, com base no conceito do produto obtido na fase anterior. Desta fase obtêm-se desenhos detalhados com tolerâncias, especificações dos SSCs, planos de processo, especificações das embalagens e suportes do produto. Também é feita a construção de um protótipo funcional, o projeto de recursos e o plano de fim de vida do produto.

Preparação da produção

Nesta fase garante-se que a empresa tenha capacidade de produção em volume e qualidade os produtos planejados, assim como capacidade de atendimento aos clientes durante o ciclo de vida do produto. Nesta fase, de acordo com Simões (2007), obtêm-se de resultados a liberação da produção, as especificações do processo de produção, as especificações dos processos de manutenção, a capacitação do pessoal e a homologação dos documentos.

Lançamento do Produto

Nesta fase é inserido o produto no mercado, de maneira que seja aceito pelos potenciais clientes (Simões, 2007). Nesta fase obtêm-se o documento de lançamento, e as especificações dos processos de vendas, distribuição, assistência técnica e do atendimento ao cliente.

A macrofase de pós desenvolvimento envolve duas fases: Acompanhar Produto e Processo e Descontinuar Produto.

Acompanhar Produto e Processo

Nesta fase busca-se garantir o acompanhamento do produto em produção e também no mercado, possibilitando a identificação de alvos passíveis de melhoria no produto e no processo. Nela realiza-se uma auditoria pós-projeto, assim gerando oportunidades de melhoria do processo de desenvolvimento de produtos. Nela são gerados relatórios de avaliação de satisfação do cliente, propostas de modificações do produto ou serviços relacionados, propostas de melhoria do produto ou do processo, necessidades de mudança para adequações à normas, relatórios de desempenho geral do produto, um sumário das lições aprendidas e solicitações de descontinuidade de produto (Simões, 2007).

Descontinuar Produto

Nesta fase, conforme Simões (2007), ocorrem três eventos principais: recebimento do produto de volta, descontinuidade da produção e finalização de suporte ao produto. Desta fase são geradas as solicitações de descontinuidade do produto no mercado, plano de descontinuidade do produto e relatório de retirada do produto.

2.3 PROTOTIPAGEM

A prototipagem é o processo onde são elaborados protótipos, sendo estes definidos como o primeiro exemplar, ou modelo do produto final. Ulrich e Eppinger (2000, p. 275) definem protótipo como “[. . .] uma aproximação do produto segundo uma ou mais dimensões de interesse [. . .]”, sugerindo assim que um protótipo pode ser visto como qualquer entidade que apresente um aspecto do produto final.

2.3.1 Prototipagem Virtual (PV)

Na prototipagem virtual, segundo Dai et al. (1996) e McLeod (2001), a ideia principal é a integração de técnicas de projeto e engenharia auxiliados por computador, o CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Engineering*), com a realidade virtual (RV), de modo a construir o objeto virtual com funcionalidades do produto projetado.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi proposto o desenvolvimento de um protótipo para um sistema alternativo de transmissão de forças para equipamentos de academia, sendo aplicado à Rosca Scott Máquina (*biceps curl machine*).

Foram considerados diversos aspectos propostos por Rozenfeld (2006) em sua metodologia unificada de PDP, buscando vir a embasar a melhoria dos equipamentos disponíveis atualmente no mercado.

Em função do objetivo do projeto, sendo o foco o desenvolvimento de um sistema que vise suprir deficiências dos equipamentos atualmente utilizados e não havendo foco direto para fins comerciais, foram aplicados os procedimentos desenvolvidos na macrofase de pré-desenvolvimento com a criação do escopo do produto, e na macrofase de desenvolvimento, com procedimentos de fases do projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado.

A metodologia aplicada seguiu a ordem descrita na Figura 10.

Figura 10 - Metodologia seguida no desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO

Nesta fase, também conhecida como anteprojeto, foi realizado o escopo do projeto, com objetivos gerais e premissas, tendo como base os equipamentos atuais no mercado.

3.2 PROJETO INFORMACIONAL

Nessa fase, por meio de brainstorm, foram levantados os requisitos dos clientes, determinou-se os requisitos do produto, e com base nas restrições do projeto, de onde foram retirados dados foram obtidas as especificações-meta.

Com base nas premissas do projeto foram realizados cálculos de apoio na linguagem de programação Python, que podem ser facilmente ajustados em compiladores online, visando auxiliar na escolha e servir de base na etapa de pré-dimensionamento do equipamento.

3.3 PROJETO CONCEITUAL

Nesta fase, realizou-se o modelamento funcional do projeto, dividindo seu funcionamento com base em sua função total, desmembrando-a em funções menores, entradas e saídas de energia, sequências de utilização e sinais; após isto, o projeto foi dividido em sistemas, subsistemas e componentes, onde a partir destes, desenvolveram-se alternativas-solução.

Tendo-se os cálculos de apoio realizados na fase informacional, foi realizada a escolha para desenvolvimento do equipamento a partir de uma das alternativas-solução.

3.4 PROJETO DETALHADO

No projeto detalhado, foram utilizadas ferramentas de prototipagem virtual. As peças foram geradas no programa *Inventor Professional 2022®*, com o ambiente

de trabalho *Nastran*®, sendo que estes são utilizados com licença estudantil, fornecida pela Autodesk®.

Através destas ferramentas, analisou-se o movimento e possíveis interferências de montagem. Os componentes então foram analisados e previamente dimensionados.

Com estas ferramentas também foram realizadas simulações de análise de resistência à fadiga em alguns componentes. O procedimento de análise e simulação foi realizado de forma sequencial sendo finalizado quando os resultados apresentados demonstraram possibilidade de aceitação, por não haver regiões dos componentes com vida inferior a um milhão de ciclos (material ferroso – aço de baixo carbono).

Finalmente, apresentou-se desenho de conjunto em vista explodida e a visão isométrica do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO

Para garantir que a força seja equalizada e contínua neste tipo de equipamento, se faz necessária a utilização de braços de alavanca que mantenham a proporção, sendo que estes têm de rotacionar, sendo que a força de tração da carga tem de se manter perpendicular e constante a um destes braços. Uma das poucas soluções que possibilitam isto é a utilização de uma forma geométrica de seção circular que varie em raio com um dos braços de alavanca.

Apesar de não ser o foco deste estudo, existem outras maneiras de se aplicar a carga resistiva do equipamento além da torre de pesos, esta é uma das soluções mais simples e confiáveis, além de ser e a solução mais utilizada mundialmente, portanto o projeto levará em consideração as variações de torres utilizadas no mercado.

Sendo que o projeto terá como base a torre de pesos para carga, e a utilização de cabo de aço para a transmissão de força está intrinsicamente ligado a este sistema, outras soluções serão desconsideradas nas etapas de solução de “definição de efeitos físicos” e “portadores de efeitos físicos” adiante.

Assim como o foco do trabalho é o desenvolvimento do sistema de transmissão de forças, sendo este um conjunto da máquina, o desenvolvimento da estrutura (quadro, suporte aos braços do usuário e banco) não será abordado.

Premissas e restrições de projeto:

- Projeto baseado na utilização de torres de carga;
- Utilização de braços de alavanca proporcionais;
- Utilização de cabo de aço para transmissão da carga aplicada;

4.1.1 Escopo do projeto

O objetivo geral deste projeto é a melhoria de máquinas de musculação que utilizam o sistema de braço polia, pelo desenvolvimento de um sistema que

possibilite maior ergonomia, com ajustabilidade e que traga informação sobre a carga sendo aplicada aos usuários, por meio de um equipamento que tenha compensação desta carga que será transmitida de maneira a deixá-la o mais constante possível, de acordo com as variações antropométricas de quem está utilizando o equipamento. Sendo que a regulagem e utilização do equipamento deve ser fácil e rápida.

4.2 PROJETO INFORMACIONAL

4.2.1 Requisitos de utilização:

Os requisitos de utilização do equipamento (que equivalem aos requisitos dos clientes) foram definidos tendo-se em vista diversos fatores. Dentre eles, se destacam fatores de utilização dos usuários, como desempenho e ergonomia, e fatores de manutenção como vida em serviço, tendo-se:

a) *Desempenho:*

- Regulagem rápida
- Regulagem simples

b) *Ergonomia:*

- Ajuste à variação das dimensões corporais de adultos
- Carga/força constante

c) *Vida em serviço:*

- Resista à utilização contínua em carga máxima

4.2.2 Requisitos do produto

Dos requisitos de utilização do equipamento foram desenvolvidos os requisitos do produto, os quais deram base para as especificações-meta a serem cumpridas, tendo-se:

- Curso do braço de alavanca [mm] (*Gordon et al. 2014*)
- Ângulo do movimento [graus] (*ângulo máximo de flexão do braço do usuário durante a utilização do equipamento*)
- Raio da polia em relação ao braço de alavanca [mm] (*Cálculos de Apoio*)
- *Calculado com base no curso máximo do braço de alavanca*)

- Carga máxima de utilização no equipamento [kg] (*valor comum dos equipamentos atualmente disponíveis no mercado*).
- Pesos das placas de carga [kg] (*representativo comum nos equipamentos*)
- Incremento de carga por placa [kg] (*representativo comum nos equipamentos*)
- Números de placas de carga (*representativo comum nos equipamentos*)
- Tempo mínimo do movimento [s] (*parâmetro para estimativas - representativo de diferentes características de usuários*)

4.2.3 Cálculos de apoio

Os cálculos de apoio, que ajudam tanto para a seleção das especificações-meta, quanto para a seleção de combinações de alternativas, se basearam nas variáveis comprimento máximo e mínimo do antebraço ao centro da mão em pegada, ângulo máximo de movimento do exercício, incremento de carga atuando sobre o usuário a cada aumento de carga, e carga máxima a qual o usuário estará sujeito. Estes cálculos de apoio estão dispostos no Apêndice A.

A consulta para a seleção do comprimento do antebraço ao centro de pegada (Figura 7), foi baseada na Segunda Pesquisa Antropométrica do Pessoal do Exército dos Estados Unidos da América, (Gordon et al. 2014), que conta com dados de 93 medições de mais de 6000 adultos (4,082 homens e 1,986 mulheres). Apesar de esta não refletir com precisão a distribuição de dimensões para a população brasileira, os dados utilizados como base foram as medições máximas e mínimas (Tabela 2), buscando assim abranger a maioria das dimensões dos usuários.

Tabela 2 - Comprimento do antebraço ao centro de pegada

Comprimento do antebraço ao centro de pegada		
	Mulheres	Homens
Média [cm]	31,77	34,90
Erro padrão (média) [cm]	0,04	0,03
Desvio padrão [cm]	1,80	1,80
Erro padrão (desvio padrão) [cm]	0,03	0,02
Mínimo [cm]	25,80	29,00
Máximo [cm]	39,20	41,00
Distorção	0,30	0,20
Curtose	3,28	3,15
Coefficiente de variação	5,70%	5,20%
Número de participantes	1986	4082

Fonte: adaptado de Gordon et al. (2014)

Assim, as variáveis do comprimento mínimo do antebraço ao centro de pegada e do comprimento máximo do antebraço ao centro de pegada foram estipuladas em 25,80 cm e 41,00 cm respectivamente. As demais variáveis foram estipuladas como 135° como o ângulo máximo de movimentação do exercício, em um incremento de carga ao usuário de 2 em 2 kg, com a carga máxima em 30kg, assim sendo um aumento de 1kg para cada braço, prática comum em academias.

A partir destes dados, foram realizados cálculos a fins de comparação entre a utilização de uma torre de pesos com chapas de 5 e 10 kg, com ou sem a utilização de polia (portadores de efeito do item 7).

Os resultados dos cálculos encontram-se na Tabela 3, onde definem-se os raios máximos e mínimos das polias (braços de alavanca), as razões de redução entre a força efetuada pelo usuário e a força exercida pelo cabo que conecta a torre à polia e as elevações mínimas e máximas das cargas de peso na torre.

Tabela 3 - Comparação entre opções de configurações de torre de pesos

Comparação entre opções de torre de pesos				
Placa	Sem polia		Com polia	
	5 kg	10 kg	5 kg	10 kg
Maior raio [mm]	164	82	328	164
Menor raio [mm]	103	51	206	103
Razão de redução	0,40	0,20	0,80	0,40
Elevação máxima na torre [mm]	386	193	386	193
Elevação mínima na torre [mm]	243	121	243	121
Diferença [mm]	143	71	143	71
Força estática máxima na polia [N]	735,7	1471,5	367,9	735,7

Fonte: Autoria própria (2021)

Observa-se que a torre com chapas de 5 kg sem polia e a torre com chapas de 10 kg com polia resultam em cargas similares, à exceção dos deslocamentos dos pesos na torre, que ao se utilizar uma polia móvel, são reduzidos pela metade.

4.2.4 Especificações meta

As especificações-meta do produto foram baseadas nos requisitos do produto e buscaram dar um alvo para os parâmetros do equipamento, para que assim este viesse a ser desenvolvido detalhadamente, servindo de embase ao projeto, e são apresentados a seguir.

Curso do braço de alavanca: **258 - 410 mm**

Ângulo máximo de movimento: **135°**

Faixa de raios da polia: **51 – 328 mm**

Carga máxima de utilização no equipamento: **30 kg**

Incremento de carga por placa: **2kg**

Pesos das placas de carga: **5 - 10 kg**

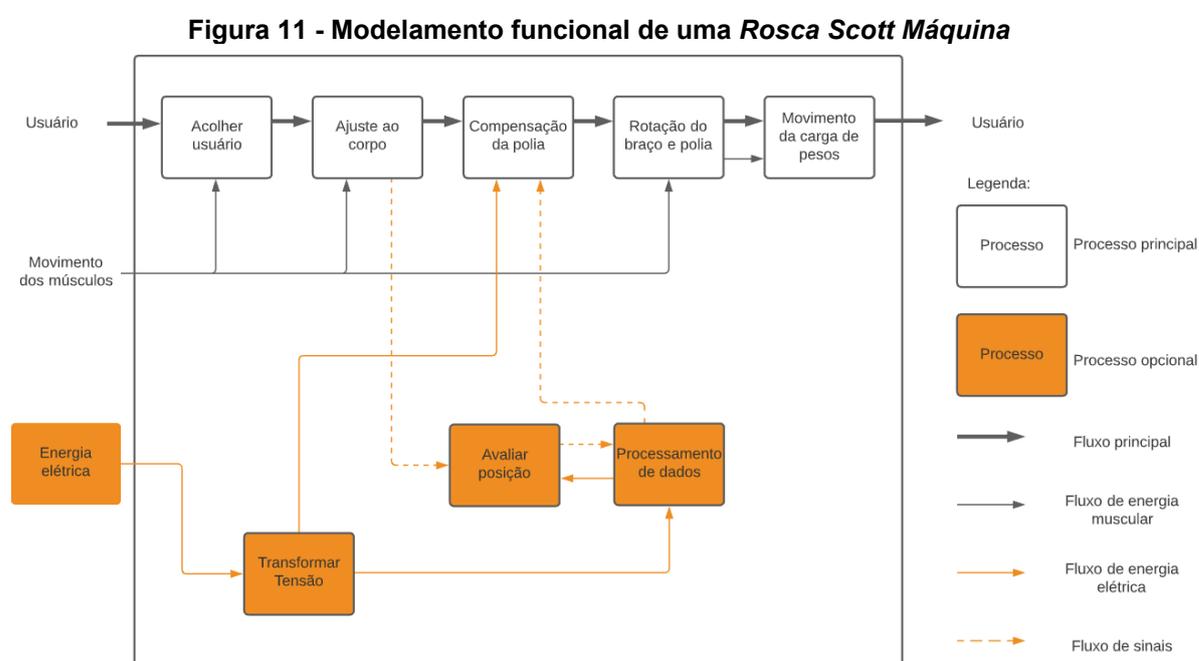
Número máximo de placas de carga: **30**

Tempo mínimo do movimento: **0,7 s**

4.3 PROJETO CONCEITUAL

4.3.1 Modelamento funcional

O modelamento funcional partiu com base na função total do sistema de transmissão de forças do equipamento, onde ocorre a entrada de energia a partir do movimento muscular, e esta é usada na execução da sequência de etapas que ocorrem ao se utilizar o equipamento. Na Figura 11, em laranja, observa-se o desenvolvimento alternativo do equipamento, com funções elétricas.



Fonte: Autoria própria (2021)

4.3.2 Desenvolvimento de princípios de solução para a Rosca Scott Máquina:

Definir efeitos físicos

Tendo em vista a função total do equipamento Rosca Scott Máquina – realizar carga constante na contração do bíceps – pode-se desdobrá-la nos seguintes efeitos físicos:

- EF1: Acomodar o usuário

- EF2: Ajustar ao usuário: ajustar o braço da máquina ao comprimento do braço do usuário
- EF3: Transmitir ajuste do usuário à polia
- EF4: Compensar raio da polia ao ajuste do braço: equalizar o braço de alavanca de maneira a manter a proporção constante
- EF5: Rotacionar braços de alavanca: permitir a realização do movimento do exercício
- EF6: Transmitir movimento à torre de pesos
- EF7: Movimentar carga de pesos
- EF8: Converter energia AC em DC
- EF9: Medir posição do ajuste ao usuário
- EF10: Processar dados do ajuste

Desenvolvimento de alternativas-solução para o equipamento

As alternativas de solução para o problema não são todas passíveis de serem combinadas. Existem princípios de solução que não envolvem energia elétrica para o funcionamento, e existem princípios que envolvem. Assim sendo, não há aplicabilidade para sensores e outros componentes elétricos caso o equipamento seja desenvolvido mecanicamente.

Diante das opções de portadores de efeito, com o desenvolvimento da pesquisa informacional foram definidas até quatro soluções/alternativas (Tabela 4).

Tabela 4 - Portadores de efeito

Efeito Físico	Descrição	Portadores de efeito			
		1	2	3	4
1	Acomodar usuário	Estrutura, banco e apoio de braço			
2	Ajustar ao usuário	Braço regulável fixado por pino	Braço regulável livre	Braço com rotação	
3	Transmitir ajuste do usuário à polia	Acionamento mecânico	Acionamento elétrico		
4	Compensar raio da polia ao ajuste do braço	Polia “cone”	Polia “engrenagem-came”	Polia “estilo cvt de design próprio”	
5	Rotacionar braços de alavanca	Eixo rígido conectando braço à polia			
6	Transmitir movimento à torre de pesos	Cabo de aço flexível			
7	Resistir ao movimento do usuário	Torre de pesos-Chapa 5kg sem polia	Torre de pesos-Chapa 10kg sem polia	Torre de pesos-Chapa 5kg com polia	Torre de pesos-Chapa 10kg com polia
8	Converter energia AC em DC	Conversor AC/DC			
9	Medir posição do ajuste ao usuário	Sensor de distância ultrassônico	Sensor de distância de luz	Encoder de rotação	Sensor giroscópio
10	Processar dados do ajuste	CLP de prototipagem	CLP industrial		

Fonte: Autoria própria (2021)

4.3.3 Seleção de alternativas-solução

Baseando-se na tendência vista na sociedade atual, em automatizar os equipamentos, agregar funções e conectividade, opta-se pelas opções elétricas dentre os portadores de efeito.

Dentre as combinações possíveis, opta-se para o desenvolvimento a representada na Tabela 5 - Combinação de portadores de efeito

A justificativa de seleção, começando pelo efeito físico de ajustar ao usuário, com o portador “braço com rotação” se dá na facilidade de utilização, onde basta segurar a manopla e alinhar os cotovelos com o eixo de rotação do equipamento, também sendo facilmente utilizado em conjunto com o encoder rotativo.

Para o efeito de transmissão do ajuste do usuário à polia, opta-se pelo “acionamento elétrico”.

Para a compensação do raio, como forma de manter os braços de alavanca proporcionais, opta-se na utilização de uma “polia continuamente variável”, justificando-se na possível infinita variação de raios, também como menores dimensões e número reduzido de componentes em comparação às demais alternativas. Esta alternativa também proporciona o raio constante quando comparada à polia “engrenagem-came”.

Tabela 5 - Combinação de portadores de efeito

Efeito Físico	Descrição	Portador de efeito
1	Acomodar usuário	Estrutura, banco e apoio de braço
2	Ajustar ao usuário	Braço com rotação
3	Transmitir ajuste do usuário à polia	Acionamento elétrico
4	Compensar raio da polia ao ajuste do braço	Polia continuamente variável
5	Rotacionar braços de alavanca	Eixo rígido conectando braço à polia
6	Transmitir movimento à torre de pesos	Cabo de aço flexível
7	Resistir ao movimento do usuário	Torre de pesos- Chapa 5kg sem polia
8	Converter energia AC em DC	Conversor AC/DC
9	Medir posição do ajuste ao usuário	Encoder rotativo
10	Processar dados do ajuste	CLP

Fonte: Autoria própria (2021)

Para resistir ao movimento do usuário, opta-se pela torre com pesos de 5 kg sem polia, já que reduz o peso da própria torre e o número total de componentes, e apesar de esta opção aplicar força de tração intermediária no cabo de aço (Tabela 3), apresenta dimensões menores para a polia, em relação à utilização da torre com pesos de 10 kg e polia.

Sugestões para o sistema de acionamento eletroeletrônico

Para “medir a posição do ajuste ao usuário”, o encoder rotativo apresenta facilidade de utilização, ao dispensar requisitos necessários aos outros sensores, como uma superfície de reflexão (para sensores de luz e ultrassônicos), e tem uso mais abrangente, em questões de posicionamento, em relação ao giroscópio.

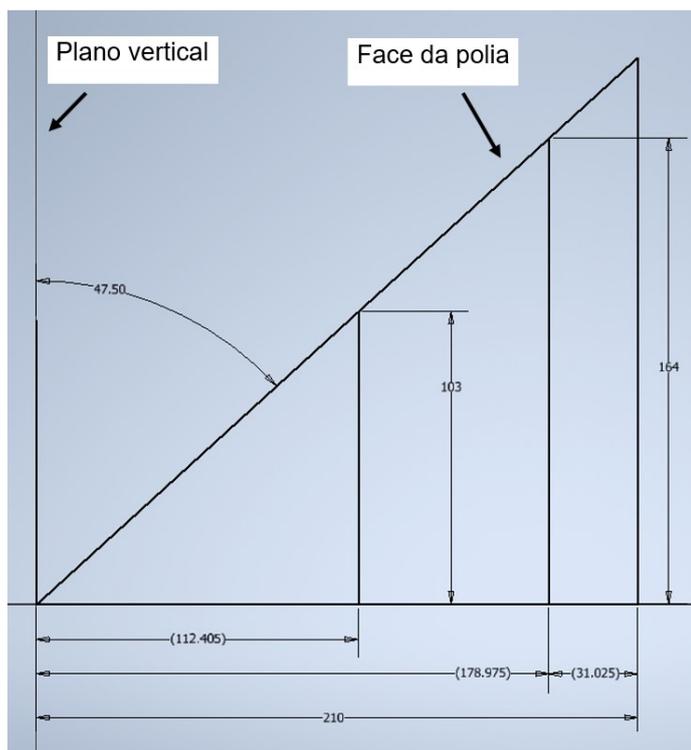
Para processar dados do ajuste, controladores lógicos programáveis (CLP) de prototipagem eletrônicas são ideais por sua flexibilidade e facilidade de utilização. Dentre elas, destacam-se a plataforma Arduino (a mais utilizada mundialmente, que conta com diversas portas e tensão de saída de 3,3 e 5 V), e a plataforma NodeMCU (que possui tensão de saída única de 3,3 V).

4.4 PROJETO DETALHADO

4.4.1 Dimensionamento dos componentes

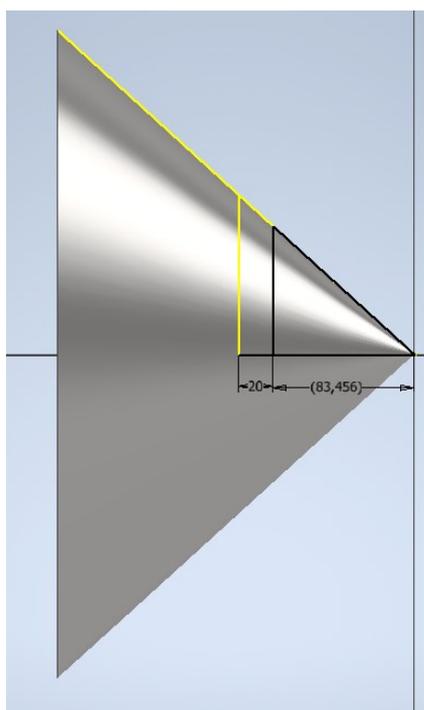
Para o dimensionamento inicial dos componentes, além dos cálculos, fez-se necessária a utilização do software Inventor®, a fim de determinar certos parâmetros de difícil obtenção matemática, além da facilidade proporcionada para a visualização das opções de dimensionamento

Inicialmente, buscou-se determinar uma geometria inicial para a polia. Para tal, foi estipulado que o ângulo entre as superfícies seja 95° (entre o plano vertical e a face, de $47,5^\circ$), sendo este maior que 90° a fim de evitar o esmagamento do cabo de aço que escorregará pela polia quando esta estiver em movimento. Nesta geometria inicial também estão o raio mínimo e máximo determinados anteriormente (Figura 12).

Figura 12 – Esboço da geometria inicial da polia

Fonte: Autoria própria (2021)

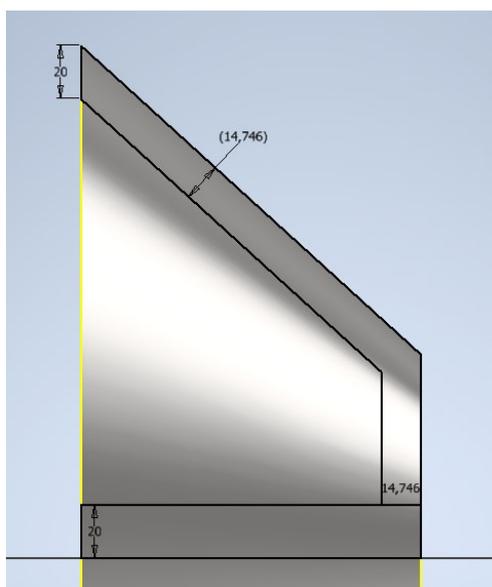
Após rotacionar esta geometria ao redor de sua linha inferior, criando um cone, foi necessário o “corte” da extremidade deste, deixando margens de 20 mm, como mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Corte da ponta do sólido

Fonte: Autoria própria (2021)

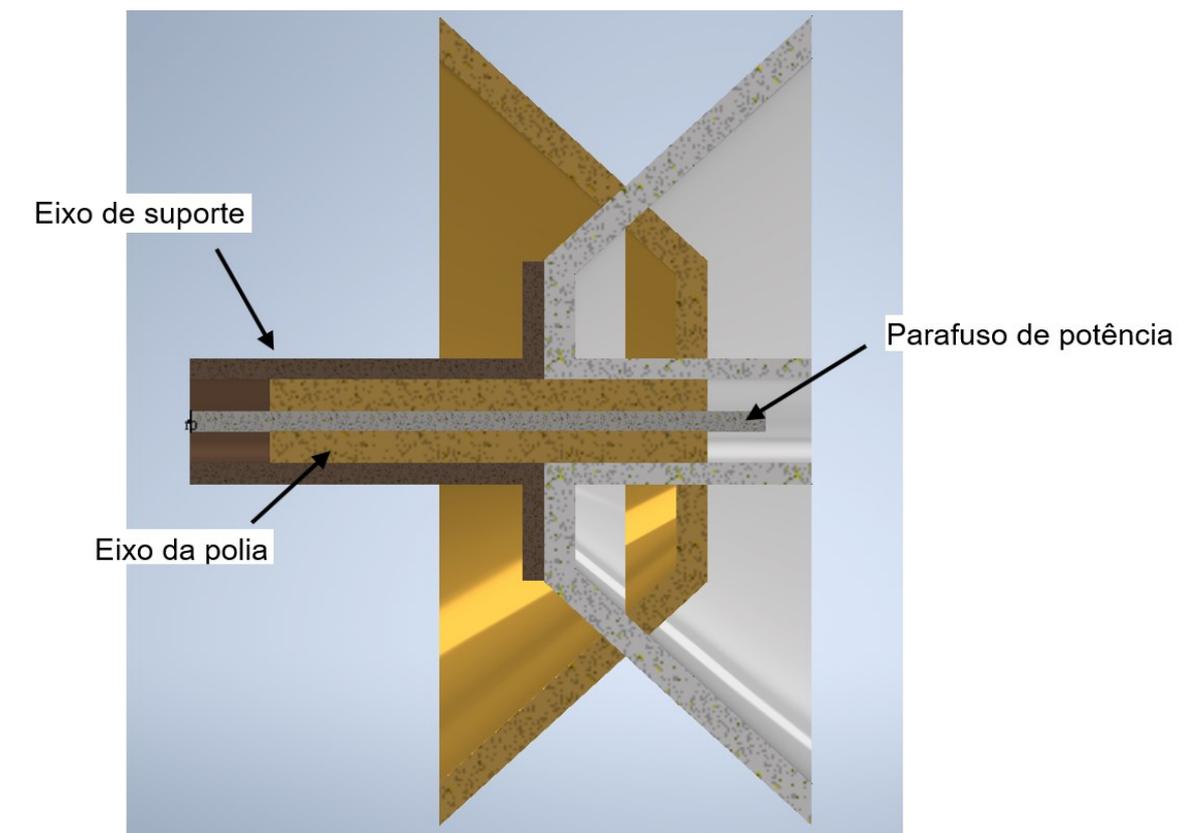
Após realizar o corte da ponta, procedeu-se o desbaste interno do sólido, a fim de que sua massa fosse reduzida, diminuindo cargas de momento fletor nos eixos, deixando inicialmente uma espessura de parede de 14,74 mm, também já criando a geometria do eixo de união da polia (Figura 14).

Figura 14 - Desbaste interno da geometria



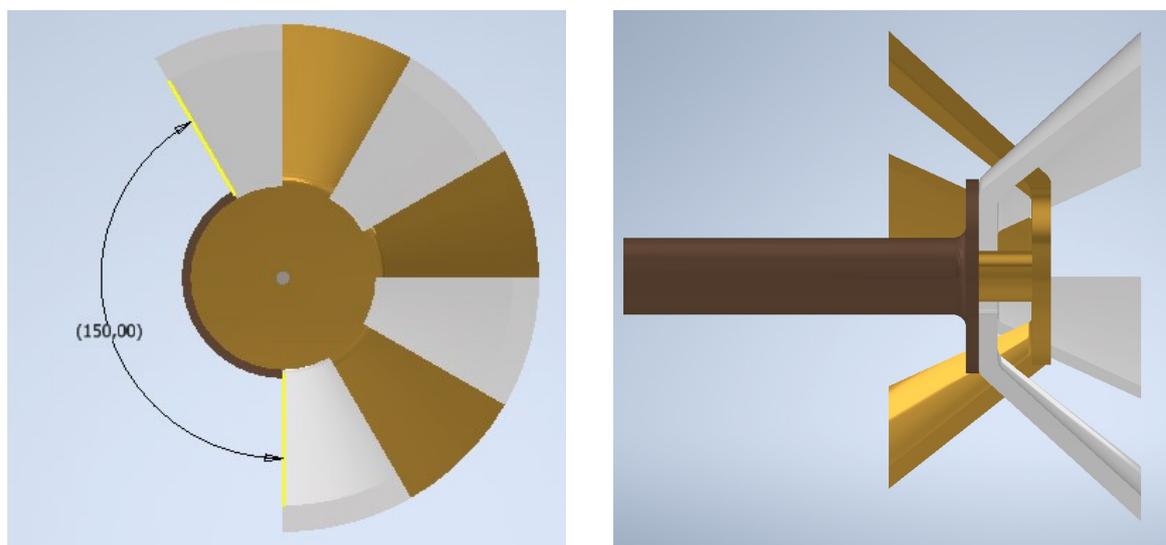
Fonte: Autoria própria (2021)

Por conta da geometria esperada para o não esmagamento do cabo, foi verificada a necessidade de sobreposição das metades das polias. Também por conta deste problema, soluções tiveram de ser encontradas para a união e movimentação (ajuste/regulagem) do raio da polia. Estas soluções envolveram a criação de um eixo de suporte vazado por onde possa correr o eixo de uma das metades da polia. Este eixo da polia também deve ser vazado para que por ele passe o parafuso de potência responsável pelo ajuste de raios (Figura 15).

Figura 15 - Vista em corte da sobreposição da polia

Fonte: Aatoria própria (2021)

Para solucionar o problema da interferência na sobreposição das peças, e também visando reduzir peso, as peças foram seccionadas radialmente com ângulos de 30° , sendo também realizado um corte removendo 150° destas (Figura 16).

Figura 16 - Seccionamento da polia

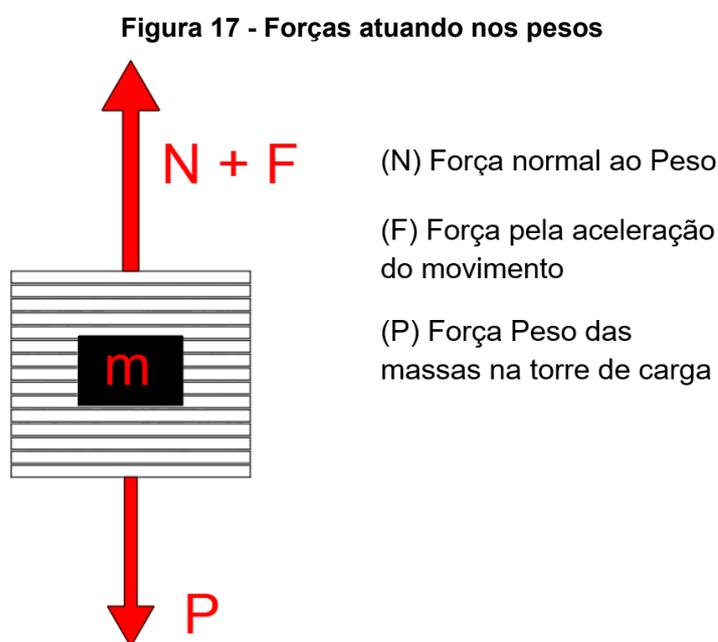
Fonte: Aatoria própria (2021)

Após as definições iniciais de geometria, foi realizado o pré-dimensionamento de parte dos componentes principais do sistema, que incluem:

- Seção da parede da polia
- Parafuso de potência para o ajuste de raio
- Eixo da metade movida
- Eixo de suporte da polia

Para tal, era requisito determinar as forças máximas que estariam atuando na polia. Para isto, fez-se necessário o cálculo da força resultante causada pela aceleração dos pesos, força esta que é transmitida pelo cabo à polia (

Figura 17).



Fonte: Autoria própria (2021)

Sendo N a força normal, atuando em sentido oposto e da mesma magnitude que a força peso das placas; e F a força exercida para acelerar a massa das placas da torre de carga, foi necessário encontrar a magnitude da aceleração para que esta pudesse ser calculada. Por meio de equações para movimento retilíneo uniformemente variado (Equação 1), se supôs que a massa partiria do repouso e na metade do tempo de execução do movimento ($t=0,35$ s) esta estaria em sua velocidade máxima, na metade de sua altura máxima de elevação, obtendo-se assim a aceleração de $1,535 \text{ m s}^{-2}$.

$$a := \left(\frac{2}{t^2} \right) \cdot (S - S_0 - V_0 \cdot t) \quad (1)$$

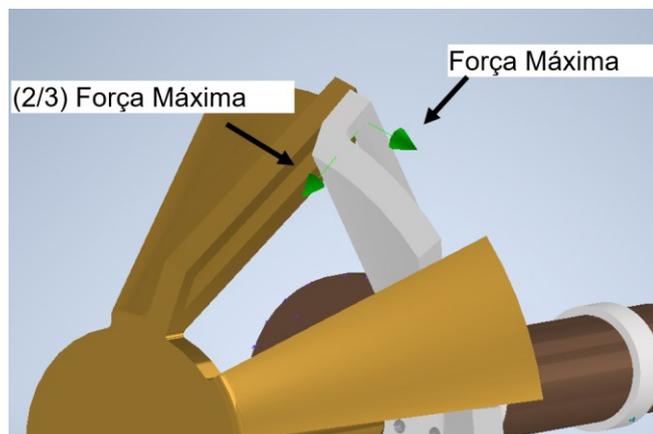
Com esta aceleração determinou-se a força de tração máxima atuando no cabo do equipamento, de valor 850 N, por meio da Equação 2:

$$F_{max} := F + F_{peso} \quad (2)$$

Para determinação de forças atuando no sistema, com a força máxima atuando de maneira a exercer torque sobre a polia, foi necessária a adoção de uma força de contato atuando entre o cabo e a face desta. Para sobrecarga de engenharia, adotou-se que esta atua perpendicularmente à uma das seções da polia, e tem magnitude de 2/3 da força máxima (Figura 18).

Assim, tendo uma geometria proposta e forças aplicadas a esta, podem ser criados os diagramas de corpo livre para a polia que contém o eixo, para o eixo de suporte e para o parafuso de potência.

Figura 18 - Forças atuantes na polia



Fonte: Autoria própria (2021)

Inicialmente, para ser possível o dimensionamento e validação da geometria, fez-se necessário a definição do material a ser utilizado nos componentes e sua resistência à fadiga em vida infinita.

Optou-se pela utilização de um aço de baixo carbono, o SAE 1020. Este aço possui limite de resistência à tração mínimo de 395 MPa. Para a determinação da resistência à fadiga em vida infinita, é necessária a análise de concentrações de tensão nas geometrias utilizadas.

Ao se observar os componentes em seção transversal, no modelamento das peças em 3D, optou-se por deixar os raios de arredondamento com dimensão de 10 mm, devido a variações de geometria, assim reduzindo as concentrações de tensão onde ocorrem estas variações.

Com isto, seguindo os procedimentos descritos por Norton (2013), verificou-se um fator de sensibilidade ao entalhe (q) máximo de 0,78, e um K_t de 1,6 próximo à raiz da seção de parede da polia (Figura 19).

Assim, aplicando-se os procedimentos para obtenção da resistência à fadiga em vida infinita, também descritos por Norton (2013), adota-se esta como sendo de 52,33 MPa, com os fatores dispostos na Tabela 6.

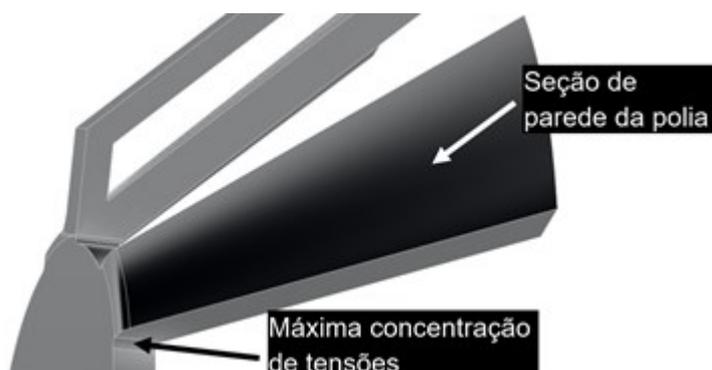
Tabela 6 - Fatores para correção do limite de fadiga

Fator de correção	Sigla	Valor
Fator de carregamento	C_1	0,577
Fator de tamanho	C_g	0,793
Fator de superfície	C_s	0,7
Fator de temperatura	C_t	1
Fator de confiabilidade	C_r	0,868
Limite de fadiga de R.R. Moore	S'_e	0,5 * 395 MPa
Limite de fadiga corrigido	$S_e = C_1 * C_g * C_s * C_t * C_r * S'_e$	52,33 MPa

Fonte: Aatoria própria (2021)

O dimensionamento da espessura da parede da polia foi realizado pela tensão máxima de momento fletor. Para esta ser determinada, é necessário ter as funções de momento fletor (obtidos pela comparação da seção com uma viga engastada) e os dados de momento de inércia da seção transversal. Para a obtenção do momento de inércia, fez-se o uso cortes nas seções de interesse pelo software Inventor®, que os calcula numericamente.

Figura 19 - Seção de parede da polia



Fonte: Autoria própria (2021)

Sendo a equação da tensão máxima de momento fletor (Equação 3), ajustada para a concentração de tensão na Equação 4, o valor inicialmente encontrado para o momento de inércia do centroide da área no eixo x, foi de 12783,78 mm⁴, resultou em uma tensão máxima maior que a resistência à fadiga ajustada para o material. O momento de inércia foi obtido no ponto de maior momento fletor (Figura 20), próximo à inserção da seção da polia ao centro desta (Figura 21), para isso foram realizadas iterações neste processo alterando-se a espessura da parede. Seguiu-se este procedimento até chegar-se em um valor de momento fletor menor do que o limite de resistência à fadiga, resultando em uma espessura de parede de 16,22 mm.

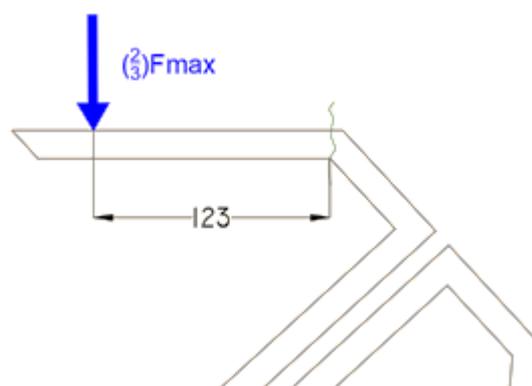
$$\sigma := M_{max} \cdot \frac{Y}{I_x} \quad (3)$$

$$\sigma_{max} := \sigma \cdot k_f \quad (4)$$

Assim, obteve-se que o momento fletor máximo em x na seção é de 52,247 MPa.

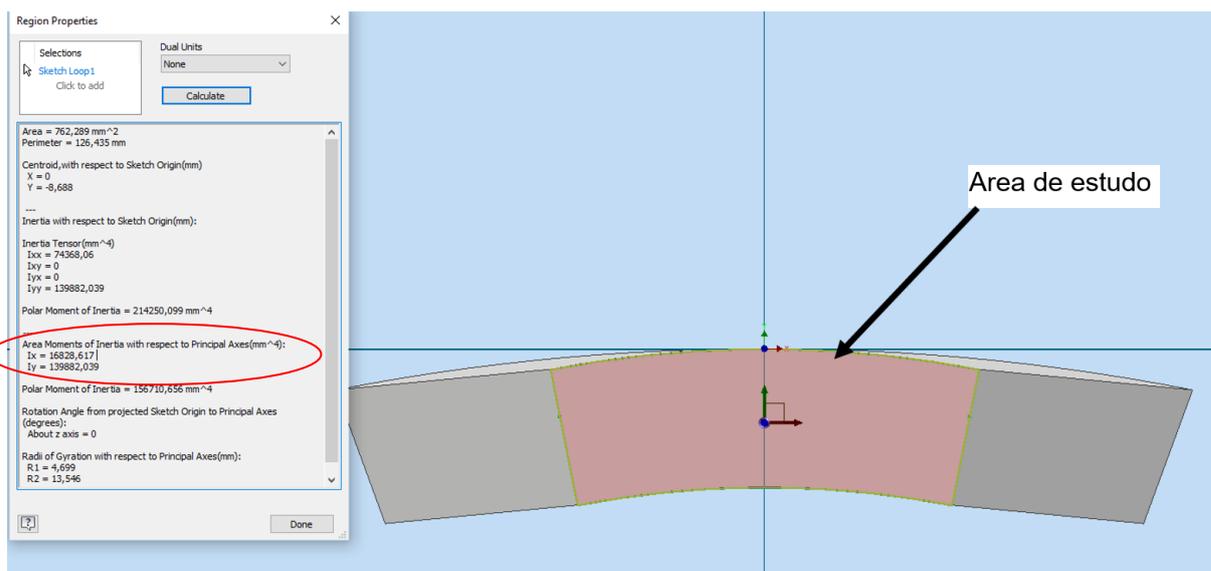
Também foi analisado o momento fletor máximo causado por Fmax que acontece na raiz da parede da polia, obtendo-se que em y este momento fletor máximo é de 25,99 MPa.

Figura 20 - Região de interesse para seção



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 21 – Seção transversal da parede da polia

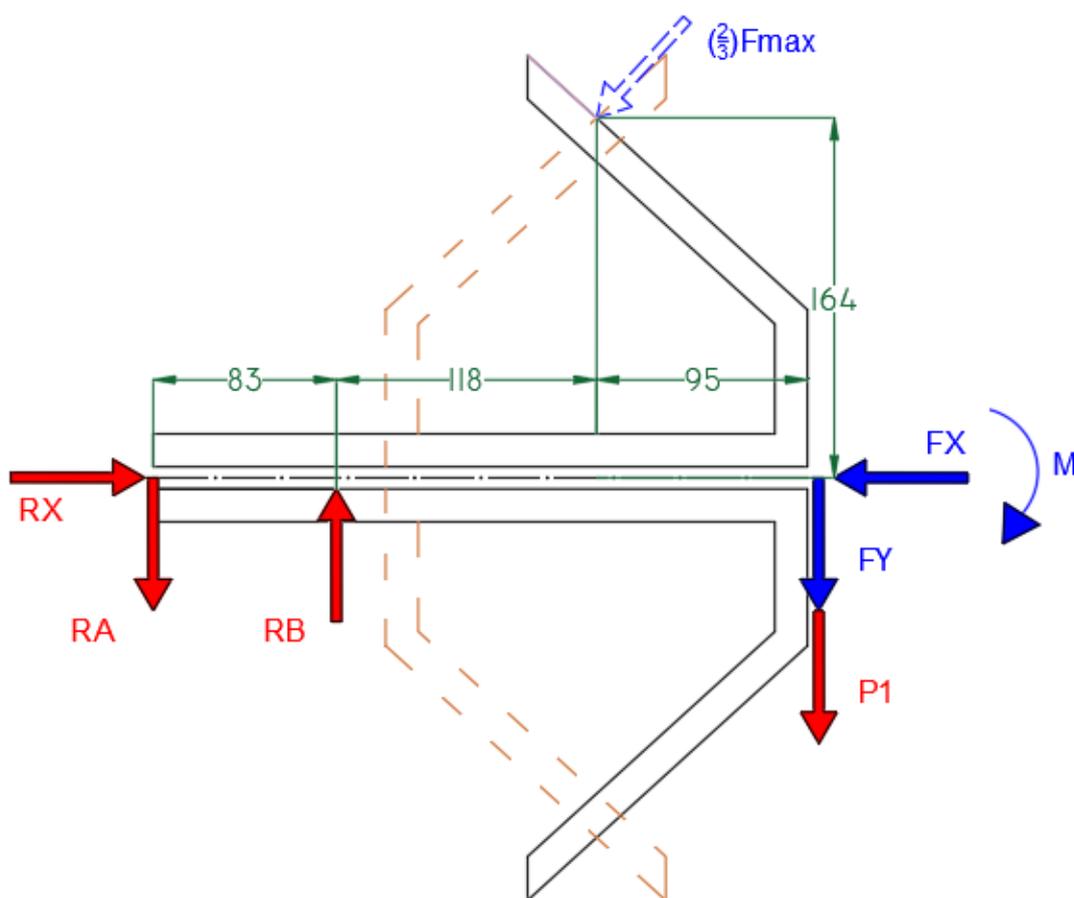


Fonte: Autoria própria (2021)

Após o cálculo da máxima tensão de momento fletor na raiz da parede da polia, foi realizado um diagrama de corpo livre para a metade completa da polia (Figura 22), onde se buscou transformar a força $(2/3)F_{max}$ (em azul-escuro tracejado) em suas componentes (F_X e F_Y), trazendo-as para a linha de centro da peça, gerando o momento M em amarelo. Assim, estando as forças em um mesmo plano, pôde-se calcular as equações de momento fletor agindo na linha de centro do eixo da polia.

Após plotar os resultados, verificou-se que o momento fletor é máximo na seção onde encontra-se RB, em 83 mm, tendo valor de 98,54 Nm. Sendo que outro ponto onde ocorrem concentrações de tensão por variação da geometria é de 282 mm, sendo o momento fletor no local de 20 Nm, aproximadamente.

Figura 22 - Diagrama de corpo livre da polia movida



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim, considerando-se que as forças atuam de zero ao valor máximo, obtiveram-se como momentos máximos alternados o valor de 98,54 Nm e momento médio de 49,27 Nm.

Aplicaram-se estes dados na Equação 5, para o diâmetro mínimo de combinação de tensões por energia de distorção e pelo critério de fadiga de Goodman para a obtenção de um valor mínimo do diâmetro do eixo (Norton, 2013).

Esta equação não considera tensões axiais e não leva em conta eixos vazados, contudo o resultado obtido é adequado para ser utilizado como base para a posterior verificação dos diâmetros do eixo por simulação numérica.

$$d := \left(\frac{16 \cdot n}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{S_e} \cdot \left(4 \cdot (K_f \cdot M_a)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_a)^2 \right)^{0.5} + \frac{1}{\sigma_{ut1020}} \left(4 \cdot (K_f \cdot M_m)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m)^2 \right)^{0.5} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Assim, o diâmetro mínimo sugerido para o eixo é de 34,9 mm, sendo que o diâmetro inicial externo e interno do modelo 3D são, respectivamente, de 40 e 10 mm.

Na sequência, aplicou-se o mesmo procedimento para a análise do eixo de suporte das polias (Figura 23), por onde o eixo anterior desliza internamente.

Assim, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados obtidos para o eixo de suporte da polia

		Valor
Momento fletor máximo [Nm]	M	155,8
Momento fletor médio [Nm]	Mm	77,9
Momento fletor alternante [Nm]	Ma	77,9
Diâmetro mínimo [mm]	d	34,8
Diâmetro interno utilizado [mm]	di	40,0
Diâmetro externo utilizado [mm]	de	60,0

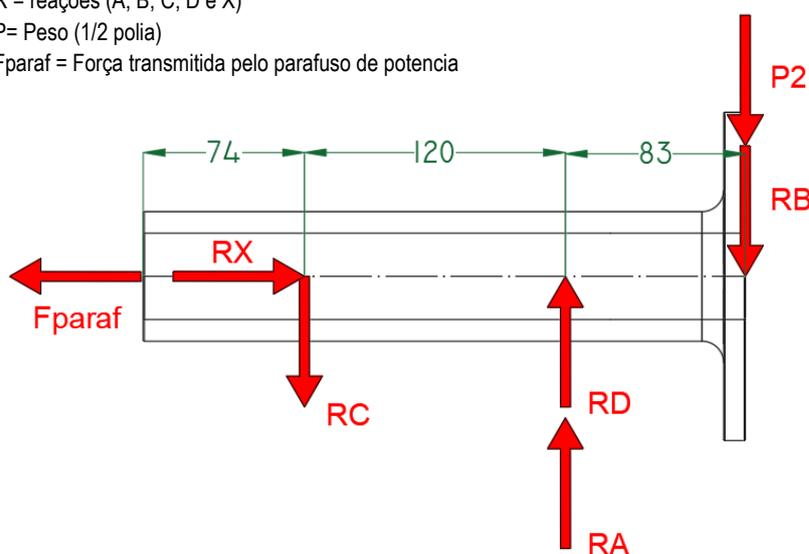
Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 23 - Diagrama de corpo livre para o eixo de suporte das polias

R = reações (A, B, C, D e X)

P = Peso (1/2 polia)

Fparaf = Força transmitida pelo parafuso de potencia



Fonte: Autoria própria (2021)

Após estabelecidas as dimensões para os eixos, foi definida a geometria do parafuso de potência a ser utilizado na máquina, pelos métodos também apresentados por Norton (2013). Os dados de entrada para o dimensionamento e os resultados, são apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9, respectivamente.

Tabela 8 - Dados para o dimensionamento do parafuso de potência

Dados para dimensionamento do parafuso de potência		Valores
Passo [mm]	p	3
Diâmetro externo [mm]	d	10
Diâmetro Primitivo [mm]	d_p	9,25
Diâmetro de raiz [mm]	d_r	8,5
Diâmetro do colar [mm]	d_{colar}	20
Ângulo de rosca [graus]	α	14,5
Coeficiente de atrito na rosca	μ	0,2
Coeficiente de atrito no colar	μ_{colar}	0,2
Inclinação da rosca em plano [graus]	λ	5,894
Módulo de elasticidade [GPa]	E	200
Comprimento do parafuso [mm]	L_{compr}	247
Carga (Força de atrito + componentes que atuam sobre o eixo) [N]	P	723

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 9 - Resultados do dimensionamento do parafuso de potência

Resultados do dimensionamento		Valores
Torque mínimo para elevação da carga [Nm]	T_{min}	2,5
Eficiência		0,326
Tensões no corpo do parafuso		
Tensão axial ajustada [MPa]	σ_c	17,83
Tensão de cisalhamento de torção no corpo [MPa]	τ_c	20,773
Tensões na rosca do parafuso		
Carga na rosca mais engajada [N]	P_r	283
Tensão de apoio na face [MPa]	σ_b	6,51
Tensão de flexão na raiz da rosca [MPa]	σ_{br}	21,25
Tensão transversal de cisalhamento no centro da raiz da rosca [MPa]	τ_r	10,63

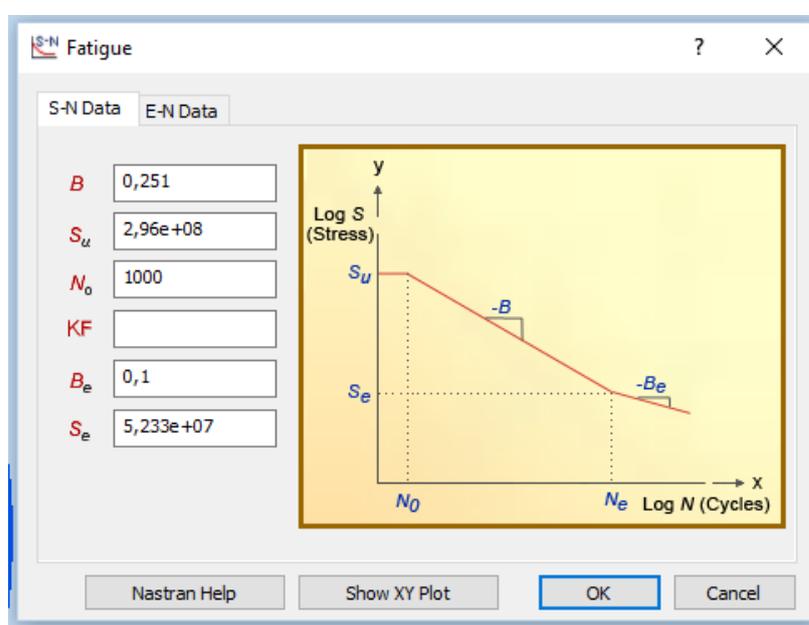
Fonte: Autoria própria (2021)

4.4.2 Validação por simulação

Com estes componentes desenvolvidos, partiu-se para a validação das geometrias por simulação numérica utilizando-se o software Inventor® no seu ambiente de simulações Nastran®.

Neste ambiente, optou-se por simulações de fadiga multiaxial de alto ciclo, onde é necessária a alimentação de dados de fadiga para o material a ser utilizado (Figura 24).

Figura 24 - Dados de entrada do material para simulação de vida em fadiga



Fonte: Autoria própria (2021)

Estes dados incluem a inclinação da reta B , calculada de acordo com a Equação 6, a tensão de resistência a fadiga, S_u , para um número de ciclos inicial N_0 , conforme Norton (2013), a tensão limite de resistência à fadiga, S_e , para um número de ciclos de vida infinita N_e , e um coeficiente de inclinação da reta B_e para materiais que não apresentam vida infinita em fadiga.

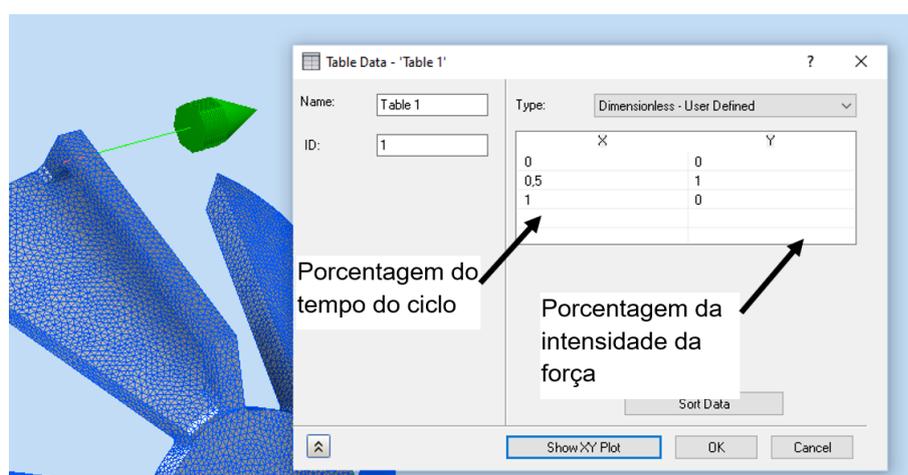
$$B := \frac{\log(S_u) - \log(S_e)}{\log(N_e) - \log(N_0)} \quad (6)$$

Neste caso, foram utilizados os dados para vida infinita já calculados anteriormente para a maior concentração de tensão para o aço SAE 1020, valores

para S_u de 296MPa, N_0 de 1000 ciclos, B_e de 0, e S_e de 10^6 ciclos, sendo KF um fator de compensação de efeitos de redução de vida, não utilizado.

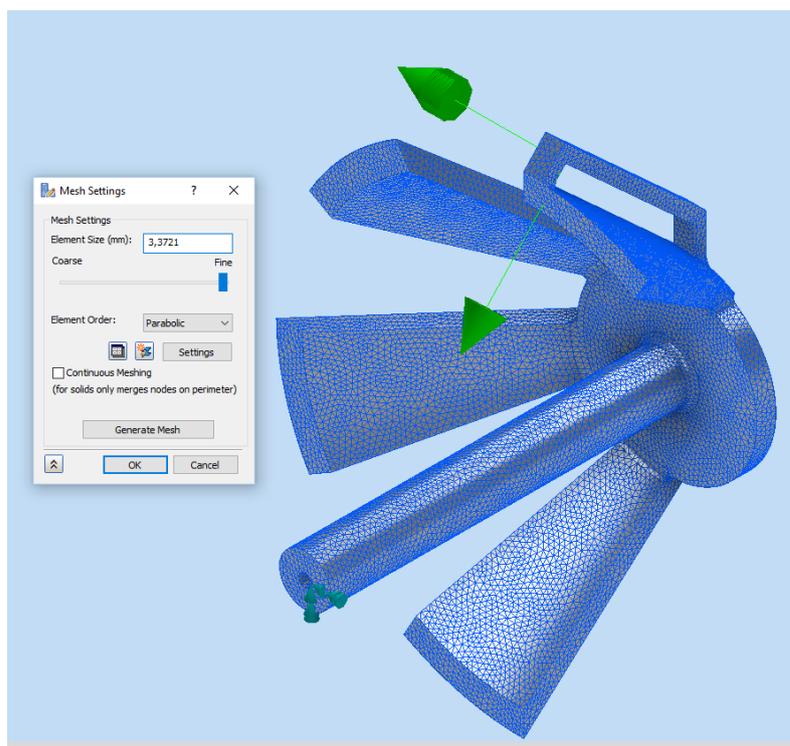
As forças atuantes no sistema foram inseridas nos componentes de acordo com os diagramas de corpo livre. No *setup* das forças, estas foram criadas atuando ciclicamente, sendo que em tempo = 0 as forças são zero, em metade do ciclo as forças tem 100% de seu valor e em 100% do ciclo estas voltam à zero (Figura 25).

Figura 25 - Inserção de informações sobre ciclo das forças. Sendo os valores de 0 à 1 em suas respectivas porcentagens.

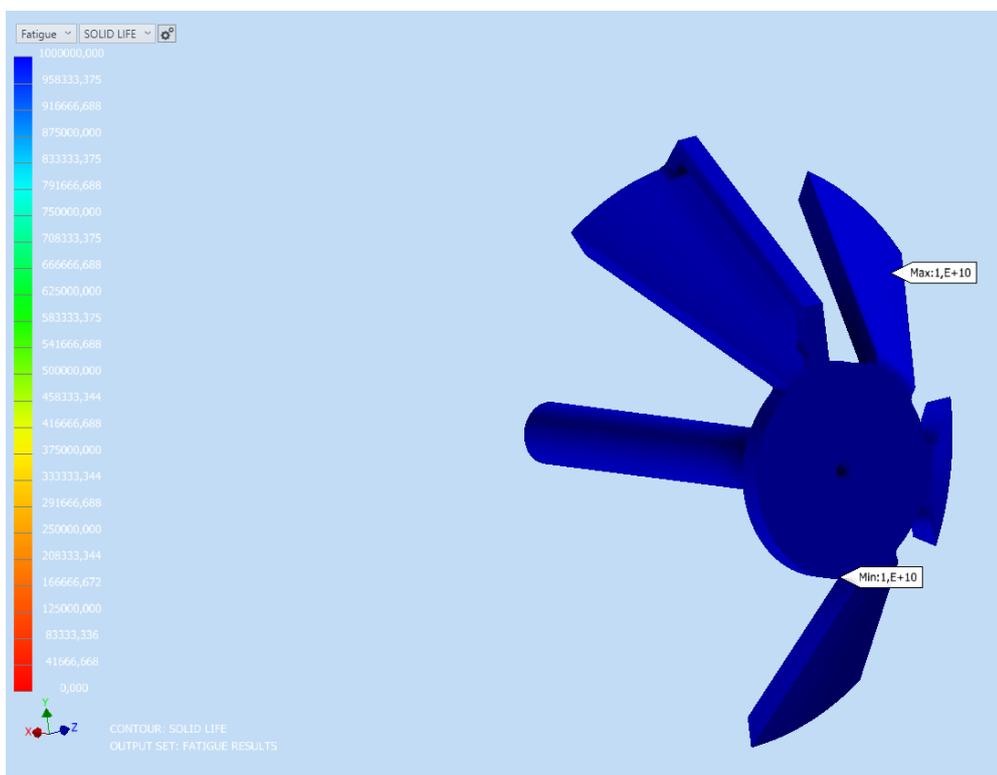


Fonte: Autoria própria (2021)

A malha foi definida como fina nas opções do programa (Figura 26), e após realizada a simulação, obteve-se o resultado de que nenhuma região da peça suportaria menos de um milhão de ciclos, indicando, desta forma, que a geometria dos componentes atende aos requisitos de vida infinita (Figura 27). Também pode-se observar, de acordo com a Figura 28, as concentrações de tensão próximas à raiz da peça.

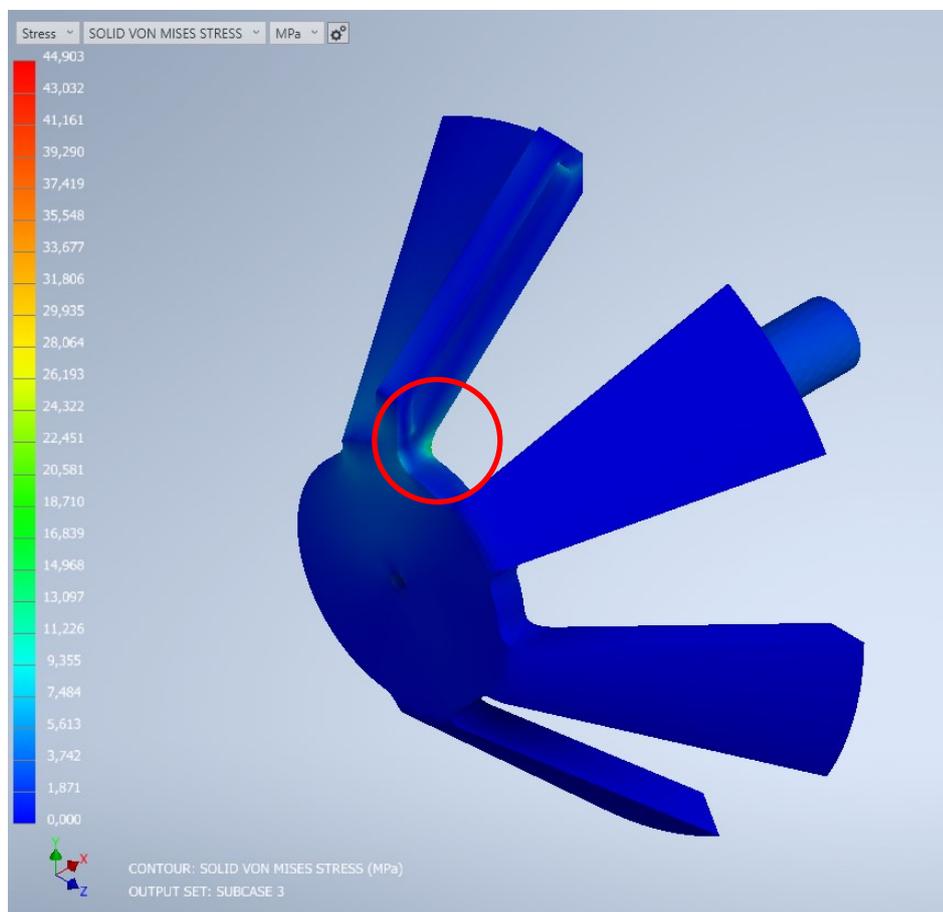
Figura 26 - Tamanho da malha e posicionamento das forças atuantes na peça

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 27 - Resultados para a simulação de Vida em Fadiga (resultado em número de ciclos de carregamento aos quais a geometria suporta)

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 28 – Disposição das Tensões de Von Mises na peça e ponto de concentração de tensão próximo à raiz da seção da polia



Fonte: Autoria própria (2021)

Para refinamento do dimensionamento, este processo pode ser repetido alterando-se a espessura dos componentes, até logo antes dos ciclos suportados serem reduzidos para menos de um milhão.

A partir dos procedimentos executados observa-se que a metodologia proposta se mostrou suficientemente adequada para atender a proposição do desenvolvimento de uma melhoria aplicada à equipamentos Rosca Scott Máquina, melhorando a ergonomia do usuário a partir de mudanças realizadas no sistema de transmissão das forças, que podem então possibilitar a indicação da carga real a que o usuário está sendo submetido.

A partir deste ponto, a obtenção do funcionamento pleno do equipamento será finalizada com a inserção dos componentes eletroeletrônicos, que atuarão com a finalidade de automatizar o sistema de ajuste ao usuário. Esta automação torna-se possível, devido a metodologia desenvolvida neste trabalho, que resumidamente substitui um componente de raio único pela polia de raio variável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho de conclusão de curso, foi possível realizar o desenvolvimento de um conceito para estabelecer melhoria do sistema de transmissão de forças aplicada à equipamentos Rosca Scott Máquina, utilizados em musculação, com o dimensionamento de uma polia de raio variável e componentes mecânicos adjacentes, como os eixos e parafuso de potência, o que consequentemente possibilita a melhora de ergonomia ao usuário.

O desenvolvimento da metodologia de dimensionamento e prototipagem foi grandemente facilitada pela prototipagem virtual, pois removeu a complexidade de modelamento matemático de carregamentos multiaxiais, promovendo maior agilidade no processo.

O processo, considerando os projetos informacional, conceitual e detalhado, foi importante para a metodologia proposta, possibilitando visualizar uma sequência de etapas, para realizar o desenvolvimento metodológico e chegar a um protótipo.

Com a realização do trabalho, passa a ser disponibilizada uma sequência metodológica, que pode servir de base para o ajuste e dimensionamento de sistemas mecânicos similares, aplicados em outros equipamentos e condições.

O trabalho possibilitou conhecer melhor o funcionamento dos atuais equipamentos Rosca Scott Máquina, em utilização nas academias. Percebendo-se, que o mecanismo de transmissão de forças utilizado, tanto neste equipamento, como em outras máquinas de musculação, não apresenta possibilidade de ajuste entre a carga escolhida na torre de pesos, e a força exercida pelo usuário. Isso gera variações de carga e, conseqüente, ocorrência de sobrecarga entre os usuários, pois desconsidera a existência de diferenças nas dimensões corporais, e portanto, variações na força e reação experimentadas, mesmo com a mesma carga selecionada.

A realização deste trabalho de conclusão de curso, além de possibilitar um aprofundamento de conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de produtos, foi de extrema importância para construção de um incremento geral de conhecimentos, utilizando ferramentas, técnicas e métodos que fazem uma ponte entre as diversas áreas e disciplinas cursadas na Engenharia Mecânica.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y.; MIZUNO, S. QFD: The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Cambridge. **Taylor & Francis**, 1994.

BART H., SCHNEBERGER, D. **Design for competitiveness**. Institute for Competitive Design, 1992.

CHUNG, K.R.; SONG, B.H.; YOON, S.K.; PARK, I.W. A Study on the Development of Aerobic Exercise Equipment Design for User-Centered-Focusing on Elliptical Cross Trainer. **J. Korean Soc. Des. Sci.** v.19, p.129–138. 2006.

CLARK, K. B., FUJIMOTO, T. Product Development Performance: strategy, organization and management in the world auto industry. **HBS Press**, Boston, 1991.

COOPER, R. G. Stage-gate systems: A new tool for managing new products, **Business Horizons**, v33, n3, p. 44-54, 1990.

DAI, F. et al. Virtual Prototyping Examples for Automotive Industries. **Darmstadt:** Fraunhofer Institute for Computer Graphics, 1996.

EUROPE ACTIVE. European Health & Fitness Market: Report Deloitte; **Europe Active:** Brussels, Belgium, 2018. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-business/European%20Health%20and%20Fitness%20Report_2018_extract.pdf. Acesso em: 22/05/2021.

FLAME SPORT - Professional fitness equipment. Scott Curls Machine (3F), Plate loaded. Disponível em: <https://www.flame-sport.de/en/scott-curls-machine-3f.html>. Acesso em: 24/05/2021

GORDON, C.C.; BLACKWELL, C.L.; BRADTMILLER, B. ET AL. 2012 anthropometric survey of U.S. army personnel: methods and summary statistics. **U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center**. Technical report natick/tr-15/007, p. 117. 2014. Disponível em: <https://dacowits.defense.gov/LinkClick.aspx?fileticket=EbsKcm6A10U%3D&portalid=48>. Acesso em: 28/05/2021

GUEDES, B. T. **Prototipagem Virtual:** Simulação Dinâmica de Conjunto para Mobilidade de Cadeirantes. 2015. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

HAFF, G. G. Roundtable Discussion. **Strength and Conditioning Journal**. v.22, n. 6. p. 18 – 30, 2000. Disponível em: https://journals.lww.com/nsca-scj/citation/2000/12000/roundtable_discussion__machines_versus_free.4.aspx. Acesso em: 20/04/2021

HILVOORDE, I. V. Fitness: The Early (Dutch) Roots of a Modern Industry. **Int. J. Hist. Sport**, v. 25, p.1306–1325, 2008.

IIDA, Itiro. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

INTERNATIONAL HEALTH, Racquet & Sportsclub Association. **The IHRSA Global Report**; IHRSA: Boston, MA, USA, 2017. Disponível em: <https://www.ihrsa.org/publications/the-2017-ihrsa-global-report/>; Acesso em: 20/04/2021.

MCLEOD, P. The Availability and Capabilities of ‘Low-End’ Virtual Modelling (Prototyping) Products to Enable Designers and Engineers to Prove Concept Early in the Design Cycle, PRIME Faraday Partnership. **Pera Knowledge**, Loughborough, 2001.

MÓNICO J. L.; SILVA. F.; MARQUES, J. P. ET AL. Estudo das lesões de sobrecarga durante período intenso de atividade física complementado com avaliação por dinamometria isocinética. **Revista Brasileira de Ortopedia**. V55, n6, p. 681-686, 2020. Disponível em: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0040-1712137>. Acesso em: 15/05/2021

NICKEL, E. M.; FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI, F. A.; SANTOS, C. T.; SILVA, R. A. A. Modelo multicritério para referência na fase de projeto informacional do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão e Produção**, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas**: Uma Abordagem Integrada. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, L. F.; MATTA, T. T.; ALVES, D. S. ET AL. Effect of the shoulder position on the biceps brachii EMG in different dumbbell curls. **Journal of Sports, Science and Medicine**. v.8, n. 1, p. 24-29, 2009. Disponível em: <https://www.jssm.org/jssm-08-24.xml%3EFulltext>. Acesso em: 20/04/2021.

PMI (Project Management Institute). **PMBOK** - A Guide to the Project Management Body of Knowledge. TRADUÇÃO LIVRE, v. 1.0., 2000. Disponível em: www.pmimg.org.br

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos** - uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 576p.

SCHUSTER, C. H.; SCHUSTER, J. J.; OLIVEIRA, A. S. Aplicação do diagrama de Mudge e QFD utilizando como exemplo a hierarquização dos requisitos para um carro voador. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 10, nº 1, p. 197-213, jan-mar/2015

SEKENDIZ, B. Implementation and perception of risk management practices in health/fitness facilities. *International Journal of Business Continuity and Risk Management*, **Inderscience Enterprises Ltd**. v. 5, n.3, p. 165–183, 2014. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/ids/ijbcm/v5y2014i3p165-183.html>. Acesso em: 09/11/2021.

SHUTTERSTOCK, Inc. Man working out in a gym. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/man-working-out-gym-139166774>. Acesso em: 20/11/2021.

SIRVENT, R. F. Memoria y olvido de Francisco Amorós y de su modelo educativo gimnástico y moral. **Revista Internacional de Ciencias del Deporte**, p. 24-51, 2007.

TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; MENDES, G. H. S.; JUGEND, D.; PAULA, S. M.; HOJO, L. K.; MELO, R. A.; OLIVEIRA, R. H. U.; GOMES, T. C. F. Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto em Empresas de Base Tecnológica de Pequeno e Médio Porte do estado de São Paulo: diagnóstico e proposição de modelo de referência. 2006. 389f. **Relatório final do projeto FAPESP**. Departamento de Engenharia de Produção, Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TOLEDO, J. C.; SIMÕES J. M. S. Gestão do desenvolvimento de produto em empresas de pequeno e médio porte do setor de máquinas e implementos agrícolas do Estado de SP. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 257-269, 2010.

ULRICH, K. T., EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 2nd ed. McGraw-Hill, London, 2000.

WANG, M.H.; SU, Y.T. Using extension method for health analysis system of a fitness device. **Expert Syst. Appl**, v.39, p.12833–12840, 2012.

APÊNDICE A – CÁLCULOS DE APOIO

Código a ser executado em compiladores Python:

```

# Import math Library
import math

"""
Cálculos Iniciais

"""

BraçoMax = 41.0; # de 43,6 a 23,7 cm ----- Inicial
BraçoMin = 25.8; # de 43,6 a 23,7 cm ----- Inicial
angulo = 135; # angulo do movimento em graus ----- Inicial
massaSentida = 2; # kg ----- Inicial
massaSentidaMax = 30; # ----- Inicial
tempoMovimento = 1.0;# Tempo ascensão do movimento em segundos----
-----Inicial

massaP5 = 5; # Placa da torre de 5 kg
massaP10 = 10; # Placa da torre de 10 kg
g = 9.81; # Gravidade

"""
Cálculos para comparação do TAMANHO DA POLIA entre torre de pesos
sem polia ou com polia, e placas de 5 ou 10 kg
"""

```

```

print();
# Torre Sem Polia -----
# Placa 5 kg Min
RaioMinS5 = BraçoMin * massaSentida / massaP5 # Cálculo do raio da
polia

# Placa 5 kg Max
RaioMaxS5 = BraçoMax * massaSentida / massaP5 # Cálculo do raio da
polia

print("Torre SEM polia/ placa 5 kg - Polia: Maior/Menor Raio: ", RaioMaxS5,
"/ ", RaioMinS5)

# Placa 10 kg Min
RaioMinS10 = BraçoMin * massaSentida / massaP10 # Cálculo do raio da
polia

# Placa 10 kg Max
RaioMaxS10 = BraçoMax * massaSentida / massaP10 # Cálculo do raio da
polia

print("Torre SEM polia/ placa 10 kg - Polia: Maior/Menor Raio: ",
RaioMaxS10, "/ ", RaioMinS10)

# Torre Com Polia -----
# Placa 5 kg Min
RaioMinC5 = BraçoMin * massaSentida * 2 / massaP5; # Cálculo do raio da
polia

# Placa 5 kg Max

```

$\text{RaioMaxC5} = \text{BraçoMax} * \text{massaSentida} * 2 / \text{massaP5};$ # Cálculo do raio da polia

$\text{print}(\text{"Torre COM polia/ placa 5 kg - Polia: Maior/Menor Raio: "}, \text{RaioMaxC5}, \text{" / "}, \text{RaioMinC5});$

Placa 10 kg Min

$\text{RaioMinC10} = \text{BraçoMin} * \text{massaSentida} * 2 / \text{massaP10};$ # Cálculo do raio da polia

Placa 10 kg Max

$\text{RaioMaxC10} = \text{BraçoMax} * \text{massaSentida} * 2 / \text{massaP10};$ # Cálculo do raio da polia

$\text{print}(\text{"Torre COM polia/ placa 10 kg - Polia: Maior/Menor Raio: "}, \text{RaioMaxC10}, \text{" / "}, \text{RaioMinC10});$

Razão de redução da carga transmitida pelo cabo -----

$\text{print}();$ # Espaço

$\text{KS5} = \text{RaioMinS5} / \text{BraçoMin};$ # Cálculo da razão de redução da carga

$\text{print}(\text{"Razão de redução braços de alavanca placa 5 kg SEM polia: "}, \text{KS5});$

$\text{KS10} = \text{RaioMinS10} / \text{BraçoMin};$ # Cálculo da razão de redução da carga

$\text{print}(\text{"Razão de redução braços de alavanca placa 10 kg SEM polia: "}, \text{KS10});$

$\text{KC5} = \text{RaioMinC5} / \text{BraçoMin};$ # Cálculo da razão de redução da carga

$\text{print}(\text{"Razão de redução braços de alavanca placa 5 kg COM polia: "}, \text{KC5});$

$\text{KC10} = \text{RaioMinC10} / \text{BraçoMin};$ # Cálculo da razão de redução da carga

```
print("Razão de redução braços de alavanca placa 10 kg COM polia: ",
KC10);
```

```
# Elevação dos pesos na torre -----
# SEM polia: circunferência * fração do arco
print(); # Espaço
```

```
ElevMinS5 = 2 * math.pi * RaioMinS5 * (angulo/360);
ElevMaxS5 = 2 * math.pi * RaioMaxS5 * (angulo/360);
difElevS5 = ElevMaxS5 - ElevMinS5;
print ("Elevação dos pesos na torre - SEM polia, placa 5 kg MAX/MIN: ",
ElevMaxS5, " / ", ElevMinS5, " dif: ", difElevS5);
```

```
ElevMinS10 = 2 * math.pi * RaioMinS10 * (angulo/360);
ElevMaxS10 = 2 * math.pi * RaioMaxS10 * (angulo/360);
difElevS10 = ElevMaxS10 - ElevMinS10;
print ("Elevação dos pesos na torre - SEM polia, placa 10 kg MAX/MIN: ",
ElevMaxS10, " / ", ElevMinS10, " dif: ", difElevS10);
```

```
# COM polia: circunferência * fração do arco / 2
ElevMinC5 = 2 * math.pi * RaioMinC5 * (angulo/360) / 2;
ElevMaxC5 = 2 * math.pi * RaioMaxC5 * (angulo/360) / 2;
difElevC5 = ElevMaxC5 - ElevMinC5;
print ("Elevação dos pesos na torre - COM polia, placa 5 kg MAX/MIN: ",
ElevMaxC5, " / ", ElevMinC5, " dif: ", difElevC5);
```

```
ElevMinC10 = 2 * math.pi * RaioMinC10 * (angulo/360) / 2;
```

```

ElevMaxC10 = 2 * math.pi * RaioMaxC10 * (angulo/360) / 2;
difElevC10 = ElevMaxC10 - ElevMinC10;
print ("Elevação dos pesos na torre - COM polia, placa 10 kg MAX/MIN: ",
ElevMaxC10, " / ", ElevMinC10, " dif: ", difElevC10);

```

```

# CONFERINDO Número de placas de peso necessárias na torre -----

```

-

```

print();
nS5 = (massaSentidaMax * BraçoMax) / (RaioMaxS5 * massaP5);
print ("N° de placas - SEM polia, de 5 kg: ", nS5);

```

```

nS10 = (massaSentidaMax * BraçoMax) / (RaioMaxS10 * massaP10);
print ("N° de placas - SEM polia, de 10kg: ", nS10);

```

```

nC5 = (massaSentidaMax * BraçoMax) * 2 / (RaioMaxC5 * massaP5);
print ("N° de placas - COM polia, de 5 kg: ", nC5);

```

```

nC10 = (massaSentidaMax * BraçoMax) * 2 / (RaioMaxC10 * massaP10);
print ("N° de placas - COM polia, de 10kg: ", nC10);

```

```

## Carga estática aplicada na extremidade da polia

```

```

print()

```

```

fS5 = nS5 * massaP5 * g

```

```

fS10 = nS10 * massaP10 * g

```

```

fC5 = nC5 * (massaP5 * g) / 2

```

```

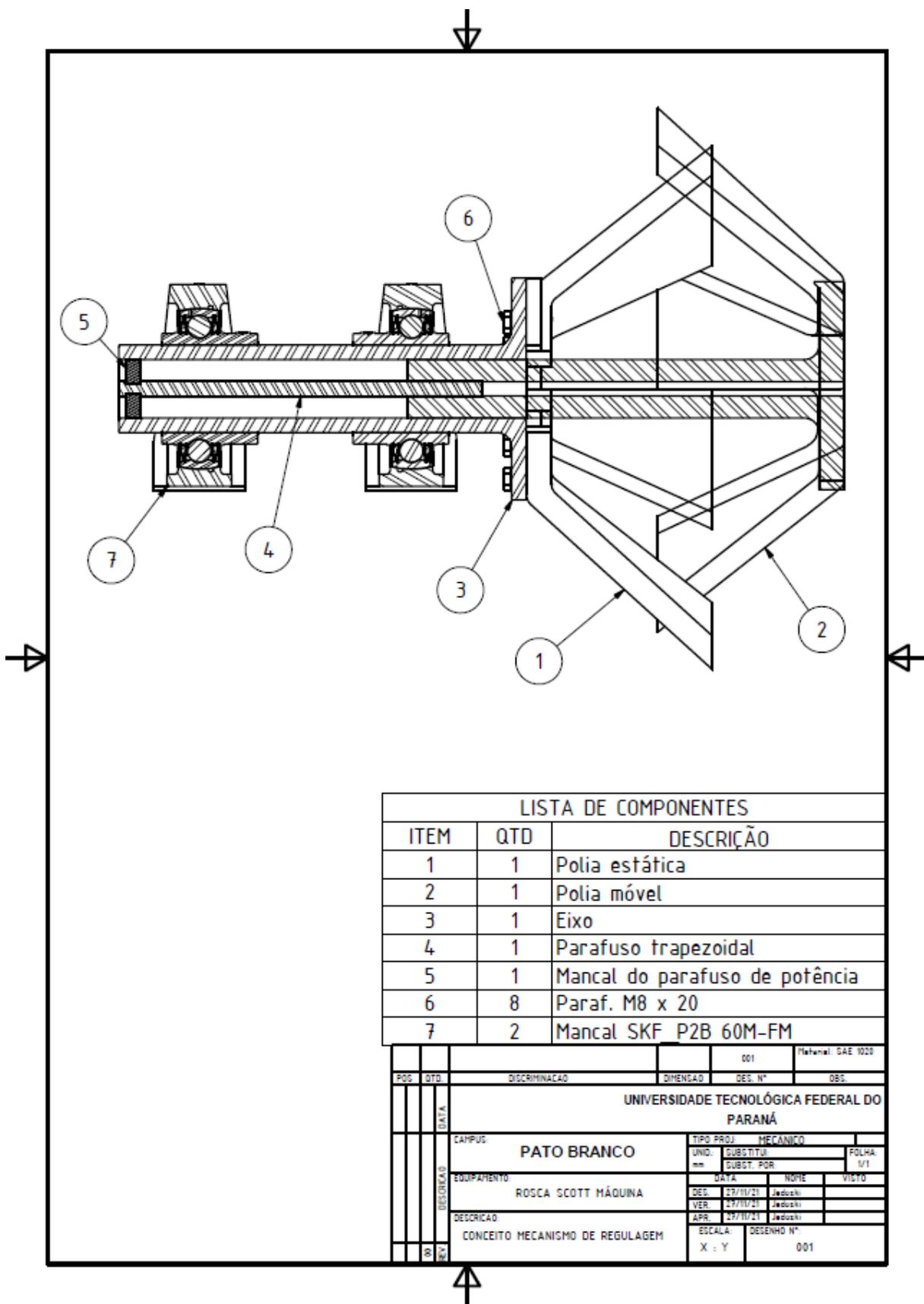
fC10 = nC10 * (massaP10 * g) / 2

```

```
print("Força estática aplicada à polia (S5 - S10 - C5 - C10) [N]:\n", fS5,\n      fS10,\n      fC5,\n      fC10 );
```

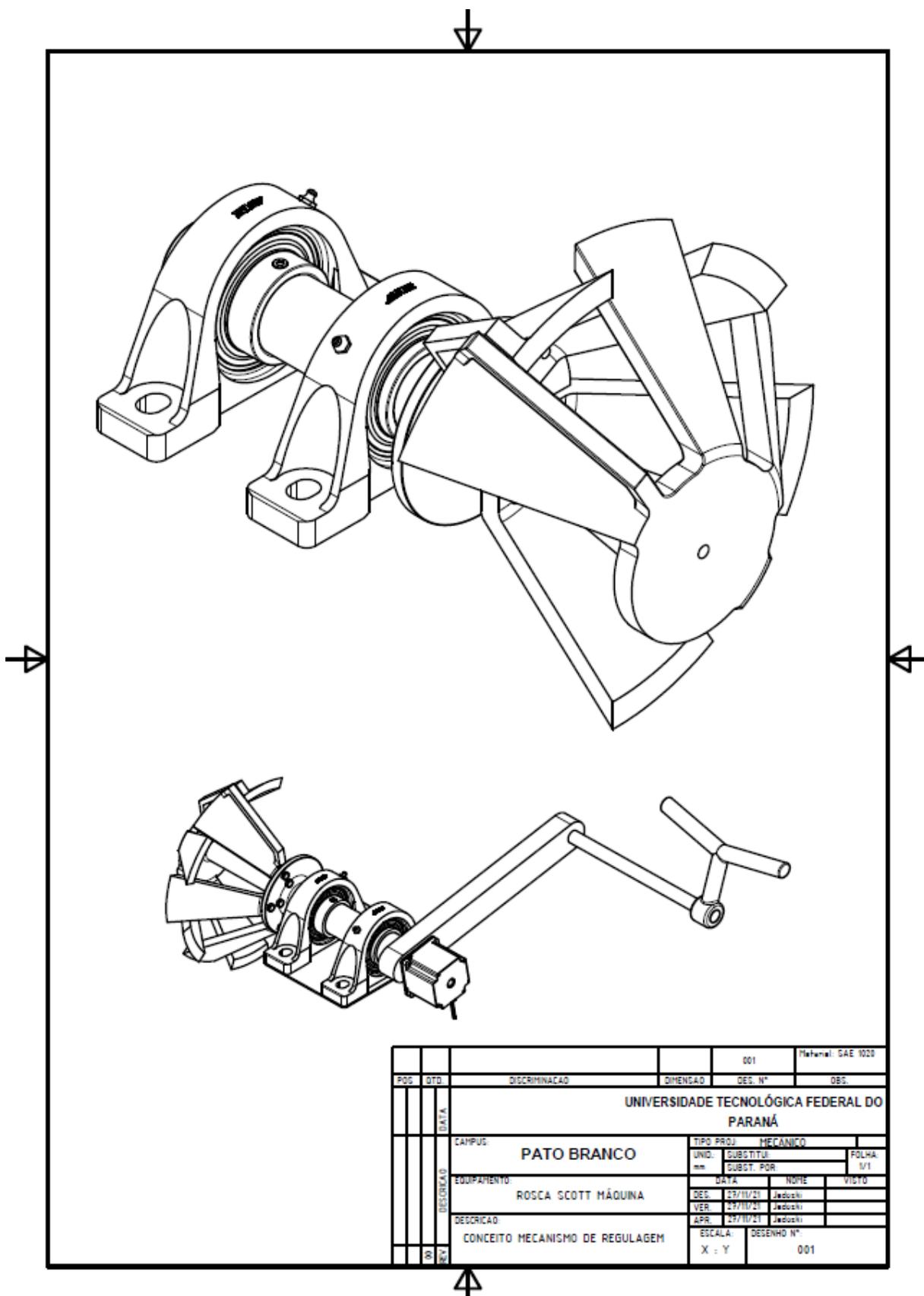
```
# Torque estático na polia  
print();  
tS5 = fS5 * (RaioMaxS5 / 100);  
tS10 = fS10 * (RaioMaxS10 / 100);  
tC5 = fC5 * (RaioMaxC5 / 100);  
tC10 = fC10 * (RaioMaxC10 / 100);  
print ("Torque estático exercido na polia/eixo (S5 - S10 - C5 - C10)\n      [N*m]:\n:", tS5, tS10, tC5, tC10);
```

APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS

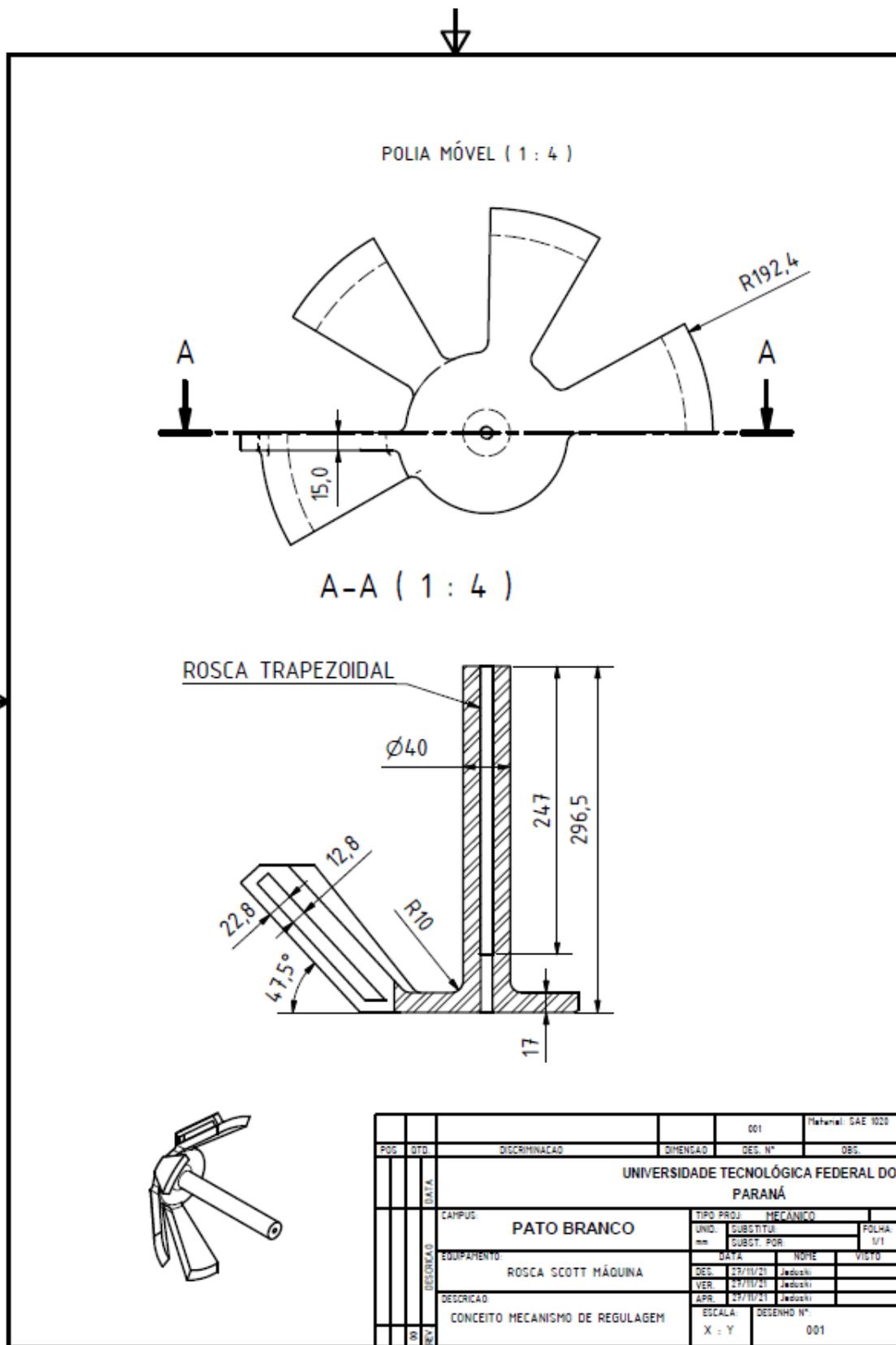


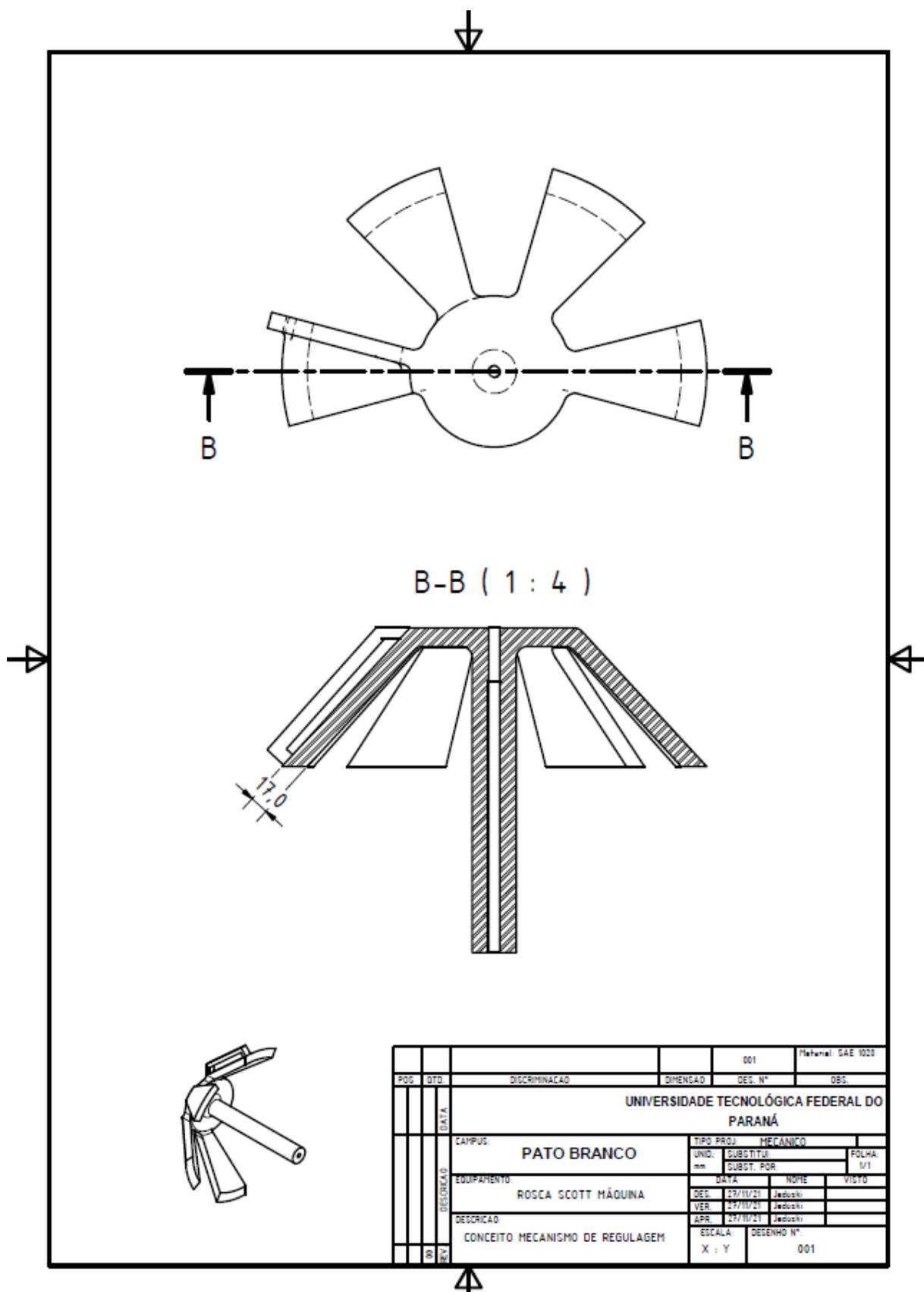
LISTA DE COMPONENTES		
ITEM	QTD	DESCRIÇÃO
1	1	Polia estática
2	1	Polia móvel
3	1	Eixo
4	1	Parafuso trapezoidal
5	1	Mancal do parafuso de potência
6	8	Paraf. M8 x 20
7	2	Mancal SKF P2B 60M-FM

POS.	QTD.	DISCRIMINACAO	DIMENSÃO	DES. N°	OBS.
				001	Referencial SAE 1020
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ					
CAMPUS: PATO BRANCO			TIPO PROJ.: MECÂNICO		
EQUIPAMENTO: ROSCA SCOTT MÁQUINA			UNID. SUBSTITUIÇÃO: FOLHA: 1/1		
DESCRICAÇÃO: CONCEITO MECANISMO DE REGULAGEM			DATA: 17/10/21		
			NOME: JADUCHI		
			VER: 17/10/21		
			APR: 17/10/21		
			ESCALA: X : Y		
			DESENHO N°: 001		



				001	Material: CAE 1020
PROJ	QTD	DISCRIMINACAO	DIMENSAO	DES. N°	QBS.
		UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ			
		CAMPUS:	PATO BRANCO		
		EQUIPAMENTO:	ROSCA SCOTT MÁQUINA		
		DESCRICAO:	CONCEITO MECANISMO DE REGULAGEM		
			TIPO PROJ:	MECANICO	
			UNID. mm	SUBSTITUI	FOLHA 1/1
			DATA	NOME	VISTO
			DES. 27/11/21	Jedochi	
			VER. 27/11/21	Jedochi	
			APR. 27/11/21	Jedochi	
			ESCALA:	DESENHO N°	
			X : Y	001	





PROJ.	QTD.	DISCRIMINACAO	DIRECCAO	DES. N°	001	Material: SAE 1020
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ						
CAMPUS:		PATO BRANCO		TIPO PROJ: MECANICO		
EQUIPAMENTO:	ROSCA SCOTT MÁQUINA	UNID.	SUBSTITUI	FOLHA		
		mm	SUBST. POR	1/1		
DESCRICAO:	CONCEITO MECANISMO DE REGULAGEM	DATA	NOME	VISTO		
		DES. 27/11/21	Jadocki			
		VER. 27/11/21	Jadocki			
		APR. 27/11/21	Jadocki			
		ESCALA:	DESENHO N°			
		X : Y	001			

