Insper

Trabalho de Conclusão de Curso

Relatório do Projeto Final - Capstone

Bruno Conte Paiva
Guilherme Escobar
Matheus de Freitas Souza
Matheus Lopes Vilar

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DE ACOPLAMENTO PARA UNIÃO DE UM PATINETE ELÉTRICO A UMA CADEIRA DE RODAS

São Paulo
2025

Bruno Conte Paiva
Guilherme Escobar
Matheus de Freitas Souza
Matheus Lopes Vilar

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DE ACOPLAMENTO PARA UNIÃO DE UM PATINETE ELÉTRICO A UMA CADEIRA DE RODAS

Relatório apresentado aos respectivos cursos de Graduação em Engenharia Mecânica como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no respectivo curso.

Orientador: Dr. Victor Antonio Seixas de Menezes Paiva

Mentor: Jhony Ferreira Cruz Zuim

Coordenador Capstone: Prof. Dr. Luciano P. Soares

São Paulo
2025

Bruno Conte Paiva
Guilherme Escobar
Matheus de Freitas Souza
Matheus Lopes Vilar

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DE ACOPLAMENTO PARA UNIÃO DE UM PATINETE ELÉTRICO A UMA CADEIRA DE RODAS

Relatório apresentado aos respectivos cursos de Graduação em Engenharia Mecânica como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no respectivo curso.

Orientador: Dr. Victor Antonio Seixas de Menezes Paiva

Banca Examinadora

Dr. Victor Antonio Seixas de Menezes Paiva

Insper

MSc. Israel Ferreira Alves

Insper

Dr. Caio Fernando Rodrigues dos Santos

Insper

Resumo

O grupo participa da execução do Projeto Final Capstone em parceria com a empresa Cicloway, com foco no desenvolvimento de uma solução que permita o acoplamento de um patinete elétrico a uma cadeira de rodas. A proposta visa ampliar a mobilidade e a autonomia de usuários no cotidiano, reduzindo o esforço físico. O trabalho detalha a concepção de um dispositivo de acoplamento composto por dois módulos principais: um fixado à cadeira de rodas e outro adaptado ao patinete elétrico. Foram analisadas diferentes configurações nos ambientes CAD e CAE para garantir a viabilidade estrutural da solução, seguidas da prototipagem e testes de usabilidade. Como resultado, obteve-se um conjunto funcional com montagem simplificada e ergonomia aprimorada, capaz de subir rampas de 15,3° com um usuário de 95 kg. O relatório também apresenta o processo de desenvolvimento mecânico, simulações computacionais e iterações de projeto, incluindo melhorias como uma abraçadeira de guidão com ajuste de altura. Além disso, são feitas comparações com soluções similares disponíveis no mercado, destacando os diferenciais de cada proposta. A iniciativa busca garantir praticidade no uso e estabilidade para o usuário da cadeira de rodas.

Palavras-chave: acoplamento; patinete elétrico; cadeira de rodas; autonomia; ergonomia; cadeirante; triciclo elétrico; mobilidade reduzida;

Abstract

The group is taking part in the execution of the Capstone Final Project in partnership with the company Cicloway, focusing on the development of a solution that enables the coupling of an electric scooter to a wheelchair. The proposal aims to expand users' mobility and autonomy in daily life, while reducing physical effort. The work details the design of a coupling device composed of two main modules: one fixed to the wheelchair and another adapted to the electric scooter. Different configurations were analyzed in CAD and CAE environments to ensure the structural feasibility of the solution, followed by prototyping and usability tests. As a result, a functional set was obtained with simplified assembly and improved ergonomics, capable of climbing ramps of 15,3° with a user weighing 95 kg. The report also presents the mechanical development process, computer simulations, and project iterations, including improvements such as a handlebar clamp with height adjustment. In addition, comparisons are made with similar solutions available on the market, highlighting the distinguishing features of each proposal. The initiative seeks to ensure practicality in use and stability for wheelchair users.

Keywords: coupling; electric scooter; wheelchair; autonomy; ergonomics; wheelchair user; electric tricycle; reduced mobility

1. Sumário

2. INTRODUÇÃO 8

2.1 ORIGEM DO DESAFIO 9
2.2 OBJETIVO DO PROJETO 9
2.3 ESCOPO DO PROJETO 10

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PESQUISA INICIAL 10

3.1 ENTREVISTA COM USUÁRIO COM DIFICULDADE FÍSICA DE MOBILIDADE 10
3.2 SOLUÇÕES COMERCIAIS EXISTENTES 12
3.3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES E DELIMITAÇÃO DO ESCOPO 12
3.4 QUESTÕES ÉTICAS E PROFISSIONAIS 13
3.5 RISCOS ENVOLVIDOS 14
3.6 RECURSOS NECESSÁRIOS 14
3.7 GESTÃO DO PROJETO 15
3.8 MAPEAMENTO DOS STAKEHOLDERS 15

4. METODOLOGIA 16

4.1 BRAINSTORM 16
4.2 MATRIZ FUNÇÃO 17
4.3 MATRIZ SOLUÇÃO 18
4.4 PESQUISAS DE POSSÍVEIS IMPLEMENTAÇÕES 19
4.4.1 Ergonomia 19
4.5 MONTAGEM DO DIAGRAMA DE CORPO LIVRE 21
4.6 EXPERIMENTAÇÃO 24
4.6.1 Levantamento do torque máximo 24
4.6.2 Teste de desempenho com variação de massa 28

5. ANÁLISE TÉCNICA 29

5.1 DESENVOLVIMENTO 29
5.1.1 Modelagem e Simulação 30

6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 35

6.1 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO 35
6.2 ABRAÇADEIRA PARA O GUIDÃO E ERGONOMIA MELHORADA 37
6.3 MONTAGEM DO KIT DE ACOPLAMENTO 38

7. CONCLUSÕES 41

REFERÊNCIAS 42

Nomenclatura

$\sum F_x$	Forças em x
$\sum F_y$	Forças em y
$\sum M_{G\circlearrowleft}$	Somatória de Momento no Centro de Massa
θ	Ângulo de Inclinação do Piso
ρ	Densidade do Ar
μ_r	Atrito de Rolamento
a	Aceleração do Conjunto (cadeira, usuário, patinete, acoplamento)
A	Força de Arrasto
C	Coeficiente de Arrasto
d	Distância (em x) entre Normal Dianteira e Centro de Massa
F	Força Motor
$F_{at,d}$	Força de Atrito de Rolamento da Roda Dianteira
$F_{at,m}$	Força do Motor
$F_{at,t}$	Força de Atrito de Rolamento das Rodas Traseiras
g	Força da Gravidade
h	Distância (em y) entre piso e Centro de Massa
m	Massa do Conjunto (cadeira, usuário, patinete, acoplamento)
N_d	Normal da Roda Dianteira
N_t	Normal das Rodas Traseiras
P	Força Peso do Conjunto (cadeira, usuário, patinete, acoplamento)
S	Projeção da Área Vista de Frente
t	Distância (em x) entre Normais Traseira e Centro de Massa
v	Velocidade Instantânea

Agradecimentos

A equipe agradece a equipe de professores, e aos colegas que apoiaram o desenvolvimento deste projeto. Agradecemos ao Professor Jeferson José de Carvalho, do Insper, pelo seu auxílio nas atividades de corte e solda das peças do protótipo, contribuindo significativamente para a realização deste trabalho, ao professor Caio Fernando Rodrigues dos Santos, Frederico Augusto Alem Barbieri e Israel Ferreira Alves, pelas dicas e direcionamentos nas modelagens e simulações.

Agradecemos, em especial, Jhony Ferreira Cruz Zuim, idealizador do projeto, pela contribuição com feedbacks e sua visão como usuário. Sua generosidade em compartilhar sua experiência pessoal como cadeirante foi fundamental para que o grupo compreendesse, com mais profundidade e empatia, as reais necessidades e os desafios enfrentados no dia a dia. Sua disposição em dividir seu próprio projeto conosco e oferecer ideias práticas e valiosas tornou possível o desenvolvimento de soluções mais inclusivas, funcionais e centradas no usuário. Sem sua participação, este trabalho não teria alcançado o mesmo nível de sensibilidade e relevância social.

Sua disposição em dividir seu próprio projeto conosco e oferecer ideias práticas e valiosas tornou possível o desenvolvimento de soluções mais inclusivas, funcionais e centradas no usuário. Sem sua participação, este trabalho não teria alcançado o mesmo nível de sensibilidade e relevância social.

2. Introdução

A locomoção autônoma e eficiente em ambientes urbanos ainda está distante para pessoas que utilizam cadeiras de rodas. Uma das soluções atuais do mercado é o Kit Livre, um dispositivo robusto que tem um preço base de R$ 10.000,00. Este projeto busca enfrentar essa limitação por meio do desenvolvimento de um sistema de acoplamento de dois módulos que une um patinete elétrico a uma cadeira de rodas. Um dos módulos é fixado à estrutura da cadeira de rodas e outro é acoplado ao patinete elétrico (Figura 1). A solução deve ser leve, ergonômica, de montagem simples e compacta, permitindo o uso em ambientes com limitações de espaço, como elevadores ou locais de difícil acesso, e com custo inferior às opções atualmente disponíveis no mercado. Esta iniciativa é conduzida em parceria com a empresa Cicloway, especializada em mobilidade sustentável, e conta com apoio do Insper, Instituto de

Ensino e Pesquisa. O relatório a seguir descreve os planos, decisões técnicas e procedimentos adotadas pelo grupo ao longo do desenvolvimento do projeto.

Figura 1 – Apresentação do grupo e do dispositivo final no damoday (Insper 2025)

2.1 Origem do Desafio

O Projeto inicia a partir de uma demanda real identificada pela empresa parceira Cicloway de um cliente em 2022. Jhony Ferreira Cruz Zuim, um usuário de cadeira de rodas desde 2009, desenvolveu um sistema de acoplamento para unir um patinete elétrico à sua cadeira de rodas. A cadeira monobloco e o patinete foram modificados para permitir a união.

A fim de tornar a solução escalável e evitar um esforço constante de customização das cadeiras por parte da Cicloway, elas não podem ser alteradas. Pensando nisso, o grupo do Insper contribui através do desenvolvimento de uma solução de acoplamento universal.

2.2 Objetivo do Projeto

O projeto tem como finalidade desenvolver uma solução de mobilidade assistiva que atenda às principais necessidades dos usuários de cadeira de rodas, promovendo mais autonomia e eficiência na locomoção urbana. Os objetivos específicos são:

- Facilitar a locomoção de pessoas que utilizam cadeiras de rodas via motorização elétrica;

- Projetar um dispositivo de acoplamento modular entre um patinete elétrico e uma cadeira de rodas manual do tipo monobloco, utilizando conceitos de engenharia mecânica para garantir integridade estrutural e ergonomia;
- Oferecer uma alternativa às soluções existentes no mercado que seja acessível financeiramente e adaptável ao uso em ambientes internos e externos;
- Maximizar a autonomia do usuário por meio de uma estrutura compacta, de montagem simples e com fácil encaixe e desencaixe;

2.3 Escopo do Projeto

O escopo do Projeto Final *Capstone* abrange o desenvolvimento de um protótipo funcional do sistema de acoplamento entre patinete e cadeira de rodas, incluindo o projeto mecânico completo, análises computacionais, fabricação e ensaios. A modelagem 3D é realizada com o software Siemens NX (ferramentas de CAD/CAE disponibilizadas pelo Insper), permitindo a análise de diferentes configurações de montagem entre a cadeira de rodas e o patinete. Nas análises foram consideradas limitações geométricas, pontos de fixação disponíveis e resistência do material.

3. Fundamentação Teórica e Pesquisa Inicial

Nesta seção são apresentados os principais estudos e levantamentos iniciais que fundamentam o desenvolvimento do projeto. Em seguida, uma síntese das informações obtidas na entrevista com o Jhony é disponibilizada e uma breve comparação de soluções já existentes no mercado. As comparações possibilitam identificar os requisitos e diferenciais esperados para o desenvolvimento do dispositivo proposto.

3.1 Entrevista com Usuário com dificuldade física de mobilidade

Uma entrevista pré-estruturada é realizada com o Jhony como parte da pesquisa inicial, devido ao fato dele possuir experiência prévia com outras soluções do mercado e representar o público alvo do produto em desenvolvimento. O objetivo da entrevista é a coleta de informações da rotina, dificuldades, experiências e sugestões de melhorias, visando desenvolver um sistema eficiente e seguro.

Jhony destaca que sua rotina prioriza independência e praticidade. Destaca também, a preferência em utilizar o patinete para percorrer distâncias mais longas, pois considera mais vantajoso do que desmontar e remontar sua cadeira de rodas. Sempre que possível, opta por se

locomover sozinho, evitando depender de veículos ou auxílio de terceiros. Além do patinete, utiliza transporte público, como ônibus e metrô. No metrô, relata não enfrentar dificuldades, já no ônibus, Jhony aponta que o elevador é pouco conveniente, o que o leva a preferir não utilizar este último desacompanhado. No ambiente urbano, utiliza escadas rolantes com cautela, sem necessidade de desmontar sua cadeira.

Em relação ao uso de tecnologias assistivas, Jhony possui ampla experiência com diferentes modelos. Entre os que testou, destaca o Kit Livre, que considerou funcional, mas avalia como grande, pesado e pouco prático para quem vive em prédios. Também tentou adaptar um monociclo, sem sucesso, e considera o uso de duo ciclos inseguros. Para ele, qualquer solução voltada à mobilidade assistiva deve, obrigatoriamente, ser leve, compacta, segura e prática.

Jhony sugere diversas melhorias para aperfeiçoar o sistema atual que utiliza. Um dos principais pontos é a necessidade de melhorar a aderência dos pneus, evitando a patinação, tanto em subidas, quanto em arrancadas. Além disso, aponta que o sistema de freios precisa ser mais eficiente e seguro, evitando desativações involuntárias. Atualmente, se o patinete perde contato com o chão, o motor interpreta que não há necessidade de frear, comprometendo a segurança. Para contornar essa falha, o equipamento precisa ser reiniciado manualmente. Uma possível solução é a implementação de um sistema de freio mecânico por manete.

Outros ajustes mencionados incluem a necessidade de adaptação da altura e posição do guidão, garantindo maior equilíbrio e controle, além de melhorias na suspensão, a fim de reduzir os ruídos e impactos durante o trajeto. Jhony também destaca a dificuldade que encontra para vencer subidas sem o auxílio das mãos, evidenciando a importância de aprimorar a tração e desempenho do sistema. Sugere ainda, uma mudança no controlador do patinete, permitindo partidas mais suaves, reduzindo a velocidade de partida de 5km/h para 1 km/h.

Jhony compartilha algumas experiências positivas: A iluminação frontal do equipamento foi ajustada por ele, melhorando significativamente a visibilidade. Jhony se sente seguro ao circular em ruas de baixo tráfego, especialmente com o uso da sinalização luminosa.

Jhony compartilhou que há 16 anos sofreu um acidente que lhe tirou a capacidade de andar. Conheceu a Cicloway por meio do EFS (grupo de veículos elétricos) e começou a testar adaptações artesanais para acoplar patinetes à sua cadeira, inicialmente utilizando uma cadeira dobrável, encontrada em postos de saúde e hospitais. Contudo, essa estrutura não suporta as tensões geradas pelo patinete, o que levou à utilização de uma cadeira de rodas do tipo monobloco, mais resistente e preferida por usuários com mobilidade ativa.

Jhony enfatiza que independência e agilidade são os fatores mais relevantes para sua mobilidade diária. As soluções desenvolvidas devem priorizar esses aspectos, garantindo segurança, praticidade e conforto. As informações obtidas nesta entrevista foram fundamentais para identificação dos pontos críticos do modelo atual e guiar futuras melhorias no projeto.

3.2 Soluções Comerciais Existentes

Além da experiência do usuário, uma pesquisa é conduzida sobre produtos comerciais semelhantes, nacionais e internacionais, para situar o projeto em relação ao estado da arte. A seguir, comparam-se brevemente essas soluções com o dispositivo desenvolvido:

- Kit Livre (Brasil): O Kit Livre é um acessório motorizado nacional, já consolidado no mercado, capaz de transformar cadeiras de rodas manuais em triciclos elétricos. Ele consiste em uma roda motorizada frontal que se acopla à cadeira, permitindo atingir até 20 km/h de velocidade, com autonomia média de 25 km. O Kit Livre foca na locomoção em ambientes externos, tendo capacidade de andar em terrenos irregulares e inclinações de 22°. Foi desenvolvido originalmente em 2012 como parte de um projeto acadêmico e teve sua patente registrada no INPI no mesmo ano, resultando posteriormente na criação de uma startup de sucesso (ALVES, Júlio Oliveto, 2017);
- Soluções internacionais: No exterior, há kits análogos ao Kit Livre, como o Rio Mobility Firefly (Estados Unidos) ou os módulos da Batec Mobility (Espanha), que seguem um princípio similar de acoplar um módulo frontal motorizado à cadeira de rodas manual. Em geral, esses produtos priorizam alto desempenho para uso externo, com baterias de grande capacidade, o que aumentam muito o peso e tamanho do conjunto e com preços superando US$ 4.000,00. (Batec Mobility S.L., 2023; Kylstra, 2024) e (Kylstra, 2024).

Em comparação às soluções acima, o dispositivo apresentado neste documento se destaca pelo seu preço competitivo, dimensões compactas e peso reduzido.

3.3 Seleção dos componentes e delimitação do escopo

Com base nas demandas identificadas na entrevista (Seção 3.1), e na análise das soluções já existentes (Seção 3.2), delimita-se a seguir o escopo técnico do projeto com a cadeira de rodas monobloco rígido como modelo base para o desenvolvimento dele.

Cadeiras com estrutura rígida demandam menor impulso do usuário e, consequentemente, apresentam maior eficiência de propulsão em comparação aos modelos dobráveis (Dudgeon et al., 2008). Além de otimizar a transferência de força pelos aros, o design monobloco possibilita ajustes posturais finos, como altura do assento e inclinação do encosto (Wang, 2017), atendendo a uma gama mais ampla de usuários.

3.4 Questões Éticas e Profissionais

A experiência do usuário está sempre em foco, todas as interações do grupo com pessoas envolvidas (usuários finais, parceiros da Cicloway etc.) são conduzidas de forma respeitosa e transparente, reconhecendo que os indivíduos possuem experiência de vida e conhecimento prático valiosos sobre o desafio em questão. Esse respeito mútuo promove um ambiente de troca de ideias enriquecedor e fundamenta decisões de projeto mais embasadas nas reais necessidades das pessoas que utilizam de cadeiras de rodas por alguma disfunção ou deficiência.

Além disso, há o cuidado de preservar informações confidenciais da empresa parceira. A Cicloway, ao fornecer dados técnicos e compartilhar o conhecimento, solicita discrição quanto a detalhes estratégicos. Assim, toda e qualquer divulgação de informações do projeto é previamente aprovada pela diretoria da empresa, isso garante que apenas aspectos técnicos relevantes ao objetivo do relatório são apresentados, sem expor segredos comerciais ou dados sensíveis.

Por fim, a equipe incorpora a responsabilidade socioambiental pregada pela Cicloway. A empresa tem como missão desenvolver veículos elétricos menos poluentes que veículos a combustão, contribuindo para um futuro mais sustentável. Alinhado a isso, o projeto busca soluções que utilizem a tecnologia elétrica já disponível (no caso, o patinete), para melhorar a mobilidade de forma limpa. Essa consciência ambiental guia escolhas como a manutenção do sistema elétrico original do patinete, evitando modificações que reduzissem sua eficiência energética, e a consideração de materiais e processos produtivos sustentáveis sempre que possível.

3.5 Riscos Envolvidos

Um dos pontos centrais deste projeto é melhorar a vida de pessoas com mobilidade reduzida, tornando-a mais dinâmica e acessível, com investimento relativamente baixo por parte do usuário. Para alcançar nosso objetivo de forma responsável, é preciso identificar e antecipar os riscos potenciais associados à concepção, fabricação e uso do dispositivo ao longo do desenvolvimento do projeto.

Dentre os possíveis riscos mapeados, destacam-se questões relativas à segurança e saúde do usuário (por exemplo, o risco de quedas ou lesões caso o acoplamento falhe ou seja utilizado incorretamente), desafios técnicos (como falhas mecânicas, problemas elétricos ou desgaste prematuro de componentes), riscos operacionais (dificuldades na montagem/desmontagem pelo usuário, necessidade excessiva de manutenção), e riscos financeiros (custos de produção elevados que inviabilizem a comercialização a preço acessível). Adicionalmente, considera-se o risco de baixa aceitação pelos usuários, caso o produto não atenda plenamente às expectativas em termos de facilidade de uso ou ganho de mobilidade.

Para mitigar esses riscos, diversas ações são planejadas. Realizar análises de falha e efeito já na fase de projeto, pontos de possível ruptura ou mau funcionamento e propor redundâncias ou reforços quando necessário. Cuidados especiais são dedicados à segurança, por exemplo, projetar o mecanismo de conexão com travamentos seguros para evitar desconexão acidental em movimento. Também é considerada a resiliência do dispositivo em condições adversas (chuva, terreno irregular, impactos leves), selecionando materiais e soluções construtivas robustas. Do ponto de vista da usabilidade e aceitação, as decisões de projeto passam por validações com usuários durante o processo (como será detalhado na metodologia), de modo a incorporar feedback e garantir que o resultado é realmente aderente às necessidades do público. Assim, ao longo do projeto, riscos potenciais são identificados e tratados de forma proativa, aumentando as chances de sucesso e de impacto positivo da solução desenvolvida.

3.6 Recursos necessários

Além de passar pelo processo criativo de brainstormig de soluções, o grupo realiza a construção do modelo 3D do projeto, para utilização de simulações virtuais, a fim de visualizar o funcionamento projetado, e se é capaz de suportar as condições impostas pelo grupo, além de verificar a viabilidade de produção. Todas as simulações são feitas em um software de

modelagem e simulação 3D, Siemens NX, do qual o Insper possui licença para uso durante a graduação.

Uma vez que a ideia é validada no Siemens NX, e é fabricada, é necessário o teste prático para validação sob novas condições e, se possível, aplicar melhorias ao projeto. Para realizar ostestes, o grupo realiza deslocamentos externos e internos ao Insper, nos laboratórios e na oficina da Cicloway.

Outras ferramentas utilizadas pelo grupo foram: paquímetro para medição das peças do patinete fornecidas pela Cicloway, multímetro para medição da corrente no teste de torque do motor, fio de nylon, sargentos tipo C, fita crepe, bancada de trabalho.

3.7 Gestão do Projeto

O grupo tem um cronograma de entregas, seguindo metodologias e abordagens como Análise de Requisitos (Entrevistas com parceiros e usuários) e Funcional (Matriz Função e Solução), Modelagem e Simulação (CAD/CAE), Prototipagem, Testes Funcionais e de Desempenho, Documentação e Validação.

A cada etapa concluída do projeto o grupo designa tarefas para que cada membro do grupo fique responsável por alguma atividade no projeto, sempre buscando categorizar em nível de dificuldade e fazendo a distribuição de tarefas da forma equilibrada entre os membros.

3.8 Mapeamento dos stakeholders

A Tabela 1 apresenta o mapeamento dos principais stakeholders envolvidos no desenvolvimento do projeto. São destacados os nomes, posições e papéis desempenhados por cada um dos participantes durante as etapas de concepção, execução e testes da solução. Esse mapeamento é essencial para compreender as responsabilidades e contribuições de cada ator-chave, garantindo o alinhamento entre as demandas da empresa parceira, os recursos técnicos disponíveis e a experiência do usuário final.

Stakeholder	Posição	Papel no Projeto
João Hannud	Diretor da Cicloway	Acompanhamento do projeto, realização de reuniões de alinhamento de expectativas

Tiago Lima	Técnico-Chefe da Cicloway	Contato com Oficina, fornecimento de materiais e equipamentos da oficina, conexões coma a equipe de manutenção.
Jhony Ferreira Cruz Zuim	Persona e idealizador do projeto	Usuário: participação em discussões de ideias para as adaptações, candidato aos testes iniciais do projeto

Tabela 1 - Tabela de Mapeamento dos Stakeholders

4. Metodologia

Uma vez que o escopo é definido com a Cicloway, o grupo define o planejamento da execução do projeto. É definida a seguinte metodologia de execução: Primeiro, um brainstorming de ideias, discutindo todas as demandas do projeto, e como podem ser priorizadas. Com os passos claros e bem definidos, a organização e divisão das atividades em grupos maiores garantem o andamento contínuo e completo do projeto.

É definido que antes da fabricação do protótipo, são necessários os cálculos teóricos, seguidos do analítico. Com os cálculos feitos, é iniciada a etapa de modelagem e simulação. Aprovados os modelos e as análises, é realizado os detalhamentos e documentações das peças e iniciadas as fabricações.

4.1 Brainstorm

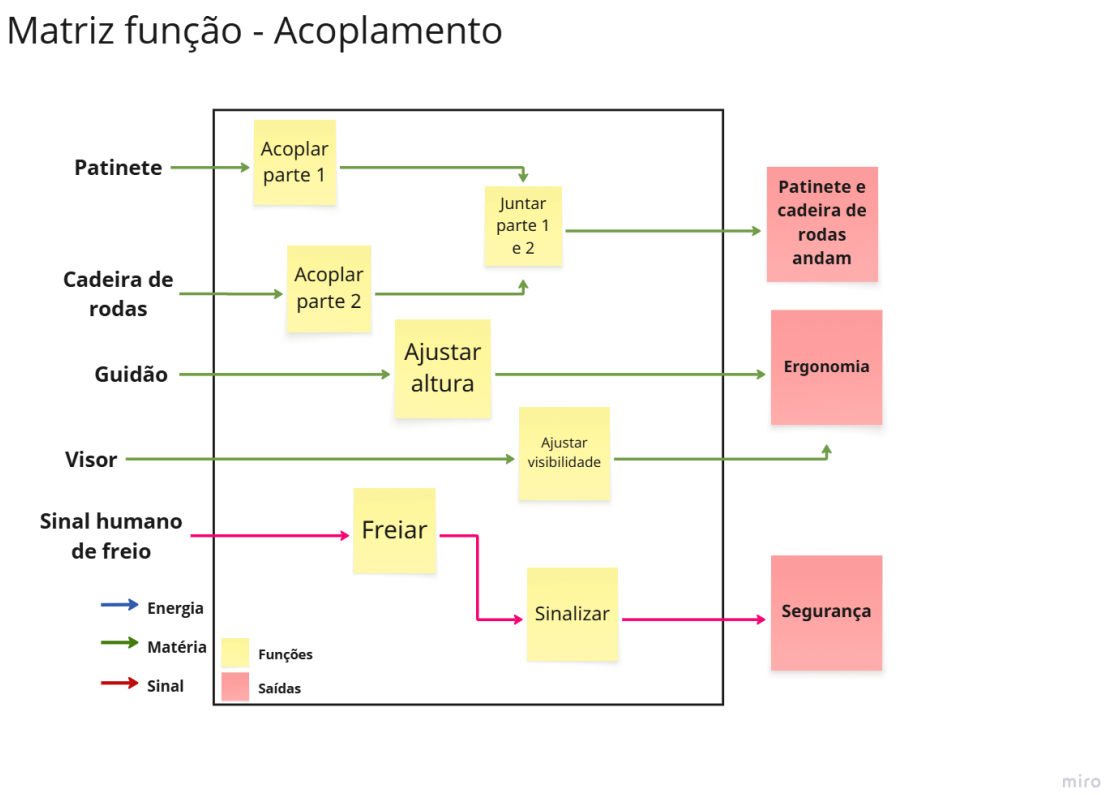
Após a definição do escopo do projeto, há uma sessão de brainstorming com o objetivo de identificar e organizar os principais requisitos, conforme figura 2, ideias e pontos críticos relacionados ao desenvolvimento do adaptador entre o patinete elétrico e a cadeira de rodas. O método é utilizado para levantar, de forma colaborativa, soluções técnicas e funcionais que atendem aos critérios definidos anteriormente: baixo custo, segurança, ergonomia, facilidade de montagem, acessibilidade, e viabilidade prática.

Figura 2 - Brainstorming gerado na plataforma Miro.

4.2 Matriz Função

A matriz função estabelece o fluxo de funções para o desenvolvimento do produto, definindo as entradas e saídas essenciais para orientar os passos futuros do projeto. A Figura 3 apresenta a estrutura desse fluxo, destacando os principais elementos considerados na concepção do sistema.

Figura 3 – Matriz função gerada na plataforma Miro.



As entradas são definidas com base nas ações vinculadas ao funcionamento do dispositivo e nos aspectos relacionados ao usuário da união entre patinete e cadeira de rodas. Dentro da matriz, as funções representam verbos que devem ser atendidos às entradas, e transformados nas saídas em soluções viáveis.

4.3 Matriz Solução

A Matriz Solução é uma ferramenta essencial no processo de desenvolvimento de produtos, especialmente útil para organizar, visualizar e comparar diferentes alternativas técnicas para atender às funções definidas no projeto. Ela facilita a tomada de decisão, garantindo que cada função do produto tenha soluções viáveis e bem pensadas.

No contexto do projeto, a Matriz Solução é aplicada para estruturar as possíveis soluções técnicas relacionadas ao desenvolvimento do adaptador para transformar cadeiras de rodas em triciclos elétricos, utilizando a frente de um patinete elétrico. A matriz é dividida em oito funções principais que o produto precisa cumprir, estas estão indicadas na Figura 4.

Figura 4 – Matriz Solução gerada na plataforma Miro.

Na figura 4, temos a matriz solução, da qual é possível visualizar claramente as opções disponíveis, facilitando a escolha das soluções para cada função necessária.

4.4 Pesquisas de possíveis implementações

Pesquisas contribuem para determinar funções ou disposições que podem ser implementadas no projeto, voltadas ao lado ergonômico do produto para trazer experiência no uso.

4.4.1 Ergonomia

Um aspecto considerado no desenvolvimento do projeto é a ergonomia, visto que tudo trata-se de uma questão que envolve a utilização humana, sendo um tema ainda mais delicado quando envolve pessoas com mobilidade reduzida. A antropometria é o principal tópico estudado, pois ela analisa as medidas humanas para dimensionamentos adequados. Para garantir conforto, segurança e eficiência, esse estudo deve ter como pilares definir as características do usuário, identificar possíveis variações, realizar medições diretas em uma amostra e testar o protótipo do produto. Ao longo do tempo, o corpo das pessoas muda de forma e tamanho por diversas razões e o organismo de cada indivíduo é diferente, o que torna importante pensar em formas de tornar a adaptação a melhor possível para o público-alvo.

Com base em princípios ergonômicos e dados antropométricos, a melhor configuração de direção para o usuário do patinete é definida. Os braços devem permanecer em um ângulo confortável, com uma distância adequada entre o usuário e o guidão, levando em consideração o comprimento do antebraço e a postura sentada. Essas diretrizes permitem ajustar a altura e a

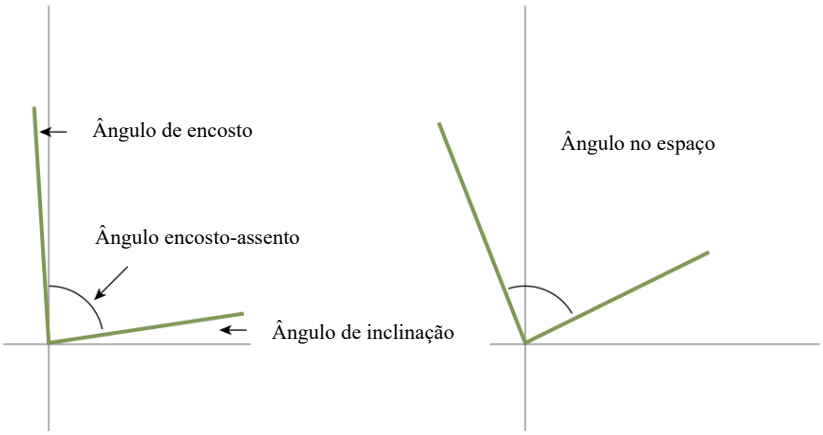
posição do guidão de forma a proporcionar conforto, segurança e facilidade de controle. Além disso, o ajuste de regulagem vertical do guidão permite a configuração da altura ideal, possibilitando uma posição de condução adequada ao perfil físico do usuário (IIDA; BUARQUE, 2016).

Um fator crucial para o sucesso da integração entre a cadeira de rodas e o patinete é a identificação da zona de alcance máximo e preferencial do braço na posição sentada. Essa zona refere-se ao espaço que o usuário pode atingir de forma confortável e sem esforço, garante que os controles e pontos de apoio estejam estrategicamente posicionados para facilitar a manobra e a operação segura do dispositivo. Dados antropométricos e os relatos obtidos em entrevistas, demostram a posição preferencial dos braços, mostrada na Figura 5. A análise dessa zona contribui para identificar a região mais confortável para o condutor, otimizando o ajuste e promovendo uma experiência ergonômica.

Figura 5 - Posição ideal dos braços para a direção, segunda o entrevistado.

Brian Dundgeon (4) cita que o ângulo entre as costas e a perna de uma pessoa sentada (conhecido na literatura como *seat-to-back angle*) não pode ser menor do que 90°, enquanto a inclinação do assento em si (conhecido na literatura como *seat-plane angle*) não tem restrições por parte do autor (Figura 6).

Figura 6 - Exemplos de Inclinação da Cadeira



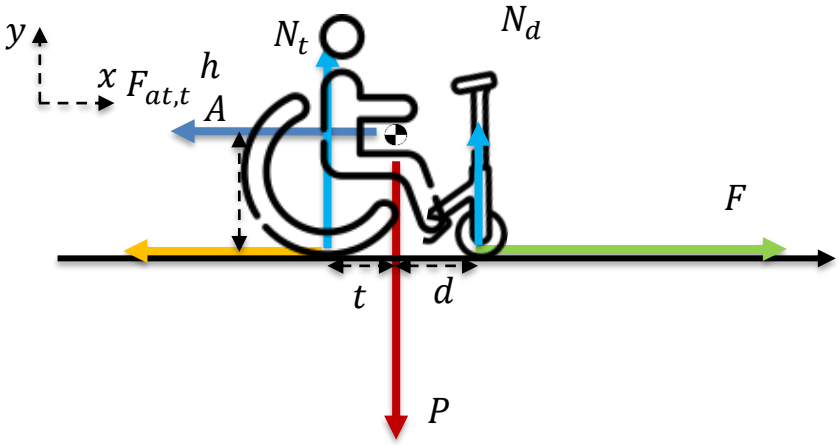
Durante o artigo, Brian também menciona a importância de os cotovelos estarem dobrados a aproximadamente 90°, evitando estresse nas articulações e músculos do braço

4.5 Montagem do Diagrama de Corpo Livre

Dagrama de Corpo Livre (ou DCL) é o desenho esquemático de todas as forças que atuam em um corpo quando este é isolado do sistema ao qual pertence. O grupo, então, monta o Diagrama de Corpo Livre para três situações (sem inclinação, inclinação para cima e inclinação para baixo) com o objetivo de analisar seu movimento de forma isolada (figuras 7, 8 e 9, equações 1 a 9):

Sem inclinação, em movimento

Figura 7 – Dispositivo em movimento sem inclinação



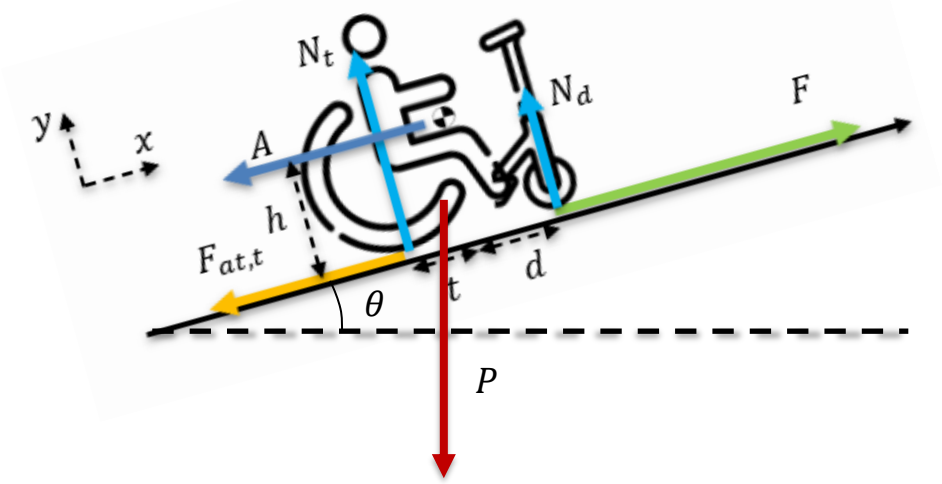
$$\sum F_y = 0 \therefore N_t + N_d - P = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_x = m \cdot a \;\therefore\; F - F_{at,t} - A = m \cdot a \tag{2}$$

$$\sum M_{G\circlearrowleft} = 0 \;\therefore\; N_d \cdot d + F \cdot h - N_t \cdot t - F_{at,t} \cdot h \tag{3}$$

Inclinação para cima, em movimento

Figura 8 – Dispositivo em movimento de descida



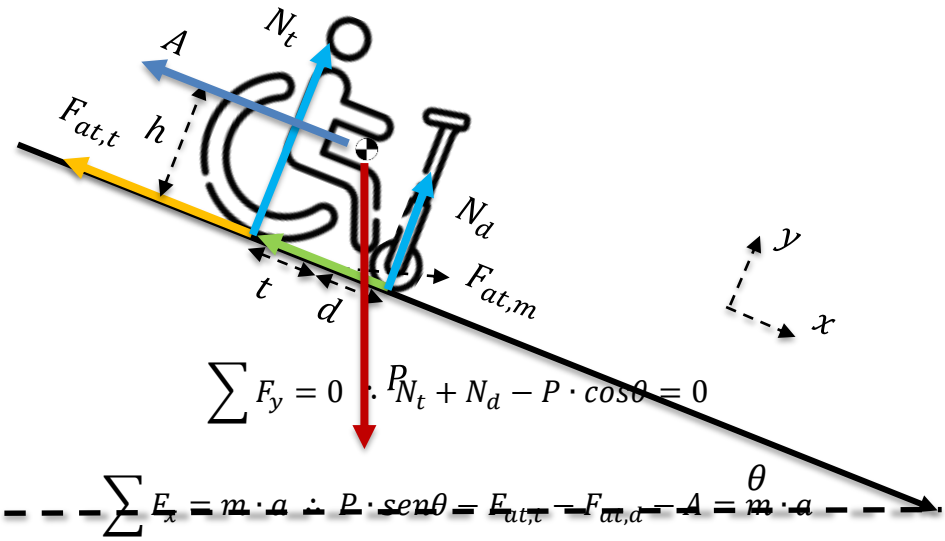
$$\sum F_y = 0 \;\therefore\; N_t + N_d - P \cdot cos\theta = 0 \tag{4}$$

$$\sum F_x = m \cdot a \;\therefore\; F - F_{at,t} - P \cdot sen\theta - A = m \cdot a \tag{5}$$

$$\sum M_{G\circlearrowleft} = 0 \;\therefore\; N_d \cdot d + F \cdot h - N_t \cdot t - F_{at,t} \cdot h \tag{6}$$

Inclinação para baixo, em movimento

Figura 9 – Dispositivo em Movimento de Subida



$$\sum F_y = 0 \;\therefore\; N_t + N_d - P \cdot cos\theta = 0 \tag{7}$$

$$\sum F_x = m \cdot a \;\therefore\; P \cdot sen\theta - F_{at,t} - F_{at,d} - A = m \cdot a \tag{8}$$

$$\sum M_{G\circlearrowleft} = 0 \;\therefore\; N_d \cdot d - N_t \cdot -F_{at,t} \cdot h - F_{at,m} \cdot h \tag{9}$$

Essas equações são utilizadas para calcular o ângulo de inclinação e velocidade máximos teóricos para o deslocamento do dispositivo, como é mostrado mais adiante no relatório.

Em um experimento, é imobilizado um dispositivo de forma a deixar apenas as rodas traseiras rodarem sob 2 roletes. Essa rotação é medida por um encoder e é lida por um programa, onde outras variáveis como circunferência da roda traseira, circunferência do cilindro, peso do usuário, constante de torque do motor, entre outras. Com isso, alguns outros valores são medidos como corrente (bateria e motor), tensão no motor, torque, a fim de calcular os demais, como tensão na bateria, eficiência no motor e velocidade linear (Akkaya at al., 2019).

No artigo é dito que o torque do mortor é diretamente proporcional à corrente no mesmo. Saber tal torque é importante para calcular o ângulo de inclinação máximo que o dispositivo consegue subir para uma determinada massa.

Outro artigo detalha a criação de um veículo elétrico de três rodas ergonômico e prático para pessoas com deficiências físicas, abordando, por exemplo, temas como resistência do ar e atrito de rolamento, forças fundamentais para o esboço do DCL (Magibalan et al., 2022). São utilizadas as seguintes equações:

$$A = 0.5 \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 \tag{10}$$

$$F_{at} = N \cdot \mu_r \tag{11}$$

O grupo usou como benchmark os valores de C, ρ, μr utilizados no artigo, que são 1.1, 1.2 [kg/m³], 0.07 respectivamente. Saber a velocidade de arrasto e o atrito de rolamento na roda é importante para calcular a velocidade máxima que o dispositivo consegue atingir para uma determinada massa.

4.6 Experimentação

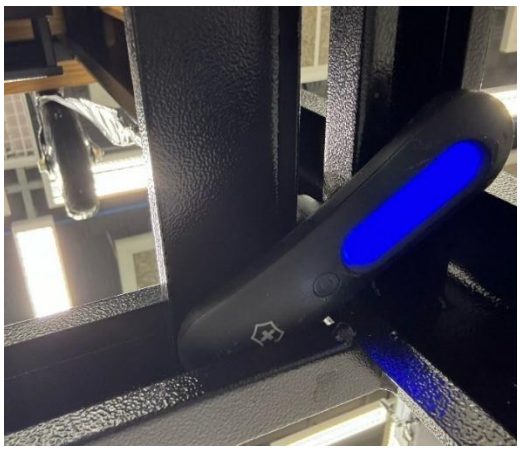
4.6.1 Levantamento do torque máximo

Para chegar no torque máximo do motor dada uma corrente específica, o grupo realiza um experimento no qual o patinete é apoiado na mesa com as rodas para fora e preso por sargentos tipo C na mesma (Figura 10). Com a roda da frente exposta (Figura 11), uma balança de carga é tracionada por uma fita *Duct Tape* para descobrir a força gerada pelo torque (Figura 12).

Figura 10 – Patinete preso à bancada de trabalho

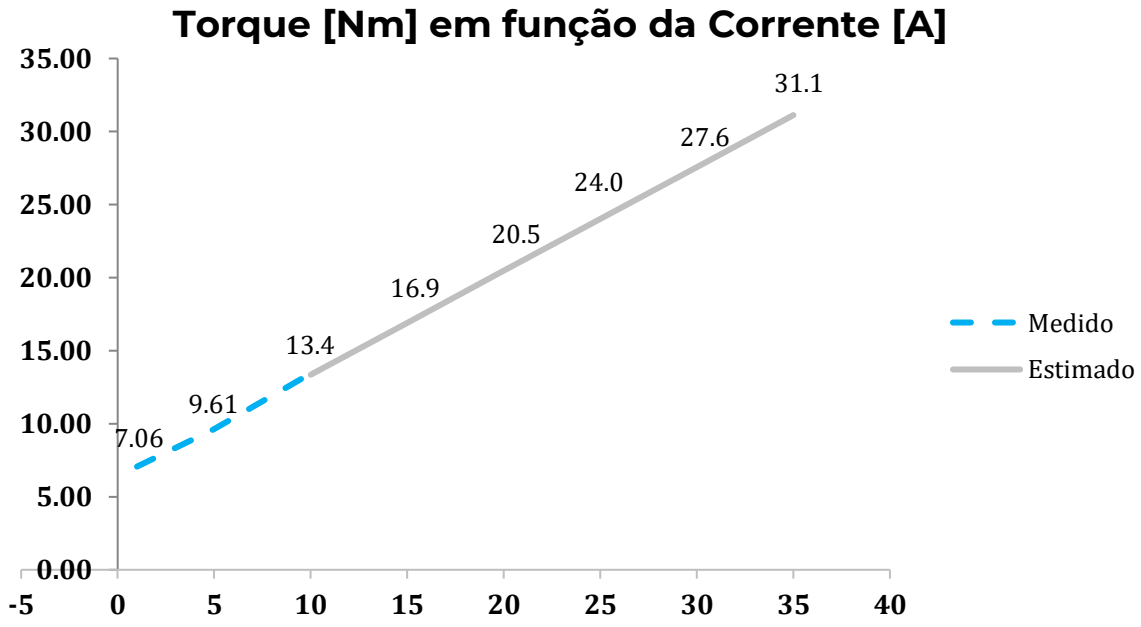
Figura 11 – *Duct tape* tracionando motor

Figura 12 – Balança de carga presa e tracionada



Para não sobrecarregar nenhum dos componentes do experimento, o grupo limita a corrente do motor para algo perto de 10 A (um terço da corrente máxima). O experimento consiste em apertar o botão do acelerador cautelosamente, até chegar na aceleração máxima (corrente máxima para tal configuração). Então o teste é repetido 4 vezes, encontrando uma média entre os valores de torque para cada corrente, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Torques medidos e estimados em função da corrente



Não foi possível realizar medições com correntes acima de 10 amperes, porém o comportamento dos dados medidos se assemelhava a uma reta, logo foram estimados os torques do motor para as correntes de 15, 20, 25, 30 e 35 amperes, sendo 31,126 Nm o maior valor de torque que o motor proporcionaria.

Dessa forma foi possível calcular o ângulo de subida e velocidade máximos do dispositivo:

Para calcular o ângulo máximo de subida é utilizada a Equação 5:

$$\sum F_x = m \cdot \mathrm{a} \;\therefore\; F - F_{at,t} - P \cdot sen\theta - A = m \cdot \mathrm{a} \qquad (5)$$

Considerando que no limite teórico o patinete não se movimenta (está parado na subida), a resultade de forças é 0 (assim como a aceleração), não há velocidade, logo a força de arrasto é 0 e a tração do motor equilibra o peso, logo a força de atrito também é nula.

$$\sum F_x = m \cdot \mathrm{a} \;\therefore\; F - \cancel{F_{at,t}} - P \cdot sen\theta - \cancel{A} = m \cdot \cancel{\mathrm{a}} \qquad (5)$$

$$F = P \cdot sen\theta \qquad (12)$$

$$\frac{T/r}{m \cdot g} = sen\theta \qquad (13)$$

$$T/r = m \cdot g \cdot sen\theta \tag{14}$$

$$arcsen\left(\frac{T/r}{m \cdot g}\right) = \theta \tag{15}$$

Substituindo o valor máximo do torque apontado pela Figura 13 de $31{,}126Nm$, o raio da roda do patinete de $0{,}1m$ e uma massa do conjunto de $120kg$ na Equação 15, tem se que o ângulo máximo de subida do dispositivo com uma pessoa de 95kg é de $\mathbf{15,3°}$

Ou seja, o dispositivo tem capacidade de subir grande parte das ruas que os usuários passariam por em seu dia a dia.

Para calcular a velocidade máxima que o conjunto pode chegar é utilizada a Equação 2:

$$\sum F_x = m \cdot \mathrm{a} \;\therefore\; F - F_{at,t} - A = m \cdot \mathrm{a} \tag{2}$$

Considerando que na velocidade limite o dispositivo estará sobre resultante de forças em x nula, a aceleração é 0:

$$\sum F_x = m \cdot \mathrm{a} \;\therefore\; F - F_{at,t} - A = m \cdot \mathrm{a} \tag{2}$$

$$F - F_{at,t} = A \tag{16}$$

Ou seja:

$$\frac{T}{r} - 2 \cdot N_t \cdot \mu_r = 0.5 \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 \tag{17}$$

Sabe-se que:

$$T = \frac{P}{w} = \frac{P \cdot r}{v} \tag{18}$$

$$2 \cdot N_t = m \cdot g \cdot \frac{d}{t + d} \;\therefore \tag{19}$$

Substituindo as Equações 18 e 19 na Equação 17, tem-se que:

$$\frac{P}{v} - m \cdot g \cdot \frac{d}{t+d} \cdot \mu_r = 0.5 \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 \tag{20}$$

$$0 = \left(0.5 \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \frac{d}{t+d} \cdot \mu_r\right) \cdot v - P \tag{21}$$

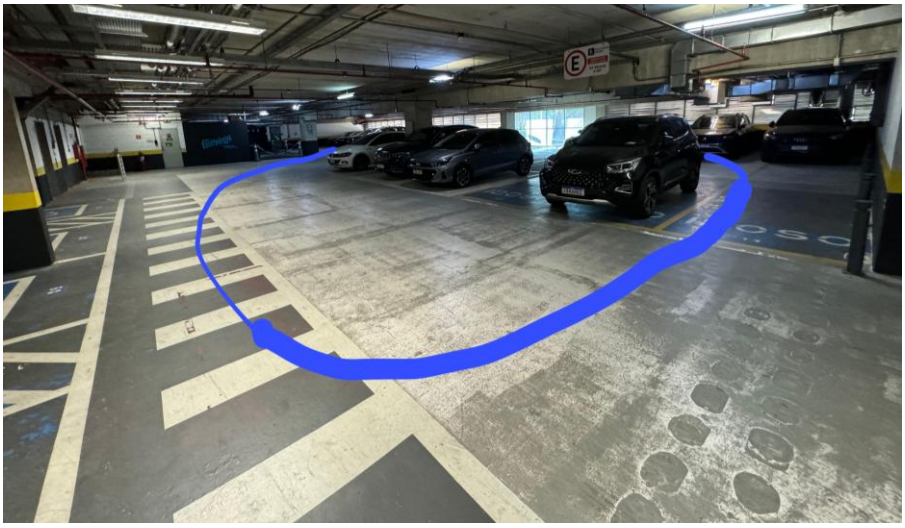
Com a Equação 21, é possivel encontrar um valor de velocidade máxima para qual a equação se satisfaz substituindo os outros valores na equação e variando v até encontrar um valor final suficientemente próximo a 0.

Utilizando como benchmark o valor de C, ρ, μ_r de Magibalan et al. (2022) de 1.1, $1.2kg/m^3$, 0.07 respectivamente, uma massa do conjunto de $120kg$, a aceleração da gravidade de 9.81m²/s, a potência nominal de 300W do motor e assumindo um valor de S de 0.5 m², tem-se que a velocidade máxima que o dispositivo pode alcançar com uma pessoa de 95 kg é de 4,63 m/2 ou 16,67 km/h.

4.6.2 Teste de desempenho com variação de massa

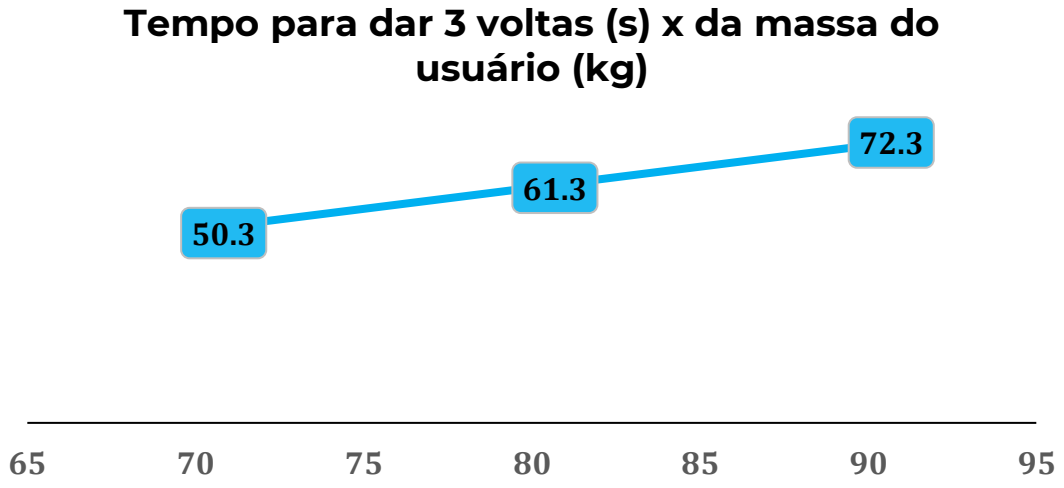
A fim de entender o desempenho do dispositivo em relação a massa do usuário em cima dele, o grupo realiza um experimento no qual varia-se o peso carregado num trajeto específico e mede-se o tempo para completar o mesmo 3 vezes para cada massa. O trajeto consiste em 3 voltas partindo de velocidade 0 dentro do estacionamento do insper (Figura 14).

Figura 14 - Trajeto dentro do estacionamento do Insper.



As massas para cada teste são: Matheus (massa de 70kg), Guilherme (massa de 80kg) e Guilherme com uma adiçao de massa de 10kg (massa total de 90kg). As médias de tempo por percurso em função das massa são apresentadas na Figura 15:

Figura 15 - Tempo de percurso em função do tempo



Esse experimento evidencia que o aumento de massa carregada impacta de forma inversamente proporcional no desempenho do dispositivo. No entanto, é importante ressaltar que o teste foi em um trjeto curto, onde o tempo para atingir a velocidade máxima impacta de forma mais significativa no tempo medido. Para trajetos longos, a variação de massa tende a impactar menos no tempo do trajeto, já que o dispositivo vai andar na sua velocidade máxima por mais tempo.

5. Análise Técnica

5.1 Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento sucede a etapa de concepção teórica do projeto, marcando a transição do levantamento de ideias e pesquisas para a materialização do produto. Essa fase abrange a aplicação prática dos conceitos estudados, a validação de hipóteses técnicas e a construção de um protótipo funcional. Modelagens e simulações são conduzidas com o objetivo de prever o comportamento estrutural dos componentes, enquanto a fabricação das peças acorre em paralelo, acompanhando os resultados das análises computacionais.

5.1.1 Modelagem e Simulação

A modelagem tridimensional do dispositivo de acoplamento é realizada no software Siemens NX, ferramenta de engenharia assistida por computador (CAD/CAE). A modelagem permite a análise de diferentes configurações de montagem entre a cadeira de rodas e o patinete, levando em consideração limitações geométricas, pontos de fixação e liberdade de movimento do usuário.

O conjunto desenvolvido, cadeira-patinete, faz o acoplamento por meio do dispositivo ilustrado na Figura 16. O sistema de acoplamento é dividido em duas partes principais: a primeira conectada à estrutura da cadeira de rodas (Figura 17) e a segunda, adaptada ao patinete (Figura 18). Todo o conjunto tem o objetivo de garantir que o próprio usuário consiga realizar a instalação, bem como acoplar e desacoplar o patinete com facilidade, autonomia e segurança.

O primeiro contato para o encaixe estabelece um ponto central de rotação, permitindo o movimento de engate entre as partes, esse ponto está localizado na parte superior do gancho. À medida que a rotação ocorre, um pino inferior retrátil se alinha e se encaixa automaticamente nos furos da mesa que se acopla à cadeira, assegurando o travamento da estrutura. Esse movimento também provoca a elevação das rodas frontais da cadeira de rodas, promovendo estabilidade e continuidade no deslocamento com o mínimo de esforço por parte do usuário.

Figura 16 - Modelo 3D do conjunto antes do encaixe

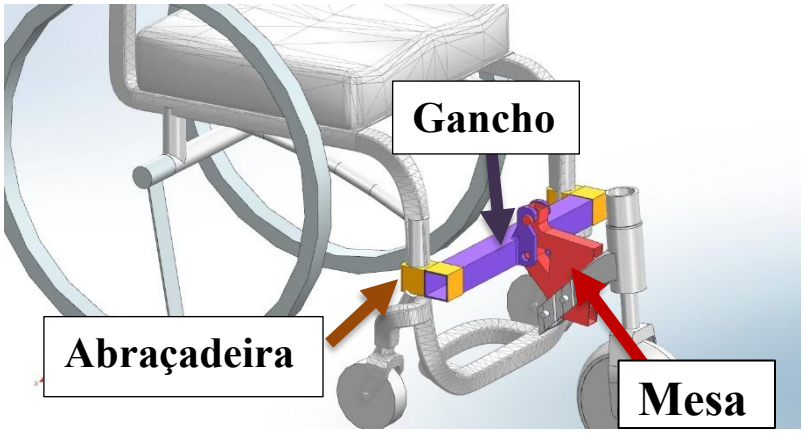


Figura 17 - Adaptação que se conecta a cadeira de rodas.

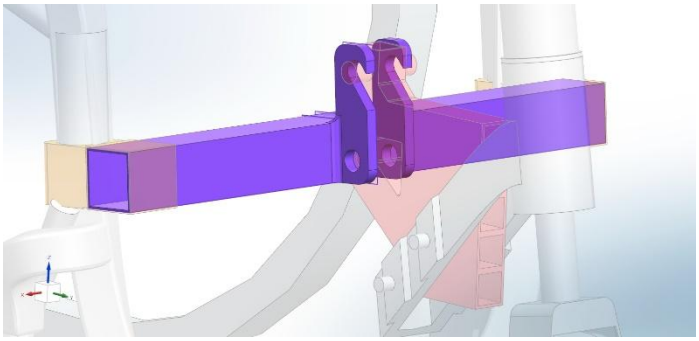
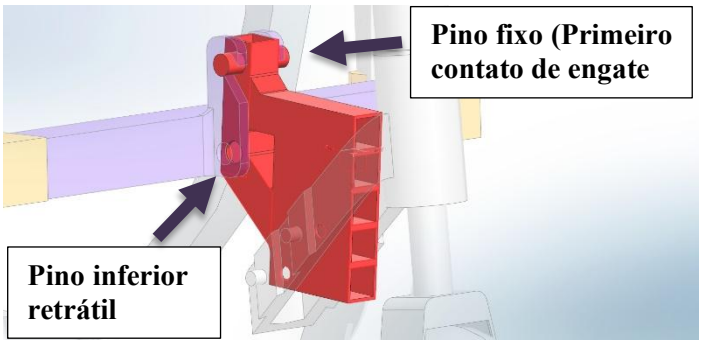


Figura 18 - Extensão do patinete.



Simulações computacionais são realizadas para prever o comportamento do conjunto patinete-cadeira sob condições típicas de uso urbano. As simulações abrangeram cenários desafiadores. O modelo 3D completo do acoplamento é submetido a análises estruturais dinâmicas que demostram a movimentação e esforços sofridos pela mesa e o gancho em um cenário de impacto com uma guia, que é uma situação extrema, em variadas velocidades. A

simulação estática com variação de peso é feita para entender a resistência do projeto para suportar diferentes cargas.

As simulações estruturais têm como foco a avaliação das tensões e deformações nas peças durante o uso normal e em condições extremas. Aplica-se um torque na roda do patine, o que gera o movimento da cadeira e causa o impacto direto com uma guia a 7km\h, momento é evidenciado no gráfico da Figura 19 onde a velocidade de uma junta varia abruptamente. Na Figura 20 é visível que existe um ponto de tensão extrema na malha construída pelo automatic flex (função dentro da NX – motion que cria a malha e as conexões do corpo automaticamente), toda a região em torno do concentrador indica um possível ponto de quebra do dispositivo.

Figura 19 - Velocidade do conjunto no instante de um impacto a 7 km/h.

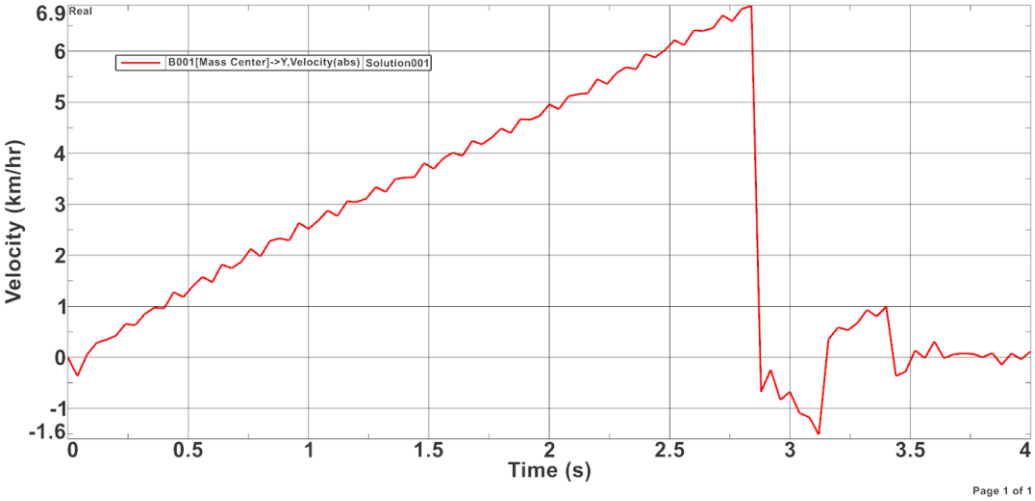
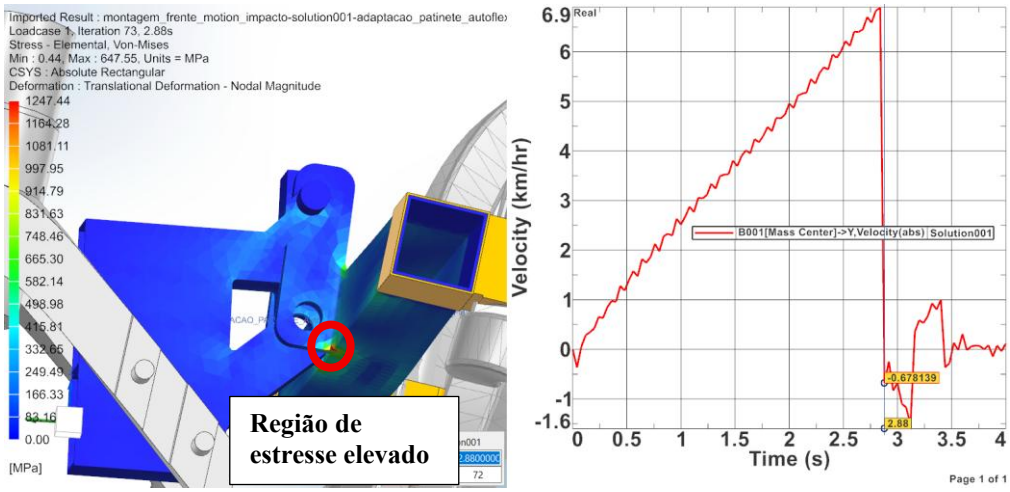


Figura 20 - Resultado de tensões no conjunto no instante do impacto a 7km/h.



No modelo analisado, observa-se a ocorrência de uma singularidade de tensão, onde um ponto específico atinge o valor de 1200 MPa. Este fenômeno, que persiste mesmo após o refinamento da malha, indica uma concentração de tensão teórica devido a idealizações geométricas ou de carregamento, não representando necessariamente uma tensão física real que o material experimenta naquele exato ponto (TRACEY; COOK, 1977). Contudo, independentemente desta singularidade, existem outras regiões no modelo onde a tensão calculada excede o limite de escoamento do material de 470 MPa, sugerindo que o escoamento ou o início da fratura pode ocorrer nessas áreas, que são críticas para a integridade da estrutura.

Outras simulações de impacto são realizadas a velocidades de 5.6 km/h, 4.7 km/h e 3.8 km/h. Os resultados indicam que apenas na simulação de impacto a 3.8 km/h as tensões desenvolvidas na estrutura permanecem abaixo do limite de escoamento do material como mostrado nas Figuras 21, 22 e 23 enquanto no impacto a 4 km/h, este limite ainda é ultrapassado.

Figura 21 - Resultado de tensões no conjunto no instante do impacto a 5.6 km/h

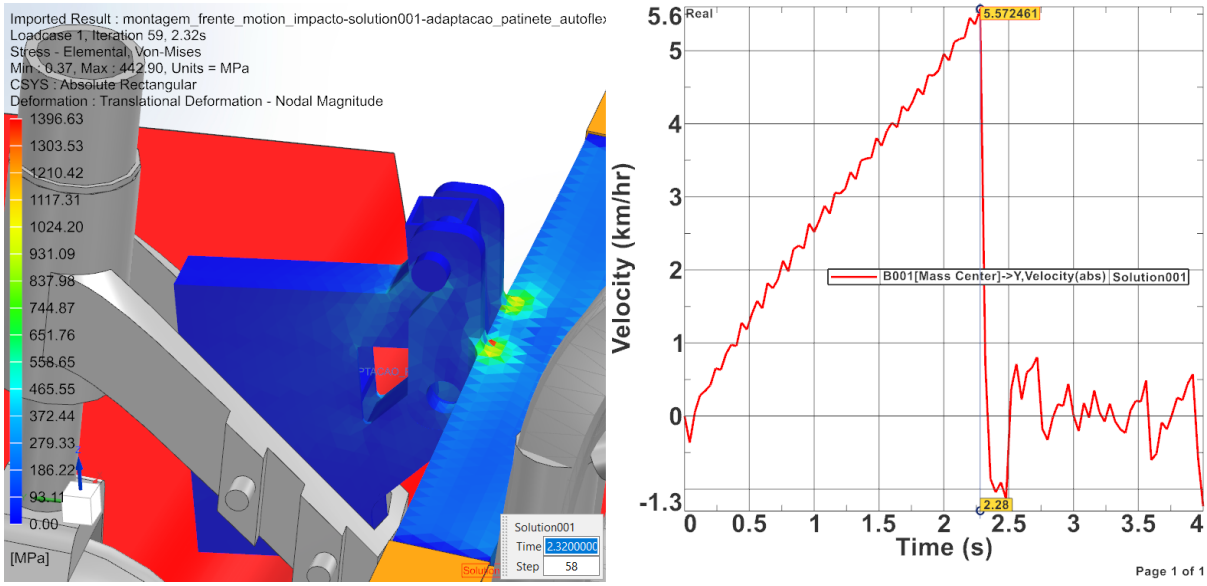


Figura 22 - Resultado de tensões no conjunto no instante do impacto a 4.8 km/h

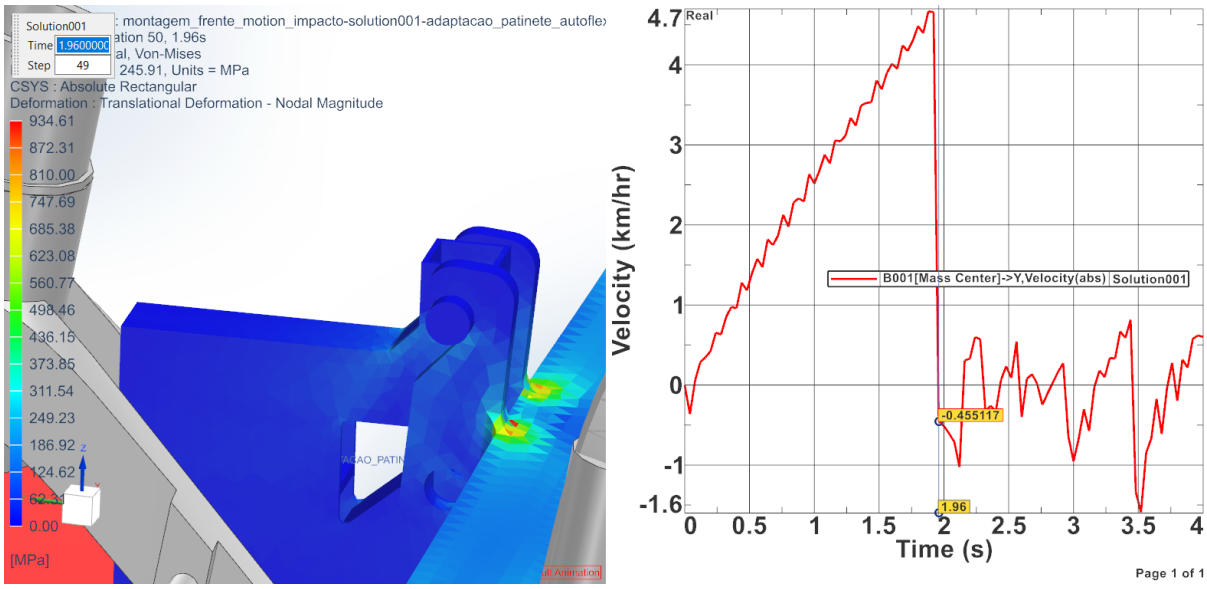
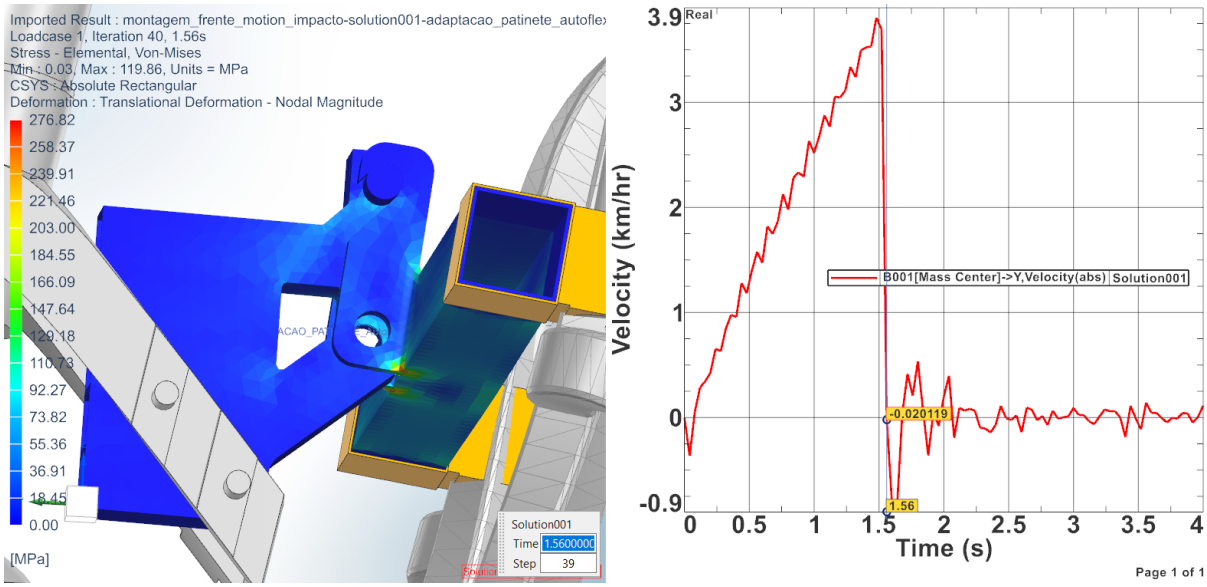


Figura 23 - Resultado de tensões no conjunto no instante do impacto a 3.8 km/h.

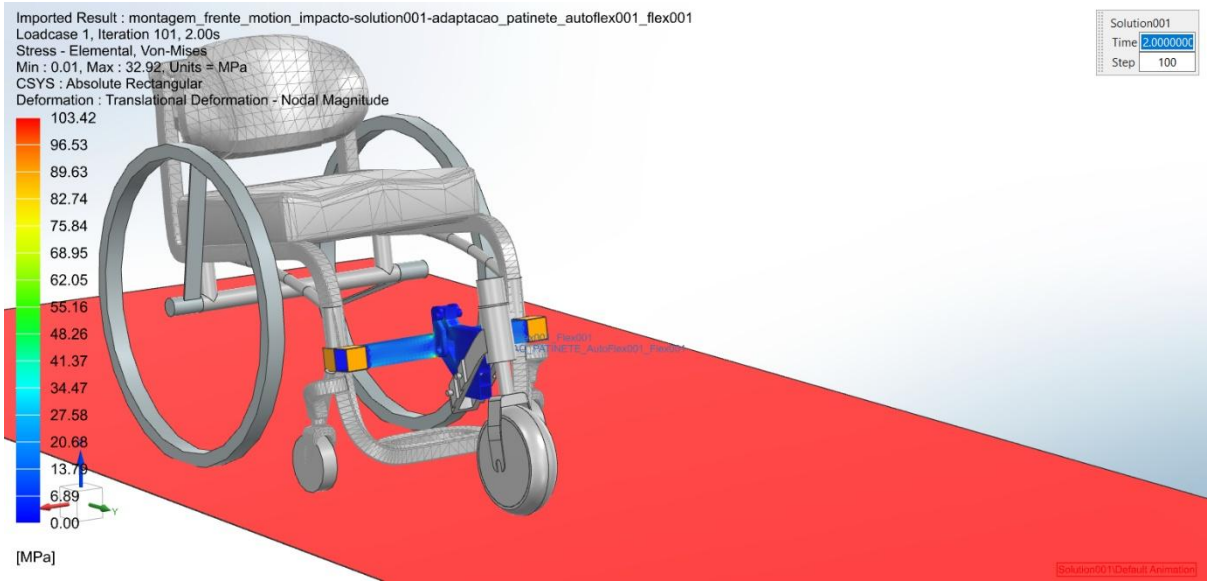


O impacto a 3,8 km/h não causaria danos ao protótipo, pois esse valor máximo de tensão está abaixo do limite de escoamento do material utilizado, isso dá ao modelo um fator de segurança de 1,7 que está dentro dos limites dos patinetes (1,5 até 2,0).

É conduzida uma simulação de carga estática com a cadeira estática, variando a carga aplicada no ponto que simula o centro de gravidade de um ocupante. As cargas testadas são de 80 kg, 100 kg e 120 kg. Opta-se por não exceder 120 kg, considerando que o manual do patinete especifica uma capacidade máxima de 120 kg. Mesmo sob a carga máxima de 120 kg, a tensão resultante no modelo não ultrapassa 104 MPa, indicando uma ampla margem de segurança sob

condições de carregamento estático com um fator de segurança de aproximadamente 4,5. A Figura 24 demostra a tensão com a carga de 120kg.

Figura 24 - Cadeira em posição estacionaria com carga de 120kg.



6. Desenvolvimento do Projeto

Esta seção descreve o desenvolvimento do protótipo do acoplamento, abrangendo as etapas de projeto virtual, fabricação e melhorias de design implementadas ao longo do projeto. São apresentadas as simulações computacionais realizadas, o processo de construção no laboratório e os ajustes ergonômicos feitos na interface entre o patinete e a cadeira de rodas.

6.1 Fabricação do protótipo

Após escolher um modelo de acoplamento e simular, o grupo inicia a produção. Para isso, usasse máquinas e ferramentas localizadas no laboratório TechLab do Insper. As primeiras peças a serem feitas são as universais a todos os outros modelos (Figura 25) (como as abraçadeiras e os tubos) e as que tem à necessidade de solda (ganchos que juntam as peças), como é possível ver na Figura 26.

Figura 25 - Nova idealização da mesa

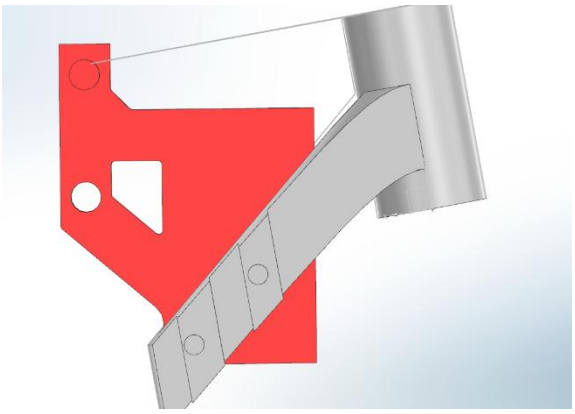
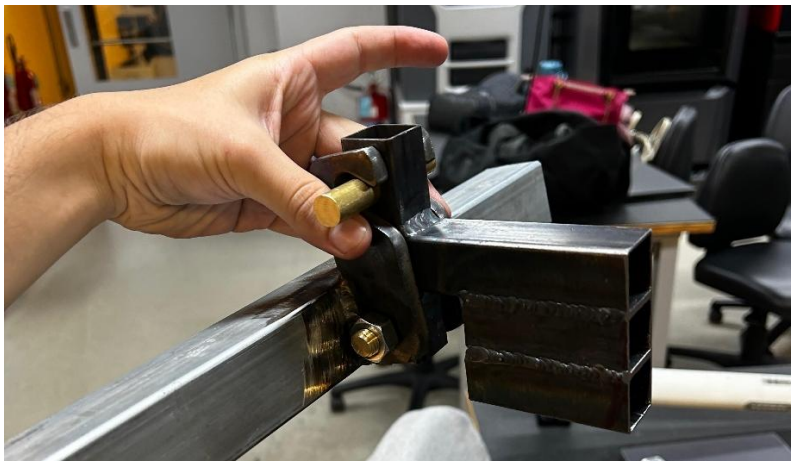


Figura 26 - Ganchos, tubos e chapas abraçadeiras usinados

O grupo realiza a usinagem e a soldagem das peças mencionadas anteriormente. Os tubos restantes são cortados para a produção da mesa, e todas as peças necessárias são soldadas. Para evitar folgas, deve ser adicionado um cilindro de latão pequeno, do qual é cortado em dois cilindros menores, dimensionados para se encaixarem nos furos de 15 mm da mesa e dos ganchos. Em uma das extremidades de um dos cilindros, o Cossinete é aplicado para a criação de rosca externa, possibilitando a fixação de porcas que garantem o travamento da mesa aos ganchos, como ilustrado na Figura 27:

Figura 27 - Montagem com as peças soldadas



6.2 Abraçadeira para o guidão e Ergonomia Melhorada

Um dos principais desenvolvimentos desta etapa do projeto é a criação de um novo protótipo de abraçadeira para o guidão, projetada para substituir o guidão original do patinete. Na solução inicial, utilizava-se o próprio guidão do patinete para fixar-se à cadeira, porém identificou-se que essa configuração não oferecia a ergonomia ideal para o usuário sentado, além de potencialmente comprometer a segurança e o controle da direção. Assim, a equipe desenvolve uma abraçadeira customizada, fixada diretamente na estrutura do patinete, capaz de agarrar e travar a coluna do patinete de forma robusta e estável, mas permitindo que a altura do guidão seja customizável para o usuário, com o painel de fácil acesso e visibilidade e a lanterna iluminando corretamente o chão que o usuário conduz.

A nova abraçadeira é concebida levando em conta dados antropométricos e recomendações ergonômicas coletadas na fase de pesquisa. Com ela, a posição de condução do usuário é significativamente melhorada: a distância e a altura em relação aos controles do patinete são ajustadas para se adequarem à zona de alcance confortável dos braços em posição sentada. Diferentemente do guidão original, projetado para um usuário em pé, a abraçadeira reposiciona o mecanismo de direção, freio e aceleração em uma configuração mais próxima e natural para o cadeirante, reduzindo a necessidade de inclinar o tronco ou de estender excessivamente os braços. Essa alteração aumenta a segurança (pois o usuário mantém melhor postura e controle sobre o veículo) e eleva o conforto durante o uso prolongado do dispositivo (IIDA; BUARQUE, 2016).

Em termos construtivos, o protótipo da abraçadeira foi impresso em PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), um material nobre, com alta resistência mecânica e química, para garantir rigidez e durabilidade. Seu design inclui um mecanismo de fechamento que engata no

tubo vertical do patinete (onde antes ficava o guidão), substituindo o sistema original de fixação. O foco é eliminar folgas, para isso, há dois parafusos de aperto, de modo a evitar qualquer movimento indesejado entre o patinete e a cadeira (contato mesa/gancho). Os testes iniciais com o protótipo da abraçadeira demonstraram um acoplamento rápido, porém para maior segurança, utilizamos termo retráteis nos cabos, para termos um ambiente mais seguro, contribuindo para uma experiência de uso mais ergonômica e confiável em comparação com a configuração anterior baseada no guidão original.

6.3 Montagem do kit de acoplamento

O kit é pensado de forma a ser montado uma única vez na cadeira para nunca mais ser desmontado, a não ser que o usuário não queira mais usar o produto. A montagem da parte da cadeira pode levar até 10 minutos para alguém que está a fazendo sozinho, logo a sugestão é que os usuários peçam assistência para outra pessoa nesse primeiro setup, fazendo uso do manual de instruções explicativo que acompanha o kit. É muito importante que as rodas da frente da cadeira de rodas fiquem suspensas durante o uso do dispositivo, logo as abraçadeiras devem estar logo acima do suporte das rodas dianteiras (o mais baixo possível em uma cadeira monobloco) como mostra a Figura 28:

Figura 28 - Montagem do kit à cadeira

A mesa e o suporte do guidão já vêm no patinete (Figuras 29 e 30 respectivamente). Para acoplar as duas partes do conjunto, o usuário deve estar sentado na cadeira de rodas e segurando o patinete com as adaptações na mão. Então, ele traz o mesmo para si, encaixando o pino da mesa nos guias dos ganchos. Assim, deve empurrar o guidão do patinete para frente (garantindo que o pino não saia dos guias), empinando a cadeira de rodas para trás e trazendo a roda do patinete para si. Quando a mesa encostar no tubo quadrático, o usuário deve se abaixar com o pino solto na mão, atravessando o mesmo nos furos dos ganchos. Após apertar as portas nas extremidades do pino, o kit montado deve se assemelhar com a Figura 31 e está pronto para ser utilizado.

Figura 29 - Mesa presa à luva do patinete

Figura 30 - Suporte do guidão preso à torre

Figura 31 - Kit acoplamento montado

7. Conclusões

O desenvolvimento do acoplamento entre um patinete elétrico e uma cadeira de rodas atinge com sucesso o objetivo inicial de viabilizar uma solução de mobilidade inovadora para os usuários de cadeira de rodas. Ao longo do projeto, diversos desafios técnicos e ergonômicos foram superados por meio de uma abordagem iterativa de design e validação. O resultado é um protótipo funcional que aumenta a autonomia do deficiente físico que utiliza cadeira de rodas, possibilitando deslocamentos mais ágeis e com menor esforço em ambientes urbanos. O sistema final incorpora mecanismos que geram ergonomia e praticidade de uso, alinhando-se às necessidades do público-alvo e às expectativas dos parceiros envolvidos. Em termos de aplicação prática, no uso cotidiano, a solução apresenta bom desempenho, proporcionando segurança e agilidade ao dia a dia do usuário. No entanto, é importante ressaltar que, em situações adversas, como impactos diretos, está sujeita a provocar quebra, deformação e desgaste, principalmente no gancho acoplado à cadeira de rodas, conforme os resultados apresentados com as simulações.

Cabe destacar a importância das parcerias e contribuições externas no enriquecimento do projeto. A colaboração com a Cicloway forneceu contexto de aplicação real e recursos para o desenvolvimento, enquanto a troca de ideias com especialistas (como os representantes da Falconi) guiou melhorias cruciais que tornaram o produto mais maduro. Essa interação entre academia e setor produtivo demonstrou-se essencial para alcançar uma solução equilibrada entre inovação e viabilidade prática. O protótipo é projetado a partir dos cálculos analíticos e teóricos, simulações de multicorpos e elementos finitos, seguido de um planejamento e documentação na fabricação das peças.

Por fim, o trabalho abre caminho para o refinamento do protótipo. A prototipagem e os testes aqui documentados servem de base para aprimoramentos contínuos e eventuais customizações do dispositivo a diferentes perfis de usuários. A eventual parceria com instituições de reabilitação e a divulgação científica por meio de publicações irão fomentar a evolução e a adoção da ideia em escala maior. Assim, este relatório cumpre seu papel acadêmico e social, ao propor uma tecnologia assistiva promissora. Espera-se que, com o avanço das próximas etapas, o acoplamento patinete-cadeira de rodas venha a se concretizar como um produto acessível no mercado, beneficiando efetivamente a qualidade de vida de pessoas com deficiência física.

Referências

1. *BATEC MOBILITY. Batec Electric Models – Technical Data. Barcelona, 2023.*
2. *BATEC MOBILITY S.L. Batec Electric 2 – Technical Data. Barcelona, 2023.*
3. *RIO MOBILITY. Firefly™ Electric Handcycle – Specifications. San Francisco, 2024.*
4. *ALVES, Júlio Oliveto; ROSADO, Victor O. Kit Livre: acessório motorizado para cadeiras de rodas. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, 2017. Disponível em: ... Acesso em: 16 jun. 2025.*
5. *RIO MOBILITY. Firefly™ Electric Handcycle – Specifications. San Francisco, 2024. SILVA, J. P. et al. Desempenho de dispositivos de tração frontal para cadeiras de rodas no Brasil. Revista de Tecnologia Assistiva, v. 12, n. 1, p. 45-56, 2023.*
6. *MORENO, Bernardo Pajares; PERIS-FAJARNÉS, Guillermo; LENGUA, Ismael; MONCHO-SANTONJA, María. Wheelchair mobility aid through the adaptation of electric scooters. C.I.T.G. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain. DOI: https://doi.org/10.1080/10400435.2008.10131933https://doi.org/10.1080/10400435.2008.10131933*
7. *COOPER, Rory A.; COOPER, Rosemarie; BONINGER, Michael L. Trends and issues in wheelchair technologies. Assistive Technology: The Official Journal of RESNA. Departments of Rehabilitation Science & Technology, Physical Medicine & Rehabilitation, and Bioengineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania. VA Pittsburgh Healthcare System, 2010. DOI: https://doi.org/10.1080/17483107.2021.1906963*
8. *CHOI, Jimin et al. User experiences with two new wheelchair securement systems in large accessible transit vehicles. Transportation Research Record , 1–12. National Academy of Sciences: Transportation Research Board, 2020. DOI: https://doi.org/10.1177/0361198120954436*
9. *DUDGEON, Brian J.; DIETZ, Jean C.; DIMPFEL, Margaret. Wheelchair selection. In: Capítulo de aprendizado sobre cadeira de rodas. Objetivos incluem fatores de análise, tipos básicos, medições, componentes e papel do terapeuta ocupacional no processo de seleção. https://www.researchgate.net/publication/306012544_Wheelchair_Selection*
10. *CATALDO, Ilenia; FERRANTE, Fabio; LOSCIALE, Piera; FERRARI, Paolo; PAPPALETTER, Giovanni. Electric vehicle for mobility of disabled people in indoor public environment. Politecnico di Bari, Departamento de Engenharia Civil e Ciências Arquitetônicas.*
11. *SILVEIRA CASSOL, Eulino Antenor. Projeto de uma unidade de tração para cadeiras de rodas mecanomanuais destinado a pessoas com dificuldades de mobilidade dos membros inferiores. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica.*
12. *WHITEHEAD, S. R. Increasing personal mobility with a powered wheel-track hybrid wheelchair. In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO) . IEEE, 2018.*
13. *OSSADA, V. A. Y.; GARANHANI, M. R.; DE SOUZA, R. B. The wheelchair and its essential components for the mobility of quadriplegic persons with spinal cord injury. Acta Fisiátrica, v. 21, n. 4, p. 185-189, 2014. DOI: https://doi.org/10.5935/0104-7795.20140032*

14. WANG, Amy. Design Considerations for Wheelchairs to Be Used in Developing Countries. University of Pittsburgh, D-Scholarship Repository , 2017. https://d-scholarship.pitt.edu/35730/1/DesignConsiderations_WheelchairsAC_12142017.pdf
15. MODELO HUMANO DIGITAL PARAMÉTRICO PARA ANÁLISE ERGONÔMICA VIRTUAL NO PROJETO DE PRODUTO. - Scientific Figure on ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Antropometria-dinamica-Registro-dos-movimentos-nos-planos-frontal-sagital-e_fig10_337059337
16. AKKAYA, Ramazan. Design and implementation of a test setup for electric mobility scooter for people with disabilities. Measurement and Control. DOI: https://doi.org/10.1177/0020294019865756
17. MAGIBALAN, S.. Design and fabrication of electric three-wheeled scooter for disabled persons. 3rd International Conference on Recent Advances in Mechanical Engineering Research and Development. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.179
18. TRACEY, D. M.; COOK, T. S. Singularity elements for the finite element method. International Journal for Numerical Methods in Engineering, v. 11, n. 8, p. 1341–1355, 1977. DOI: 10.1002/nme.1620110804
19. BUARQUE, Itiro Iida, L. Ergonomia: projeto e produção . 3.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016. E-book. pág.1. ISBN 9788521209355. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521209355/. Acesso em: 16 jun. 2025.