

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Gabriel Galhardo Tiburcio

**PROJETO PARA SUBSTITUIR CADEIRAS DE RODAS NO
TÊNIS DE MESA PARAOLÍMPICO**

Taubaté/SP

2020

Gabriel Galhardo Tiburcio

**PROJETO PARA SUBSTITUIR CADEIRAS DE RODAS NO
TÊNIS DE MESA PARAOLÍMPICO**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Projeto Mecânico do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Me. Emerson Luís Junqueira

Taubaté/SP

2020

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

T554p Tiburcio, Gabriel Galhardo
Projeto para substituir cadeiras de rodas no tênis de mesa paraolímpico /
Gabriel Galhardo Tiburcio. -- 2020.
49 f. : il.

Monografia (Especialização) – Universidade de Taubaté, Departamento
de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2020.

Orientação: Prof. Me. Emerson Luís Junqueira, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Esportes adaptados. 2. Tênis de mesa paraolímpico.
3. Acessibilidade. I. Título. II. Especialização em Projetos Mecânicos.

CDD – 796.0456

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

Gabriel Galhardo Tiburcio

PROJETO PARA SUBSTITUIR CADEIRAS DE RODAS NO TÊNIS DE MESA PARAOLÍMPICO

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Projeto Mecânico do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Me. Emerson Luís Junqueira

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Emerson Luís Junqueira

Assinatura_____

Prof. Me. Patrícia Cerávolo R. de P. Nunes Oliveira

Assinatura_____

Prof. Dr. Roque Antônio de Moura

Assinatura_____

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele eu nada seria, nada conseguiria realizar e tudo que tenho e sou devo a Seu infindável amor e bondade.

A minha família, meus pais Rosimara e Vitor, e minha Irmã Rebeca, por sempre estarem ao meu lado me apoiando e incentivando em todas as minhas lutas e conquistas.

A todos os professores, profissionais e colegas de curso que me prestaram auxílio ao longo do período da especialização.

Ao meu orientador, Professor Me. Emerson Luís Junqueira pelo suporte durante toda a formulação deste estudo.

“Nunca deixe de tentar.”

Michael Jordan.

RESUMO

Os esportes adaptados para portadores de deficiência física são meios de integração do ser humano na sociedade. A busca de meios de se adaptar os esportes convencionais à realidade adaptada vem se modernizando cada vez mais, com intuito de utilizar da tecnologia para gerar conforto e praticidade aos usuários, sendo estes profissionais, semiprofissionais e amadores. A presente pesquisa visa gerar um protótipo para substituir a cadeira de rodas para a prática do tênis de mesa adaptado, pois ao se utilizar a cadeira de rodas perde-se muita mobilidade necessária para este esporte, para solucionar este problema o protótipo tem por objetivo deslocar um assento horizontalmente em um eixo por meio de trilhos como um caminho de rolamento para que o usuário possa se deslocar de um lado para o outro utilizando apenas uma das mãos, possibilitando este usar uma das mãos para segurar a raquete apropriadamente fazendo uso dos movimentos corretos para prática esportiva de tênis de mesa paraolímpico, tanto em âmbito competitivo como para lazer.

Palavras-chave: Esportes Adaptados, Tênis de Mesa Paraolímpico, Acessibilidade.

ABSTRACT

Sports adapted for people with disabilities are great ways of integrating people with disabilities into society, and the search for ways to adapt conventional sports to the adapted reality has been increasingly modernized in order to use technology to generate comfort and practicality to users, being these professionals, semi-professionals and amateurs. This research aims to generate a prototype device design to replace the wheelchair when practicing paralympic table tennis, because using the wheelchair loses much mobility necessary for this sport, to solve this problem the prototype aims to move a seat horizontally on an axle by means of rails as a rolling path so that the user can move from side to side using only one hand, enabling him to use one hand to properly hold the racket using correct movements for paralympic table tennis sports, both in the competitive and leisure.

Keywords: Adapted Sports, Paralympic Table Tennis, Accessibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tênis de mesa paraolímpico em cadeira de rodas.....	17
Figura 2: Metodologia em formulação de projetos.....	19
Figura 3: Estrutura espacial criada por Graham Bell em 1907.....	21
Figura 4: Elementos e nós na malha de elementos finitos.....	26
Figura 5: Representação dos eixos da mesa adotados no projeto.....	30
Figura 6: Representação dos eixos da mesa adotados no projeto.....	32
Figura 7: Projeto preliminar da Cadeira Mecânica.....	33
Figura 8: Módulo Carro da Cadeira Mecânica.....	34
Figura 9: Módulo Trilho da Cadeira Mecânica.....	35
Figura 10: Módulo Roda da Cadeira Mecânica.....	36
Figura 11: Módulo Eixo da Cadeira Mecânica.....	36
Figura 12: Módulo Manche da Cadeira Mecânica.....	37
Figura 13: Análise de deslocamento através de elementos finitos do Trilho.....	38
Figura 14: Análise de tensão através de elementos finitos do Carro.....	39
Figura 15: Desenho de Detalhamento do Trilho.....	40
Figura 16: Desenho de Detalhamento do Carro.....	41
Figura 17: Desenho de Detalhamento do Eixo.....	42
Figura 18: Cadeira Mecânica.....	43
Figura 19: Desenho de Detalhamento da Cadeira Mecânica.....	44
Figura 20: Análise de tensão por elementos finitos da Cadeira Mecânica.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Problema de Pesquisa.....	10
1.2 Objetivo.....	11
1.2.1 Objetivos Específicos.....	11
1.3 Justificativa.....	11
1.4 Metodologia de Pesquisa.....	12
1.5 Estrutura do Trabalho.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Deficiência Física.....	14
2.2 Esporte Adaptado.....	15
2.2.1 Tênis de mesa paraolímpico.....	16
2.3 Projeto de Máquinas.....	18
2.4 Treliça Espacial.....	20
2.4.1 Análise estrutural de treliças espaciais.....	22
2.5 Rolamento.....	23
2.6 Análise Estrutural.....	25
2.6.1 Método dos Elementos Finitos.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1 Definições do projeto.....	29
3.2 Projeto preliminar.....	31
3.3 Detalhamento do Projeto.....	33
3.4 Documentação do Projeto.....	38
4. RESULTADOS.....	43
5. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Atividade física, além de trazer inúmeros benefícios para a saúde física e mental do ser humano, ainda é um ótimo método de socializar-se dentro da sociedade em que este humano está inserido.

O esporte adaptado, por sua vez não é diferente, ele foi criado após a Segunda Guerra Mundial, visando essencialmente a inclusão da pessoa portadora de deficiência física e mental na sociedade. As modalidades paraolímpicas necessitam de meios de adaptação para que possam ser praticadas, portanto desde a criação delas, a sociedade procura meios para que esta adaptação se torne mais fácil e mais acessível, com a finalidade de que não exista tamanha diferença entre pessoas portadoras de deficiência e pessoas que não as possuem.

O esporte que será abordado nesta pesquisa será o tênis de mesa adaptado, que é um esporte praticado tanto em competições profissionais, amadoras e também um esporte que é praticado como apenas uma forma de lazer, em diversos lugares. Mesmo sendo um esporte simples, para um portador de deficiência física é um tanto quanto mais complicado, visto que principalmente para portadores de deficiência no membros inferiores, faz-se o uso da cadeira de rodas para se praticar o esporte em questão, e para se locomover lateralmente enquanto segura a raquete para jogar torna o esporte complexo para se praticar.

Portanto o presente estudo busca a elaboração de um projeto que facilite a mobilidade de um portador de deficiência física através de um dispositivo de deslocamento lateral, o qual o usuário usa a força do próprio corpo para se movimentar com apenas uma das mãos, possibilitando a jogabilidade com a outra mão livre. Tal dispositivo torna possível ingressar no esporte novos praticantes sem tamanha dificuldade que é guiar uma cadeira de rodas ao mesmo tempo que se segura a raquete e executa os movimentos necessários do esporte, e também possibilita aumentar a eficiência e o desempenho de atletas profissionais do tênis de mesa adaptado.

1.1 Problema de Pesquisa

Quando praticado em cadeira de rodas, o tênis de mesa paraolímpico necessita de muita destreza e coordenação motora, uma vez que é extremamente complicado se movimentar com a cadeira de rodas de um lado para o outro com apenas uma mão, mesmo porque a cadeira de rodas não foi criada com o intuito de

se movimentar lateralmente, mas para frente ou para trás podendo apenas realizar curvas que, com apenas uma mão, fica inviável de realizar com facilidade. Isto se torna um grande empecilho para quem não tem objetivos para se tornar um atleta profissional e não tem a possibilidade, ou não almeja obter uma rotina de treinamento, se tornando assim uma tarefa difícil para realizar para quem tem extrema dificuldade ou não possui o movimento dos membros inferiores.

1.2 Objetivo

O objetivo do estudo vigente é realizar e modelar um projeto de um dispositivo que facilite a mobilidade de um portador de deficiência física que necessita de cadeira de rodas para praticar o tênis de mesa, fazendo a substituição total da cadeira de rodas pelo dispositivo. Afim de que possa ser implementado tanto em âmbito profissional, como para não profissionais do esporte.

1.2.1 Objetivos Específicos

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Formulação de desenho técnico que possibilite a produção de um futuro protótipo do dispositivo;
- O projeto deve objetivar o desenvolvimento de um dispositivo prático e de fácil instalação e transporte;
- Projetar um equipamento leve de fácil utilização para o usuário;
- Modelamento digital de todos os elementos do equipamento;
- Análise estrutural do conjunto por meio do método de elementos finitos;

1.3 Justificativa

A importância do esporte adaptado vem crescendo nas últimas três décadas, como uma oportunidade de inserir os portadores de deficiência na sociedade, além de ser um meio de lazer recreativo para quem muitas vezes não possui mobilidade para realizar algum tipo de esporte. Dentre estes o tênis de mesa adaptado se mostra extremamente eficiente, por se tratar de um esporte muito popular. Com o advento das dificuldades para se locomover que os praticantes de tênis de mesa adaptado enfrentam, é de enorme interesse que um dispositivo seja formulado para solucionar certas dificuldades de mobilidade. Sendo este a principal finalidade do

presente estudo, solucionar a dificuldade de locomoção de usuários de cadeiras de rodas para a prática do tênis de mesa, solucionando deste modo a situação de outros portadores de deficiência de locomoção em membros inferiores.

1.4 Metodologia de Pesquisa

A metodologia deste estudo será dividida em natureza, objetivo, abordagem, e método, de modo com que se restrinja a amplitude do estudo, delimitando o assunto, tornando claro os objetivos e diretrizes da pesquisa deste estudo para poder desenvolvê-lo com a finalidade de obter uma conclusão satisfatória por meio do presente projeto.

A natureza deste estudo é aplicada, pois visa gerar conhecimentos que objetivam solucionar problemas específicos que possam ser aplicados na prática. Quanto ao objetivo do atual estudo científico, é classificado como pesquisa exploratória, proporcionando maior familiaridade com o problema para levantar hipóteses e meios de solucionar tais dificuldades. Para gerar tal conhecimento envolve levantamento bibliográfico e análise de exemplos que possam ser assimilados para desenvolver compreensão maior do tema.

A abordagem da atual pesquisa e projeto pode ser classificada como qualitativa, pois não pode ser traduzida em âmbito numérico de acordo com uma solução apresentada pelo projeto em um dispositivo e resultados não utilizando métodos ou técnicas estatísticas em seu desenvolvimento ou conclusão. O resultado é apresentado em forma de um protótipo em âmbito de escopo de projeto para aplicação prática que procura solucionar o problema em questão proposto.

Para o desenvolvimento efetivo do presente estudo, a metodologia utilizada será o estudo de caso, um objeto de estudo será determinado, de modo com que sejam reconhecidas as variáveis que influenciarão na criação, desenvolvimento e conclusão do atual projeto, possibilitando a observação das causas e efeitos das variáveis sobre o objeto de estudo para analisar seu comportamento quanto ao objetivo principal da pesquisa.

1.5 Estrutura do Trabalho

Com a finalidade de se alcançar o objetivo proposto, este estudo foi dividido em cinco capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 01 – Introdução: onde o leitor localizará os objetivos e o assunto abordado pelo trabalho, além de tomar conhecimento sobre a contextualização do assunto, o problema que o trabalho busca solucionar e o objetivo a ser atingido pelo presente projeto.

Capítulo 02 - Revisão de literatura: apresenta uma abordagem ampla sobre as atividades esportivas praticadas por deficientes físicos e os problemas enfrentados ao tentar adaptar o esporte as respectivas necessidades. Também é tratado o sistema mecânico de rolamentos sobre trilhos, objeto principal de estudo para se criar o projeto em questão.

Capítulo 03 - Materiais e métodos: aborda os métodos e o material utilizado no estudo para se alcançar o desenvolvimento necessário com a finalidade de obter-se os resultados, sejam eles satisfatórios ou não.

Capítulo 04 - Resultados: demonstra a partir de como foi conduzido e criado o dispositivo objeto de estudo, abordando os resultados obtidos a partir do desenvolvimento do projeto, em âmbito digital através de um software de modelagem, diante as hipóteses formuladas inicialmente ao tentar encontrar caminhos para solucionar o problema proposto.

Capítulo 05 - Conclusão: apresenta todas as conclusões obtidas a partir da análise dos resultados do estudo, chegando a um veredito final sobre o projeto do dispositivo desenvolvido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Deficiência Física

O termo pessoa com deficiência identifica o indivíduo que, devido a sua insuficiência física ou mental, não está em plena capacidade de satisfazer, por si mesmo, suas necessidades vitais e sociais de forma total ou parcial, como faria um ser humano normal (SAAD, 2011).

Deficiência física ou deficiência motora, segundo a política nacional de saúde da pessoa portadora de deficiência, tem por definição a alteração de um ou mais segmentos do corpo humano, sendo esta alteração completa ou parcial, comprometendo a função física. Esta deficiência pode ser apresentada de diversas maneiras, são elas: paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, membros com deformidade congênita ou adquirida, porém não está inserido neste grupo deformidades estéticas e as que não dificultam o desempenho de funções (BRASIL, 2009).

De acordo com o Relatório Mundial Sobre a Deficiência, elaborado pela Organização Mundial da Saúde (2011), existem inúmeras barreiras e desigualdades enfrentadas por pessoas portadoras de deficiência. Dentre elas se destaca a dificuldade em relação a reabilitação e inclusão na sociedade, além da criação de ambientes facilitadores ao acesso dessas pessoas. Porém a visão da sociedade sobre a deficiência tem mudado desde a década de 1970, pela crescente tendência de se encarar a deficiência como uma questão de direitos humanos.

Analisando de ponto de vista histórico, portadores de deficiência têm sido, em sua grande maioria, assistidos através de soluções segregacionistas. Entretanto tais políticas foram modificadas tendo em vista as comunidades e da inclusão de um modo geral, e as soluções, antes de âmbito medicinal passaram a ser abordadas de modo mais interativo entre ser humano e sociedade (OMS, 2011).

Ainda segundo a Organização Mundial da Saúde (2011), iniciativas nacionais e internacionais passaram a incorporar relatórios sobre os direitos humanos das pessoas portadoras de deficiência, mediante a isso, a Organização das Nações Unidas que em 2006 adotou na Convenção das Nações Unidas os Direitos das Pessoas com Deficiência, apresentando relatórios como Regras Padrões sobre Equiparação de Oportunidades para Pessoas com Deficiência, fornecendo

evidências para facilitar a implementação da convenção, que documenta as diversas circunstâncias e explora as medidas para promover a participação social de portadores de deficiência, abrangendo pautas de saúde, reabilitação e inclusão.

O ambiente de uma pessoa, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (2011), tem um enorme impacto quanto a experiência e sua deficiência, por exemplo, ambientes inacessíveis criam barreiras não somente físicas, mas sociais quanto a participação e inclusão. Este ambiente pode ser modificado de forma que propague uma melhora quanto a evitar incapacidades, gerando uma melhor acessibilidade, que conseqüentemente gera inclusão.

Ainda segundo a OMS (2011) as mudanças geradoras de um ambiente modificado podem ser implementadas pela legislação através de políticas públicas, conseqüentemente sendo embasadas no desenvolvimento tecnológico, produzindo acessibilidade e oportunidades.

2.2 Esporte Adaptado

O esporte para deficientes físicos surgiu logo após a Segunda Guerra Mundial, pois era necessária a reintegração social de deficientes, visto que estes não eram produtivos para sociedade que necessitava aumentar o rendimento produtivo. Para realizar esta reintegração foi utilizada como terapia, para a recuperação, a atividade física. O desporto adaptado foi proposto para amenizar as sequelas nos soldados afetados em decorrência das guerras, principalmente na Segunda Guerra Mundial na década de quarenta (ROSADAS, 1991; ARAUJO, 1998).

Na cidade inglesa Aylesbury, foi realizada a iniciativa em que se utilizou o esporte adaptado como terapia alternativa visando a reabilitação dos remanescentes da guerra, esta foi a primeira terapia neste âmbito que se tem registro. Essa iniciativa partiu do criador do Centro Nacional de Lesionados Medulares do Hospital de Stoke Mandeville, o doutor em neurologia Ludwig Guttmann. Essa intervenção resultou por meio do esporte, em pouco tempo, uma verdadeira reintegração de diversas pessoas ao mercado de trabalho e, assim, legitimou o esporte adaptado como medida terapêutica e elemento de reabilitação (PARSONS E WINCKLER, 2012).

O entusiasmo com a repercussão do esporte adaptado, apresentando um crescimento constante quanto elemento sociocultural e pela perspectiva de concretização dos Jogos Olímpicos em Londres, o doutor Guttmann começou a

acreditar que poderia ser realizado uma competição, semelhante às olimpíadas, para pessoas portadoras de deficiência. Partindo da iniciativa de Guttman, foram criados os Jogos de Stoke Mandeville, que apesar de ter sido a primeira edição, houve participação de países vizinhos. O evento passou a ser reeditado e atingiu a internacionalidade. Por conta disso, teve uma das edições realizada em outro país, mais precisamente em Roma, no ano de 1960. Esta edição aconteceu como um evento complementar aos Jogos Olímpicos daquele ano, sendo denominado de “Olimpíadas dos Portadores de Deficiência”. A partir desse evento, os jogos fazem parte do calendário esportivo mundial, e confirmam que as pessoas portadoras de deficiência são plenamente capazes de ser eficientes no âmbito esportivo (BRASIL, 2012; PARSONS e WINCKLER, 2012).

Partindo da linha de pensamento do Estatuto da pessoa com Deficiência que visa “promover condições de igualdade e o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoas com deficiência”, delimita-se como objetivos deste projeto, ofertar uma possibilidade de inclusão das pessoas com deficiências físicas na modalidade tênis de mesa paraolímpico e apresentar uma possibilidade de mudança neste determinado esporte. Justifica-se o presente estudo pelas barreiras que o deficiente físico precisa transpor diariamente, muitas vezes sacrificando suas atividades de lazer e ou a possibilidade de realizar atividade física, por não ter uma modalidade esportiva que atenda em suas necessidades ou dificulte a execução dos movimentos necessários para o esporte. A busca pela liberdade de acesso ao que lhe é de direito é uma luta de muitos deficientes, que por anos tem conseguindo grandes conquistas (BRASIL, 2015).

2.2.1 Tênis de mesa paraolímpico

Uma modalidade criada a partir dos esportes adaptados para deficientes foi o tênis de mesa, participam desta modalidade atletas com paralisia cerebral, amputados e usuários de cadeira de rodas, dividida nas categorias masculina e feminina, podendo ser individual ou em equipes. Joga-se em pé ou em cadeira de rodas, como ilustrado na Figura 1 (DA COSTA e SOUZA, 2004).

Figura 1: Tênis de mesa paraolímpico em cadeira de rodas



Fonte: Daemrich Photography, 2016.

O tênis de mesa adaptado, para portadores de deficiência física e mental, é dividido em 11 classes, sendo elas cinco para cadeirantes, cinco para andantes e uma para andantes com deficiência mental. Os atletas também são divididos por gênero, na categoria individual ou por equipe. Esta classificação dos atletas se distribui mediante o alcance de movimentos, através da força muscular, das restrições motoras, do equilíbrio na cadeira de rodas e da habilidade de segurar a raquete. (DA COSTA e SOUZA, 2004; TOSHIMI, 2012).

Vanlandewijck et al. (2001) dividem a propulsão em cadeira de rodas em duas fases: empurre e recuperação. Segundo estes autores, a fase de empurre é definida como a fase de produção de força, quando as mãos estão em contato com os aros, enquanto que na fase de recuperação os braços são levantados para que seja iniciado um novo ciclo. Ainda de acordo com estes autores, mediante ao aumento da velocidade, há uma redução do tempo de contato das mãos com os aros, implicando em aumento na velocidade de contração muscular, associado a um aumento no gasto energético.

2.3 Projeto de Máquinas

Para Norton (2013) a noção de trabalho útil, levando em conta peças inter-relacionadas, ou também denominadas elementos de máquinas, é essencial para a função primordial de uma máquina, existindo alguma transferência de energia em uma ou mais etapas do processo. Faz-se necessária também, menção a forças e movimento, uma vez que, ao converter qualquer forma de energia em uma outra forma de energia, as máquinas transformam meio de energia em movimento, desenvolvendo forças. É dever de quem está projetando definir e calcular tais movimentos, forças e trocas de energia a fim de determinar dimensões, geometria e os materiais específicos para cada uma das respectivas peças que integram o conjunto inteiro, concluindo que este é o propósito do projeto de máquinas (NORTON, 2013).

Continuando segundo Norton (2013) é necessário projetar uma peça de cada vez, é imprescindível reconhecer que a função e o desempenho de cada peça, pois o projeto depende de diversas outras peças inter-relacionadas de um mesmo conjunto.

O objetivo do projeto de máquinas é de fato dimensionar e elaborar os elementos de máquinas e fazer a escolha dos materiais e também os processos de manufatura apropriados, obtendo um resultado final o qual a máquina esteja hábil a desempenhar a função desejada sem que haja falhas. Para isso, faz-se necessário a análise de tensão e deflexão para cada peça que compõe o conjunto (NORTON, 2013).

Para a formulação e calculo para solução de um determinado problema, tendo em vista uma abrangência de projeto de maquinas, Norton (2013) afirma que se faz necessário quatro estágios para conclusão de um projeto. Estágio de definição, Realização do projeto preliminar, Estágio de detalhamento do projeto e o Estágio da documentação, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Metodologia em formulação de projetos.



Fonte: Norton, 2013.

O estágio de definição, que deve constar no livro de registros do projeto, tem como função definir o problema de forma clara objetiva. Deverão ser claramente relacionados todos os dados de uma determinada, devidamente acompanhados pelo registro das hipóteses feitas pelo projetista acerca do problema. As hipóteses, terminantemente indispensáveis para o presente estágio, devem ser relacionadas com as informações conhecidas ou disponibilizadas para que o problema possa ser delimitado (NORTON, 2013).

Estágio do projeto preliminar, segundo Norton (2013), é o estágio em seguida após definido o projeto. Logo após as delimitações gerais definidas, algumas decisões devem ser tomadas, todas razões e justificativas das decisões então tomadas devem ser devidamente documentadas. Essas decisões provavelmente terão um efeito extremamente significativo sobre os resultados e em sua grande maioria serão modificadas ou abandonadas ao longo do projeto. Enfim, o conceito do projeto preliminar deverá ser documentado através de Croquis, claramente desenhados e rotulados, para que possam ser compreendidos.

O estágio de detalhamento do projeto, seguindo de acordo com os requisitos para se calcular e formular um projeto segundo Norton (2013), após estabelecido um rumo do projeto, torna-se possível a criação de um ou mais modelos para serem devidamente analisados. A análise do projeto realizada utilizando esses modelos, os resultados são avaliados relacionando-os com as propriedades específicas de cada um dos materiais escolhidos.

Por fim, concluindo os requisitos para formulação e cálculo de um projeto, sendo o estágio de documentação deve contemplar, após atingir os resultados satisfatórios, os desenhos técnicos detalhados do projeto, bem como as especificações dos materiais utilizados (NORTON, 2013).

Em qualquer projeto é necessário cumprir requisitos de segurança, um item primordial de qualquer projeto é o fator de segurança. O fator de segurança é devidamente aplicado conforme a análise do material, cargas e solicitações determinadas da máquina e da estrutura, que estará sujeita a falha por fadiga, possíveis locais de uso, ou até posto de manufatura ou trabalho (NORTON, 2013).

Este coeficiente de segurança é comumente utilizado na elaboração dos elementos para construção de um projeto com a finalidade de equilibrar sua qualidade, e pode ser definido com base nos cálculos do projeto (Ilda e Buarque, 2016).

O coeficiente para Norton (2013) representa uma incerteza do projeto que assegura o projeto contra possíveis e prováveis falhas. O coeficiente é escolhido com base nos esforços que agem sobre um determinado elemento, e seu valor escolhido pode gerar diversas consequências, como aumentar o custo ou a massa de um conjunto, inviabilizando um projeto.

Retomando os requisitos para formulação de projetos, Norton (2013) afirma que o sucesso de um projeto depende da validade e adequação dos modelos de engenharia utilizados no ato de analisar seu comportamento. Este é um modelo matemático que descreve o comportamento do sistema. O ponto mais importante para o modelo é a compreensão dos princípios básicos e dos fundamentos de engenharia.

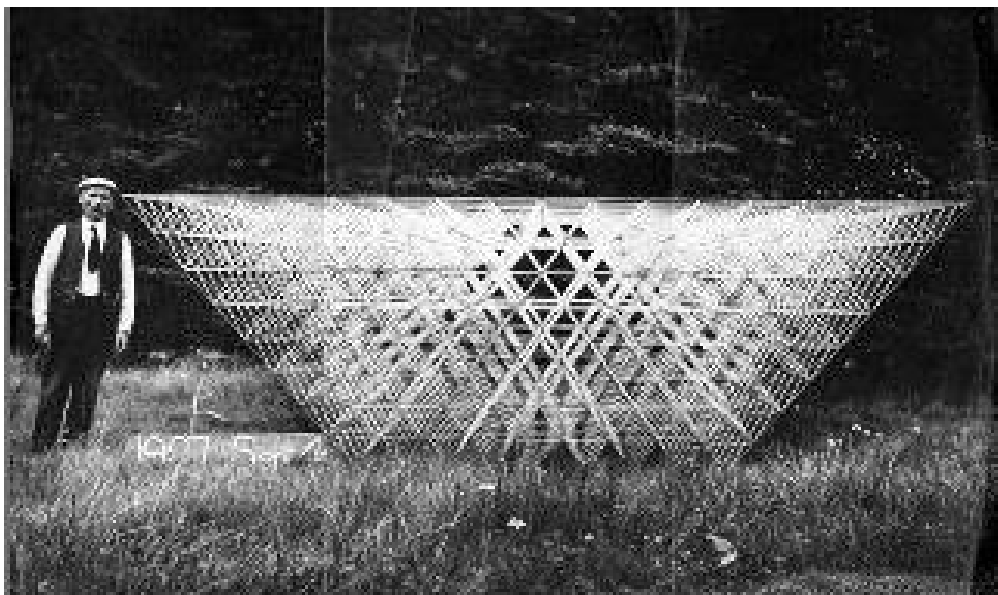
A criação do computador iniciou uma revolução no âmbito de projetos e na análise de engenharia, pois problemas antes insolúveis, agora podem ser resolvidos em um curto período de tempo em microcomputadores que possuem um baixo custo. Métodos ainda são fundamentais porque demonstram os resultados de uma forma compreensível, porém não se pode mais desprezar a ferramenta indispensável que é o computador (NORTON, 2013).

2.4 Treliza Espacial

Apesar da grande maioria das estruturas metálicas seja reticulados espaciais, o termo 'treliza espacial' é geralmente aplicado para estruturas tridimensionais

compostas por barras não coplanares, unidas umas as outras por dispositivos tecnicamente denominados 'nós', apresentando similaridade nas dimensões das barras e com uma geometria certamente repetitiva. Experimentos relacionados ao tipo de estrutura em questão iniciaram-se através de Alexander Graham Bell em 1907, produzindo uma estrutura tridimensional composta de barras de igual comprimento, conectadas entre si por nós simples, exatamente idênticos por toda a estrutura. Graham Bell foi o primeiro a mostrar a simplicidade desse sistema e a facilidade de montagem, tendo como resultado uma estrutura de baixa massa tendo em vista uma grande resistência. Na Figura 3 ilustra a determinada estrutura criada em 1907 (MAKOWSKI 1981).

Figura 3: Estrutura espacial criada por Graham Bell em 1907.



Fonte: Synergetics on the Web, 2010.

Tantos anos após a criação da primeira estrutura espacial de Graham Bell, as aplicações dessa estrutura podem abranger desde grandes coberturas de estádios, espaços públicos, hangares, até estruturas simples e menores (EL-SHEIKH e EL-BAKRY 1996).

Nos dias atuais, o projeto e a construção das treliças metálicas espaciais despertou um interesse de pesquisadores em diversos países, publicando resultados sobre análises comportamentais da estrutura de vários sistemas, adotando análises não lineares e modelagens específicas da região onde o nó é situado. Entretanto na prática, por conta da simplicidade, há a adoção da análise linear elástica,

despreocupando-se quanto à consideração das características da região nodal, pois dependendo do sistema, não corresponde a um modelo teórico apropriado. Para pequenos deslocamentos e solicitações com valores baixos, o comportamento da estrutura é linear, como esperado. Porém, se levar em consideração o condicionamento da região nodal, a resposta da estrutura só poderá ser avaliada adequadamente quando considerado todas as 'não linearidades' física e geométrica (HILL et al., 1989).

2.4.1 Análise estrutural de treliças espaciais

A Análise não linear da estrutura é fundamental para implantação de treliças mais leves e eficientes, como no caso de seções tubulares, pois quanto mais leve e um menor número de elementos existentes na estrutura, maiores são as chances de ocorrerem problemas não lineares de estabilidade (HRINDA e NGUYEN, 2008).

Para treliças espaciais deve-se adotar cautela quanto a análise estrutural, pois é obrigatório se conhecer o real comportamento da estrutura, sendo necessária simulação numérica sofisticada, e um programa de ensaios em modelos e até mesmo protótipos para se constatar a confiabilidade estrutural do sistema (CARAMELLI 1993).

Pesquisas experimentais como a desenvolvido por Schmidt et al. (1976) demonstram que a força calculada para falha de uma determinada estrutura pode não ser totalmente alcançada na realidade. A redução na resistência é gerada sob a influência da variação da distribuição da força no interior da treliça. Esta variação é devido ao grau de hiperestaticidade elevado da estrutura, provocando o diferencial das forças entre as barras. Outros fatores que provocam a redução são as imperfeições da geometria das barras que compõe a estrutura, assim como resistência específica do material e a presença de tensões residuais sobre elementos.

A influência das imperfeições analisadas no comportamento de estruturas espaciais foi discutida por Schmidt et al. (1976) e por Sadiq e Abatan (1993). Segundo eles a instabilidade de rotação das conexões é um fator que pode influenciar no comportamento de treliças espaciais, tal instabilidade pode ser causada pela redução da rigidez da barra, sendo elas ações de forças excêntricas ou forças desbalanceadas, com relação a estas conexões. Além disso, os estudos de Schmidt et al. (1976) e por Sadiq e Abatan (1993) alegaram que a flexibilidade da

própria conexão também afeta a sua estabilidade de rotação, levando em conta a característica do sistema de conexão de treliças espaciais, a de se ter muitos elementos de barra conectados, excessivas deformações destes sistemas, ou sua instabilidade resultam em uma expressiva redução na resistência da estrutura. Outro fator que pode influenciar no comportamento da treliça espacial é o posicionamento dos seus apoios.

A redução da resistência de estruturas de treliças espaciais foi comprovada no estudo de Salajegheh, o qual analisou o efeito de diferentes condições de apoio na reação de uma treliça espacial. Experimentos em modelos e em protótipos, atestaram que a rigidez das conexões altera a distribuição de tensão em torno de 10 a 15%, porém com as restrições aplicadas nos apoios da estrutura, há uma possibilidade de se ter uma influência mais expressiva. Isto foi comprovado por Salajegheh através de análises completamente computacionais e assumindo que a estrutura era composta por elementos de mesma seção transversal, e que estavam sob a ação de uma determinada força uniformemente distribuída respectivamente aplicada em toda a malha, com os deslocamentos dos apoios restringidos nas direções horizontais, além da vertical (MAKOWSKI 1981).

2.5 Rolamento

Os estudos de rolamentos tem por base a teoria de Hertz (1896), que a partir de observações de duas lentes de vidro, prensadas uma contra a outra através de uma força normal, ele notou que a região de contato entre elas tinha formato elíptico e que esta poderia ser determinada em função dessa força e dos raios de curvatura dos corpos, além de propriedades de rigidez. Para tanto, utilizou as soluções para o deslocamento vertical, proposta por Bussinesq que já eram conhecidas naquela época (LOVE, 1929).

Além disso, Hertz (1896) calculou também a distribuição de pressão sobre a elipse de contato. Conhecida hoje em dia como a Teoria de Hertz, esta teoria é restrita ao contato entre corpos elásticos sem fricção e modelados como semiespaço.

De acordo com Carter (1926), que foi o primeiro a considerar o fenômeno de escorregamento entre dois corpos em contato de rolamento, seu objeto de estudo era uma roda ferroviária de uma locomotiva em contato com o trilho. Após 75 anos de estudos, utilizando a tecnologia a favor dos estudos, o Método de Elementos

Finitos foi utilizado por Hansson (2001), com a finalidade explorar as limitações da Teoria de Hertz, utilizou o contato roda - trilho como uma típica aplicação do modelo de Hertz. O modelo geométrico proposto consistia em um cilindro sendo comprimido em um plano semi-infinito, que simulava o contato roda-trilho. Além disso, Hansson (2001) ainda utilizou elementos de contato para estabelecer uma condição de equilíbrio entre os corpos, e assim, determinar o campo de tensões e deformações na região de contato. Tanto regimes elásticos quanto elastoplásticos foram considerados.

Os resultados mostraram, quando utilizado o modelo elástico, que a Teoria de Hertz é adequada para o cálculo das tensões de contato, devido a sua simplicidade e baixo custo computacional. Entretanto, algumas condições de contorno devem ser obedecidas. Para um modelo elastoplástico, ocorrendo o escoamento do material, a área de contato aumenta logo, as tensões desenvolvidas ali tendem a diminuir (Hertz, 1896; Johnson, 1982).

Para Norton (2013), os mancais de elementos rolantes podem ser agrupados em duas categorias gerais, mancais de esferas e mancais de rolos. Mancais de esferas são mais adequados para aplicações pequenas e de alta velocidade. Para sistemas grandes e de carga pesada, mancais de rolos possuem um melhor rendimento. Se há risco de desalinhamento entre eixo e alojamento, rolamentos auto compensadores são necessários. Os mancais de esferas contêm várias esferas de aço endurecido presas entre duas pistas, uma interior e exterior para mancais radiais, ou pistas superior e inferior para mancais axiais. Um retentor (também chamado de gaiola ou separador) é usado para manter as esferas adequadamente espaçadas ao redor das pistas. Os mancais de esferas podem suportar cargas axial e radial combinadas em diversos graus dependendo do projeto e da construção dos mancais.

Norton (2013) ainda ressalta que mancais projetados para serem autoalinhantes têm a vantagem de acomodação de algum desalinhamento do eixo e também criam apoio simples para o eixo, eles também têm atrito muito baixo. Se mancais não autoalinhantes forem usados em um eixo, a montagem dos mancais deve ser alinhada cuidadosamente para colinearidade e angularidade a fim de evitar a criação de cargas residuais nos mancais na montagem, o que reduziria severamente sua vida.

2.6 Análise estrutural

Azevedo (2014) descreve a análise estrutural de qualquer elemento ou conjunto como um meio de se obter um resultado das condições de contorno existentes e aplicadas a uma específica estrutura, e avaliar o comportamento dos esforços aplicados e deslocamentos gerados.

De acordo com o Assan (2003), quando se faz necessário solucionar uma questão de análise estrutural, primeiramente se classifica a geometria do que será analisado, para que esta análise seja formulada e aplicada depende da complexidade do sistema.

Há diversos tipos dentre as não linearidades de um sistema estrutural. Segundo Lacerda (2014) a não linearidade geométrica e a física são as principais.

Na análise linear, as equações e condições de equilíbrio são formuladas a partir da geometria inicial da determinada estrutura. A não linearidade geométrica ocorre quando o sistema estrutural começa a sofrer modificações em sua geometria, com isso as equações e condições de equilíbrio necessitam ser reformuladas ao passo que a geometria é também reformulada, causando inevitavelmente a perda da linearidade nas relações entre deslocamento e deformação. Enquanto a não linearidade física apresenta relações não lineares entre tensão e deformação, além de depender do histórico de deformação do material para a análise estrutural (Lacerda, 2014).

De acordo com Norton (2013), as tensões sendo uma função dos esforços aplicados e de inércia, bem como da respectiva geometria da peça, a análise das forças, momentos e dinâmica do sistema deve ser feita antes de serem completamente calculadas as tensões e deflexões.

2.6.1 Método dos Elementos Finitos

Um dos meios de análise estrutural, sendo este o utilizado no presente estudo, é o denominado método de elementos finitos. Almeida (2014) define o conceito do método de elementos finitos como um simples método, composto por cálculos extremamente complexos.

Acerca da afirmação de Alves Filho (2007) com a utilização de *softwares* torna-se fácil e prático obter resultados de análises completas por elementos finitos, porém se faz necessário compreender como utilizar a ferramenta do *software* específico.

Segundo Lima (2003) os modelos matemáticos podem ser utilizados para propiciar modelagens realistas e confiáveis para a aplicação na engenharia como forma de prever e calcular comportamento de sistemas.

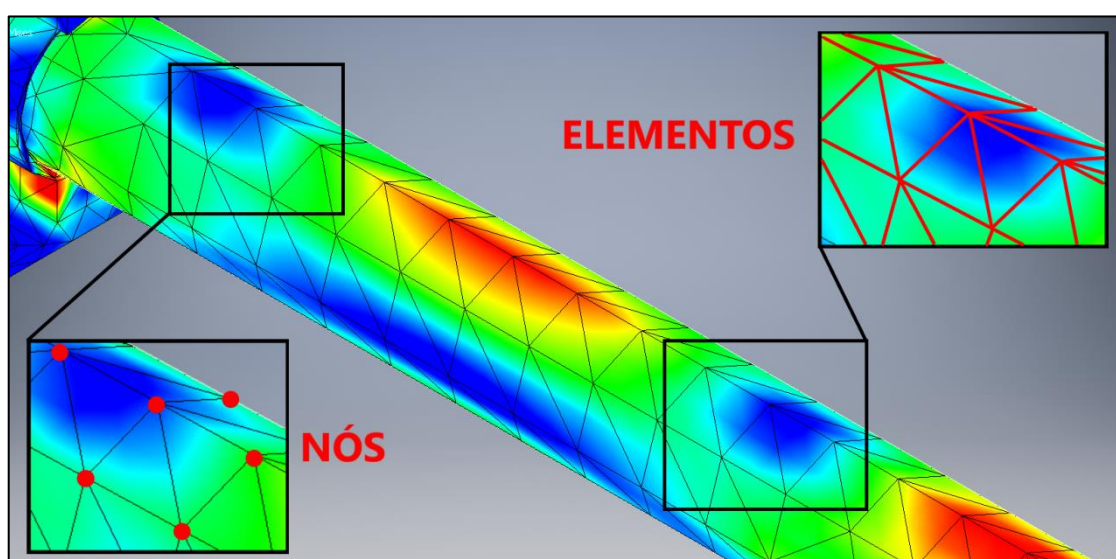
A análise desses modelos matemáticos, ainda segundo Lima (2003), requer habitualmente o uso de métodos numéricos, e o método de elementos finitos é um desses métodos, que foi desenvolvido para análise de meios contínuos, possibilitando que fosse analisado a maior parte dos sistemas físicos.

Na análise linear de qualquer estrutura, a formulação do método de elementos finitos é construída a partir de hipóteses do modelo estrutural. Tais hipóteses são, segundo Bathe (2006), os infinitesimalmente pequenos deslocamentos nodais, materiais que são linearmente elásticos e a não modificação das condições de contorno durante aplicação de cargas.

O conceito de malha dos elementos para Fagan (1992) é a subdivisão de um modelo que apresenta continuidade em elementos e pontos nodais, que possuem cada um seu respectivo grau de liberdade, deste modo obtendo como resultado uma representação aproximada da estrutura, relacionado com o refinamento da malha.

Porém uma definição um tanto quanto mais detalhada é dada por Mirlisenna (2016), segundo ele, malha é compreendida a subdivisão de qualquer estrutura, peça, conjunto, equipamento, independentemente do tamanho em partes menores, que recebem a denominação de elementos e dos respectivos nós que interligam tais elementos, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Elementos e Nós na Malha de Elementos Finitos



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após este processo, passa a se tornar conhecido a quantidade tanto de elementos quanto de nós. Os nós estão localizados sempre nas extremidades das arestas e ocasionalmente sobre as arestas e faces do elemento, dependendo do seu respectivo grau de polinômios (MIRLISENNA, 2016).

No início da utilização da análise de elementos finitos, a geração de malha para um equipamento ou componente, sendo este simples ou complexo, exigia um enorme esforço. Porém atualmente, com a presença de geradores automáticos e pré-processadores de malha existentes em *softwares*, simplificaram essa tarefa, além do fato de que diversos aplicativos específicos apenas para análise de elementos finitos permitem a importação do arquivo do modelo direto de programas de desenho auxiliados por computadores, com a possibilidade de que haja uma autogeração de malha (NORTON, 2013).

Mirlisenna (2016) também comenta sobre um artifício que possibilita o refinamento da malha em regiões específicas do modelo com a única finalidade de aumentar a precisão da análise se aproximando mais do comportamento real do componente. Tais regiões específicas são extremamente críticas, pelo fato de haver uma concentração de tensões em áreas de maior solicitação, se aproximando das condições da estrutura física real.

A subdivisão do modelo contínuo é automaticamente realizada pelo *software* de elementos finitos que calcula em forma de matriz a equação de cada elemento, encontrando as tensões e deslocamentos nos nós (NORTON, 2013).

De acordo ainda com Norton (2013), uma malha que possui elementos maiores é alvo quando há uma intenção de se minimizar o tempo de processamento. Nas regiões onde na peça ou estrutura há uma tensão menor, mesmo uma malha grosseira tem grande possibilidade de fornecer bons resultados, entretanto nas regiões onde o valor da tensão é alto.

Fagan (1992) menciona que para simplificar esse entendimento, a medida que se aumenta o valor numérico de elementos e nós em uma malha determinada, os resultados se tornam mais precisos para a análise.

Para o método de elementos finitos é imprescindível às condições de contorno. Segundo Soriano (2003), é necessário adicionar os dados e as hipóteses de simulação para as respectivas análises, esses dados denominados de condições de contorno, são representados pelos apoios e restrições, além de se levar em conta os carregamentos da estrutura.

Essas restrições que representam as condições de contorno definem o relacionamento da estrutura com o ambiente externo, conhecidos também como engastamentos. Em contraponto os carregamentos são as forças, pressões e momentos os quais está submetida a estrutura (SORIANO, 2003).

A análise do método de elementos finitos pode ser dividida em pré-processamento, processamento e pós-processamento. Entende-se por pré-processamento todas as definições pré-estabelecidas logo antes de se iniciar a simulação, determinando o material que será analisado e em que condições este material será analisado. Esta é a etapa em que são realizadas as operações de cálculo que solucionarão o problema (ASSAN, 1999; AZEVEDO, 2014).

Na etapa de processamento é necessária a configuração o tipo de análise que se deseja, sendo elas a solicitação do uso de equações lineares ou não lineares, além de deslocamentos nodais (ASSAN, 1999).

Azevedo (2014) contesta que na etapa do pós-processamento obtém-se os resultados do deslocamento, das distribuições de tensões, da deformação, etc. Atestando e considerando os resultados obtidos, é possível se fazer a análise desses resultados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Como abordado anteriormente, para formulação e cálculo de um projeto para solução de um problema, faz-se necessário quatro estágios para conclusão de um projeto, são eles: estágio de definição, realização do projeto preliminar, detalhamento do projeto e o estágio da documentação (NORTON, 2013). Foi seguido este modelo para que possa ser formulado o projeto vigente, com a finalidade de serem descritos os materiais e métodos utilizados para se concluir o projeto e alcançar o objetivo proposto.

3.1 Definições do projeto

Antes de definido o projeto, deve ser validado que o programa utilizado para elaborar e realizar todo o projeto por método de desenho auxiliado por computador e para as análises estruturais pelo método de elementos finitos foi o Autodesk Inventor.

Primeiramente, para que o projeto fosse definido, foi analisado o problema em questão, abordando a dificuldade para se locomover dos portadores de deficiência física na prática do tênis de mesa paraolímpico. Devido à limitação de movimentos laterais de uma cadeira de rodas, foram levantadas certas hipóteses de se utilizar algum método de se movimentar através de um dispositivo que possibilitasse a locomoção adequada, com a finalidade de se garantir a acessibilidade necessária tornando alcançável a jogabilidade requerida no esporte em questão.

Para a realização de um projeto preliminar com a finalidade de gerar um escopo inicial, foi criada a ideia de serem utilizados trilhos para que fosse possível locomover lateralmente um atleta sentado, assim como um caminho de rolamento usado em ponte rolante e pórticos, e, além disso, que fosse possível utilizar apenas uma das mãos para gerar o movimento, para que a outra segure a raquete para jogar. Manter uma das mãos livres para praticar o esporte enquanto deve ser mantida a fluência de movimentos na cadeira de rodas, é sem dúvida, o maior desafio atual nesse esporte, uma vez que a cadeira de rodas não possui o movimento limitado apenas para o lateral.

Para definir o projeto adotou-se um plano cartesiano levando em consideração a vista superior da mesa, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Representação dos eixos da mesa adotados no projeto.



Fonte: Adaptado de The Standard, 2020.

Depois de adotados os eixos de referência para a identificação dos movimentos do projeto, foram elaborados três principais módulos ou partes do conjunto, indispensáveis para o funcionamento primordial. O dispositivo deve ser deslocado por sobre o eixo X de modo que limite os movimentos do atleta apenas em um sentido, sendo este o sentido transversal levando em consideração mesa, uma vez que, no esporte paraolímpico de tênis de mesa é o movimento fundamental para ser possível a execução do ato de rebater a bola com a raquete. Inicialmente foi escolhida a estrutura de trilho, como citado anteriormente, para realizar a função de eixo limitador, cujo qual seria o primeiro módulo fundamental para se assegurar a funcionamento do conjunto, sendo o ideal para limitar o movimento longitudinal, admitindo a mesa como referência, e adotando o movimento livre no sentido perpendicular a esse.

A segunda parte fundamental do conjunto também seria a principal e realizaria a intermediação entre o corpo do atleta e os trilhos que guiam a direção e sentido. Esta parte deveria ser composta de um apoio para que o atleta pudesse sentar e se acomodar para a prática do esporte e ainda possuir rodas em sua parte inferior para correr livremente sobre os trilhos, além de possuir nessas rodas uma montagem de modo que dificulte ao máximo o descarrilamento ou desalinhamento em contato com os trilhos.

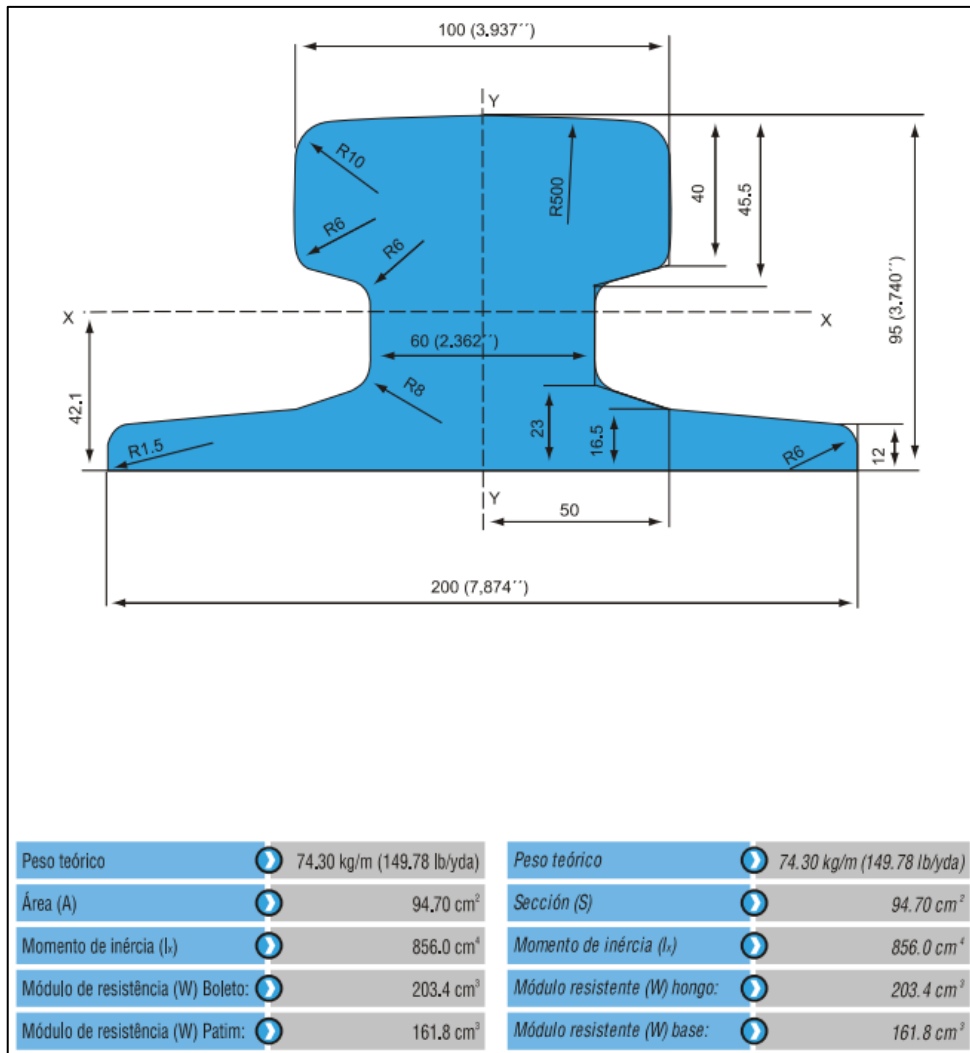
O último módulo fundamental para o perfeito desempenho primordial do equipamento seria o modo de acomodação e adaptação, admitindo-se que acomodação como sendo a interação de contato entre usuário e dispositivo, e adaptação como o modo de transferir a força motriz executada pelo usuário em força movida aplicada no equipamento. Tornando possível a locomoção necessária sem nenhum mecanismo eletrônico, com o intuito principal de ter custo viável, além da possibilidade de ser utilizado no ambiente profissional, é necessário que o mecanismo seja movido pela força do braço do atleta, pois circuitos de comandos elétricos impossibilitariam a eficácia do dispositivo ao ter que impor uma força de resposta rápida exigida pelo esporte, o que usando a força e resposta imposta pelo corpo humano, torna-se possível.

3.2 Projeto preliminar

Após a definição do projeto, denominado então de Cadeira Mecânica, designando cada módulo essencial do dispositivo, em sequência, para o próximo estágio, foi realizado um escopo inicial com a finalidade de idealizar e modelar em *software* de desenho cada módulo definido na sessão anterior, almejando que posteriormente ao projeto preliminar, cada parte possa ser aprimorada para construção de um dispositivo completo e eficaz que esteja apto a ser produzido fisicamente como um protótipo para futura implementação na prática.

O módulo definido pelo eixo limitador no sentido X denominado trilho, inicialmente foi selecionado para ser utilizado no conjunto o modelo europeu de trilho A100, como demonstrado no desenho técnico da Figura 6, buscando que o dispositivo fosse realmente como uma fração de vagão de uma locomotiva para movimentação lateral objetivando solucionar o problema alvo.

Figura 6: Representação dos eixos da mesa adotados no projeto.

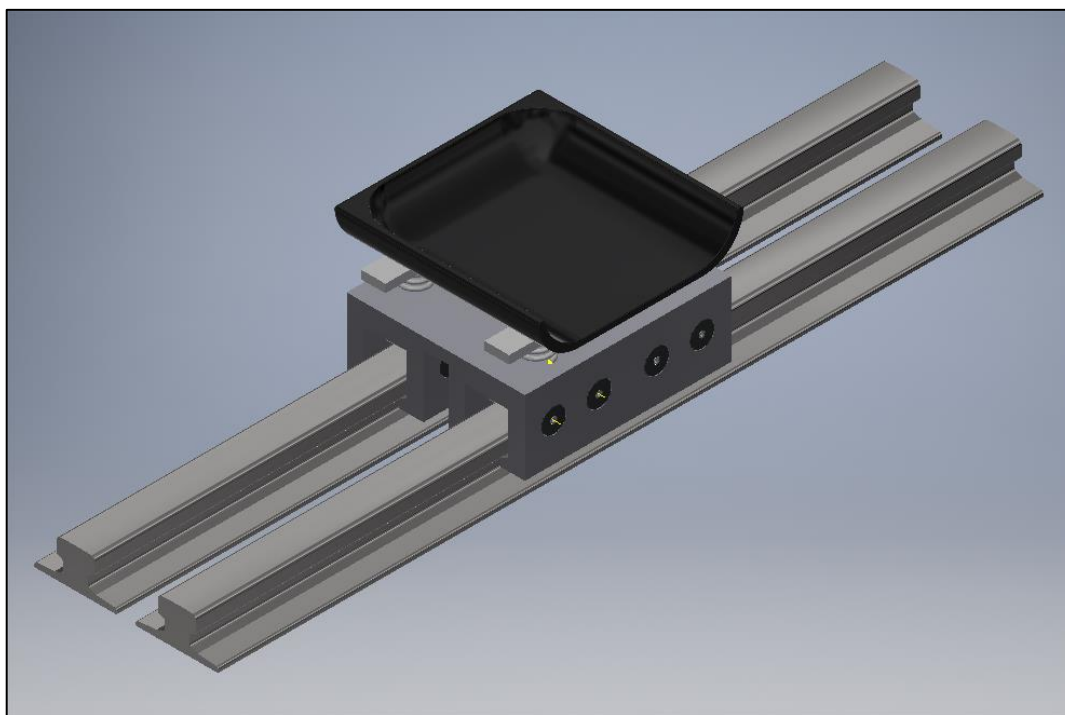


Fonte: ComercialForte, 2020.

Depois de decidido do módulo a ser utilizado como base, foi elaborado preliminarmente o carro cujo qual seria a principal parte do dispositivo feito em aço carbono AISI 1020, sendo orquestrado entradas laterais para alocação das rodas pelas quais ele seria locomovido, essas rodas inseridas junto a rolamentos de esferas, possibilitando ser movimentado livremente sobre os trilhos. Neste carro foi implantada a acomodação do usuário, no caso foi projetada uma cadeira específica anexada através de molas para absorver o impacto existente quando se movimenta até as extremidades do dispositivo.

A Figura 7 ilustra o modelo do conjunto completo preliminar inicialmente criado.

Figura 7: Projeto preliminar da Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3 Detalhamento do Projeto

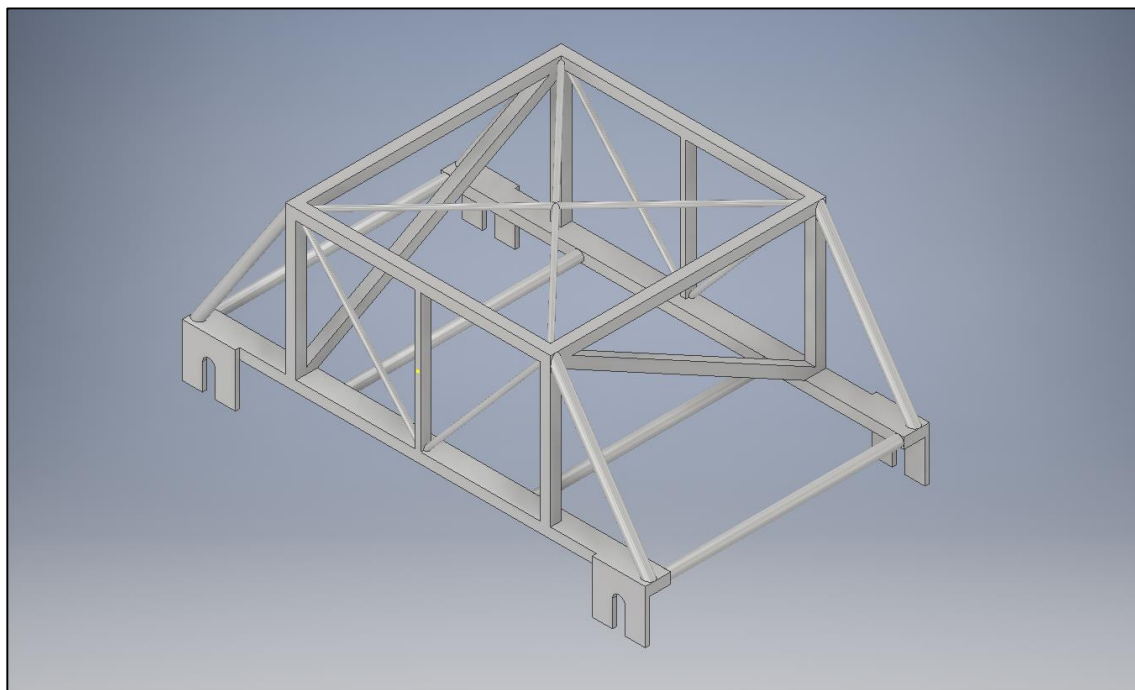
Após a análise do projeto preliminar, foram observados alguns pontos essenciais que deveriam ser modificados e elementos que deveriam ser adicionados para se tornar viável a respectiva fabricação de um protótipo do dispositivo, para que fosse de fato testado.

Os principais motivos para que fossem obrigatórias essas alterações, primeiramente, seria o alto valor da massa do dispositivo, apesar de robusto, esse alto valor impossibilitaria a movimentação livre e fácil com apenas uma mão, executada pelo usuário. Para resolver este impasse, foi analisada a possibilidade de, o invés de um carro feito através de um bloco de aço usinado, fosse usado um quadro feito através de tubos, barras de seção quadrada e circular, arranjados como treliças espaciais, assim como os utilizados em estruturas de cadeiras de rodas, bicicletas ou estruturas de construção civil.

As chapas que formam o suporte do eixo, bem como toda estrutura que compõe o carro, foram projetadas para serem fixadas por meio de solda industrial, porém nos desenhos e representações não foram adotadas para simplificar o projeto. Diferentemente dos módulos rodas e rolamentos que serão anexados por meio de elementos de fixação, com a finalidade de se obter praticidade na atividade

de manutenção. O arranjo dos elementos foi elaborado como ilustrado na Figura 8. Dando origem ao elemento denominado carro.

Figura 8: Módulo Carro da Cadeira Mecânica.

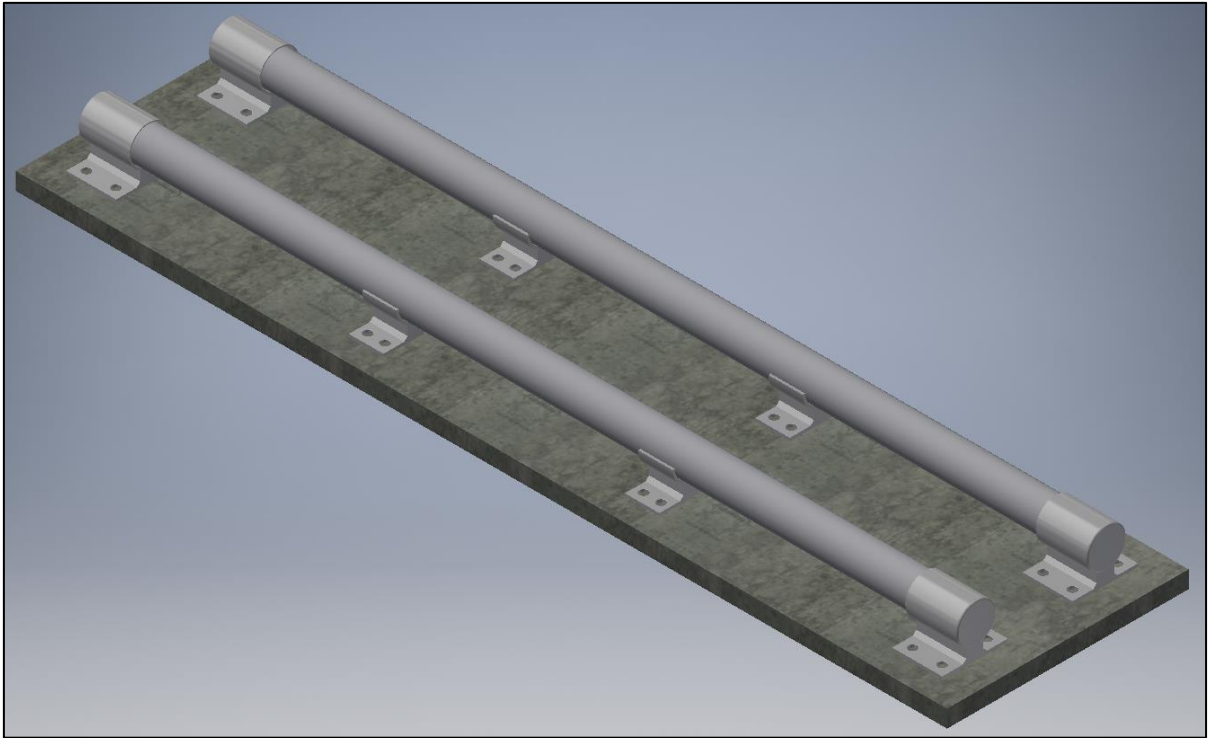


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os trilhos no projeto preliminar, sendo do mesmo modelo utilizado em ferrovias, faria com que o dispositivo possuísse rodas maiores do que o necessário, além de ser inviável para instalá-lo com facilidade e dificultaria o transporte. Como um dos objetivos do conjunto em si é ser viável para ser instalado em qualquer lugar em que haja espaço para ser praticado o tênis de mesa, o dispositivo deve conter trilhos mais práticos de serem transportados e instalados, além do fato de que não seria necessário um trilho tão rígido, levando em consideração a massa do carro, somada a massa do atleta e o impacto, ao ser aplicada a força necessária para ser movimentado o dispositivo.

O módulo definido como trilho, para ser eficaz adequando o menor volume para que possa ser distribuída sobre ele a maior massa possível, foi definido que o perfil do trilho deve ser uma barra de seção circular, alocados paralelamente, ilustrado na Figura 9, de uma espessura que não haja um valor de deslocamento considerável, pois o deslocamento vertical do trilho dificultaria o deslocamento livre no sentido horizontal do usuário.

Figura 9: Módulo Trilho da Cadeira Mecânica.

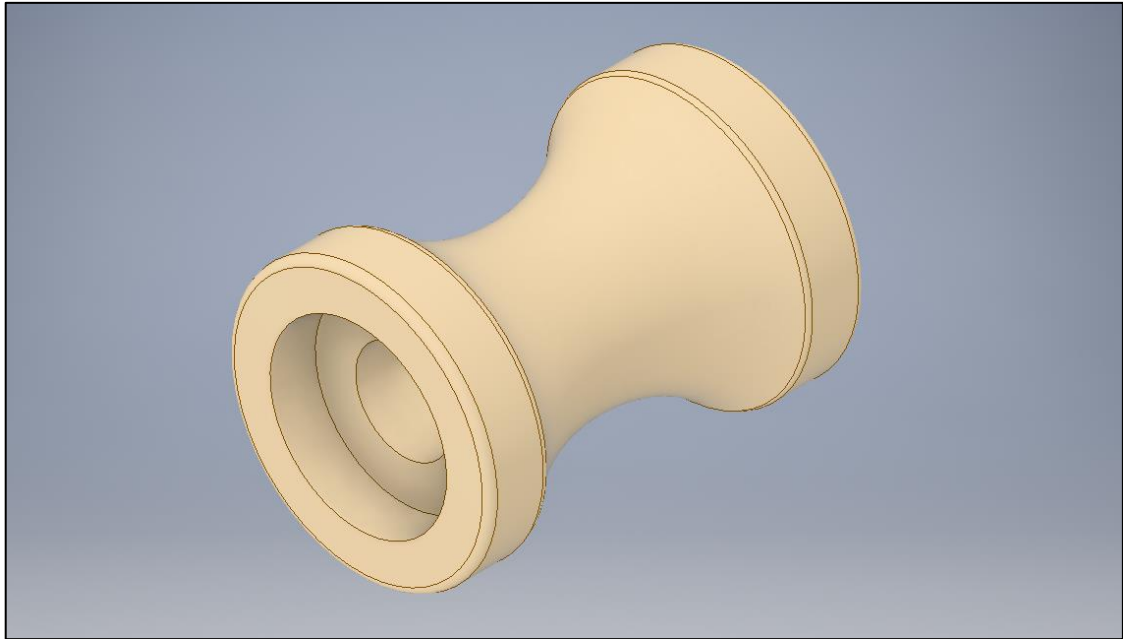


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para que qualquer dispositivo possa ser utilizado por diversas pessoas, é necessário que haja possibilidade de regulagem, visto as diferenças físicas entre os seres humanos. Atendendo tal necessidade foi implantado um pequeno ajuste de altura no carro, sendo possível a adaptação para os diferentes biótipos físicos dos usuários.

As rodas do dispositivo necessariamente foram projetadas especialmente para o projeto, feitas em material de plástico polietileno, com a finalidade de evitar ao máximo o atrito das rodas com o trilho, como ilustrado na Figura 10, para serem acopladas e correrem no trilho de maneira que o carro não possa se movimentar no sentido Y, sendo restritamente limitado ao eixo X, contando com o auxílio de chapas que além de sustentar as rodas e rolamentos também evitam o processo de descarrilamento do carro.

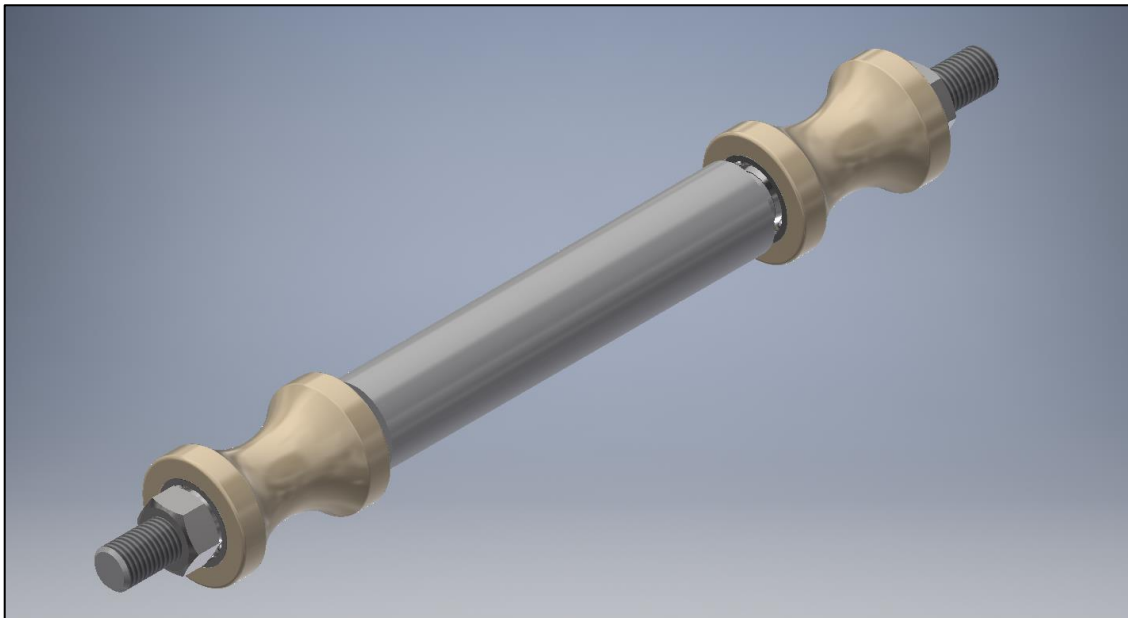
Figura 10: Módulo Roda da Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O conjunto que compõe o eixo, rolamentos, roda e fixadores, é ilustrado através da Figura 11.

Figura 11: Módulo Eixo da Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

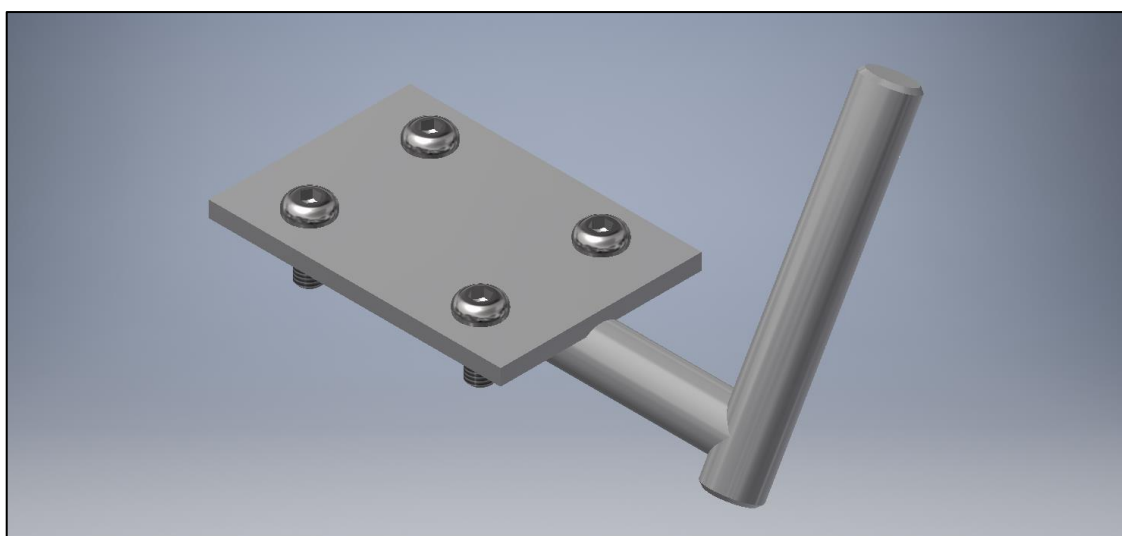
Eixo deve ser produzido com rosca em suas extremidades para fixação das rodas no eixo e do conjunto do eixo no carro.

Para evitar a fragilização do componente, o eixo deve ser termicamente tratado como parafusos para que não haja fragilização do material para que não haja fratura nas áreas em que há concentração de tensões. Quanto os fixadores encontrados nos eixos são porcas do modelo DIN 934 de dimensão M24 para a fixação do eixo no módulo Carro.

O módulo de acomodações do usuário foi mantido, porém devido ao novo modelo de carro não houve a presença de amortecedores, também por uma possível perda de eficácia e energia durante os movimentos intensos e bruscos do tênis de mesa paraolímpico. Entretanto um ponto que deve ser levado em consideração e de suma importância é a implantação de um cinto de segurança que de mais segurança e conforto para o usuário, assegurando que o atleta não irá se movimentar no dispositivo de forma não proposital, apesar de no projeto o cinto ter sido ocultado.

O manche, ponto em que o usuário aplica força motriz para que a força de reação movimente o dispositivo, foi feito em Aço AISI 4130, fixado na mesa através de elementos de fixação, uma vez que a mesa também será fixada utilizando o mesmo método, pois este manche apresentará duas possibilidades, para destros e canhotos, além de possuir uma angulação para que seja ergonomicamente confortável para o atleta, aumentando a eficiência na movimentação do dispositivo através da aplicação de força do usuário. O modelo do manche está ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Módulo Manche da Cadeira Mecânica.



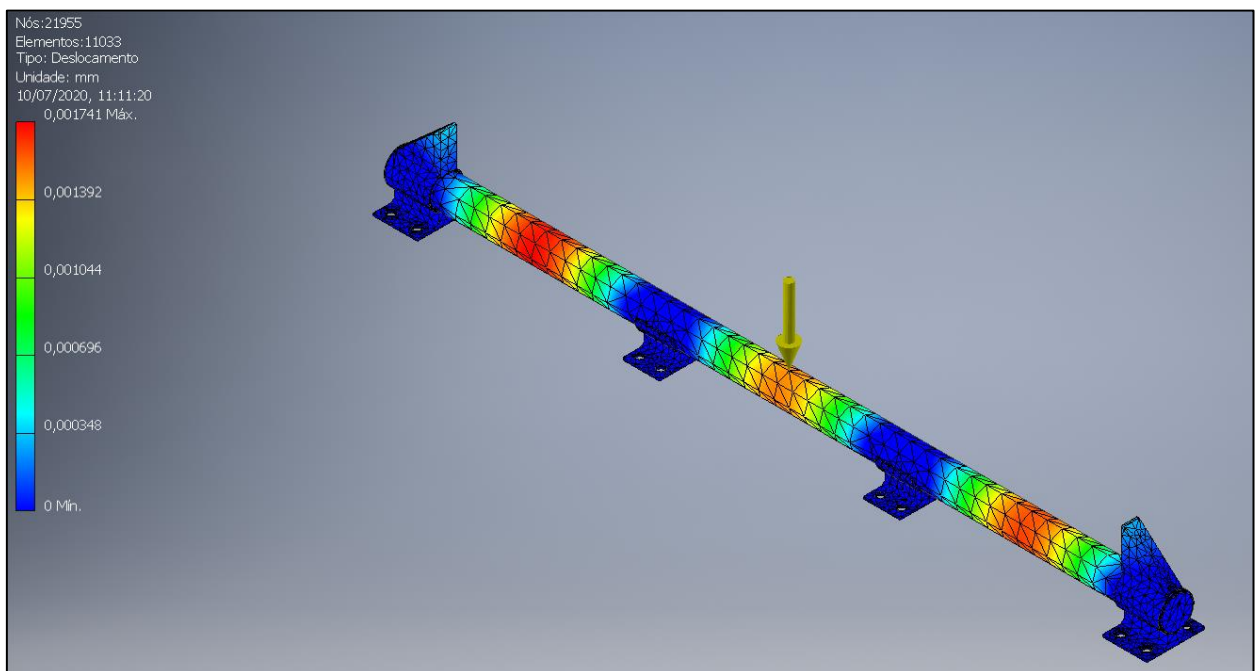
Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.4 Documentação do Projeto

A documentação do projeto contempla primeiramente a análise de cada módulo através do método de elementos finitos. Com esta análise foi possível se concluir a escolha adequada dos materiais utilizados no dispositivo.

Na Figura 13 é ilustrado a análise do método de elementos finitos onde se encontram as forças atuantes sobre o módulo do dispositivo denominado trilho. Para este, o principal fator a ser analisado foi o valor da deformação do material em milímetros, pois como além da própria massa do dispositivo, deve ser computada também a massa do usuário, analisando tais valores, constante do dispositivo e variável do usuário, pôde ser escolhido o material de modo que seja deformado o mínimo possível, visto que uma deformação significativa do módulo verticalmente gerará uma perda de eficiência do projeto quando movimentado, essa análise é de fundamental importância para constatar a escolha adequada do material selecionado. Para o Aço AISI 1020 o deslocamento máximo para a carga aplicada de equivalente a massa imposta como limite de 150 quilogramas, adicionado à massa do dispositivo, foi apresentado o deslocamento máximo de 0,00174 milímetros.

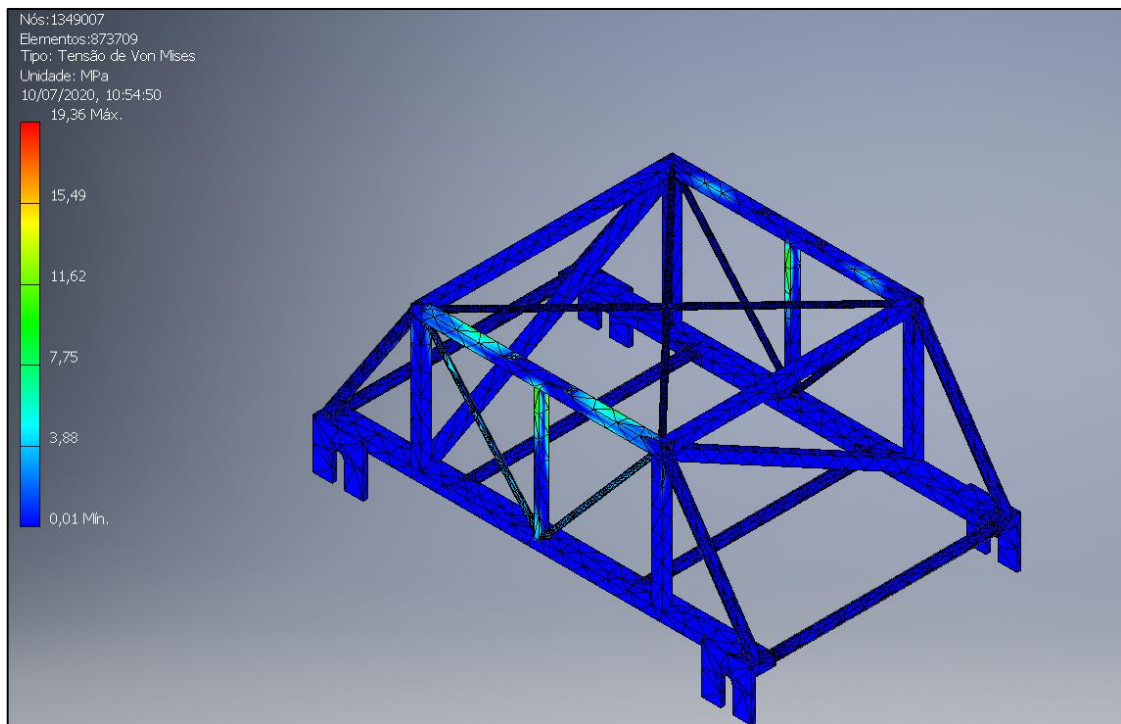
Figura 13: Análise de deslocamento através de elementos finitos do Trilho.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O módulo composto pelo carro em conjunto com o módulo de acomodação foi analisado para que fosse possível a distribuição do peso gerado pela massa do usuário e das forças de reação devido à força utilizada ao se movimentar o carro sobre os trilhos. Para esta análise abordou as tensões de Von Mises, esses valores estão ilustrados na Figura 14, e assim como o trilho, a análise foi indispensável para provar a viabilidade da utilização do material. O Alumínio 6061 concilia uma massa menor que a do aço com propriedades que garanta a resistência suficiente para sustentar com veemência as exigências requisitadas para o devido desempenho do equipamento.

Figura 14: Análise de tensão através de elementos finitos do Carro.

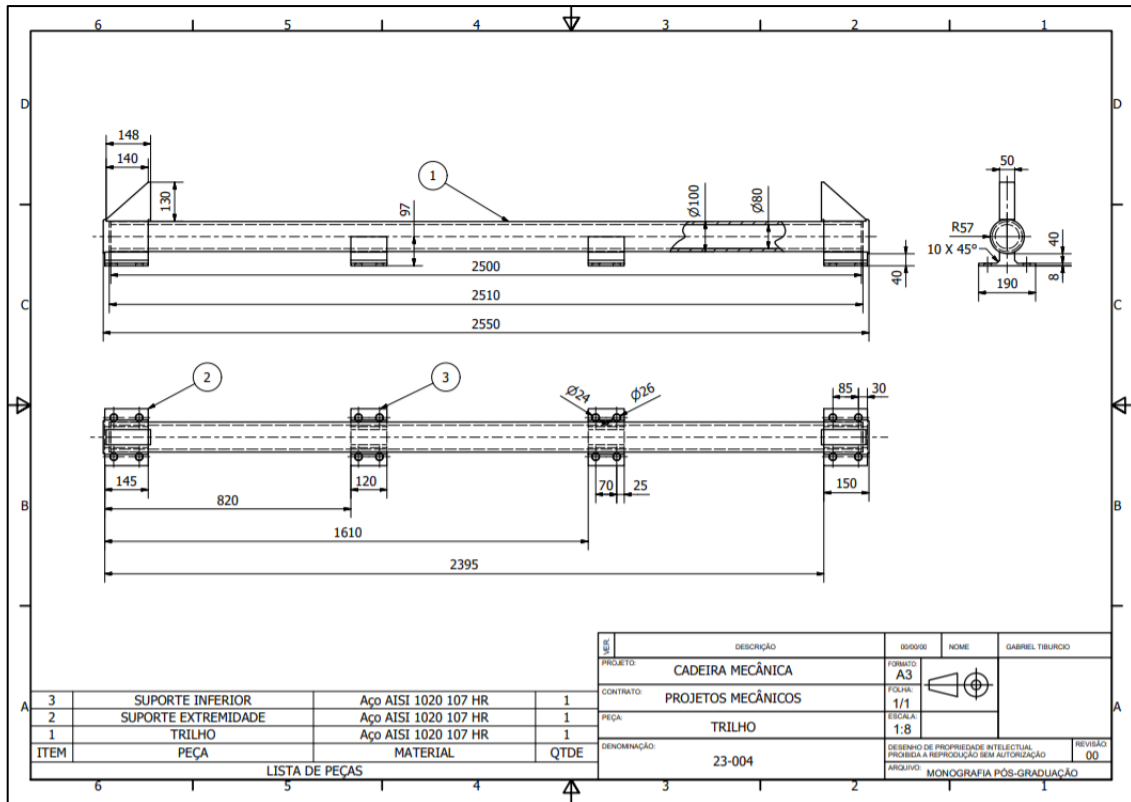


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além da análise através do método de elementos finitos do dispositivo, na etapa de documentação do projeto, também contempla os desenhos técnicos de cada um dos módulos principais do dispositivo.

Na Figura 15 é ilustrado o desenho em detalhamento do módulo do trilho.

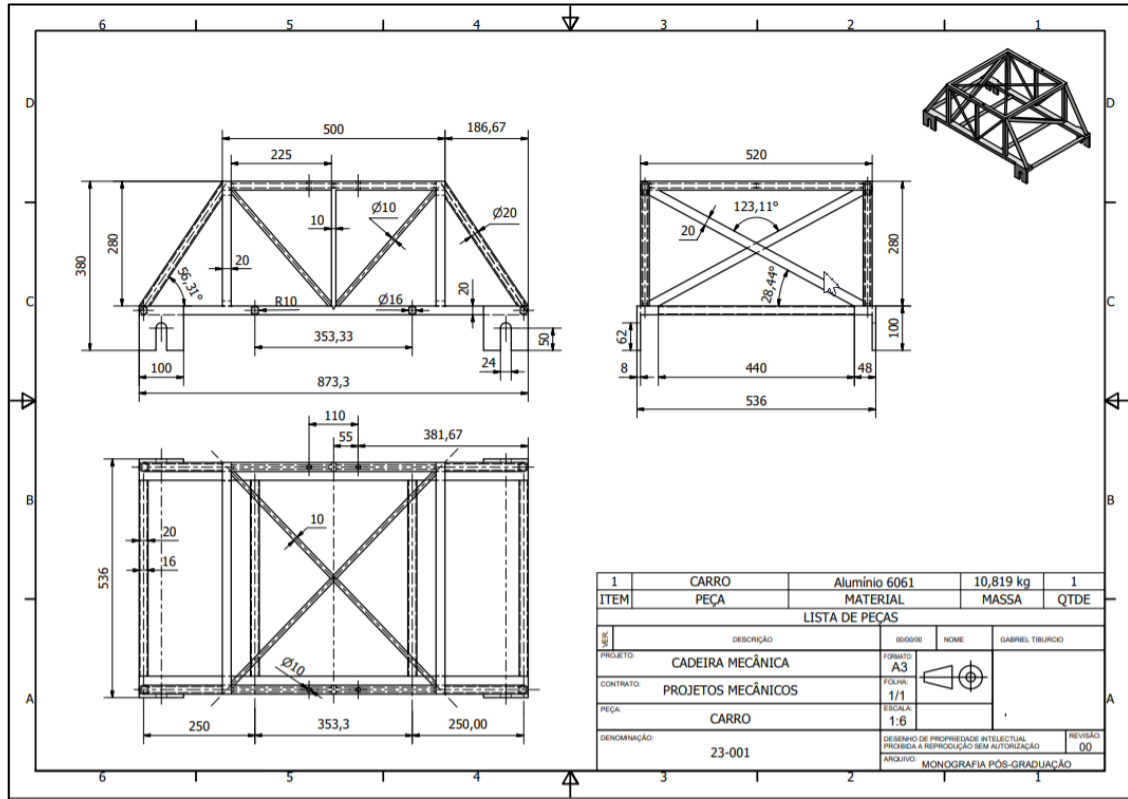
Figura 15: Desenho de Detalhamento do Trilho.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 16 ilustra o desenho, detalhando o conjunto principal, que contempla a estrutura do carro.

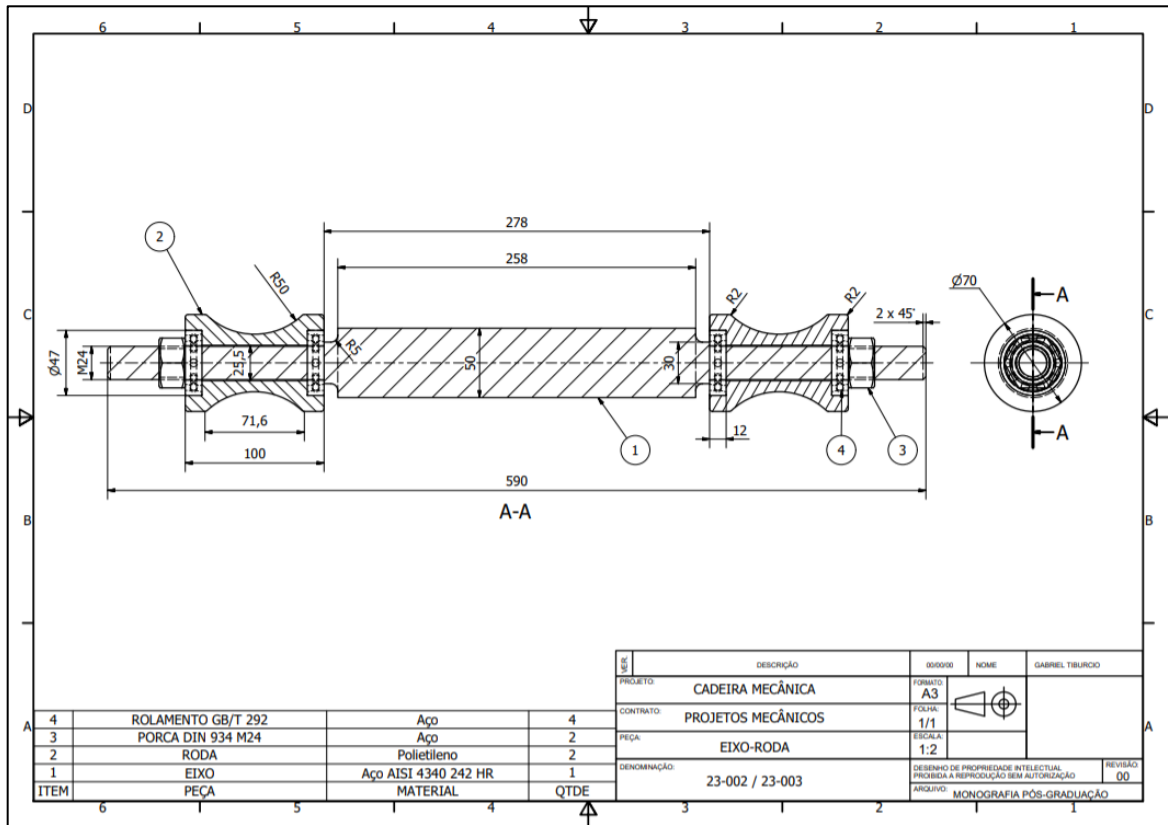
Figura 16: Desenho de Detalhamento do Carro.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 17 é ilustrado o detalhamento em desenho técnico do conjunto do eixo.

Figura 17: Desenho de Detalhamento do Eixo.



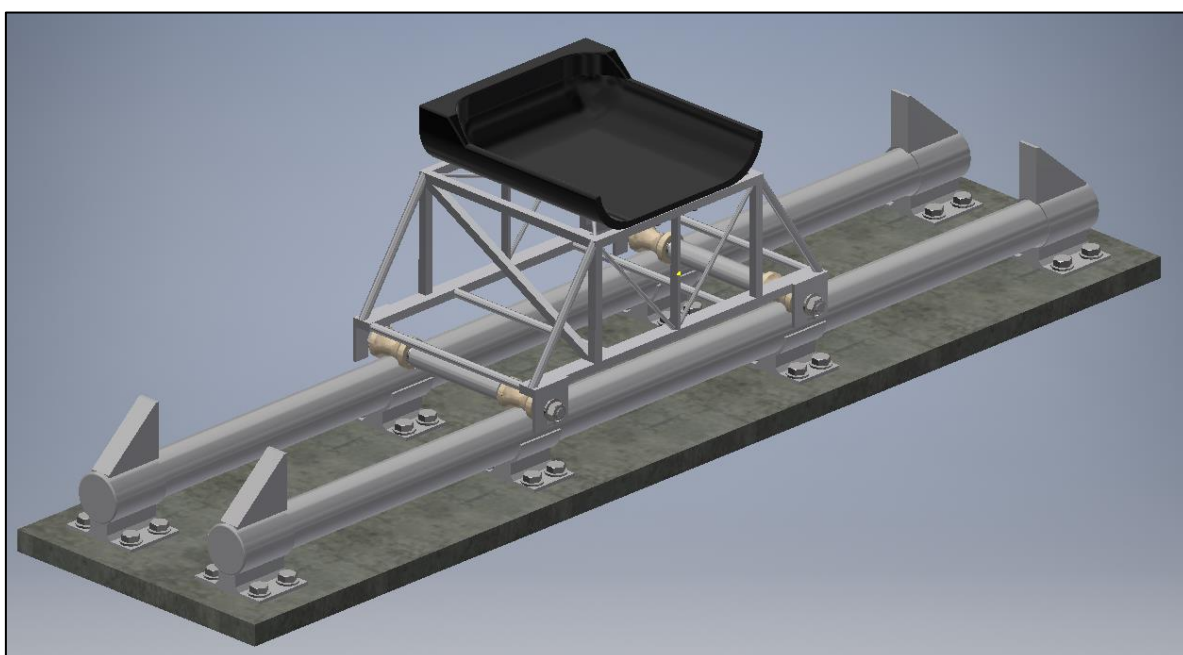
Fonte: Elaborado pelo Autor.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos através do presente estudo, depois de projetado o dispositivo para substituição da cadeira de rodas no tênis de mesa paraolímpico, estão descritos neste capítulo.

Foi obtido como resultado principal do projeto, o modelo tridimensional do dispositivo completo, como ilustrado na Figura 18, para ilustrar como será o protótipo físico futuramente produzido.

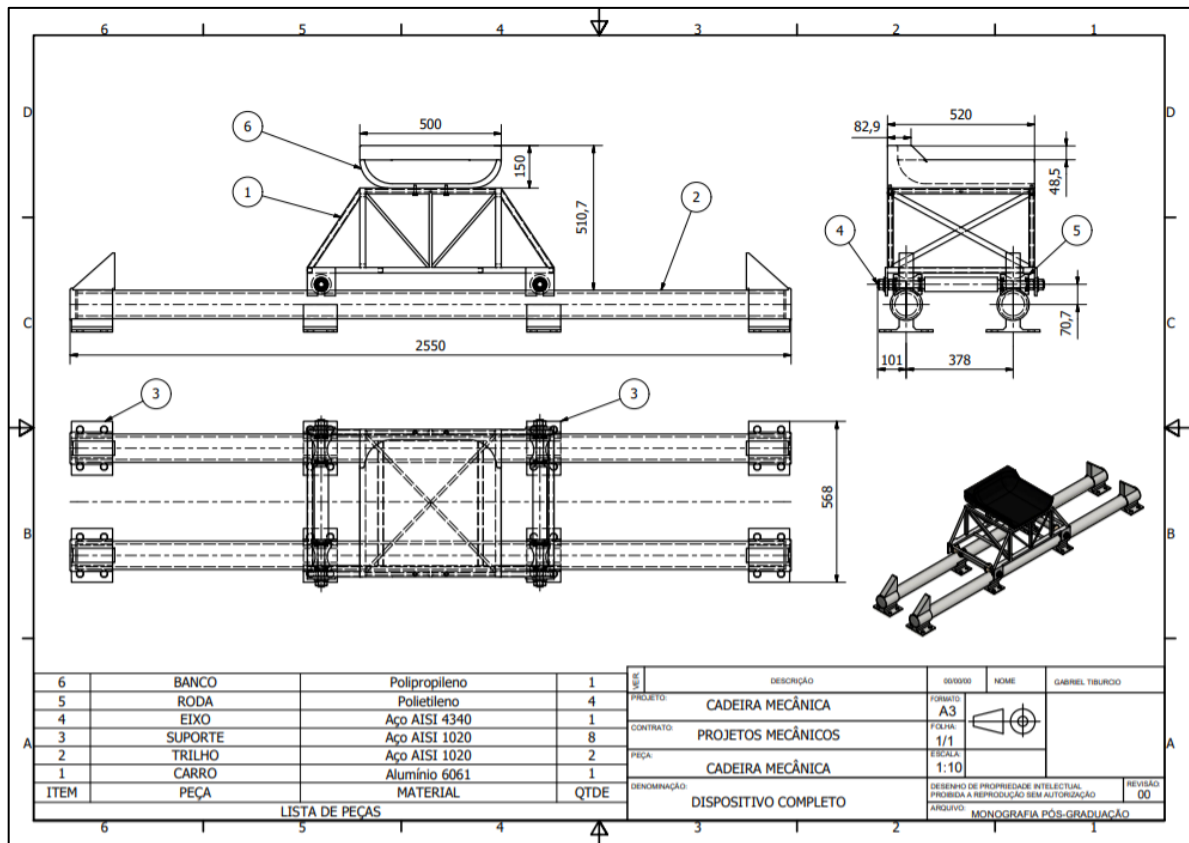
Figura 18: Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para produzir o protótipo será necessário o desenho técnico do conjunto completo, ilustrado pela Figura 19, detalhando as medidas de referência do dispositivo, visto que os desenhos detalhados já foram registrados no capítulo anterior. Além do detalhamento, foi elaborada junto ao desenho técnico, uma tabela contendo os materiais principais utilizados no projeto.

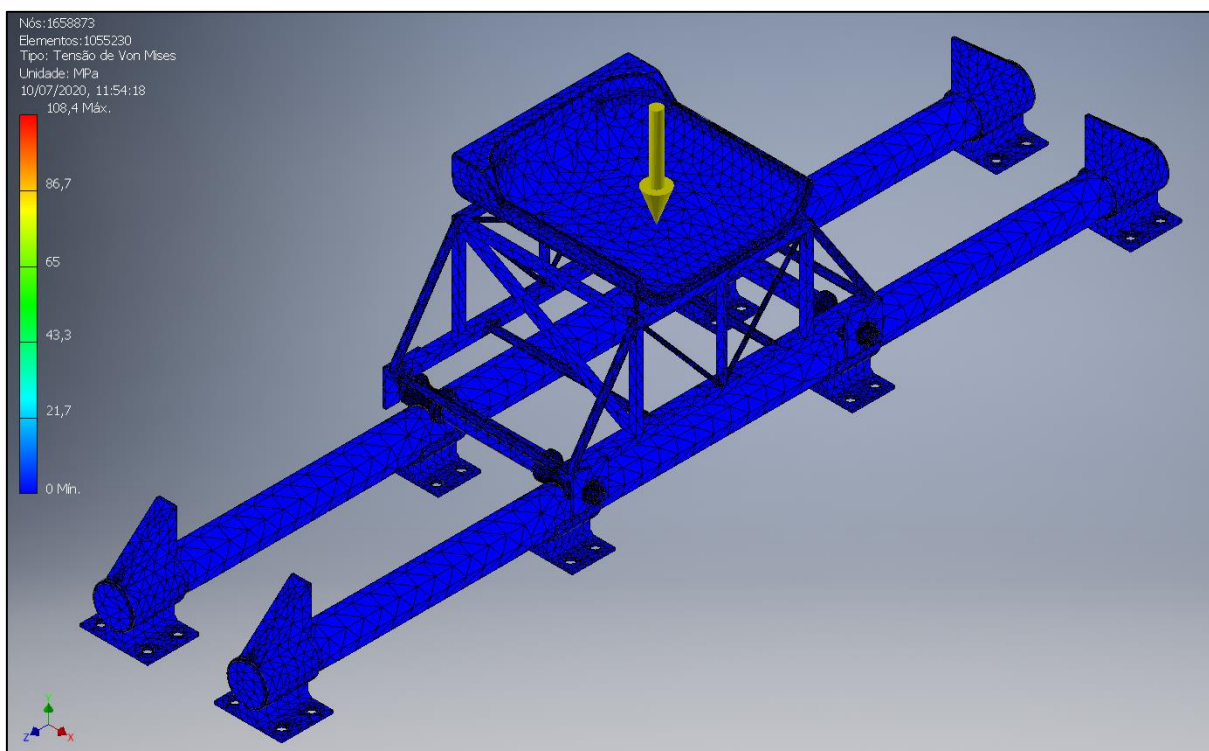
Figura 19: Desenho de Detalhamento da Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após definidas todos os materiais foi gerado um modelo que foi analisado pelo método de elementos finitos, provando a viabilização de todos os materiais no conjunto, e demonstrando as forças aplicadas e esforços solicitados distribuídos no equipamento. A análise de elementos finitos da Cadeira Mecânica é ilustrada na Figura 20. Segundo a análise, os materiais suprem a necessidade solicitada pelo projeto, além de não possuir uma massa elevada, possibilitando o desempenho adequado de locomoção do usuário.

Figura 20: Análise de tensão por elementos finitos da Cadeira Mecânica.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Um dos principais resultados obtidos foi a funcionalidade que é proposta pelo dispositivo, ele atingiu em tese e ambiente de simulação a funcionalidade necessária para que um ser humano com deficiência física nos membros inferiores, ou dificuldade de mobilidade. O usuário pode se locomover horizontalmente limitado por um sentido atingindo o deslocamento necessário para a jogabilidade do esporte em questão. A funcionalidade das regulagens também foi bem aproveitada, podendo ser utilizado tanto por usuários destros, como canhotos, ou usuários com certas diferenças de altura.

5. CONCLUSÃO

Após a criação e desenvolvimento do projeto quanto ao dispositivo objeto de estudo, poderá seguir para o estágio de construção do protótipo, com intuito de iniciar os testes de mobilidade e funcionalidade na prática, além da adequação do usuário e conforto, visando a possibilidade de se desenvolver melhorias constantes para que haja constantemente uma versão otimizada do dispositivo em prol do usuário.

A principal melhoria observada que poderia ser desenvolvida durante a obtenção da etapa dos resultados foi a possibilidade de aumentar os níveis de mobilidade de movimentação do dispositivo para uma maior liberdade de possíveis movimentos que o usuário pode executar durante a atividade, criando futuramente mais um eixo de deslocamento, porém no sentido do eixo Y, o oposto do atual.

Concluiu-se então que as melhorias podem ser implementadas ao projeto, para que o protótipo possa ser testado, aprovado e disponibilizado para uso efetivo. Este dispositivo após aprovação de segurança e funcionalidade, quando na etapa de uso efetivo, poderá ser anexado a qualquer mesa para a prática do tênis de mesa paraolímpico, sendo esta de âmbito competitivo ou para lazer, para portadores de deficiência física as quais impossibilitam ou dificultam o movimento dos membros inferiores, não somente para inclusão social, mas para o bem estar e práticas físicas.

O dispositivo, depois de concluído em todos os seus estágios, poderá ser testado em outros esportes voltados para portadores de deficiências físicas, objetivando a melhoria em conforto, mobilidade e acessibilidade ao esporte. Além de outros esportes, o avanço nos estudos deste projeto trará a possibilidade de explorar as utilidades deste em outras atividades cotidianas e rotineiras em que se faz necessário certa mobilidade em espaços limitados com baixo grau de acessibilidade em cadeiras de rodas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. R. M. **Método dos elementos finitos**. Faculdade Federal de Goiás. Goiânia/Go, 2014.
- ALVES FILHO, A. **Elementos Finitos A Base da Tecnologia CAE**. 5. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2007.
- ARAÚJO, P. F. **Desporto adaptado no Brasil: origem, institucionalização e atualidade**. Brasília, 1998.
- ASSAN, Aloisio Ernesto. **Método de Elementos Finitos: Primeiros Passos**. São Paulo: Editora da Unicamp, 2003.
- AZEVEDO, Domingos Flávio de Oliveira. **Análise estrutural com Ansys Workbench: Static Structural**. Mogi das Cruzes, 2014.
- BATHE, K. J. **Finite Element Procedures**. Cambridge, MA: Klaus-Jurgen Bathe, 2006.
- BRASIL. Academia Paralímpica Brasileira. **Regimento Interno da Academia Paralímpica Brasileira**. Brasília: Comitê Paralímpico Brasileiro, 2012.
- BRASIL. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**. Lei nº 13.146 de 06 de julho de 2015. Brasília: Casa Civil, 2015.
- BRASIL. **Política nacional de saúde da pessoa portadora de deficiência**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.
- CARAMELLI, S. **Attualità e prospettive della costruzione in acciaio italiana in europa e nel mondo**. Costruzione Metalliche, 1993.
- CARTER, F. W. **On the action of a locomotive driving wheel**. London, 1926.
- ComercialForte. Disponível em <<http://www.comercialforte.com.br/pag/02/08.pdf>>. Acessado em 23 de junho de 2020.
- DA COSTA, A. M.; SOUSA, S. B. **Educação física e esporte adaptado: história, avanços e retrocessos em relação aos princípios da integração/inclusão e perspectivas para o século XXI**. Revista Brasileira de Ciências do Esporte, 2004.
- DAEMMRICH, B. **Men's Table Tennis, Rio 2016**. Disponível em <<https://bobphoto.com/paralympics/1k4qxhulynlpc6ba10ebffpalx3r7w>>. Acessado em 10 de junho de 2020.
- DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 536 – 1**. 1991.
- EL-SHEIKH, A.I.; EL-BAKRY, H. **Experimental study of behavior of new space truss system**. Journal of the Structural Engineering, 1996.
- FAGAN, M. J. **Finite Element Analysis – Theory and Practice**. USA, 1992.

HANSSON, A. H. **Contact mechanics: exploring some limitations of Hertzian theory**. Göteborg. 2001.

HERTZ, H. R. **Miscellaneous Papers**. London: Macmillan & Co. 1896.

HILL, C.; BLANDFORD, G.; WANG S. **Postbuckling analysis of steel space trusses**. Journal of the Structural Engineering, 1989.

HRINDA, G. A.; NGUYEN, D. T. **Optimization of stability-constrained geometrically nonlinear shallow trusses using an arc length sparse method with a strain energy density approach**. 2008.

IIDA I.; BUARQUE L. **Ergonomia Projeto e Produção**. São Paulo: Blucher, 2016.

JOHNSON, K. L. **One hundred years of Hertz contact**. 1982.

LACERDA, E. G. M. **Análise não-linear de treliças pelo método dos elementos finitos posicional**. Rio Grande do Norte, 2014.

LOVE, A. E. H. **The stress produced in a semi: infinite solid by pressure on part of the boundary**. 1929.

MAKOWSKI, Z.S. **Approximate stress analysis of grid frameworks obtained by slab analogies**. London, Applied Science Publishers, 1981.

MIRLISENNA G. **Método dos Elementos Finitos: o que é**. Disponível em <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acessado em 14 de junho de 2020.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OMS. **Relatório Mundial sobre a Deficiência**. São Paulo, 2011.

PARSONS, A.; WINCKLER, C. **Esporte e a pessoa com deficiência: contexto histórico**. Atheneu: Rio de Janeiro, 2012.

ROSADAS, S. C. **Educação física para deficientes**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1991.

SAAD, A. L. **Acessibilidade: guia prático para o projeto de adaptações e de novas edificações**. São Paulo: Pini, 2011.

SADIQ, O. M; ABATAN, A. O. **Stability analysis of space truss systems under random element imperfections**. Guildford, U.K., 1993.

SCHIMIDT, L.C.; MORGAN, P.R.; CLARKSON, J.A. **Space trusses with brittle-type strut buckling**. Journal of the Structural Division, 1976.

SORIANO, Humberto Lima. **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

Synergetics on the Web. **A. G. Bell & the Octet Truss**. Disponível em <<http://grunch.net/archives/55>>. Acessado em 28 de maio de 2020.

The Standard Sports. **ITTF Table Tennis: State gives Kenya Table Tennis Association Sh7.1m**. Disponível em <<https://www.standardmedia.co.ke/article/2001270522/itf-table-tennis-state-gives-kenya-table-tennis-association-sh7-1m>>. Acessado em 14 de junho de 2020.

TOSHIMI, C. Tênis de Mesa. Esporte paralímpico. São Paulo: Editora Atheneu, 2012.

VANLANDEWIJCK, Y.C.; THEISEN, D.M.; DALY, D.J. **Field test evaluation of aerobic, anaerobic and wheelchair basketball skills performances**. Stuttgart, 2001.