



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CAIO RAMOS DE MENEZES

**DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM PROTÓTIPO DE CAMA
ORTOSTÁTICA DE TUBO DE PVC**

FORTALEZA

2022

CAIO RAMOS DE MENEZES

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM PROTÓTIPO DE UM CAMA
ORTOSTÁTICA DE TUBO PVC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ilson da Silva Júnior

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M51d Menezes, Caio Ramos de.
Desenvolvimento do projeto de um protótipo de cama ortostática de tubo de PVC / Caio Ramos de Menezes. – 2022.
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Ilson da Silva Júnior.
1. Tecnologia assistiva. 2. Ortostatismo. 3. Tubo PVC. I. Título.

CDD 620.1

CAIO RAMOS DE MENEZES

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM PROTÓTIPO DE UM CAMA
ORTOSTÁTICA DE TUBO PVC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 04/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Ilson da Silva Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Soares Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha amada família, principalmente meus pais, Nilson e Vânia, meu irmão João Victor, minha avó, Neuma e ao meu falecido avô Edgard.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, por toda estrutura, apoio durante minha formação e me permitir vivenciar uma das melhores fases da minha vida.

Á Deus, por ter me proporcionado o dom da vida, para vivenciar tudo isso e por todo o suporte nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Nilson e Vânia, por sempre me apoiarem e incentivarem a busca pelo conhecimento, além de todo o auxílio nos momentos bons e ruins na minha formação.

A minha avó Neuma, por todo apoio espiritual e pelo amor condicional pelo seu neto mais novo. Ao meu avô Edgard, que faleceu este ano, por todos ensinamentos e experiências vividas. Aos meus falecidos avôs Ramos e Socorro, por todo apoio na minha formação pessoal.

Ao meu irmão João Victor, por todos os conselhos, críticas e sugestões que foram fundamentais na minha formação acadêmica e pessoal.

A minha companheira Maria Vitória, por todo amor, carinho, apoio e paciência em toda minha jornada acadêmica, e por toda evolução pessoal que tivemos.

Ao Prof. Dr. Francisco Ilson da Silva Junior, pela excelente orientação e por todo apoio e sugestões na produção do trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus amigos de graduação Arthur, Luan e Pedro, que estiveram comigo nos primeiros anos de graduação, deixando o ambiente mais leve e tranquilo.

A toda equipe Siará Baja, principalmente nos anos de 2019 e 2020, em especial ao Julianderson, Marcelo, Caio Victor, Lucas Melo, Fábio, Lucas Oliveira, Francisco, Júlio e Victor Hugo, por todo conhecimento transmitido e aflorar minha paixão por um projeto de extensão magnífico.

Aos colegas de trabalho da CEMAG, pelo auxílio nas horas difíceis e por todo apoio para conclusão da graduação.

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.” (Platão)

RESUMO

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos e recursos que objetivam promover à atividade e participação, de pessoas com deficiência e incapacidades, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida. A cama ortostática é um dispositivo do âmbito de tecnologia assistiva relacionado a adequação postural, possui como objetivo garantir uma postura alinhada e confortável ao paciente, com a posição ortostática. O ortostatismo pode ser adotado de maneira passiva ou ativa, e consiste na mudança da posição horizontal do paciente para posições anguladas de 0° a 90°. São necessários apenas sete dias de repouso no leito para força muscular diminuir em 30%, com uma perda adicional de 20% da força restante a cada semana. Portanto com a utilização da cama ortostática, são enviadas informações ao sistema nervoso, onde o corpo é alinhado biomecanicamente, ocorrendo o alongamento e fortalecimento de grupos musculares, evitando deformidades em membros inferiores e proporcionando funcionalidade para os membros superiores. O presente trabalho é baseado na modelagem, dimensionamento e simulação de um novo protótipo de cama ortostática com base em modelos já existentes no mercado, porém com alterações de projetos essenciais, além da realização de análises cinemáticas em mecanismos de elevação e execução de simulações mecânicas por elementos de viga na estrutura. A pesquisa foi elaborada afim de contribuir com o conhecimento sobre o projeto de dimensionamento de uma cama ortostática de tubo de PVC rígido, através da discussão dos principais aspectos que devem ser considerados no projeto, sobretudo para os terapeutas ocupacionais e profissionais que trabalham diretamente com tecnologia assistiva. Os resultados das simulações apontam que a estrutura modelada atende aos objetivos de projeto e resiste aos esforços provenientes da carga solicitada, resultado de um dispositivo alternativo de menor custo em relação ao de mercado, fácil montagem e manutenção.

Palavras-chave: tecnologia assistiva; ortostatismo; tubo PVC.

ABSTRACT

Assistive Technology is an area of knowledge, with an interdisciplinary characteristic, which connect products and resources that reasons to promote activity and participation of people with disabilities, aiming at their autonomy, independence, quality of life. The orthostatic bed is a device in the field of assistive technology related to postural adequacy, it goals to ensure an aligned and comfortable posture to the patient, with the orthostatic position. Orthostatism can be adopted passively or actively, and consists of changing the patient's horizontal position to angled positions from 0° to 90° . It only takes seven days of bed rest for muscle strength to decrease by 30%, with an additional 20% loss of strength remaining each week. Therefore, with the use of the orthostatic bed, information is sent to the nervous system, where the body is biomechanically aligned, stretching and strengthening muscle groups, avoiding deformities in the lower limbs and providing functionality for the upper limbs. The present article is based on the modeling, sizing and simulation of a new prototype of orthostatic bed based on existing models, but with essential design changes, in addition to performing kinematic analyzes in lifting mechanisms and performing mechanical simulations by beam elements in the structure. The research was elaborated in order to contribute to the knowledge about the design of a rigid PVC pipe orthostatic bed, through the discussion of the main aspects that should be considered in the project, especially for occupational therapists and professionals who work directly with assistive technology. The simulation results indicate that the modeled structure reaches the design objectives and resists the efforts from the requested load, the result of an alternative device with a lower cost compared to the market, easy assembly and maintenance.

Keywords: assistive technology; orthostatism; PVC pipe.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiros dispositivos utilizados a) Bengala b) Cadeira de rodas	18
Figura 2 – Cama ortostática para adulto.....	19
Figura 3 – Mecanismos presentes no cotidiano a) Mola aérea b) Motor de portão eletrônico	20
Figura 4 – Geometria de suspensão Duplo A de um protótipo mini-baja.....	21
Figura 5 – Suspensão automotiva que utiliza o princípio do mecanismo de Watt.....	21
Figura 6 – a) Cadeia cinemática aberta b) Cadeia cinemática fechada	22
Figura 7 – Retroescavadeira 310 L.....	22
Figura 8 – Robô industrial de solda	23
Figura 9 – Terminal rotular macho.....	24
Figura 10 – Sistema pinhão e cremalheira de um automotor.....	24
Figura 11 – Tipos de polias.....	25
Figura 12 – Perfis das correias em “V”	25
Figura 13 – Fuso de esferas recirculantes.....	26
Figura 14 – Atuador elétrico linear – Série JP4 (TiMotion).....	27
Figura 15 – Tubo de PVC rígido.....	28
Figura 16 – Acessórios de PVC a) Conexão de 3 saídas em “T” b) Conexão de 3 saídas em 90° c) Cruzeta.....	29
Figura 17 – Dispositivos alternativos que utilizam o tubo de PVC como componente estrutural a) Cadeira de rodas b) Cadeira postural infantil.....	29
Figura 18 - Exemplo de estrutura reticulada de vigas e modelo estrutural correspondente.....	31
Figura 19 – Exemplo de aplicação de malha com os nós e condição de contorno em uma simulação por Métodos de Elementos Finitos.....	32
Figura 20 – Exemplo de resultados em uma simulação estrutural em uma cabina de um	

elevador assistivo.....	33
Figura 21 – Viga de aço com perfil “I”.....	33
Figura 22 – Protótipo Volcano.....	34
Figura 23 – Modelo do suporte do colchão renderizado a) Vista lateral b) Vista superior c) Vista isométrica.....	36
Figura 24 – Modelo da base renderizado a) Vista lateral b) Vista superior c) Vista isométrica.....	38
Figura 25 – Modelo da montagem geral a) Vista superior b) Vista lateral c) Vista isométrica.....	39
Figura 26 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional – Suporte do colchão.....	40
Figura 27 – Aplicação da carga distribuída de 75 kg na estrutura reticulada – Suporte do colchão.....	40
Figura 28 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional e elementos de fixação – Base.....	41
Figura 29 – Aplicação da carga distribuída de 100 kg na estrutura reticulada – Base.....	42
Figura 30 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional e elementos de fixação – Eixo de rotação.....	43
Figura 31 – Aplicação da carga distribuída de 100 kg na estrutura reticulada – Eixo de rotação.....	43
Figura 32 – Montagem do mecanismo “baú” na posição de ângulo 0°	44
Figura 33 – Montagem do mecanismo “baú” na posição de ângulo 90°	45
Figura 34 – Montagem do sistema de polias e correias	46
Figura 35 – Atuador elétrico linear selecionado	47
Figura 36 - Condições de contorno da análise de movimento - Atuador elétrico linear a) Adoção do motor elétrico b) Aplicação na face da haste com a direção do movimento	48
Figura 37 – Deslocamento máximo do tubo sob carregamento distribuído x variação do	

comprimento do tubo obtido via simulação computacional	49
Figura 38 – Resultados da simulação computacional de tensões – Suporte do colchão	50
Figura 39 – Resultados da simulação computacional de deslocamento – Suporte do colchão	51
Figura 40 – Resultados da simulação computacional de tensões – Base	52
Figura 41 – Resultados da simulação computacional de deslocamento -Base	53
Figura 42 – Resultados da simulação computacional de tensões – Eixo de rotação	54
Figura 43 – Resultados da simulação computacional de deslocamento – Eixo de rotação	55
Figura 44 – Simplificação do mecanismo “baú”	55
Figura 45 – Posição inicial com a identificação das barras e comprimentos - Mecanismo “baú”	56
Figura 46 – Posição final - Mecanismo “baú”	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Deslocamento x Tempo – Atuador elétrico linear	57
Gráfico 2 – Velocidade x Tempo – Atuador elétrico linear	58
Gráfico 3 - Pareto – Custos por elementos da estrutura	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de juntas.....	23
Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas do Tubo PVC rígido.....	28
Tabela 3 – Especificações Tubo PVC 2.1/2”	34
Tabela 4 – Quantidade necessárias de Tubo PVC rígido 2.1/2” (Suporte para colchão).	35
Tabela 5 – Quantidade necessárias de acessórios e outros componentes (Suporte para colchão)	35
Tabela 6 – Quantidade necessárias de Tubo PVC rígido 2.1/2” (Base).....	37
Tabela 7 – Quantidade necessárias de acessórios e outros componentes (Base).....	37
Tabela 8 – Propriedades mecânicas do Tubo aço SAE 1020.....	42
Tabela 9 – Propriedades do atuador elétrico linear	49
Tabela 10 – Custo de material relacionado ao suporte do colchão	58
Tabela 11 – Custo de material relacionado a base	59
Tabela 12 – Custo de material relacionado ao eixo de rotação	59
Tabela 13 – Custos relacionado ao mecanismo “baú”	60
Tabela 14 – Custos relacionado a polias e correias	61
Tabela 15 – Custos de cada componente	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	<i>Agência Nacional de Vigilância Sanitária</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
FS	Fator de Segurança
GDL	Grau de liberdade
MEF	Método dos Elementos Finitos
MVC	Monômero Cloreto de Vinila
PVC	Policloreto de Vinila
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
UTI's	Unidades de Tratamento Intensivo

LISTA DE SÍMBOLOS

R	Rotação
P	Translação
v_1	Velocidade linear polia 1
v_2	Velocidade linear polia 2
r_1	Raio polia 1
r_2	Raio polia 2
w_1	Velocidade angular polia 1
w_2	Velocidade angular polia 2
d_1	Diâmetro polia 1
d_2	Diâmetro polia 2
i	Relação de transmissão
“	Polegadas
m	Metro
m^2	Metro quadrado
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro quadrado
cm^3	Centímetro ao cubo
mm	Milímetro
g	Gramas
kg	Quilograma
N	Newton
cal	Calorias
$\sigma_{ruptura}$	Tensão admissível
$\sigma_{admissível}$	Tensão de ruptura
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
kgf	Quilograma-força
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
K	Kelvin
ohm	Ohms

W Watt
Kv Quilovolts
© Marca Registrada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Justificativa	16
1.2. Objetivos.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. Tecnologia Assistiva	18
2.2. Mecanismos	20
2.2.1. <i>Tipos de cadeias cinemáticas</i>	22
2.2.2. <i>Tipos de movimentos e juntas</i>	23
2.2.3. <i>Polias e correias</i>	24
2.2.4. <i>Cilindros elétricos</i>	26
2.3. Propriedades do tubo de PVC	27
2.4. Método dos Elementos Finitos (MEF)	30
2.4.1. <i>História e Princípio</i>	30
2.4.2. <i>Tipos de modelos discretizados</i>	31
2.4.3. <i>Elementos de viga</i>	33
3. METODOLOGIA	34
3.1. Modelagem do protótipo	34
3.1.1. <i>Suporte para colchão</i>	35
3.1.2. <i>Base</i>	37
3.1.3. <i>Montagem geral</i>	38
3.2. Condições de contorno da simulação	39
3.2.2. <i>Base</i>	41
3.3. Adaptação dos mecanismos de elevação	44
3.3.1. <i>Mecanismo “baú”</i>	44
3.3.2. <i>Polias e correia</i>	45
3.3.3. <i>Atuador elétrico linear</i>	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. Análise das simulações	48
4.1.1. <i>Suporte para colchão</i>	49
4.1.2. <i>Base</i>	51
4.1.3. <i>Eixo de rotação</i>	53
4.2. Análise dos mecanismos	55
4.2.1. <i>Mecanismo “baú”</i>	55

<i>4.2.2. Atuador elétrico linear</i>	57
4.3. Análise de custos	58
5. CONCLUSÕES	62
6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

O sistema musculoesquelético é projetado para se manter em movimento. São necessários apenas sete dias de repouso no leito para força muscular diminuir em 30%, com uma perda adicional de 20% da força restante a cada semana. O repouso prolongado no leito resulta em alteração nas fibras musculares. As isoformas de miosina¹ mudam de fibras de contração lenta para rápida, a síntese de proteínas é reduzida e o desuso atrofia o músculo esquelético (SIBINELLI, 2012).

De acordo com Sabinelli (2012), o ortostatismo, como recurso terapêutico, pode ser adotado de forma passiva ou ativa para estimulação motora, melhora da função cardiopulmonar e do estado de alerta. O uso da prancha ortostática é indicado para readaptar os pacientes à posição vertical quando o mesmo é incapaz de manter essa postura com segurança sozinho ou até mesmo com considerável assistência.

Com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos pacientes, bem como sanar, mesmo que parcialmente, desordens motoras e implicações decorrentes da paralisia cerebral, propõem a utilização de recursos de tecnologia assistiva para auxiliar nessas questões. A seleção e o uso de dispositivos como órteses suropodálicas, andadores, cadeiras de rodas, coletes de suspensão e pranchas ortostáticas deve oferecer uma solução efetiva para suprir as demandas do usuário, promovendo assim uma maior autonomia (CURY, et al., 2013).

1.1. Justificativa

Com a finalidade de entender a necessidade dos dispositivos de Tecnologia Assistiva no âmbito hospitalar, foi realizada uma reunião com uma terapeuta ocupacional, profissional de um hospital público localizado em Fortaleza, Ceará. Então, foi repassado que possuíam uma grande necessidade de camas ortostáticas para diversos perfis de pacientes.

Para Pelosi (2009) o trabalho do terapeuta ocupacional na Tecnologia Assistiva envolve a avaliação das necessidades dos usuários, suas habilidades físicas, cognitivas e sensoriais. O profissional avalia a receptividade do indivíduo quanto à modificação ou uso da adaptação, sua condição sociocultural e as características físicas do ambiente em que essa adaptação será utilizada.

Alguns fatores que contribuem para a subutilização dos produtos de Tecnologias Assistivas no Brasil, são: a falta de formação profissional especializada, falta de conhecimento

¹ Proteína fibrosa presente nas miofibrilas e essencial para o processo de contração de células musculares.

dos profissionais sobre as Tecnologias Assistivas que são dispensadas no SUS, difícil acesso às tecnologias no SUS, limitação da lista de órteses no SUS e preferência dos profissionais por produtos importados (MELLO, 2006).

Para a realização de projetos no âmbito da tecnologia assistiva é muito importante conhecimentos sobre projetos mecânico, mecanismos, ergonomia e entre outras áreas do conhecimento. Áreas essas, pouco abordadas no curso de Terapia ocupacional, o que gera um déficit de conhecimento na elaboração de alguns projetos, e dificuldades de concepção por parte desses profissionais. Porém, muitas vezes a necessidade do atendimento da demanda do paciente resulta na construção de alguns dispositivos, porém sem uma validação e o conhecimento mecânico adequado.

O alto custo dos dispositivos de Tecnologia Assistiva no mercado é uma barreira significativa para milhões de pessoas de baixa renda com deficiência. O SUS concede apenas os equipamentos já estabelecidos em tabelas, o que não contempla todas as patologias e não reflete a necessidade real dos indivíduos com comprometimento funcional e é desconhecida pelos próprios profissionais que trabalham na rede, além dos outros profissionais e usuários (MENDONÇA, 2012).

Assim, é de extrema importância a concepção de dispositivos de baixo custo para atender o maior número de pacientes possível, além disso, validação de um equipamento seguro e confortável para atender as necessidades e demandas do cenário hospitalar brasileiro atual. Pois de fato uma cama ortostática para pacientes adultos possui um custo atrelado de R\$ 9.500,00.

1.2. Objetivos

Portanto, esse trabalho tem como objetivo a elaborar e validar um projeto alternativo e de baixo custo de uma cama ortostática, equipamento bastante utilizado na área de Tecnologia Assistiva, através de estudos sobre análise do mecanismo de elevação da cama e de simulações por elementos finitos da estrutura proposta para a cama ortostática.

Como objetivos específicos, tem-se:

- a) Realizar a análise do mecanismo projetado para a elevação e movimentação da cama ortostática;
- b) Analisar a simulação por elementos finitos da estrutura proposta para a cama ortostática;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Tecnologia Assistiva

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (BRASIL - SDHPR. – Comitê de Ajudas Técnicas – ATA VII)

Tecnologia Assistiva é uma expressão nova, que se refere a um conceito ainda em pleno processo de construção e sistematização. A utilização de recursos de Tecnologia Assistiva, entretanto, remonta aos primórdios da história da humanidade ou até mesmo da pré-história. Qualquer pedaço de pau utilizado como uma bengala improvisada, por exemplo, caracteriza o uso de um recurso de Tecnologia Assistiva (GALVÃO, 2009). Na figura 1 constam dois exemplos clássicos de dispositivos do âmbito de Tecnologia Assistiva, que já estão a bastante tempo inseridos no cotidiano.

Figura 1 – Primeiros dispositivos utilizados a) Bengala b) Cadeira de rodas



Fonte: Catálogo Praxis (2019)

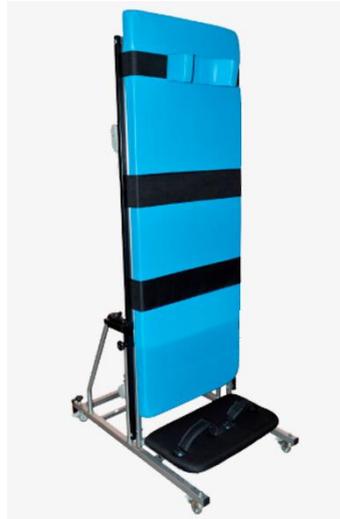
Os recursos de tecnologia assistiva são organizados ou classificados de acordo com objetivos funcionais a que se destinam (BERSCH, 2008). A cama ortostática é classificada como um dispositivo de adequação postural, possui como objetivo garantir uma postura alinhada e confortável ao paciente.

O ortostatismo pode ser adotado de forma passiva ou ativa. Ao assumir essa posição, são enviadas informações ao sistema nervoso, onde o corpo é alinhado

biomecanicamente, ocorrendo o alongamento e fortalecimento de grupos musculares, evitando deformidades em membros inferiores e proporcionando funcionalidade para os membros superiores (SANTOS, 2015).

Pode-se utilizar como recurso a prancha ortostática, que consiste em uma maca que se inclina gradativamente até atingir a posição vertical com auxílio de uma manivela ou controle elétrico, sendo utilizada para readaptar os pacientes quando os mesmos são incapazes de manter-se nessa postura, ou até mesmo, com considerável assistência (SANTOS, 2015).

Figura 2 – Mesa ortostática



Fonte: Catálogo Vanzetti (2016)

Ainda que a prancha ortostática apresente benefícios relevantes, é escassa a sua utilização no Brasil. Um estudo feito no Centro Universitário na maior cidade da América Latina, em São Paulo, realizado nas UTI's dos hospitais públicos, privados e escolas, verificou-se que apenas 20% dos hospitais possuíam a prancha e 86% não tinham o equipamento, sendo assim, explica-se a não utilização deste recurso dentro das UTI's (SANTOS, 2015).

Portanto, para concepção de dispositivos é necessário que haja um estudo sobre a movimentação do equipamento e estrutura. Como exemplo, a cadeira de rodas da figura 1, possui diversos mecanismos e que facilitam a movimentação e utilização, como o mecanismo de “fechamento” que possui para guardar a cadeira de rodas após o uso.

2.2. Mecanismos

Um mecanismo é um sistema de elementos unidos e organizados para transmitir movimento de uma maneira predeterminada (NORTON, 2010). Essa é uma das definições possíveis para o termo “mecanismo”, termo esse, utilizado em diversos âmbitos e com outros significados, porém para o âmbito da engenharia, mecanismos estará relacionado diretamente a movimento. A possibilidade de existir um movimento de maneiras diversas, diferentes geometrias e velocidades permitem uma maior criatividade e inovação nos estudos nessa área, além de solucionar problemáticas cotidianas, em diversas vezes, de forma tão simplificada. Na figura 3 constam dois mecanismos frequentemente presente no cotidiano, a mola aérea facilita o retorno de uma porta após sua abertura, e o motor de portão residencial permite uma maior automação no movimento do portão.

Figura 3 – Mecanismos presentes no cotidiano a) Mola aérea b) Motor de portão eletrônico



Fonte: Catálogo Vonder (2017); Catálogo RLG (2019).

Na indústria automobilística, existem diversos estudos de mecanismos, sendo exemplo disso, as geometrias de suspensão e o sistema de direção. Um dos tipos de geometria de suspensão é a duplo A, em que segue o princípio de um mecanismo de 4 barras, além disso é de extrema importância o estudo do seu movimento para o conforto, estabilidade e segurança do veículo. O sistema de direção é regido por um sistema de pinhão-cremalheira, bastante utilizado em maquinários que desejam transformar movimento de rotação em translação.

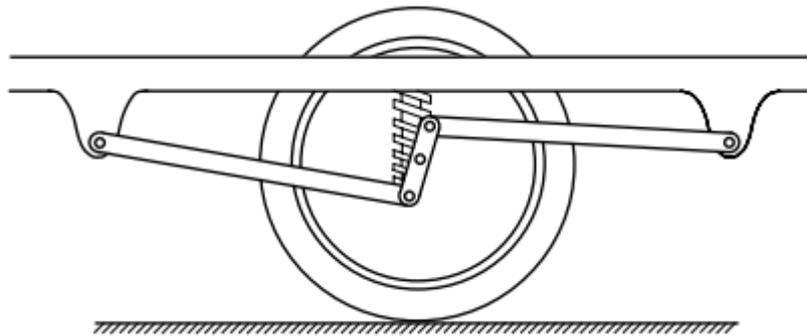
Figura 4 – Geometria de suspensão Duplo A de um protótipo mini-baja.



Fonte: DE MENEZES (2021).

James Watt (1736-1819) provavelmente merece o título de primeiro estudioso da cinemática pela criação de mecanismos que proporcionavam movimento de linha reta para guiar pistões de longo curso nos novos motores a vapor. O mecanismo de Watt é utilizado para transformar movimento retilíneo alternativo em movimento circular ou de rotação, certamente o primeiro na história a reconhecer o valor dos movimentos de acoplador de mecanismos de barras (NORTON, 2010).

Figura 5 – Suspensão automotiva que utiliza o princípio do mecanismo de Watt



Fonte: FLORES (2007).

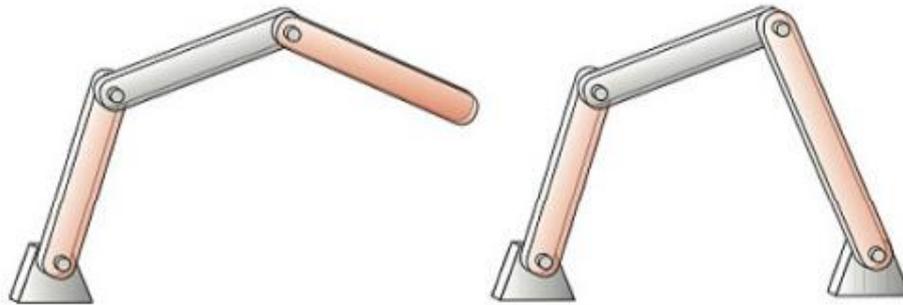
Para Norton (2010) um dos primeiros passos para resolver qualquer problema de projeto de máquinas é definir a configuração cinemática necessária para fornecer os movimentos desejados. Em geral, a análise cinemática necessita ser resolvida e explicitada, para assim, realizar o estudo de forças e tensões sobre o mecanismo.

2.2.1. Tipos de cadeias cinemáticas

Uma cadeia cinemática pode ser definida como um conjunto de elos e nós interconectadas de uma maneira que possibilite um movimento de saída controlado em resposta de um movimento de entrada fornecido. Os elos são corpos rígidos e nós são pontos para anexar outros elos. Além disso, os elos são classificados pela quantidade de nós, sendo um elo binário, um corpo rígido que possui dois nós que permite a ligação com outro dois elos. (NORTON, 2010).

Para Norton (2010) a junta é uma conexão entre dois ou mais elos que permite o mesmo movimento, ou movimento potencial entre os elos conectados. Existem também a classificação de pares, sendo o par inferior juntas com superfície de contato e par superior juntas com ponto ou linha de contato.

Figura 6 – a) Cadeia cinemática aberta b) Cadeia cinemática fechada



Fonte: NORTON (2010).

As cadeias cinemáticas podem ser classificadas como abertas ou fechadas. Uma cadeia cinemática aberta possuirá mais de um grau de liberdade e só terá um nó fixo, já uma cadeia cinemática fechada pode possuir um grau de liberdade ou mais, porém possui um elo fixo. Os exemplos clássicos de cadeia cinemática aberta é uma retroescavadeira e um robô industrial.

Figura 7 – Retroescavadeira 310 L



Fonte: Catálogo John Deere (2018)

Figura 8 – Robô industrial de solda



Fonte: Catálogo KUKA (2016).

2.2.2. Tipos de movimentos e juntas

Para Norton (2010) um corpo rígido livre pode se mover dentro de uma estrutura de referencial definido, podendo ser, em um plano bidimensional ou tridimensional. Basicamente, existe três possibilidades de movimento, sendo elas: Rotação pura que é definida pela existência de um ponto ou eixo referencial estacionário, em que todo o corpo rígido realiza arcos ao redor dessa referência. A translação pura é definida por caminhos paralelos que descrevem o movimento, com uma linha referencial desenhada que muda a posição apenas linearmente. E o movimento complexo é definido pela combinação simultânea dos dois movimentos (rotação e translação), em que qualquer linha de referência desenhada no corpo mudará tanto linearmente quanto a orientação angular. Portanto, a translação e a rotação são movimentos independentes, em que um não depende do outro.

Desse modo, as juntas são classificadas pelos tipos de movimento e GDL, de modo que a partir da idealização do movimento final que se deseja, pode se escolher o tipo de junta que se adapta a situação. A tabela 1 exhibe a classificação das juntas de acordo com o movimento e o GDL, em que “R” representa o movimento de rotação e “P” representa o movimento de translação.

Tabela 1 – Tipos de juntas

Juntas	GDL	Movimento
Revolução	1	R
Prismático	1	P
Helicoidal	2	RP
Cilíndrico	2	RP
Esférico	3	RRR
Plano	3	RPP

Fonte: Norton (2010, p. 51)

Em um único equipamento podem existir diversos tipos de juntas com aplicações diferentes, e isso é bastante comum. Por exemplo, em um sistema de direção de automotor, se faz necessário a existência de terminais rotulares que são juntas do tipo esférica, presente nas barras de direção para se adequar ao movimento de oscilatório da suspensão e um sistema de pinhão e cremalheira que são juntas de rotação e translação, respectivamente.

Figura 9 – Terminal rotular macho



Fonte: Catálogo Aurora (2017).

Figura 10 – Sistema pinhão e cremalheira de um automotor



Fonte: Catálogo Fresadora Zamboni (2016).

2.2.3. Polias e correias

Para Norton (2013), polias são elementos mecânicos circulares, com ou sem canais periféricos, acoplados a eixos motores e movidos por máquinas e equipamentos. As polias, para funcionar, necessitam da presença de vínculos chamados correias. Quando em funcionamento, as polias e correias podem transferir e/ou transformar movimentos de um ponto para outro da máquina. As polias são classificadas em dois grupos: planas e trapezoidais. As polias trapezoidais são conhecidas pelo nome de polias em “V” são mais utilizadas.

A polia que transmite movimento e força é a polia motora ou condutora, já a polia que recebe movimento e força é a polia movida ou conduzida. Os materiais empregados na confecção de uma polia são: ferro fundido, ligas leves, aço e materiais sintéticos.

Figura 11 – Tipos de polias

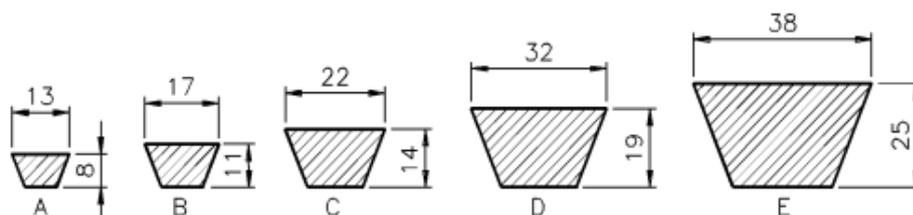


Fonte: Catálogo Galvão e Cia (2017).

Na figura 11 é possível identificar que as polias possuem modificações em suas geometrias que afetam diretamente a massa, momento de inércia, tipo de correia a ser utilizada e entre outros parâmetros, por isso, é essencial a seleção do conjunto de polias, conforme a aplicação do equipamento a ser projetado.

Para Norton (2013), as correias são elementos de máquinas cuja função é manter o vínculo entre duas polias e transmitir força. As mais utilizadas são as planas e as trapezoidais. As correias trapezoidais também são conhecidas pelo nome de correias em “V”. Existem cinco perfis principais padronizados de correias em “V” para máquinas industriais e três perfis, chamados fracionários, usados em eletrodomésticos. Cada um deles tem seus detalhes, que podem ser vistos nos catálogos dos fabricantes.

Figura 12 – Perfis das correias em “V”



Fonte: NORTON (2013).

As correias em “V” com perfis maiores são utilizadas para as transmissões pesadas, e as com perfis menores para as transmissões leves. O uso de correias com perfis

menores, em transmissões pesadas, é contraproducente, pois exige a presença de muitas correias para que a capacidade de transmissão exigida seja alcançada (NORTON, 2013).

A velocidade linear de uma correia é a mesma para todos os pontos periféricos, pois não há escorregamento, portanto, a Eq. 1 exhibe relação de diâmetro e velocidade angular.

$$v_1 = v_2 = r_1 * w_1 = r_2 * w_2 \quad (1)$$

Então, a relação de transmissão é definida pela equação 2:

$$i = \frac{d_2}{d_1} \quad (2)$$

Portanto, na relação de transmissão de polias e correia, a polia de menor diâmetro terá a maior rotação e a de maior diâmetro terá menor rotação.

2.2.4. Cilindros elétricos

Os atuadores lineares elétricos são dispositivos eletromecânicos que permitem a motorização de diversos equipamentos. Sua função principal é a conversão de movimento rotacional de um motor elétrico em movimento linear a partir de um parafuso de potência e combinações de engrenagens. Os modelos variam em tamanho do curso, força de atuação, velocidade de atuação, aplicabilidade, posição do motor dentre outras características (MATOS, 2019).

Na figura 13, observa-se pela vista de corte, que existem esferas que percorrem o movimento pelo fuso, então, o motor elétrico disponibiliza a rotação para fuso, que através das esferas realiza o movimento do suporte central.

Figura 13 – Fuso de esferas recirculantes



Fonte: Catálogo Kalatec (2019).

O atuador elétrico linear possui diversas aplicações no mercado, uma delas é o posicionamento solar em painéis fotovoltaicos, de modo a alterar o posicionamento e a

angulação do painel, para haver um melhor aproveitamento da captação dos raios solares e haja um aumento na eficiência na geração de energia elétrica. Além disso, é utilizado em vários equipamentos industriais, sendo exemplo máquinas de corte a plasma CNC, a movimentação do eixo Z da tocha é feito por um fuso de esfera recirculantes.

Figura 14 – Atuador elétrico linear – Série JP4 (TiMotion)



Fonte: MATOS (2019).

Porém, também é utilizado em camas hospitalares, pois não necessita de óleo hidráulico ou ar comprimido para realizar a movimentação da haste, apenas de fornecimento de energia elétrica e uma fonte, o que já facilita bastante a instalação e manutenção do equipamento. Os atuadores são essenciais para alterar a angulação de parte das camas, de modo, a auxiliar na ergonomia do paciente durante a permanência no leito. Normalmente, são fixados com certa angulação para auxiliar na movimentação, além de que em alguns casos, possuem acoplamentos adicionais na haste para complementar o movimento.

2.3. Propriedades do tubo de PVC

O desenvolvimento do PVC teve início em 1835, quando Justus Von Liebig descobriu o monômero Cloreto de Vinila (MCV), um gás de propriedades interessantes cujo ponto de ebulição foi determinado como sendo igual a 13,8°C negativos. O primeiro registro da polimerização do MCV e da obtenção do PVC ocorreu em 1872, quando E. Baumann detalhou a mudança do aspecto do gás MCV induzido pela luz para um produto sólido branco, que imaginou ser um isômero do monômero de origem (SUMMERS, 1996; DONATO, 1972).

O PVC que produzido comercialmente nas décadas de 1920 a 1930 na Alemanha e Estados Unidos, especificamente no Brasil passou a ser fabricado em 1954 pelas Indústrias Químicas Materazzo (FORINI, 2008). O PVC é um polímero composto por macromoléculas

de origem natural ou sintética obtidas por reações químicas de polimerização, que geram estruturas moleculares a partir da repetição de pequenas unidades, chamadas meros, que do grego a palavra polímeros significa poli = vários e meros = partes. Desse modo, as características pertinentes às pequenas partes constituintes das macromoléculas determinam as propriedades mecânicas do material (JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Figura 15 – Tubo de PVC rígido



Fonte: Catálogo Tigre (2013).

O PVC é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, com uma demanda mundial de resina superior a 59,9 milhões de toneladas no ano de 2014, sendo a capacidade mundial de produção de resinas de PVC estimada em cerca de 65,87 milhões toneladas/ano (ABIPLAST, 2014).

Para Lima (2016) no Brasil, a indústria de polímeros já adquiriu importante status em termos de produção e expressão internacional em alguns setores, estando, atualmente, presente nos setores de calçados, resinas, tintas, automóveis, embalagens, têxteis, tubos para conexões, entre outros. O PVC é um polímero considerado de baixo custo, quando comparado a outros polímeros projetados para finalidades específicas, tais como, suportar calor ou mesmo grandes esforços mecânicos. (GONÇALVES, 2001).

Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas do Tubo PVC rígido

Propriedades físicas e mecânicas	Valor
Peso específico	1,4 g/cm ³
Calor específico	0,24 cal/°C g
Módulo de elasticidade	30000 kgf/cm ²
Coefficiente de dilatação linear (0° a 40°)	7x10 ⁻⁵ /°C
Resistência à tração instantânea a 20° C	5,099x10 ⁷ N/m ²
Resistência à flexão instantânea a 20° C	1,1768x10 ⁸ N/m ²
Condutibilidade térmica	35x10 ⁻⁵ cal/cm s °C
Resistência dielétrica	10 ⁻³ ohm/cm
Rigidez dielétrica	40 Kv/mm

Fonte: Catálogo Tigre (2013).

Para realizar a fabricação de componentes estruturais de tubo de PVC é de extrema importância, a utilização de acessórios para realizar a conexão dos tubos, de modo que a estrutura fique interligada.

Figura 16 – Acessórios de PVC a) Conexão de 3 saídas em “T” b) Conexão de 3 saídas em 90° c) Cruzeta



Fonte: Catálogo Tigre (2013).

Portanto, os tubos de PVC vêm sendo utilizados em vários outros projetos alternativos devido seu baixo custo e suas propriedades mecânicas. Na área de Tecnologia Assistiva não é diferente, já foram feitos diversos dispositivos alternativos utilizando como componente estrutural tubos de PVC, com a finalidade de reabilitação física, neurológica e auxílio de locomoção. Isso se deve, pois é um material de baixo custo, facilidade na regulagem, manuseio, transporte e higienização das peças produzidas com o material (VILLARINO, 2007).

Figura 17 – Dispositivos alternativos que utilizam o tubo de PVC como componente estrutural a) Cadeira de rodas b) Cadeira postural infantil



Fonte: PINHEIRO (2019); MARTINEZ (2016).

Atualmente, diversas pessoas fabricam camas de tubo de PVC, porém, esses dispositivos ainda não estão abrangentes no mercado em geral, estão mais limitados a alternativas de baixo custo em algumas situações.

2.4. Método dos Elementos Finitos (MEF)

2.4.1. História e Princípio

No âmbito da Engenharia de Estruturas, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, etc (AZEVEDO, 2003).

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é referido por vários autores que a publicação mais antiga em que é utilizada a designação “elemento finito” é o artigo, que data de 1960 e tem como autor Ray Clough. Os grandes passos do desenvolvimento do MEF, que o conduziram ao formato que atualmente apresenta maior aceitação, foram dados na década de 60 e início da de 70. Inicialmente os elementos finitos mais comuns eram os triangulares e os tetraédricos, passando-se mais tarde a dar preferência aos quadriláteros e aos hexaedros. Antes do aparecimento do MEF, a análise dos meios contínuos era efetuada por resolução direta dos sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenômeno, tendo em consideração as necessárias condições fronteira. Para facilitar a aplicação desta técnica a problemas não elementares, era comum recorrer a séries de Fourier (AZEVEDO, 2003).

Para Alves (2018), o MEF trabalha com um sistema discreto, em que são calculados deslocamentos em pontos específicos, pontos esses chamados de “nós” que possuem quantidade finita na análise, de modo que, são analisados como suficientes para realizar uma análise coerente com o resultado real. Por essa condição, essa prática se nomeia como Método dos Elementos Finitos, então é a partir do comportamento dos deslocamentos dos nós que se pode calcular o comportamento inteiro de cada elemento, para isso o elemento deve ser bem definido entre os nós. O sistema contínuo trabalha com infinitos elementos diferenciais, em que a partir do comportamento de um elemento diferencial, pode-se entender o comportamento do elemento inteiro analisado, porém essa solução não está disponível para a maioria de problemas práticos.

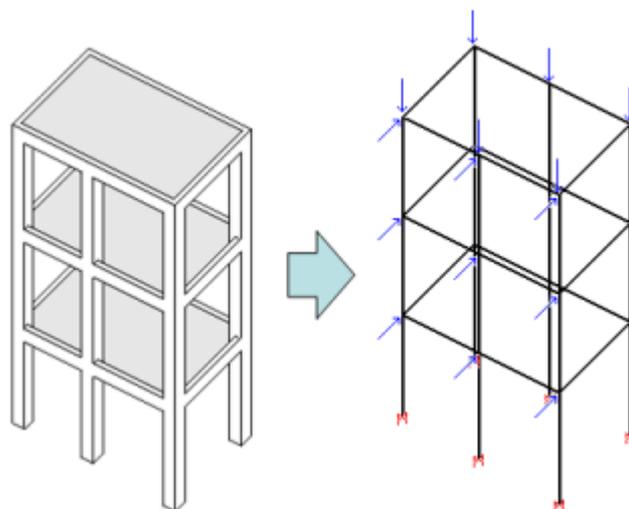
Para Souza (2015), se faz necessário mensurar o quão o componente analisado consegue suportar a carga aplicada, para isso, o método utilizado para especificar a carga admissível é o valor numérico, conhecido como fator de segurança (FS), também chamada de carga de ruptura ou resistência à ruptura, dado pela razão entre a carga que ocasiona fratura em um teste de tensão, pela carga ou tensão considerada segura também chamada de carga admissível, assim, quanto maior o fator de segurança menor esforço de tensão o material será submetido. Conforme exibido na Equação 3.

$$FS = \frac{\sigma_{ruptura}}{\sigma_{admissivel}} \quad (3)$$

2.4.2. Tipos de modelos discretizados

Para Alves (2018) as estruturas reticuladas se baseiam, em elementos que são ligados por nós estruturais, constituindo um conjunto estrutural. Nesses casos, o modelo discreto é moldado, em que a estrutura de interação do conjunto ocorre apenas nas juntas ou nós, de modo que as forças aplicadas interagem apenas nesses pontos. Portanto, a aplicação das equações de equilíbrio nesses pontos nodais, juntamente com a condição de que os elementos continuem interconectados nesses pontos após a deformação da estrutura.

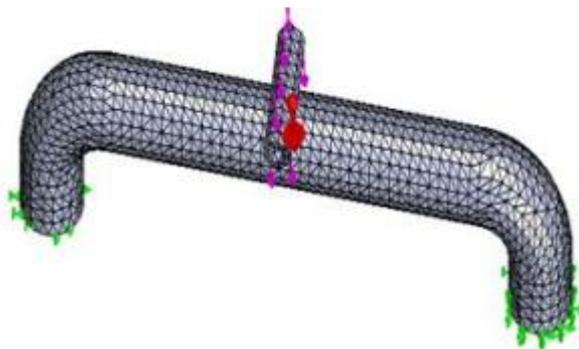
Figura 18 – Exemplo de estrutura reticulada de vigas e modelo estrutural correspondente



Fonte: KIMURA (2018).

Também existem elementos estruturados conectados continuamente, em que o corpo contínuo é subdividido artificialmente em um certo número de finitos elementos conectados por nós, de modo, a realizar uma representação aproximada de um corpo contínuo. Essa subdivisão dos elementos é nomeada de malha, a malha é uma das principais constituições de uma simulação por MEF. A escolha da malha depende do conhecimento das propriedades do elemento escolhido para a representação do problema, e ao representar um determinado comportamento físico por intermédio de um modelo de análise, o modelo deve representar o que ocorre na estrutural real. Então, é bastante importante haver refinamentos na malha, principalmente, em regiões que são “concentradores de tensão”, como: furos, rasgos e arestas cortantes.

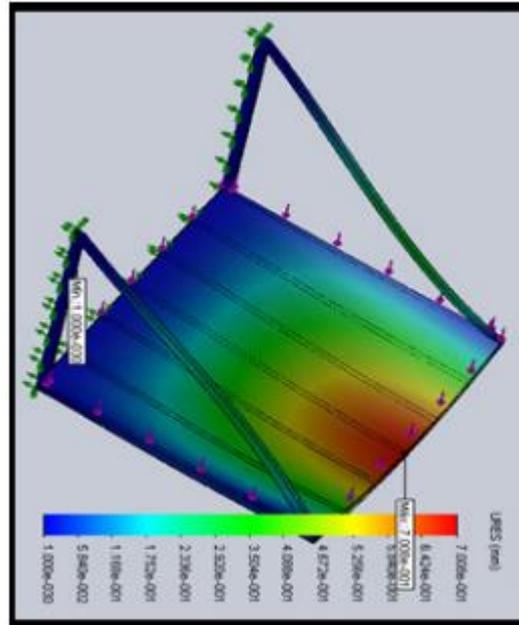
Figura 19 – Exemplo de aplicação de malha com os nós e condição de contorno em uma simulação por Métodos de Elementos Finitos



Fonte: SOUZA (2015).

No âmbito da Tecnologia Assistiva já existem diversos projetos e protótipos que utilizaram a análise por MEF, de modo, a validar suas premissas e avaliar os esforços e tensões no protótipo. Como exemplo, é visto na figura 20, a análise de tensões em uma cabina de um elevador para usuários de cadeiras de rodas, utilizando um sistema de fuso para realizar o movimento de elevação.

Figura 20 – Exemplo de resultados em uma simulação estrutural em uma cabina de um elevador assistivo



Fonte: OLIVEIRA (2017).

2.4.3. Elementos de viga

A viga é um elemento de barra que possui um comprimento muito maior que as suas dimensões da secção transversal, portanto, vigas conectadas umas às outras constituem uma estrutura reticulada. Normalmente, sofrem cargas axiais que resultam em esforços de flexão ou torção, e muitas vezes, ocorrem os dois esforços, sendo chamado de carga combinada. A teoria elementar da flexão de vigas estabelece que qualquer secção transversal de uma viga, que é inicialmente plana, mante-se plana após a deformação, além disso, que em deslocamentos pequenos a flexão e torção não afetam as forças axiais presentes (ALVES, 2018).

Figura 21 – Viga de aço com perfil “I”



Fonte: SOUZA (2015).

As vigas, comumente, são utilizadas em construções civis em prédios, pontes, escolas, universidades. Porém, as vigas estão presentes em outros âmbitos, como pode ser visto na figura 22, em que pode se observar um protótipo baja SAE que possui um chassi tubular soldado. Geralmente, sua estrutura é simulada por Métodos de Elementos Finitos, considerando uma estrutura reticulada por elementos de viga.

Figura 22 – Protótipo Volcano



Fonte: DE MENEZES (2021).

3. METODOLOGIA

3.1. Modelagem do protótipo

Para a modelagem do protótipo foi escolhido o *software* SolidWorks®, devido a ser um *software* mais intuitivo e por já ter utilizado em outros projetos.

Para Souza (2015) o SolidWorks® possui uma interface intuitiva comparada as demais ferramentas CAE, o núcleo matemático do software possui contribuição de várias empresas ou grupos, dentre as contribuições os recursos de MEF do Software de Desenho CAD/CAM/CAE que integra outras ferramentas, possui como motor de simulação o *software* utilizado para Método de Elementos Finitos.

Com o intuito de realizar uma modelagem inicial foram escolhidos tubos de PVC rígido com bitola de 2.1/2”, com as especificações exibidas na tabela 3, as conexões em “T”, conexões 3 saídas em 90° e conexões de 4 saídas foram escolhidas de modo que atenda as especificações do tubo.

Tabela 3 – Especificações Tubo PVC 2.1/2”

Especificações	
Referência polegadas	2.1/2
Diâmetro externo médio (mm)	75
Espessura mínima de parede (mm)	4,2

Peso médio aproximadamente (kg/m)	1,370
-----------------------------------	-------

Fonte: Catálogo Tigre (2013).

Para a modelagem foi feito uma geometria semelhante à de camas ortostáticas já existentes no mercado, de modo que atenda a necessidade de um paciente de aproximadamente 1,75 metros de altura e com uma massa aproximada de 75 kg. Portanto, foi modelado um suporte, totalmente montado com os tubos de PVC e as conexões para os tubos, para acoplar o colchão do paciente, de modo que fique o mais acessível e confortável.

3.1.1. Suporte para colchão

O suporte do colchão consiste na estrutura em que irá acomodar o colchão do paciente, de modo que fique bem fixado e confortável, além disso consiste de tubos sem conexões fechadas para que o eixo de rotação fique concêntrico e passante pelo suporte, de modo que a cama consiga realizar a rotação necessária. A tabela 4, exibe a quantidade de tubo PVC rígido 2.1/2” necessário a serem utilizados para a confecção da estrutura.

Tabela 4 – Quantidade necessárias de Tubo PVC rígido 2.1/2” (Suporte para colchão)

Material	Comprimento (mm)	Quantidade	Comprimento total por seção (m)
Tubo PVC 2.1/2”	150	8	1,2
Tubo PVC 2.1/2”	200	22	4,4
Tubo PVC 2.1/2”	400	4	1,6
Tubo PVC 2.1/2”	550	6	3,3
Tubo PVC 2.1/2”	750	2	1,5
Tubo PVC 2.1/2”	800	2	1,6
Comprimento total de tubo (m)			13,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, só o tubo de PVC não é suficiente para concepção da estrutura, se faz necessário a adoção de acessórios de PVC para interconectar toda a estrutura, além de madeiras para realizar o suporte do colchão e dos pés do paciente, cintas para apoiar o paciente juntamente com colchão e os fixadores. Na tabela 5 são exibidos os materiais e as quantidades a serem utilizados.

Tabela 5 – Quantidade necessárias de acessórios e outros componentes (Suporte para colchão)

Material	Quantidade	Tamanho (mm)
Conexão PVC de 3 saídas em T 2.1/2”	14	-
Conexão PVC de 3 saídas em 90° 2.1/2”	8	-

Conexão PVC cruzeta 2.1/2"	6	-
Madeira	1	800x600x10
Madeira	1	2200x800x10
Cintas para maca	2	-
Parafuso M12	20	-
Porca M12	20	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, já listados os materiais necessários foi realizado a modelagem das peças e a montagem da estrutura pelo *software* SolidWorks®, conforme já citado. Na figura 23, são observados a vista lateral, superior e isométrica da estrutura renderizada.

Figura 23 – Modelo do suporte do colchão renderizado a) Vista lateral b) Vista superior c) Vista isométrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2. Base

A base consiste na estrutura em que irá sustentar o suporte do colchão, além disso, é responsável pelo movimento da cama, como um todo com a presença de rodízios. A tabela 6, exibe a quantidade de tubo PVC rígido 2.1/2” necessário a serem utilizados para a confecção da estrutura.

Tabela 6 – Quantidade necessárias de Tubo PVC rígido 2.1/2” (Base)

Material	Comprimento (mm)	Quantidade	Comprimento total por seção (m)
Tubo PVC 2.1/2”	10	10	0,1
Tubo PVC 2.1/2”	75	2	0,15
Tubo PVC 2.1/2”	110	6	0,66
Tubo PVC 2.1/2”	145	4	0,58
Tubo PVC 2.1/2”	200	21	4,2
Tubo PVC 2.1/2”	525	8	4,2
Tubo PVC 2.1/2”	1000	2	2,0
Comprimento total de tubo (m)			11,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, só o tubo de PVC não é necessário para concepção da estrutura, se faz necessário a adoção de acessórios de PVC para interconectar toda a estrutura, além de mancais para realizar o apoio ao eixo de rotação do suporte do colchão, as madeiras para realizar o apoio dos mancais e os fixadores. Na tabela 7 são exibidos os materiais e as quantidades a serem utilizados.

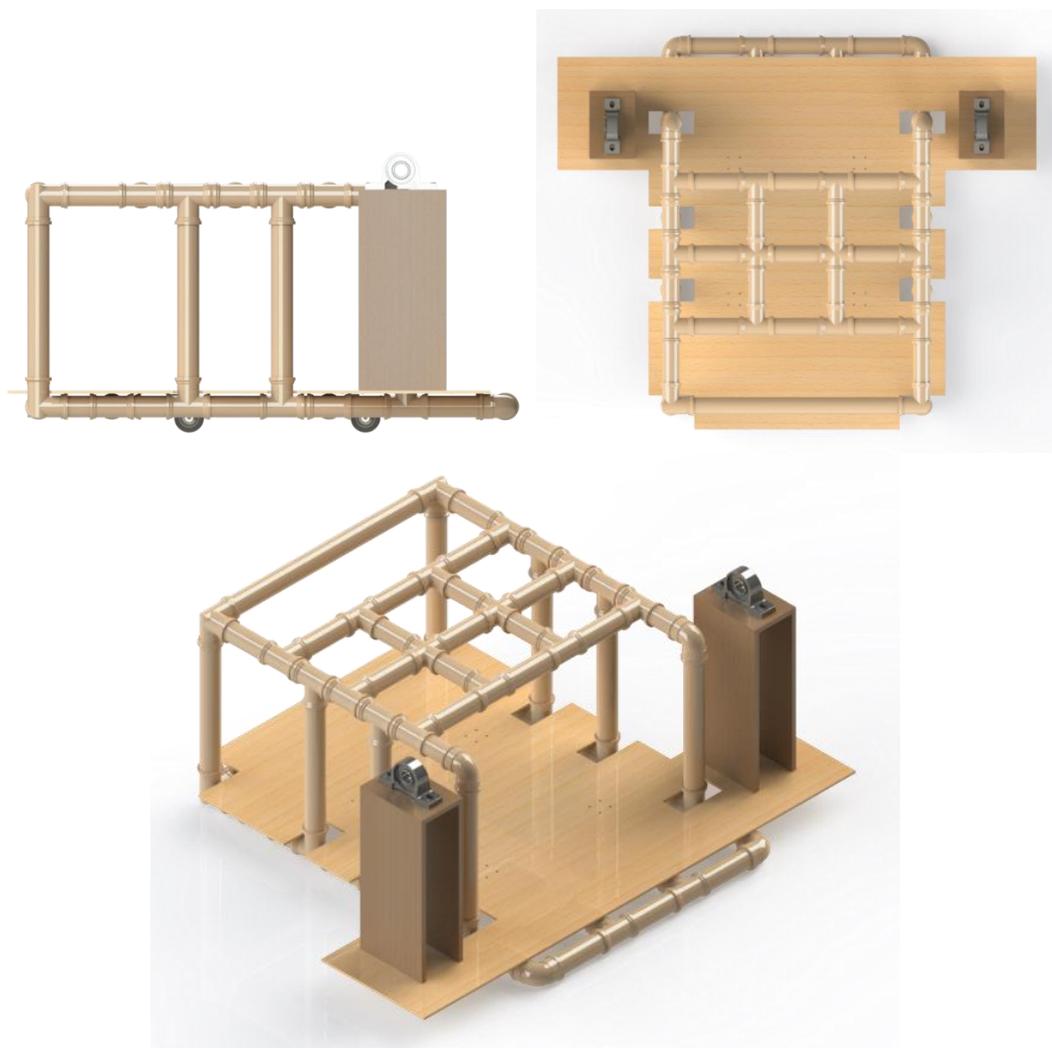
Tabela 7 – Quantidade necessárias de acessórios e outros componentes (Base)

Material	Quantidade	Tamanho (mm)
Conexão PVC de 3 saídas em T 2.1/2”	28	-
Conexão PVC de 3 saídas em 90° 2.1/2”	4	-
Conexão PVC cruzeta 2.1/2”	4	-
Conexão PVC joelho 2.1/2”	3	-
Madeira	1	2100x1650x10
Madeira	4	670x300x10
Madeira	2	300x200x10
Rodízio 4” com trava	4	-
Parafuso M12	20	-
Porca M12	20	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, já listados os materiais necessários foi realizado a modelagem das peças e a montagem da estrutura pelo *software* SolidWorks®, conforme já citado. Na figura 24, são observados a vista lateral, superior e isométrica da estrutura renderizada.

Figura 24 – Modelo da base renderizado a) Vista lateral b) Vista superior c) Vista isométrica

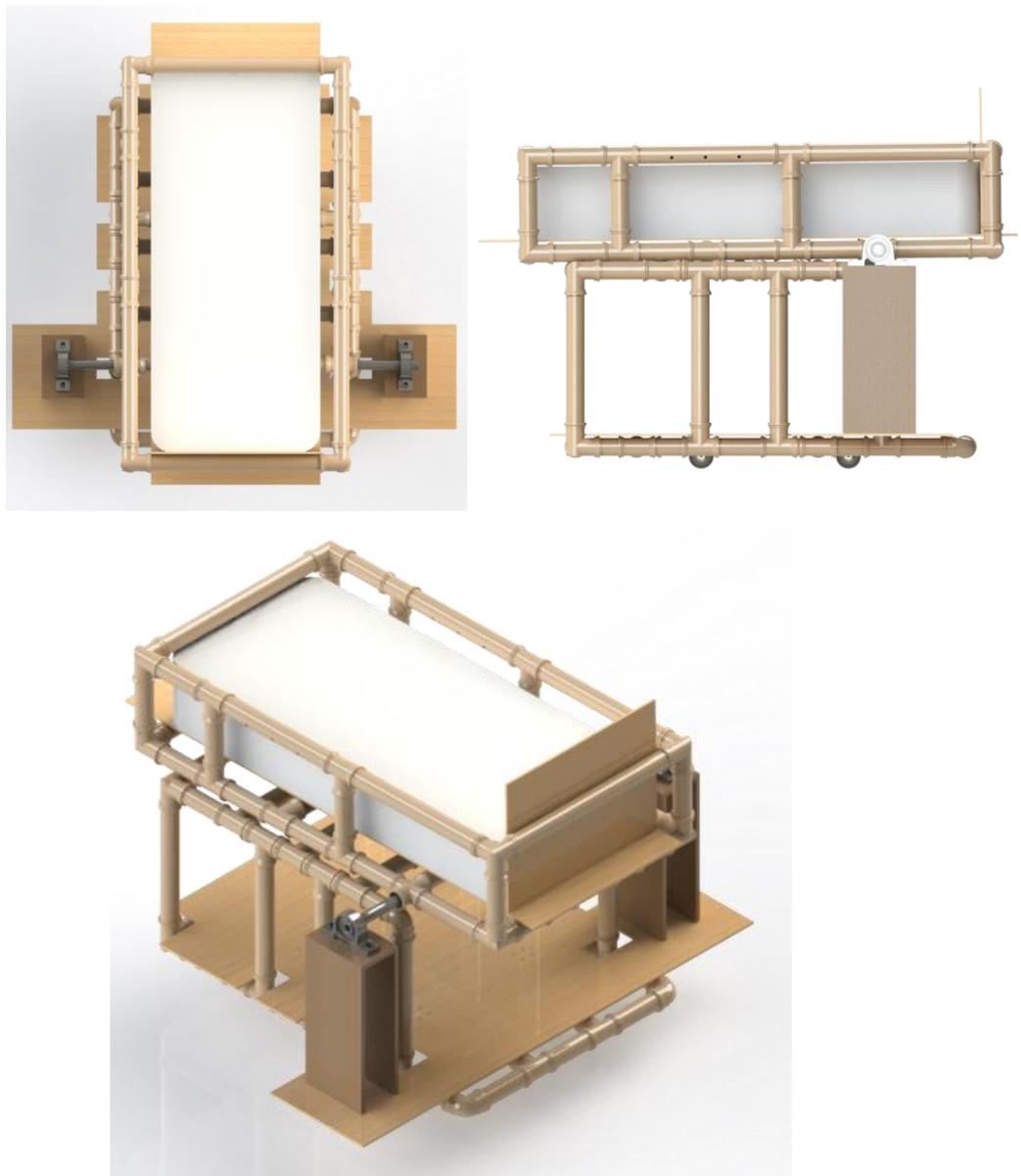


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3. Montagem geral

A montagem geral consiste na união do suporte do colchão com a base e a adição do eixo de rotação. O eixo de rotação fica acoplado entre os mancais e sendo concêntrico e passante por tubos montados no suporte do colchão. Na figura 25, são observados a vista lateral, superior e isométrica da estrutura renderizada.

Figura 25 – Modelo da montagem geral a) Vista superior b) Vista lateral c) Vista isométrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Condições de contorno da simulação

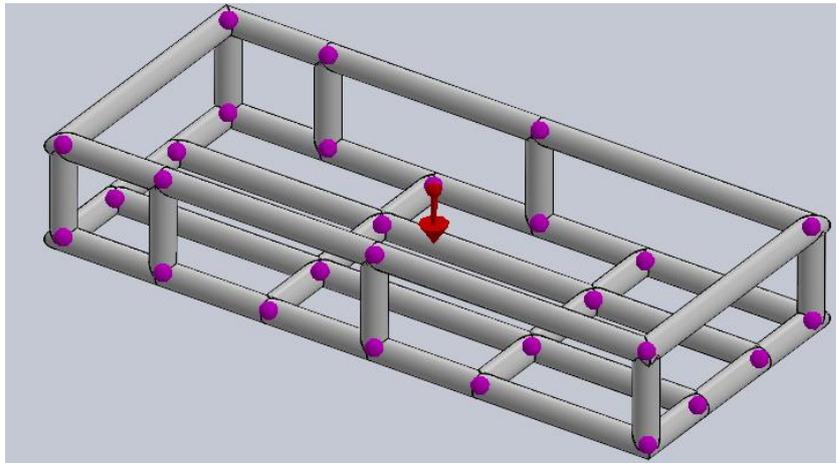
3.2.1. Suporte para colchão

Para realizar a simulação, foi feito a modelagem da estrutura utilizando a ferramenta de componente estrutural no SolidWorks®, essa ferramenta permite ao usuário desenhar o perfil a qual deseja, e então é feito o esboço 2D ou 3D da estrutura e basta clicar nas linhas do

esboço que a estrutura se adequa a geometria. Na figura 26, observa-se a estrutura modelada, com os nós evidenciados por pontos roxos, e a seta vermelha representa a aceleração gravitacional.

A simulação foi feita utilizando elementos de viga, considerando que o suporte do colchão é uma estrutura reticulada, em que os esforços foram analisados nas junções das estruturas, ou seja, foram analisados nas juntas.

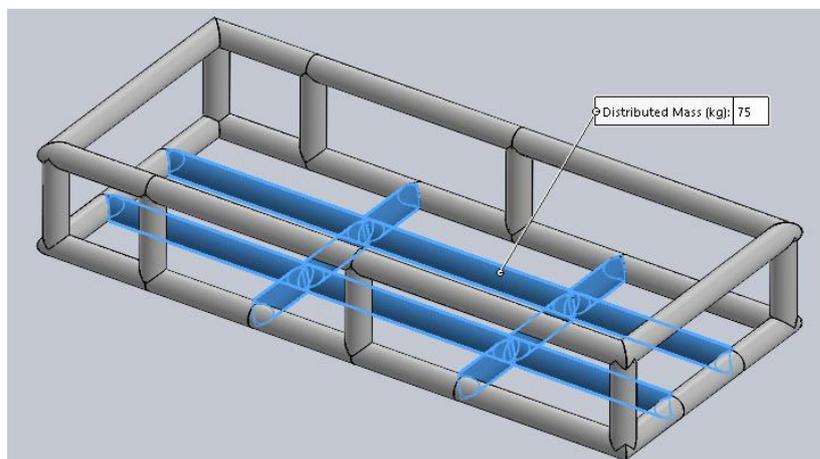
Figura 26 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional – Suporte do colchão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 27, é exibido a distribuição de massa de 75 kg aplicada a estrutura, sendo representado pela massa do paciente. Os tubos marcados com a coloração azul são os tubos que irão sofrer os esforços, foram esses escolhidos, pois fazem a sustentação central do colchão.

Figura 27 – Aplicação da carga distribuída de 75 kg na estrutura reticulada – Suporte do colchão

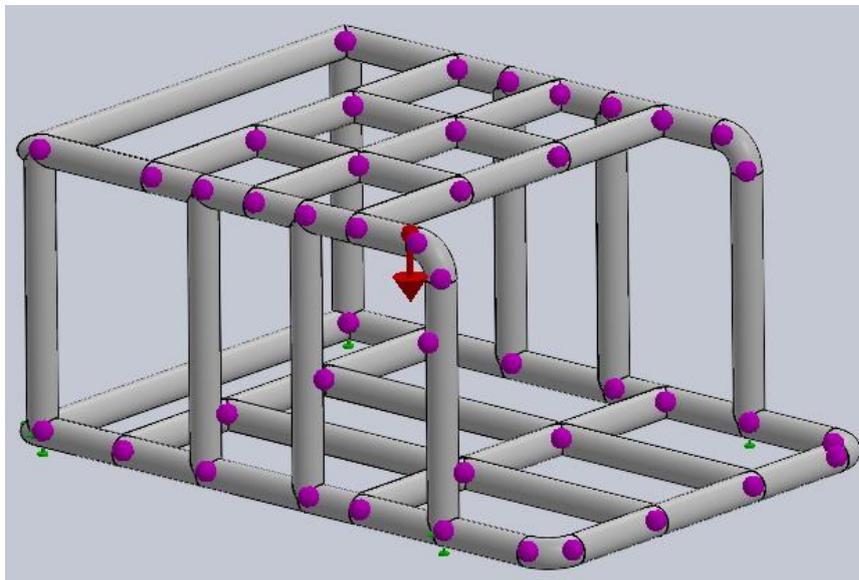


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2. Base

Para realizar a simulação, foi feita a modelagem da estrutura semelhante a utilizada no suporte do colchão, no *software* SolidWorks© através do componente estrutural. Na figura 28, observa-se a estrutura modelada, com os nós evidenciados por pontos roxos, e a seta vermelha representa a aceleração gravitacional e os pontos em verde representam os pontos em que a estrutura está fixada.

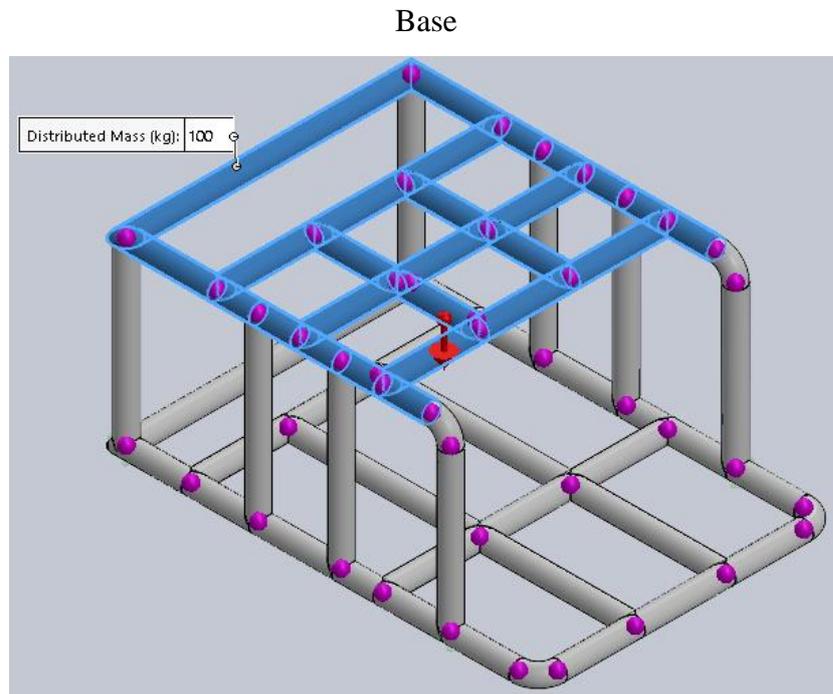
Figura 28 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional e elementos de fixação – Base



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 29, é exibido a distribuição de massa de 100 kg aplicada a estrutura, sendo representado pela soma de massas do paciente e do suporte do colchão. Os tubos marcados com a coloração azul são os tubos que irão sofrer os esforços, foram esses escolhidos, pois fazem a sustentação central do suporte do colchão com o paciente.

Figura 29 – Aplicação da carga distribuída de 100 kg na estrutura reticulada –



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3. Eixo de rotação

O eixo de rotação possui a funcionalidade de ser o eixo a qual o suporte do colchão irá rotacionar, de modo, a estabelecer a posição ortostática do paciente. Para isso, deve ser uma estrutura que suporte bem a carga aplicada, além disso, se faz necessário a adoção de mancais de rolamentos para que sirvam de apoio para o eixo e permitam a rotação. Portanto, foi adotado que o eixo será de tubo de aço SAE 1020, comumente chamado de “aço-doce” e possui facilidade de encontrar esse material no mercado. A tabela 8 exhibe as propriedades mecânicas do tubo de aço SAE 1020.

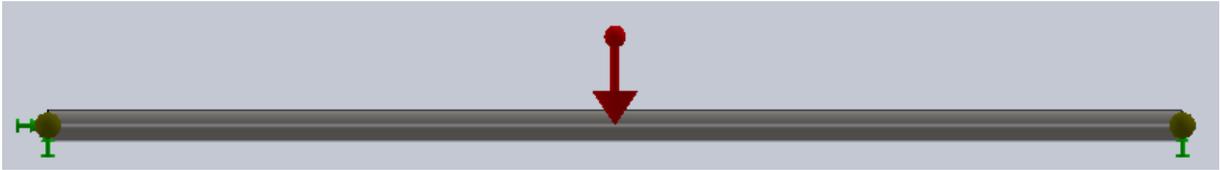
Tabela 8 – Propriedades mecânicas do Tubo aço SAE 1020

Propriedades mecânicas	Valor
Densidade	7,87 g/cm ³
Módulo de elasticidade	205 GPa
Limite de Escoamento	3,5x10 ⁸ N/m ²
Resistência à tração	4,2x10 ⁸ N/m ²
Alongamento (%)	15 %
Condutividade térmica	51.9 W/mK

Fonte: Catálogo Gerdau (2013).

Para realizar a simulação, foi feita a modelagem da estrutura semelhante a utilizada no suporte do colchão e na base, no *software* SolidWorks© através do componente estrutural. Na figura 30, observa-se a estrutura modelada, com os nós evidenciados por pontos amarelos, e a seta vermelha representa a aceleração gravitacional e os pontos em verde representam os pontos em que a estrutura está fixada, nesse caso, os mancais de rolamentos.

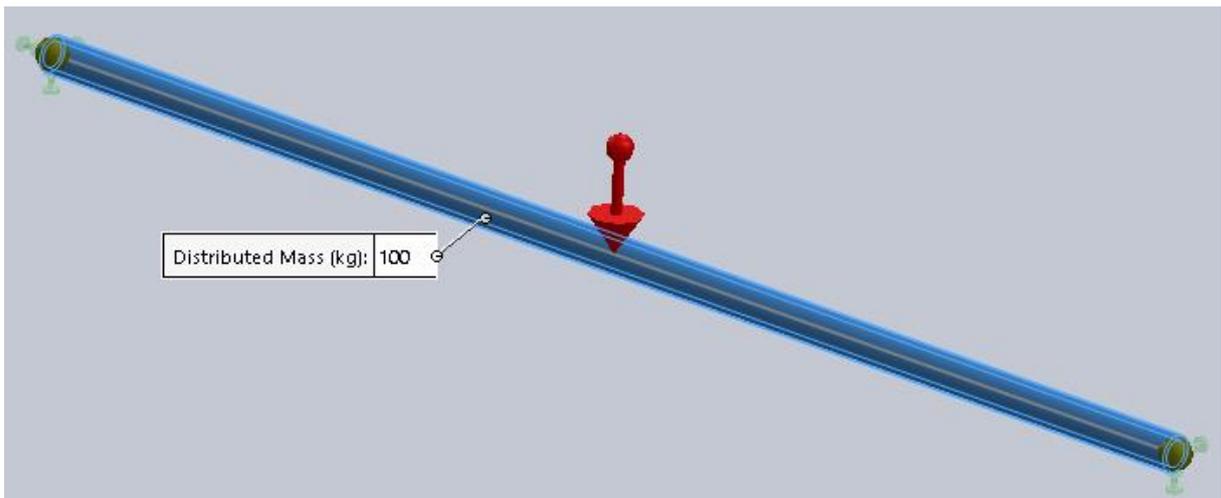
Figura 30 – Componente estrutural com aplicação da aceleração gravitacional e elementos de fixação – Eixo de rotação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 31, é exibido a distribuição de massa de 100 kg aplicada a estrutura, sendo representado pela soma de massas do paciente e do suporte do colchão. A distribuição está aplicada ao longo de todo comprimento do eixo, com os elementos de fixação localizados nas extremidades.

Figura 31 – Aplicação da carga distribuída de 100 kg na estrutura reticulada – Eixo de rotação



Fonte: Elaborado pelo autor.

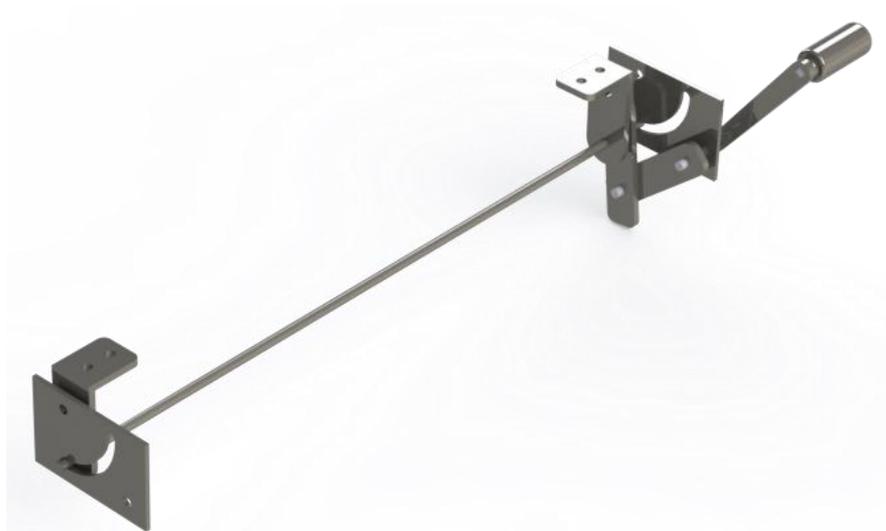
3.3. Adaptação dos mecanismos de elevação

Para a cama conseguir permanecer na posição ortostática é necessário a adoção de mecanismo para realizar a mudança de angulação de 0° a 90° . De modo, que possam existir diversas possibilidades e adaptações para esse posicionamento.

3.3.1. Mecanismo “baú”

O mecanismo “baú” possui esse nome, pois é uma adaptação de um mecanismo de abertura da tampa de um baú. O equipamento possui uma manivela para a entrada do movimento de rotação do usuário, esse movimento é transmitido até as barras que ligam a uma peça central que possui pinos deslizantes, que são restritos a uma peça com rasgo guiado. Para modelagem do mecanismo foi utilizado o *software* SolidWorks®, já utilizado para modelagem e dimensionamento dos componentes estruturais da cama ortostática.

Figura 32 – Montagem do mecanismo “baú” na posição de ângulo 0°



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 32, pode se perceber que o mecanismo ainda não foi utilizado pelo usuário, pois os furos da peça central estão voltados para cima, de modo que a cama, fique na posição inicial. Para haver um maior apoio ao movimento são utilizadas duas peças para movimentação, tanto no lado esquerdo como no direito com uma barra central de ligação, porém apenas uma manivela para a entrada do movimento.

Figura 33 – Montagem do mecanismo “baú” na posição de ângulo 90°



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 33, pode se observar que o mecanismo já se encontra na posição de 90° com o movimento de entrada imposto pelo usuário, pois os furos da peça central estão alinhados ao eixo horizontal, resultando na posição ortostática da cama.

3.3.2. Polias e correia

A transmissão feita por polias e correia permite um aumento ou diminuição na rotação do movimento final, portanto, foi analisado com um método alternativo para o mecanismo de elevação. Como tentativa de diminuir o esforço imposto pelo usuário para imprimir a movimentação da cama para a posição ortostática, foi adotado o sistema de polias e correias. Na figura 34, é visto o sistema proposto para o mecanismo de elevação.

Figura 34 – Montagem do sistema de polias e correias



Fonte: Elaborado pelo autor.

O movimento inicial é feito pelo usuário que rotaciona a manivela transmitindo o movimento para a polia 1 de diâmetro de 60 mm, então a rotação é transmitida pela correia para a realizar a rotação da polia 2 de diâmetro de 240 mm e para o eixo. Nesse conjunto é necessário que no eixo esteja acoplado pinos que interligam a cama e realizem a movimentação do suporte do colchão para a posição ortostática.

Conforme a Equação 2, a relação de transmissão é fundamental no sistema de polias e correia. Nesse conjunto foi adotado uma polia de 60 mm e uma de 240 mm, de modo que a relação de transmissão seja igual a 4.

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{240}{60} = 4 \quad (4)$$

Qualquer elemento rotativo em um projeto de máquinas não pode estar exposto ao ambiente, então, será necessário a adoção de uma “carcaça” ao conjunto, de modo que, nenhuma pessoa sofra algum acidente com o acionamento do sistema.

3.3.3. Atuador elétrico linear

Visto que o projeto da cama ortostática necessita atender pacientes que possuem 75 kg ou menos, além disso considerando a massa do conjunto do suporte para o colchão. Foi selecionado um atuador elétrico linear da marca CZHAX que suporta uma carga de 6000 N, de modo, a fornecer um fator de segurança igual a 6, considerando a massa do paciente

adicionado a massa do suporte do colchão igual a 100 kg. A tabela 9 exhibe as principais características do atuador e na figura 35 é exibido o atuador elétrico linear selecionado.

Tabela 9 – Propriedades do atuador elétrico linear

Propriedades	Valor
Carga máxima	6000 N
Velocidade sem carga	4,0 mm/s
Velocidade máxima de carga	3,2 mm/s
Curso personalizado	500 mm
Tempo de vida	500 milhões de mm
Tensão	12 V
Corrente de carga máxima	8,4 A

Fonte: Catálogo CZHAX (2018).

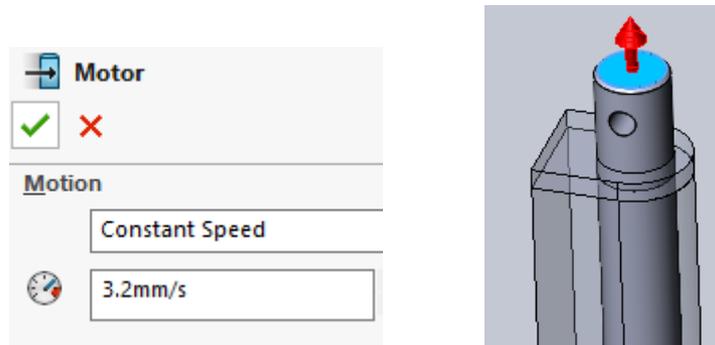
Figura 35 – Atuador elétrico linear selecionado



Fonte: Catálogo CZHAX (2018).

Para realizar a análise do mecanismo, foi utilizado o complemento do *software* SolidWorks®, chamado Solidworks Motion, em que é permitido realizar análise de movimento e reações em mecanismos. Para o estudo do atuador elétrico linear foi imposto um motor linear com velocidade constante de 3,2 mm/s aplicado na face superior da haste, conforme explicitado na tabela 9, sendo sua velocidade máxima com carga. A figura 36 exhibe as especificações do motor utilizado na análise e sua região de aplicação.

Figura 36 – Condições de contorno da análise de movimento - Atuador elétrico linear a) Adoção do motor elétrico b) Aplicação na face da haste com a direção do movimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

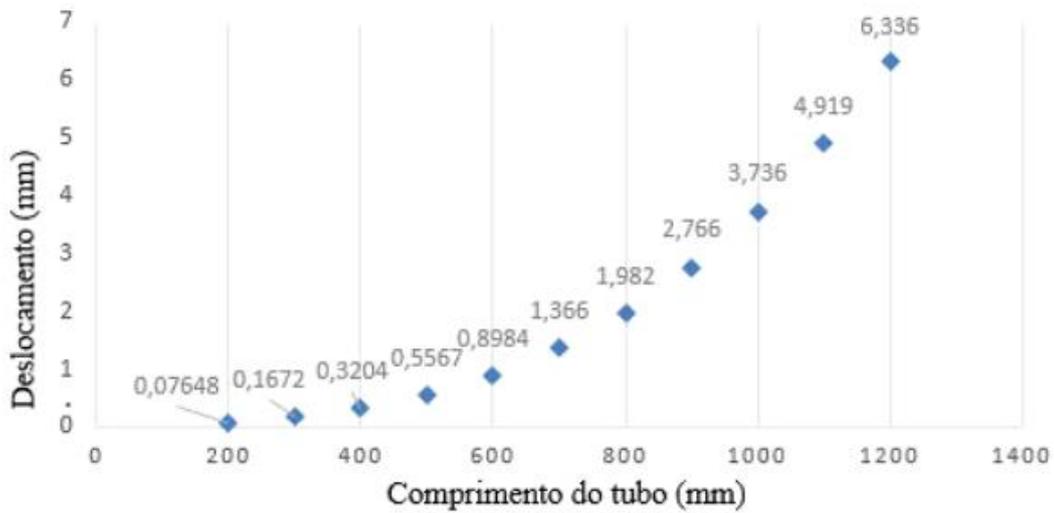
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise das simulações

A simulação do protótipo foi executada no *software* SolidWorks®. As simulações foram divididas por elementos como já explicitado na seção de metodologia, portanto, para análise das simulações foram escolhidas duas vertentes, primeiramente a análise de tensão nas estruturas de modo a analisar os esforços existentes, e evitar a conformação plástica e a ruptura dos tubos conforme as cargas.

A outra vertente é a análise de deslocamento, de modo, a avaliar os esforços de flexão dos tubos. Para evitar isso, foram escolhidos tubos menores de 600 mm, pois Souza (2015) realizou simulação computacional, empregando uma força fixa de 400 N, distribuída ao longo de um tubo de 50 mm de diâmetro. E foi considerada a variação de comprimento do tubo no intervalo [200 mm, 1200 mm], com incrementos de 100 mm, como condições de contorno foi considerado bi engaste nas extremidades. A figura 37 ilustra o comportamento exponencial à medida que o comprimento do tubo foi, aumentado. Este fato é evidenciado para comprimentos acima de 600 mm.

Figura 37 – Deslocamento máximo do tubo sob carregamento distribuído x variação do comprimento do tubo obtido via simulação computacional



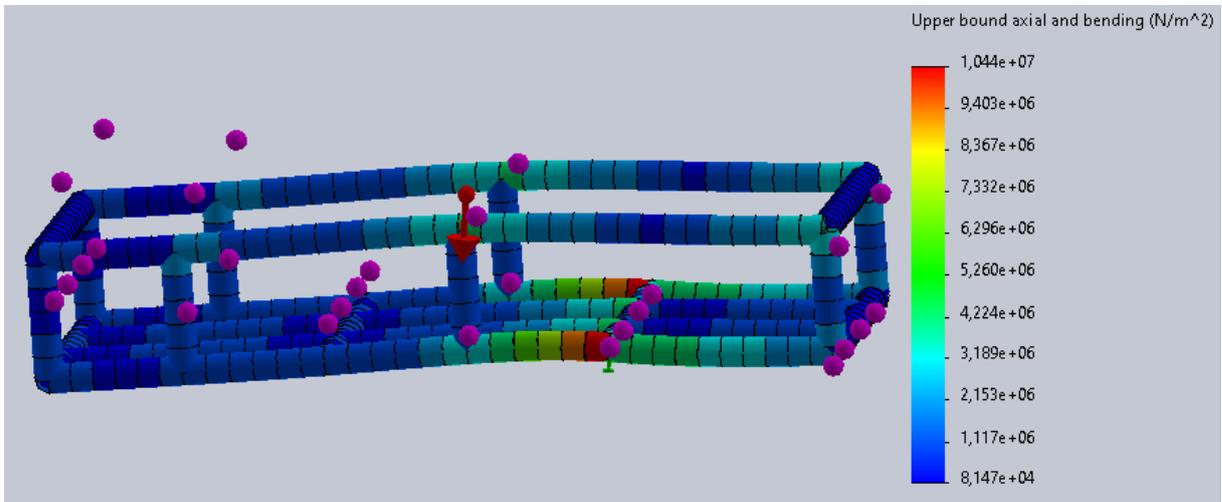
Fonte: Souza (2015)

Portanto, é percebido que na modelagem dos componentes, a maioria possui comprimento menores que 600 mm, apenas em alguns casos em que são utilizados tubos maiores que esse comprimento, além de que são tubos que não sofrem esforços excessivos.

4.1.1. Suporte para colchão

Com as condições de contorno explicitadas na seção 3.2.1, foi feita a simulação do suporte do colchão. Na figura 37, está exibido o resultado referente as tensões impostas no componente, e é visto que a tensão máxima ocorre no tubo que está próximo ao eixo de rotação com uma tensão máxima de $1,044 \cdot 10^7$ N/m², além disso, a figura 38 e a figura 39 são representações em escala de 1:36 de modo que não representa fielmente a tensão e deslocamento na representação do desenho.

Figura 38 – Resultados da simulação computacional de tensões – Suporte do colchão



Fonte: Elaborado pelo autor.

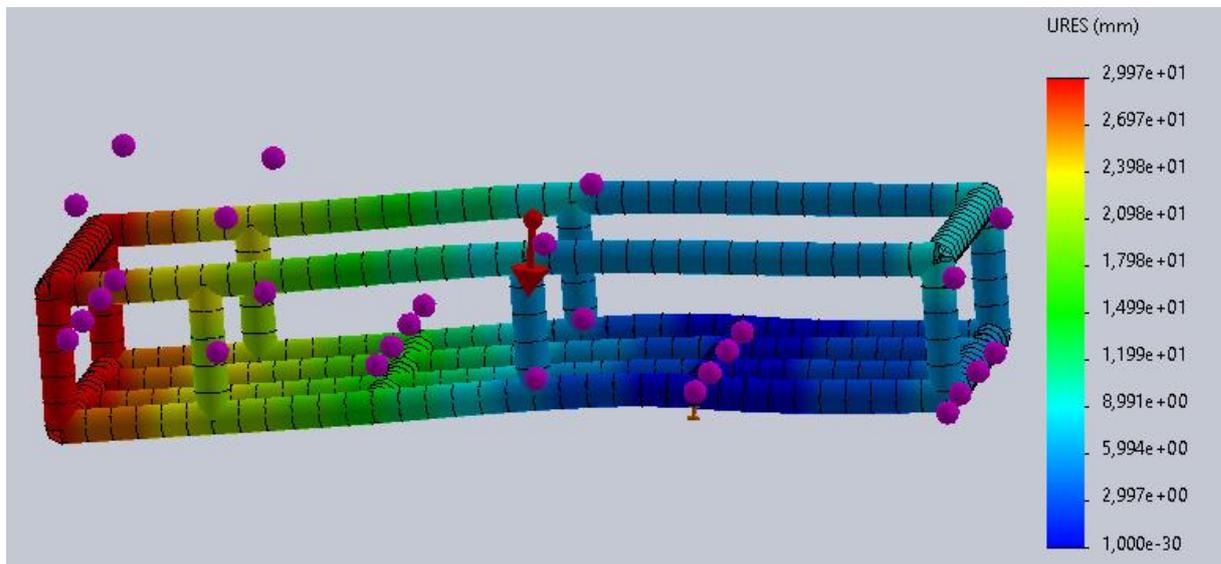
Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança conforme a equação 3, e adotando o valor de tensão de ruptura da tabela 2, sendo o dado de resistência à tração instantânea a 20° C, e então, obtém-se:

$$FS = \frac{\sigma_{ruptura}}{\sigma_{admissível}} = \frac{5,099 \times 10^7}{1,044 * 10^7} = \mathbf{4,85}$$

Com o fator de segurança de 4,85, pode se admitir que o suporte do colchão é confiável para as condições de contorno impostas. Os pontos flutuantes em roxos são referentes a escala utilizada de 1:36, representando o esforço sofrido.

A outra análise foi o deslocamento da estrutura conforme explicitado anteriormente, na figura 38, percebe-se que o deslocamento máximo foi de 30 mm, o que resulta em um valor alto, nos tubos de coloração mais avermelhadas, porém esses tubos serão suportados pela base, e conseqüentemente, acarretará em um deslocamento menor que o calculado. Os pontos flutuantes em roxos são referentes a escala utilizada de 1:36, representando o esforço sofrido.

Figura 39 – Resultados da simulação computacional de deslocamento – Suporte do colchão

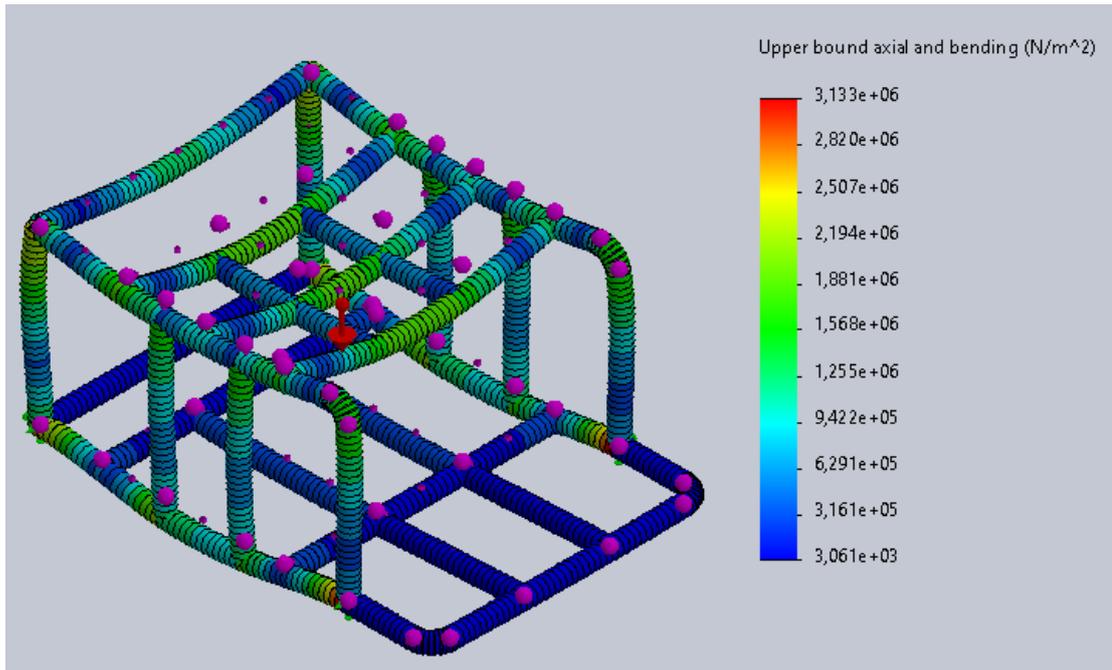


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2. Base

Com as condições de contorno explicitadas na seção 3.2.1, foi feita a simulação da base. Na figura 40, está exibido o resultado referente as tensões impostas no componente, e é visto que a tensão máxima ocorre no tubo que está próximo ao elemento de fixação na parte inferior do componente, com uma tensão máxima de $3,133 \cdot 10^6$ N/m², além disso, a figura 39 é uma representação em escala de 1:36 de modo que não representa fielmente a tensão e deslocamento na representação do desenho.

Figura 40 – Resultados da simulação computacional de tensões – Base



Fonte: Elaborado pelo autor.

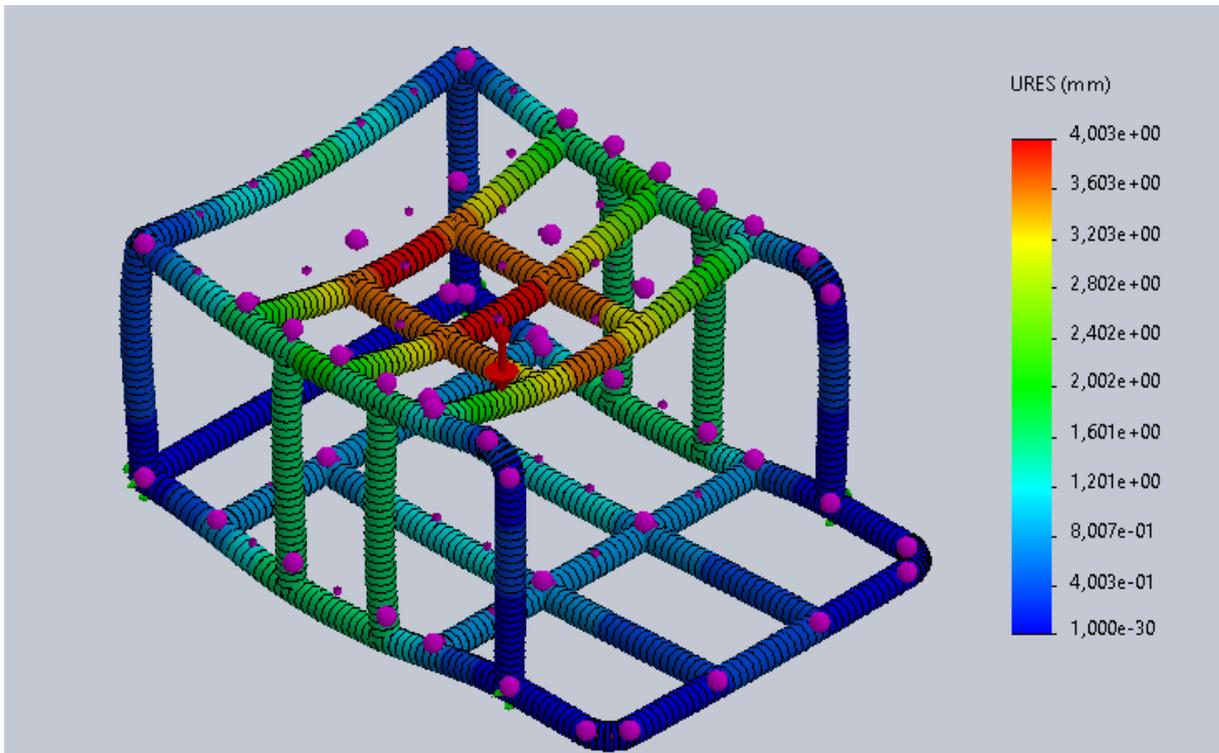
Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança conforme a equação 3, e adotando o valor de tensão de ruptura da tabela 2, sendo o dado de resistência à tração instantânea a 20° C, e então, obtém-se:

$$FS = \frac{\sigma_{ruptura}}{\sigma_{admissível}} = \frac{5,099 \times 10^7}{3,133 * 10^6} = \mathbf{16,27}$$

Com o fator de segurança de 16,27, pode se admitir que a base é confiável para as condições de contorno impostas.

A outra análise foi o deslocamento da estrutura conforme explicitado anteriormente, na figura 41, percebe-se que o deslocamento máximo foi de 4 mm nos tubos que fazem a sustentação central do suporte do colchão, o que resulta em um valor satisfatório, os tubos que sofrem maiores esforços estão com a coloração mais avermelhadas.

Figura 41 – Resultados da simulação computacional de deslocamento – Base

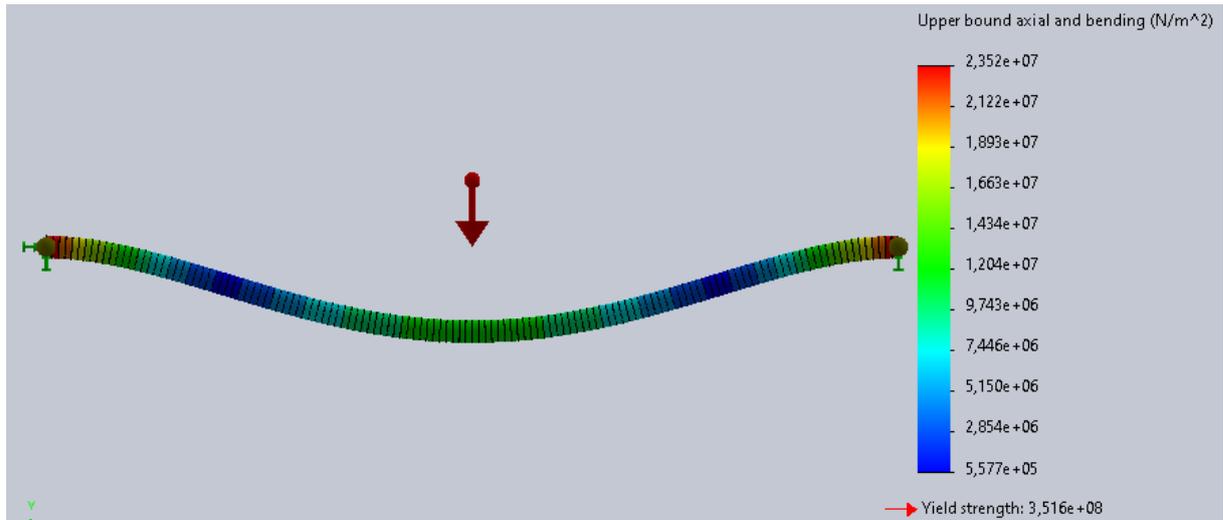


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3. Eixo de rotação

Com as condições de contorno explicitadas na seção 3.2.1, foi feita a simulação no eixo de rotação. Na figura 42, está exibido o resultado referente as tensões impostas no componente, e é visto que a tensão máxima ocorre na região próxima ao elemento de fixação, no caso os mancais, com uma tensão máxima de $2,352 \cdot 10^7$ N/m², além disso, a figura 42 é uma representação em escala de 1:36 de modo que não representa fielmente a tensão e deslocamento na representação do desenho.

Figura 42 – Resultados da simulação computacional de tensões – Eixo de rotação



Fonte: Elaborado pelo autor.

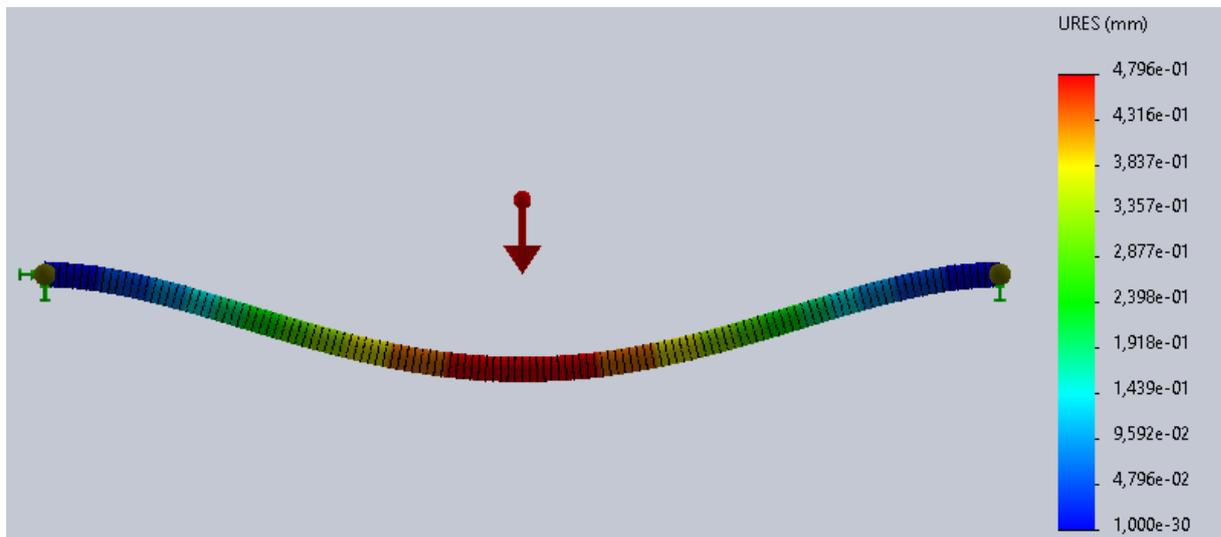
Portanto, realizando o cálculo do coeficiente de segurança conforme a equação 3, e adotando o valor de tensão de ruptura da tabela 8, sendo o dado de resistência à tração, e então, obtém-se:

$$FS = \frac{\sigma_{ruptura}}{\sigma_{admissível}} = \frac{4,2 \times 10^8}{2,352 \times 10^7} = \mathbf{17,86}$$

Com o fator de segurança de 17,86, pode se admitir que o eixo de rotação é confiável para as condições de contorno impostas.

A outra análise foi o deslocamento da estrutura conforme explicitado anteriormente, na figura 43, percebe-se que o deslocamento máximo foi de 0,48 mm na região central do eixo, o que resulta em um valor satisfatório, a região que resultou em maior deslocamento está com a coloração mais avermelhada.

Figura 43 – Resultados da simulação computacional de deslocamento – Eixo de rotação



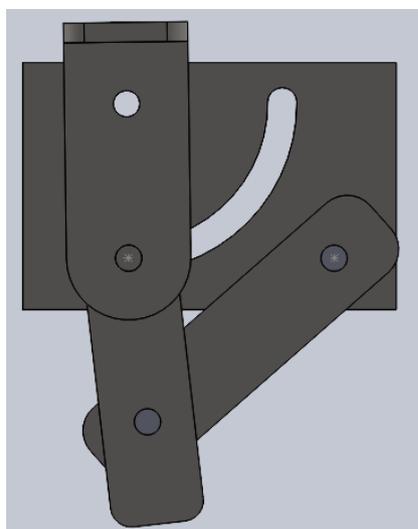
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Análise dos mecanismos

4.2.1. Mecanismo “baú”

Para realizar a análise do mecanismo “baú”, foi feita uma simplificação conforme explicitada na figura 44, de modo que o mecanismo se assemelhe a um mecanismo de 4 barras, em uma barra é bem similar a uma meia junta, porém tem seu movimento limitado devido a um rasgo guiado com um arco de raio de 75 mm, para assim realizar o movimento de 0° a 90° da base superior do mecanismo.

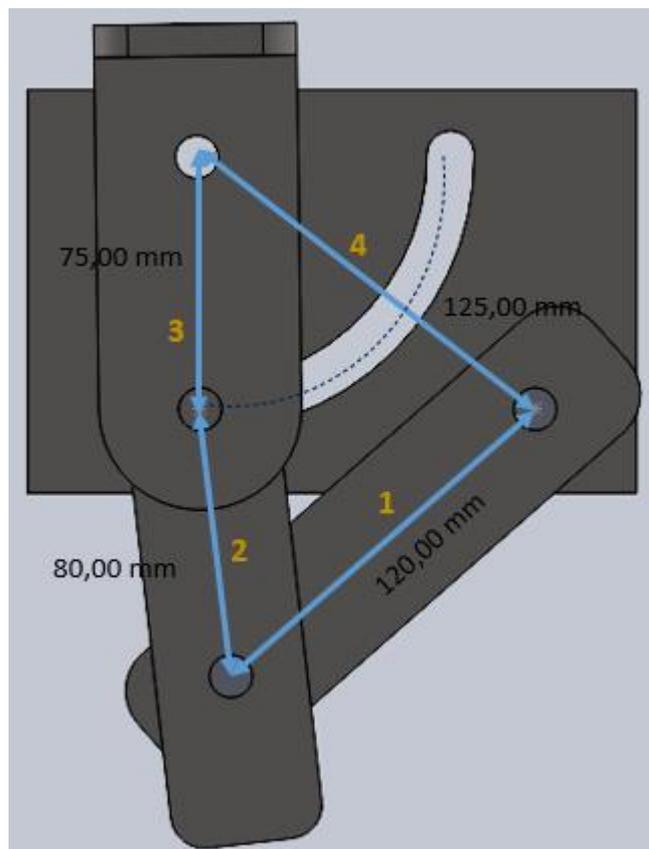
Figura 44 – Simplificação do mecanismo “baú”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 45, observa-se a identificação das barras e suas identificações inicialmente, sem que haja algum movimento inicial na manivela. É visto que a barra 1 é a que recebe o movimento de rotação proveniente do esforço do usuário através da manivela. A barra 2 recebe o movimento de rotação da barra 1 e realiza um movimento de rotação guiado, devido o elo da barra 2 e 3 possuir o movimento limitado devido ao rasgo guiado.

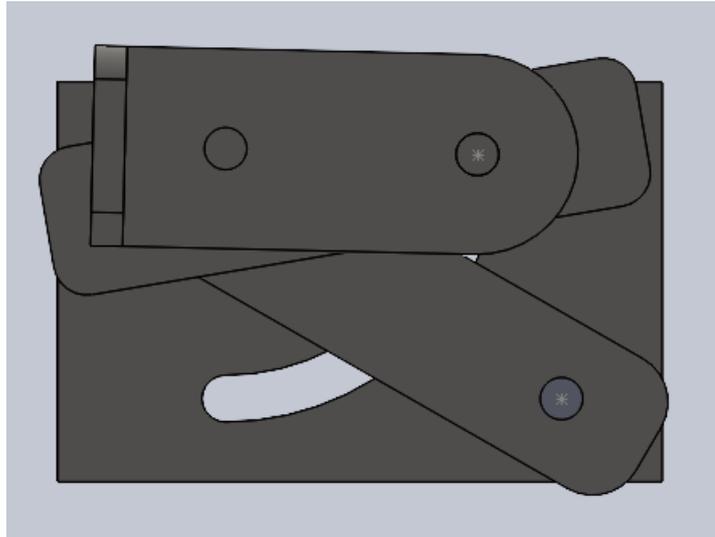
Figura 45 – Posição inicial com a identificação das barras e comprimentos -
Mecanismo “baú”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 46, é visto que foi atingido o fim de curso do elo entra a barra 2 e 3, realizando a movimentação final do mecanismo, se faz necessário a utilização de uma trava para que o mecanismo, fique estático nessa posição.

Figura 45 – Posição final - Mecanismo “baú”

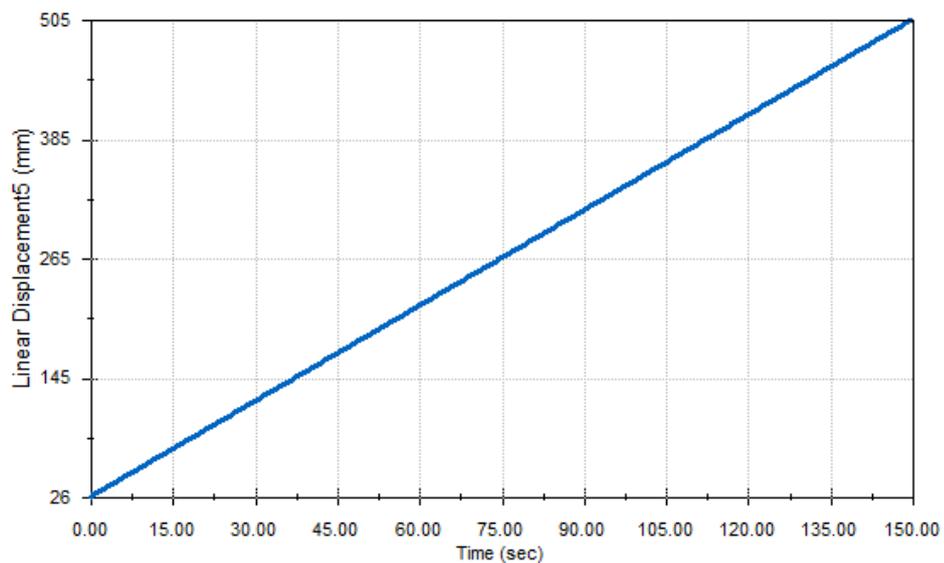


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2. Atuador elétrico linear

Com a análise realizada, através do gráfico 1, pode -se notar que o atuador elétrico linear demora por volta de 2,5 minutos para atingir seu deslocamento máximo, devido a velocidade máxima de carga de 3,2 mm/s permite uma velocidade linear baixa. Portanto proporciona um movimento suave na rotação da cama ortostática gerando um maior conforto ao paciente.

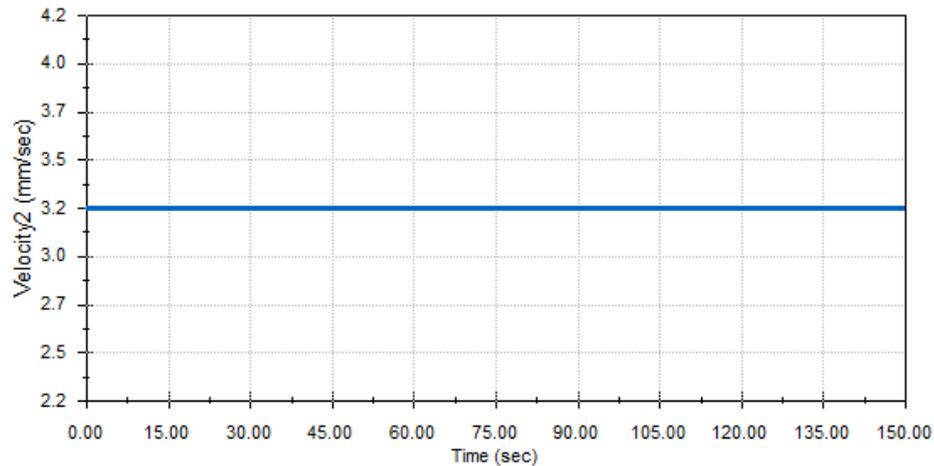
Gráfico 1 – Deslocamento x Tempo – Atuador elétrico linear



Fonte: Elaborado pelo autor.

O motor elétrico que transmite o movimento ao fuso possui velocidade constante, de modo que a velocidade não se altera durante o curso da haste, e consequentemente, resulta em uma aceleração nula, conforme exibido no gráfico 2.

Gráfico 2 – Velocidade x Tempo – Atuador elétrico linear



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Análise de custos

Todo projeto possui custos atrelados a sua concepção, um dos objetivos desse trabalho, foi a redução de custos em relação a mão-de-obra e material, para desenvolver um protótipo de maior acessibilidade aos pacientes a que necessitam. Para isso, foi feita a análise de custo por componente da estrutura principal da cama e dos mecanismos de elevação.

As pesquisas de preço foram feitas em 3 depósitos localizados em Fortaleza, Ceará, além de busca dos materiais em lojas virtuais, portanto, os preços alocados são os menores preços encontrados nas pesquisas realizadas. Alguns materiais não são vendidos por unidade, por exemplo, o tubo PVC 2.1/2” que são vendidas varas de 6 metros.

Tabela 10 – Custo de material relacionado ao suporte do colchão

Material	Valor unitário(R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
Tubo PVC 2.1/2”	262,40 (6m)	13,6 m	524,80
Conexão PVC de 3 saídas em T 2.1/2”	43,30	14	606,20
Conexão PVC de 3 saídas em 90° 2.1/2”	47,60	8	380,80
Conexão PVC cruzeta 2.1/2”	48,75	6	292,50
Madeira	265,00	3000x1400x10 mm	265,00
Cintas para maca	17,30	2	34,60
Parafuso M12x100	3,10	20	62,00

Porca M12	2,60	20	52,00
Valor Total – Suporte do colchão			R\$ 2.217,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 10 exibe os materiais utilizados e os custos relacionados para confecção do suporte do colchão, pode se analisar que o custo com os acessórios de PVC soma 57,70% do custo total. Portanto, é necessário saber alocar bem os acessórios na estrutura, de modo que exista um balanceamento entre a quantidade de acessórios e a resistência da estrutura.

Tabela 11 – Custo de material relacionado a base

Material	Valor unitário(R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
Tubo PVC 2.1/2"	262,40 (6m)	11,89 m	524,80
Conexão PVC de 3 saídas em T 2.1/2"	43,30	28	1.212,40
Conexão PVC de 3 saídas em 90° 2.1/2"	47,60	4	190,40
Conexão PVC cruzeta 2.1/2"	48,75	4	195,00
Conexão PVC joelho 2.1/2"	42,90	3	128,70
Madeira	351,20	3070x2150x10 mm	351,20
Rodízio 4" com trava	34,50	4	138,00
Parafuso M12x100	3,10	20	62,00
Porca M12	2,60	20	52,00
Valor Total - Base			R\$ 2.854,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

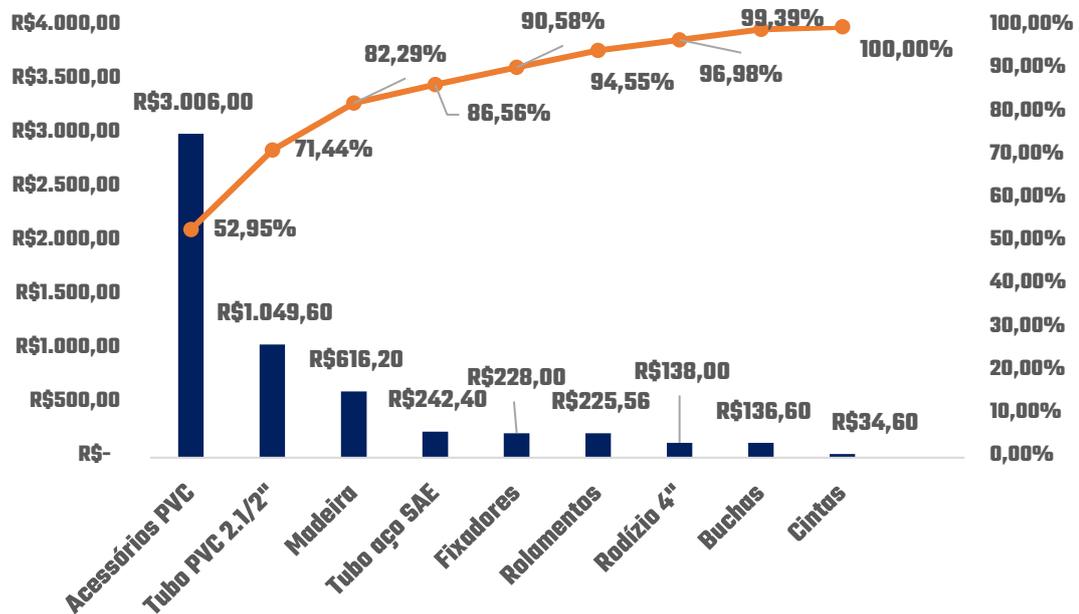
A tabela 11 exibe os materiais utilizados e os custos relacionados para confecção da base, pode se analisar que o custo com os acessórios de PVC soma 62,75% do custo total.

Tabela 12 – Custo de material relacionado ao eixo de rotação

Material	Valor unitário(R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
Tubo aço SAE 1020 45mm	242,40 (6m)	1,70 m	242,40
Mancais de rolamento	112,78	2	225,56
Buchas	34,15	4	136,60
Valor Total – Eixo de rotação			R\$ 604,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Pareto – Custos por elementos da estrutura



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 3 exibe os custos por elemento da estrutura da cama, além da porcentagem acumulada de cada custo, pode se analisar que apenas os acessórios de PVC somam de 52,95% de toda estrutura da cama, o que ressalta a sua importância tanto no âmbito da resistência e conexão da estrutura como no custo final do protótipo. Os tubos PVC 2.1/2'' e os acessórios de PVC somam 71,44 % do custo total, evidenciando que são os principais componentes na estrutura.

Tabela 13 – Custos relacionado ao mecanismo “baú”

Material/Serviço	Quantidade	Valor Total (R\$)
Chapa aço SAE 1020	500x500mmx3/8''	761,28
Tubo aço SAE 1020 1/2''	1500 mm	214,30
Manivela	1	120,00
Corte a plasma	1,0 hora	420,00
Valor Total – Mecanismo “baú”		R\$ 1.515,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 13 mostra os custos relacionados aos materiais e fabricação das peças referente ao mecanismo “baú”, com um valor total de R\$ 1.515,58, sendo 50,23% associado a compra da chapa de aço para realizar o corte das peças.

Tabela 14 – Custos relacionado a polias e correias

Material/Serviço	Quantidade	Valor Total (R\$)
Polia 60 mm	1	134,80
Polia 240 mm	1	238,14
Correia B	1	52,40
Manivela	1	120,00
Tarugo aço SAE 1020 ½”	1500 mm	223,40
Rolamentos	4	140,80
Valor Total – Mecanismo “baú”		R\$ 909,54

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 14 exhibe os custos relacionados aos materiais e montagem referente ao mecanismo de polias e correia, com um valor total de R\$ 909,54, sendo 50,75% associado a compra da polia de diâmetro de 240 mm e do tarugo de aço SAE 1020 para os eixos.

Tabela 15 – Custos de cada componente

Componente	Valor Total (R\$)
Suporte do colchão	2217,90
Base	2854,50
Eixo de rotação	604,56
Mecanismo “baú”	1515,58
Polias e correias	909,54
Atuador elétrico linear	720,35

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, conforme a tabela 15, o custo total associado a estrutura da cama ortostática engloba o valor do suporte do colchão, base e eixo de rotação somando o valor de R\$ 5.676,96. Os mecanismos de elevação possuem custos variados, e o que possui o menor valor associado é o atuador elétrico linear com o custo de R\$ 720,35. Então, somando esses dois valores o projeto da cama ortostática fica com um valor associado de aproximadamente R\$ 6.397,31, visto que as camas ortostáticas para adultos existentes no mercado possuem o investimento de por volta de R\$ 9.500,00, o protótipo induz uma redução de em torno de 32,65 %, sendo uma porcentagem bastante considerável para o projeto.

5. CONCLUSÕES

Pode-se observar que a cama ortostática é de fundamental importância na vida de pessoas que por algum motivo necessitam ficar muito tempo deitadas em leito, visto que a posição ortostática retarda o atrofiamento dos músculos dos membros inferiores. Com isso, a ideia de sugerir um projeto de protótipo da cama ortostática, visou diminuir o custo de aquisição e a aumentar a acessibilidade do equipamento. Portanto, a estrutura de PVC sugerida para a cama ortostática respondeu bem aos esforços impostos na simulação estrutural, sendo o menor fator de segurança da estrutura o valor de 4,85 no suporte do colchão, o que é admissível para projetos hospitalares.

Os mecanismos de elevação possuem o mesmo objetivo, que é realizar a rotação de $\frac{1}{4}$ de volta na cama ortostática, ou seja, mover da angulação de 0° com o eixo horizontal e estabelecer a posição em 90° em relação ao eixo horizontal. Conforme feito as análises, o atuador elétrico linear foi o mecanismo que melhor atendeu em vários quesitos, tanto na questão do custo de aquisição com um valor de aproximadamente de R\$ 720,35, conseqüentemente, o mais barato dos mecanismos analisados.

Além de ser o que melhor se adequa ao projeto no âmbito de facilidade de montagem e manutenção, pois necessita apenas de uma fonte elétrica e de duas fixações na estrutura, uma no suporte do colchão e outra na base e não necessita de “carcaça” de proteção, como é o caso das polias e correia e nem necessidade de usinagem como é o caso de mecanismo “baú”. Ademais, permite uma movimentação suave da cama ortostática, de forma a promover um maior conforto ao usuário.

Em termos de custos, o projeto do protótipo com a estrutura de PVC imposta e com a adoção do atuador elétrico linear ficou com um custo associado de R\$ 6.397,31, o que representa uma redução de 32,65% considerando o preço médio de uma cama ortostática para adultos existente no mercado de R\$ 9.500,00.

Um projeto voltado para o âmbito da tecnologia assistiva necessita aprovação de um órgão regulador para que possa atuar no mercado, sendo normalmente a ANVISA, o projeto teve como intuito de incentivar o estudo mecânico voltado para equipamentos dessa área. Porém, para conseguir adotar esse projeto é necessária aplicação de diversas melhorias, conforme explicitado na seção 6.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Todo projeto está sujeito a melhorias e alterações futuras para melhorar o desempenho e eficiência, isso principalmente, no âmbito de concepção de protótipo. Nesse trabalho, existem algumas sugestões para melhorias tanto na parte estrutural da cama ortostática, nos mecanismos de elevação e no design do protótipo.

A construção do protótipo é necessária para avaliação das características do projeto, além de permitir a execução de testes e avaliações para realizar modificações e melhorias, testes esses destrutivos para validar fisicamente a resistência mecânica da geometria proposta. Ademais, possibilitar maiores alterações na geometria, com menor utilização de acessórios, com objetivo de diminuir o custo com material, como por exemplo, trocar o suporte do colchão por algum tipo de maca hospitalar acolchoada. Nesse trabalho, a construção do protótipo não foi possível, devido ao tempo limitado e falta de recursos financeiros.

Uma segunda sugestão é a possibilidade de analisar outro mecanismo de elevação, que seja mais acessível a estrutura da cama ortostática, com um custo mais acessível e de fácil manutenibilidade, em que não seja necessária frequentemente a intervenção direta no mecanismo para manter a integridade.

A terceira sugestão é realizar simulações com diferentes tipos de tubos PVC, tanto modificando o material como os diâmetros utilizados, de formar analisar qual o diâmetro mínimo que mantem a integridade do componente estrutural, além de ser um método de diminuir o custo com o próprio tubo como com os acessórios, visto que, tubulações com diâmetros menores tendem a ser mais baratas e acessíveis.

A quarta sugestão é utilizar outros métodos de simulações para as análises, como por exemplo, simulação por elemento de casca em que possui uma análise mais detalhada permitindo um refinamento da malha e detalhes em concentradores de tensão da estrutura. De modo, a gerar resultados mais confiáveis e permitir uma melhor alteração da geometria.

A quinta sugestão é a utilização de outros *softwares* para realizar a simulação por análise estrutural, como por exemplo, o *software* Ansys© que permite um melhor refinamento de malha e destrinchar melhor as condições de contorno, além de permitir análise topográfica, de modo a objetivar a redução de massa do protótipo.

Uma outra sugestão é avaliar outro tipo de configuração para o eixo de rotação, de forma que fique mais discreto no conjunto da cama ortostática, ou com a adoção de um atuador linear fixo não haja a necessidade do eixo, pois o atuador linear juntamente com a

base fará a sustentação, e apenas o posicionamento do atuador definirá o eixo de rotação da cama ortostática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**, 2014.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos Finitos–A base da tecnologia CAE**. Saraiva Educação SA, 2018.

AURORA, **Catálogo técnico, terminais rotulares**, 2017. Disponível em: <<https://www.aurorabearing.com/pdf/aurora-bearing-610-catalog.pdf>>. Acesso em: 10/03/2022

AZEVEDO, Álvaro FM. **Método dos elementos finitos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, v. 1, n. 7, 2003.

CURY, V. C. R., FIGUEIREDO, P. R. P. & MANCINI, M. C., 2013. **Environmental settings and families socioeconomic status influence mobility and the use of mobility devices by children with cerebral palsy**. Arq neuropsiquiatr., Issue 71, pp. 100-105.

CZHAX, **Catálogo técnico, atuadores elétrico linear**, 2018. Disponível em: <<http://www.czhas.com/Product/DLA-B.html>>. Acesso em: 22/03/2022

DE MENEZES, Caio Ramos; DE ARAUJO BEZERRA, Roberto; DO NASCIMENTO RODRIGUES, Rômulo. **Projeto de modelagem e dimensionamento de uma manga de eixo para um Mini-baja SAE**. REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA, v. 13, n. 2, 2021.

FLORES, Paulo; CLARO, José Carlos Pimenta. **Cinemática de mecanismos 2: análise descritiva de mecanismos**. 2007.

FORINI, Sérgio Henrique. **Estudo da dispersão e incorporação de argilas esmectíticas em plastisol**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FRESADORA ZAMBONI, **Catálogo técnico, cremalheira e pinhão mecânico**, 2016. Disponível em: <https://www.fresadorazamboni.com.br/index.php?route=product/product&path=131&product_id=1364>. Acesso em: 06/03/2022

GALVÃO E CIA, **Catálogo técnico, polias**, 2017. Disponível em: <<https://www.elgalvao.com.br/polias>>. Acesso em: 14/04/2022

GALVÃO FILHO, Teófilo Alves. **A Tecnologia Assistiva: de que se trata. Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade**, v. 1, p. 207-235, 2009.

GONÇALVES, Adriano; ALMEIDA, Sérgio FM; LEVY NETO, Flaminio. **Comportamento de cilindros de carbono/epóxi submetidos a cargas compressivas axiais**. Polímeros, v. 11, n. 2, p. 94-101, 2001.

JOHN DEERE, **Catálogo técnico, retroescavadeira 310 L**, 2018. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/retroescavadeira/>>. Acesso em: 16/03/2022

KALATEC, **Catálogo técnico, fuso esfera**, 2019. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/fusos-de-esferas-pronta-entrega/>>. Acesso em: 27/03/2022

KIMURA, A. E. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2018.

KUKA, **Catálogo técnico, robôs industriais**, 2016. Disponível em: <<https://www.kuka.com/pt-br/produtos-servi%C3%A7os/sistemas-de-rob%C3%B4s/rob%C3%B4s-industriais>>. Acesso em: 30/03/2022

LIMA JÚNIOR, Francisco Alves de. **Estudo do efeito da orientação molecular nas propriedades mecânicas de tubos em policloreto de vinila (PVC)**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MATINEZ, Vitor de Andrade. **Desenvolvimento de projeto e protótipo de cadeira postural para criança com tetraplegia**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MATOS, Leonardo Rocha. **Projeto de sistema de posicionamento automático para painel solar**. 2019.

MELLO, M. A. F. . Tecnologia Assistiva. In: AmatuZZi, Marco Martins; Greve, Júlia Maria D'Andrea. (Org.). **Medicina de Reabilitação Aplicada à Ortopedia e Traumatologia. Medicina de Reabilitação Aplicada à Ortopedia e Traumatologia**. 1ed.Sao Paulo: Roca, 1998, v. 1, p.

MENDONÇA, Kamylla Novais Neves. **Conhecimento e utilização de equipamentos de tecnologia assistiva pelos terapeutas ocupacionais do Distrito Federal**. 2012.

MEZA, Mariane Cardoso. **Concepção de um dispositivo fisioterápico: parapodium mecanizado**. 2016.

NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. AMGH Editora, 2010.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. bookman editora, 2013.

OLIVEIRA, Geraldo Cesar Rosário de. **Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para usuários de cadeira de rodas**. 2017.

PELOSI, Miryam Bonadiu et al. **Formação em serviço de profissionais da saúde na área de tecnologia assistiva: o papel do terapeuta ocupacional.** Journal of Human Growth and Development, v. 19, n. 3, p. 435-444, 2009.

PINHEIRO DA SILVA, Luís Henrique et al. **PROJETO E PROTÓTIPO DE UMA CADEIRA DE RODAS AUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO TUBOS DE PVC.** Revista CIATEC-UPF, v. 11, n. 2, 2019.

PRAXIS, **Catálogo técnico, cadeira de rodas Munique**, 2019. Disponível em: <<https://praxisbr.com.br/produto/cadeira-de-rodas-munique/>>. Acesso em: 02/02/2022

RLG, **Catálogo técnico, motor DR-300 série 300**, 2019. Disponível em: <<https://rlg.ind.br/produtos/deslizante/dr-300/>>. Acesso em: 07/04/2022

SIBINELLI, Melissa et al. **Efeito imediato do ortostatismo em pacientes internados na unidade de terapia intensiva de adultos.** Revista Brasileira de Terapia Intensiva, v. 24, p. 64-70, 2012.

SIMÕES, Carlos Manuel Lopes. **Paraplegia: prevalência, etiologia e processo de reabilitação.** 2009. Tese de Doutorado.

SOUZA, Leandro Rodrigues da Silva et al. **Desenvolvimento de estrutura veicular do tipo space frame construída com tubos de pvc.** 2015.

SUMMERS, J. W. **Encyclopedia of Chemical Technology - Vinyl Polymers (PVC)**

Poly(vinyl chloride). 4^a Ed., 1996.

TIGRE, **Catálogo técnico, tubos e conexões para água fria, tubos e conexões soldáveis**, 2013. Disponível em: <https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/catalogos/tubos-conexoes-soldaveis_0.pdf>. Acesso em 01/05/2022

VANZETTI, **Catálogo técnico, mesa ortostática**, 2016. Disponível em: <<https://www.vanzetti.com.br/produto/mesa-ortostatica/>>. Acesso em: 25/03/2022

VELAR, Camila Molina; JUNIOR, Germano Forti. **Ortostatismo passivo em pacientes comatosos na UTI: um estudo preliminar.** *Revista Neurociências*, v. 16, n. 1, p. 16–19-16–19, 2008.

VONDER, **Catálogo técnico, mola aérea para porta**, 2017. Disponível em: <https://www.vonder.com.br/produto/mola_aerea_para_porta_preta_potencia_3_vonder/4159>. Acesso em: 15/04/2022

VILLARINO, T. P.; BASTOS, T. R. **Projeto de Implantação Para Produção de Mobiliários Adaptados em PVC no Centro de Reabilitação Física Dom Bosco de Lins no Setor de Terapia Ocupacional.** 73 f. Monografia (Terapia Ocupacional) — Centro Universitário Católico Salesiano, São Paulo, 2007.