

**PROPOSTA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
DE EXOESQUELETO VERTEBRAL PARA REDU-  
ÇÃO DE ESFORÇOS FÍSICOS NA COLUNA**

**PROPOSAL FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT  
OF VERTEBRAL EXOSKELETON TO REDUCE  
PHYSICAL STRESS IN THE SPINE**

João Gabriel Quirino De Lima<sup>1</sup>

Igor Ferreira De Oliveira<sup>2</sup>

Aêda Monaliza Cunha de Sousa<sup>3</sup>

**Resumo:** O presente trabalho tem como objetivo, desenvolver um mecanismo capaz de auxiliar os esforços físicos na coluna vertebral. Atualmente os exoesqueletos são ferramentas desenvolvidas pelo campo da engenharia, com importante atuação na área industrial, na qual está em busca de melhorias no desempenho

da capacidade do ser humano de levantar cargas de forma automatizada, sendo que, o principal enfoque da utilização de tais ferramentas é tornar o movimento mais rápido e eficiente. De modo que, o dispositivo em desenvolvimento composto por estruturas cilíndricas de baixo peso e flexíveis, ligadas por meio dos supor-

---

1 Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Universitário do vale do Ipojuca | Wyden

2 Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário do vale do Ipojuca | Wyden

3 Graduada em Sistemas de Informação, Mestra em Engenharia da Computação e Doutora em Engenharia Elétrica



tes de fixação forneçam uma característica modular ao sistema. Tal característica, permite que o exoesqueleto seja adaptado para auxiliar o movimento, a atuação do exoesqueleto é modular, podendo ser realizada de forma passiva, por meio de molas e amortecedores ou de forma ativa através de atuadores ou motores.

**Palavras-chaves:** Exoesqueleto, reabilitação robótica, coluna vertebral, automação industrial.

**Abstract:** He presents work aims to develop a mechanism capable of assisting the physical efforts of the spine. Exoskeletons are currently tools developed by the field of engineering with important work in the medical physiotherapeutic area and in the search for a better performance of the human capacity to lift loads, being that the main focus of the use of such

tools in the movement more quickly and efficient. The device in development is composed of low weight and flexible cylindrical structures connected by means of the fastening brackets which provide a modular characteristic to the system. Such a feature allows the exoskeleton to be adapted to aid movement. The performance of the exoskeleton is also modular, and can be performed passively, by means of springs and shock absorbers, or actively through actuators or motors.

**Keywords:** Exoskeleton, rehabilitation robotics, spine.

## INTRODUÇÃO

Partindo do grande número de trabalhadores que apresentam problemas, como, lesões e traumas causados por acidentes que atingem o sistema neural (ca-



beça e coluna) que implicam em consequências como o comprometimento de funções motoras.

Tem-se de grande importância o estudo dos músculos eretores da espinha, importantes e responsáveis pela integridade física e funcional da coluna vertebral, o que o define fisicamente como um dos complexos sistemas de segmentos articulados em equilíbrio estático ou dinâmico do corpo, onde o movimento é causado por forças internas que atuam fora do eixo articular, provocando deslocamentos angulares dos segmentos, e por forças externas ao corpo.

Em princípio, deve-se considerar que a estrutura funcional do sistema biológico passou por um processo organizacional evolutivo de otimização, que se diferencia do caminho de aperfeiçoamento técnico do movimento. Em contraposição, a um

corpo rígido, a estrutura biológica do corpo humano permite a produção de força através da contração muscular, que transforma o corpo num sistema autônomo e independente e assim acontece o movimento. Desta forma, a ciência que descreve, analisa e modela os sistemas biológicos é a biomecânica, logo sendo uma ciência de relações altamente interdisciplinares dada a natureza do fenômeno investigado. Assim, a biomecânica do movimento busca explicar as formas de movimento dos corpos de seres vivos acontece na natureza a partir de parâmetros cinemáticos e dinâmicos (ZERNICKE, 1981).

Na intenção de auxiliar os movimentos físicos de trabalhadores que passaram por traumas e lesões, os quais comprometem movimentos essenciais para o bem-estar social, o exoesqueleto vertebral surge como



alternativa de introdução de ferramentas tecnológicas na área da biomecânica, em trabalhos realizados com cargas. Tendo como principal objetivo o aumento do rendimento e, conseqüentemente, combater danos a integridade física em um determinado indivíduo, utilizando os estudos da mecânica dos movimentos, da modelagem de sistemas dinâmicos e o uso de novas tecnologias, criando uma interação entre as ciências exatas e as biológicas.

De acordo com o já apresentado, tem-se outro aspecto muito importante, os estudos biomecânicos, obtendo-se um desenvolvimento de uma ampla base de dados relativa a informações acerca do movimento humano na região do tronco.

A possibilidade de intensificar as interpretações estatísticas de modelos biomecânicos depende, em primeiro lugar, da

expansão dos parâmetros e variáveis do movimento nesta ampla base de dados, como flexão, tração e, conseqüentemente, o cisalhamento na coluna vertebral, que devem ser verificados através de estudos experimentais e demais registros sobre informações de testes em biomecânica.

A determinação de forças internas assume destacada relevância científica e tecnológica na análise biomecânica do movimento humano nessa região específica, onde a partir da análise dessas forças, importantes considerações acerca do controle do movimento e da sobrecarga mecânica podem ser feitas, contribuindo de forma efetiva na busca de parâmetros de eficiência do movimento, proteção do aparelho locomotor e auxiliar com intuito de reduzir os esforços ao realizar movimentos com cargas.

Logo, sendo essas forças



internas obtidas através de modelos físico-matemáticos aplicados ao corpo humano. Estes modelos permitem o cálculo dessas forças, a partir de variáveis oriundas da dinamométrica, da cinemetria e da antropometria (AMADIO; DUARTE, 1996).

Contribuindo com o objetivo de produzir um exoesqueleto para região da coluna vertebral usado nos trabalhos que realiza esforço físicos, como também como auxiliar na reabilitação motora de pacientes com

lesões nesta região. Sendo também denominados órteses ativas, os exoesqueletos possibilitam a assistência no caminhar de pessoas com deficiência, entretanto, são atualmente compostos por estruturas mecânicas de elevado peso, volume e de alto custo de produção. Como exemplo mais recente, pode ser destacado o exoesqueleto rose (figura 1) desenvolvido pelos pesquisadores da universidade de Colúmbia (EUA).



*Figura 1- Exoesqueleto RoSE  
(Fonte: Sunil Agrawal/Columbia Engineering)*

E recentemente, a FDA (Food and Drug Administration), agência americana que regulamenta medicamentos e alimentos, aprovou a comercia-

lização do ReWalk, exoesqueleto da empresa Argo Medical Technologies (ESQUENAZI, 2012). O equipamento possibilita a paraplégicos caminhar com a ajuda



de muletas e acompanhantes.

O acionamento deste tipo de dispositivo comercial é realizado através de comandos fornecidos através de botões e pela detecção da inclinação do torso por meio de unidades de medida inercial. Estes comandos disparam movimentos simples, tais como executar uma passada ou uma sequência repetitiva de passos. Desta forma, o usuário deve intervir frequentemente para poder se locomover, executando comandos que resultam em movimentos simples.

Por outro lado, dispositivos mais leves e compactos vêm sendo desenvolvidos e estudados pelos principais grupos de pesquisa do mundo. O Soft Exosuit desenvolvido no Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering da Universidade de Harvard, com apoio da DARPA (Defense Advanced Research

Projects Agency), é um destes (DING, 2014). Este dispositivo é acionado por meio de cabos de aço provenientes de motores localizados na parte posterior do usuário, realizando um movimento coordenado das juntas do quadril, joelho e tornozelo. Entretanto, como a sustentação do usuário e do próprio equipamento é realizada por uma veste contendo um número limitado de partes metálicas, este exoesqueleto não pode ser utilizado por pessoas com alto nível de deficiência, por exemplo, indivíduos com lesão medular completa. Esta solução foi proposta para ser utilizada por pessoas saudáveis, em especial soldados, ou com deficiências neurológicas leves.

Baseado nas pesquisas já mencionadas, é proposto neste projeto a construção de um protótipo de exoesqueleto para coluna vertebral que apresenta



características modulares tanto na possibilidade de se trabalhar as articulações quanto na forma de acionamento das juntas do sistema robótico.

## JUSTIFICATIVA

Em todo mundo a incidência de lesões e traumas vertebrais e musculares relacionados ao trabalho com cargas vem crescendo nas últimas décadas, onde todo indivíduo que carrega determinado peso têm tendência a sentir dores nas costas. No qual, se identificam como as principais lesões: a fadiga dos músculos eretores da espinha, lombalgia, hérnia de disco e o constante desgaste da coluna vertebral.

De acordo com o ortopedista Olavo Letaif, um indivíduo que acha ou sente que estão suportando uma carga acima do limite, já é um indício de que pode

desenvolver uma dor nas costas, limitando o ser humano a carregar determinada porcentagem do seu peso (BEM-ESTAR 2011). Contudo, segundo Coelho (2011), baseado em estudos realizados com cargas em cadáveres, o limite máximo de peso recomendado pelo método NIOSH é de vinte e três quilogramas (23 kg), no qual, este valor representa, para uma determinada situação de trabalho, o valor em que mais de 90% dos homens e mais de 75% das mulheres conseguem manusear. Esta fórmula foi reestruturada em 1994 e o método NIOSH é usado em vários países como um referencial para um limite máximo de peso recomendável.

Mediante o exposto, na intenção de auxiliar os movimentos físicos de trabalhadores, que realizam trabalhos com carregamento de peso, que possivelmente são submetidos a traumas e



lesões, os quais comprometem os seus movimentos essenciais para o bem-estar social.

Este projeto assume como proposta a indução de uma nova ferramenta tecnológica na área da biomecânica, na qual, por sua vez irá combater os problemas na coluna já mencionados, como também a proteção da integridade física melhorando seu rendimento, que por sua vez, reduzirá o constante incômodo na região da coluna.

### **CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE AÇÃO**

De acordo com todos os aspectos abordados, de maneira geral, os exoesqueletos são estruturas esqueléticas que ficam localizadas fora do corpo do ser vivo, auxiliando-o em diversas atividades físicas e reduzindo os seus esforços físicos.

Partindo desse pretexto, possibilita que diversas áreas de trabalho se beneficiem com a utilização deste projeto, como trabalhadores com problemas e ou lesões nas costas, até diversos tipos de trabalhos que exijam um desgaste físico considerável.

Mediante esse cenário, o exoesqueleto pode garantir ao usuário a força de uma máquina e diminuição do desgaste, podendo render muito mais que funcionários comuns, desse modo, tornando o dispositivo um dos principais meios de utilização de auxílio aos trabalhadores, no qual, visa atuar em montadoras, distribuidoras e fabricas, que exigem um esforço físico constante.

Em prática, alguns funcionários utilizando o dispositivo de auxílio em funções que exijam esforço físico em movimentação. Auxiliando através de mais sustentação para o trabalhador, de



modo que, diminuindo possíveis lesões, causadas pelas forças biomecânicas internas e externas que a coluna humana é submetida (figura 3), como também, o cansaço e exaustão, ocasionados a partir da fadiga em movimentações que exigem de agachamentos.

Dado isso, o dispositivo oferece ao usuário suporte em forma de conforto e agilidade, garantindo mais produtividade com um desgaste menor no usuário e menor custo, possibilitando a realização de serviços que exigem de um esforço maior nas articulações.

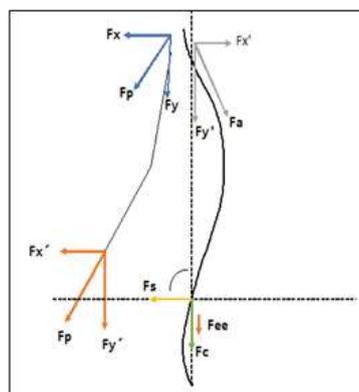


Figura 3- Forças internas e externas na coluna

(Fonte: Autoria própria - 2020)

A partir da imagem analisada, temos os seguintes conceitos:

1. Fa - Força aplicada pelo mecanismo;
2. Fp - Força peso;
3. Fs - Força de cisalhamento;
4. Fc - Força de compressão;
5. Fel - Força elástica;
6. T -Torque;
7. Fee - Força dos ereto-



res da espinha.

## OBJETIVOS

O projeto assume o principal objetivo à criação de um sistema mecânico com a função de reduzir grandes esforços físicos causadores de desgastes na coluna vertebral e lesões musculares, auxiliando os movimentos físicos e fornecendo mais força, mais sustentação e um melhor rendimento nas funções diárias do usuário do exoesqueleto.

Sendo definidos alguns objetivos específicos para o desenvolvimento do projeto:

I. Desenvolver um protótipo que execute movimentos naturais ao da própria coluna vertebral, podendo assim produzir um dispositivo universal para que possa ser usado pelo maior número de pacientes, assim o número de ajustes a serem feitos ao

trocar de paciente seriam mínimos. Este requisito busca reduzir os custos de tratamentos auxiliados pelo exoesqueleto.

II. Desenvolver um dispositivo flexível e com uma estrutura estável e resistente para sofrer deformações plásticas ao receber esforços provenientes dos atuadores e também dos movimentos do corpo, diminuindo as restrições de movimentos.

III. Desenvolver um protótipo com materiais de alta qualidade, propondo o estabelecer a diminuição do valor da produção do aparelho, sendo viável para todas as classes sociais.

IV. Atender pelo maior número de trabalhadores que trabalham em determinada indústria, no qual, o número de ajustes a serem feitos ao se trocar



de indivíduo deve ser pequeno. Do mesmo modo, buscar reduzir os custos do uso de tecnologias como os exoesqueletos, no auxílio ao trabalhador no setor industrial, pois um dispositivo pode ser usado por mais de um indivíduo.

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma das principais funções da coluna vertebral é dar sustentação ao peso corporal, sendo ela que fornece amplitude de movimento aos membros superiores e inferiores. Cada parte da coluna (cervical, torácica, lombar e sacral) tem uma angulação diferente, de acordo com cada atividade realizada, o que faz com que a percepção de qualquer desvio seja notada e assim, ser realizado o tratamento para tal lesão.

As principais causas

desses desvios são ocasionadas pela sobrecarga nas atividades do dia a dia (trabalho pesado). De modo que, isto possibilita lesões e doenças, tendo como principais: hérnia de disco, lombalgia, cervicálgia, osteofitose, lordose, cifose, escoliose. Sendo esses três últimos, desvios da coluna, que mudam a angulação padrão (figura 4), gerando possíveis dores e desconforto no trabalho.



<i>Região</i>	<i>Ângulos min. Padrão</i>	<i>Ângulos máx. Padrão</i>
Cerv.	30°	40°
Torác.	20°	40°
Lomb.	35°	45°

*Tabela 1 – Ângulos padrões de máximos e mínimos.*

*(Fonte: Livro Atlas de Anatomia Humana - 5ª Edição - 2011)*

Dado esses aspectos, os desvios são uma deformidade de torção tridimensional, divididos em cifose, lordose e escoliose, que ocorrem quando há redução ou aumento acentuado de uma ou mais curvaturas. Comprometem o alinhamento da coluna e prejudicam o bom desempenho de suas múltiplas funções quando há suspensão de muito peso, assim que, os nossos músculos e ligamentos também são submetidos a forças e internas do corpo, no qual são sujeitados esforços mecânicos e pequenas rupturas, fazendo com que haja uma quantidade microscópica de sangramento muscular, ocasionando inchaço e espasmos

dolorosos, na maioria das vezes na região lombar.

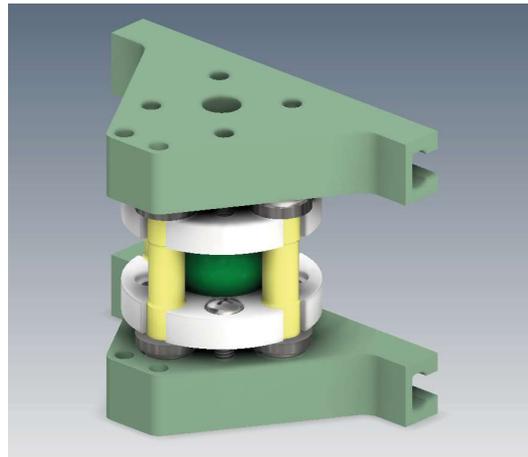
Mediante aos problemas abordados, a tecnologia de exoesqueleto, em teoria, permite que a pessoa resista muito mais em tarefas cansativas, trabalhando assim por muito mais tempo, já que lhe fornece forças de forma externa.

Permitindo ao trabalhador alcançar rendimentos melhores, como levantar o triplo do peso que o ser humano é capaz de levantar. Este projeto é alimentado por um sistema de motores elétricos e Sistema de articulação (figura 4), fornecendo aos membros do corpo graus de



liberdade ao realizar movimento, como também, proporcionando auxílio a coluna vertebral e seus elementos responsáveis pelo mo-

vimento e sustentação, que se dividem em músculos anteriores e posteriores.



*Figura 4- Renderização do Sistema de articulação  
(Fonte :Software Autodesk inventor - 2022)*

Responsáveis pela flexão da coluna lombar, os músculos anteriores, possuem como uma das funções, reduzir as cargas sofridas pelas vértebras lombares durante determinados movimentos, como o reto abdominal: flexão homolateral e lateral da coluna lombar; os oblíquos interno e externo: flexão homolateral, flexão lateral e rotação e, o

transverso do abdome: conexão anatômica (bainhas, aponeuróticas dos oblíquos e do transverso formam a bainha do transverso do abdome). Como também, músculos posteriores, subdividido em camadas constituídas de forma superficial, possuindo as funções de extensão e inclinação da coluna, contendo as camadas, Iliocostal, dorsal longo e espi-

nhas, com funções de extensão e inclinação da coluna. E, forma profunda, composta pelo Inter espinhais, Inter transversais, rotadores e Multífidos, responsáveis pela extensão, inclinação homolateral da coluna, rotação contralaterais da coluna e estabilização.

Dessa forma, fornecendo força e resistência, pretendendo obter uma ferramenta tecnológica que trabalhe em harmonia com o corpo do usuário, pois, como o nome sugere, se trata de uma estrutura externa, que sustenta e ajuda o indivíduo a superar uma lesão ou então lhe fornece aprimoramentos biológicos.

## **METODOLOGIA**

Foi utilizado o método de pesquisa descritiva, baseado na pesquisa experimental, tendo como finalidade analisar dados

coletados através de um estudo profundo da biomecânica do corpo humano. Partindo de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores da área. A finalidade desse trabalho é traçar uma correlação que possa ser trabalhada como base para produção do projeto e aplicações.

Para isso, a pesquisa será baseada em estudos de autores, como por exemplo, Hall, s (1993), Bartenbach (2015), Franklin. M.E (1995), e entre outros pensadores que elaboraram trabalhos pertinentes ao assunto. Entretanto, é importante salientar que, o corpus de autores tende a aumentar na medida em que a leitura vem sendo desenvolvida.

Como objeto principal, iram ser realizados testes com voluntários, como também a realização de coleta de dados a partir de formulários e testes. Dessa forma, ambos indivíduos subme-



tidos serão escolhidos por estarem enquadrados em faixas etárias definida entre 18 há 60 anos, atuantes com constante trabalho com pesos, podendo ser dentro do setor industrial ou atividades pessoais.

Na segunda etapa, foi realizado um mapeamento do processo escolhido: Desenvolvimento do exoesqueleto. Este processo servirá como base do estudo e desenvolvimento dos protótipos. Para tanto foi utilizado a ferramenta de modelagem Autodesk inventor e Ansys, ferramentas offline, com grande quantidade de recursos disponíveis para realizar a modelagem 3D e simulação dos protótipos.

Na terceira etapa, através do Método PDCA e os desdobramentos tais como, o Método de Análise e Solução de Problemas – MASP, foi possível iterar no modelo seguir cada etapa de

um processo de melhoria, podendo assim identificar e analisar possíveis pontos de melhoria no dispositivo durante testes físicos e computacionais.

Na quarta etapa deste trabalho, dado os aspectos estabelecidos na etapa anterior, após toda documentação levantada, possíveis pontos de melhoria identificados, tem se início novamente a etapa de planejamento de implementações e possíveis melhorias no dispositivo.

## **PLANEJAMENTO DO SISTEMA**

### **REQUISITOS DO SISTEMA**

Dado o processo de levantamento de requisitos do projeto, foram necessários identificar as necessidades e funcionalidades do equipamento. Em análise do comportamento do



sistema, ou seja, na descrição das funções do sistema a cada ação do usuário, podemos citar os requisitos funcionais do equipamento.

O equipamento deverá ser produzido de forma benéfica ao meio ambiente, a fim de incidir a tecnologias com a sustentabilidade. Em relação ao funcionamento, o dispositivo deverá ser produzido com base nas normas anatômicas do corpo humano, isto é, a ergonomia do usuário. E assim, promovendo o auxílio, em torno de 40%, em todo o peso exercido sobre o usuário. Em razão das funcionalidades estabelecidas, podemos analisar os cenários que oferecem suporte específicos e visam as condições de uso e manuseio do equipamento. Tendo assim, os requisitos não-funcionais.

O equipamento deverá possuir um sistema que deve

ser implementado/programado na linguagem C++. Tendo assim, requisitos ligados a este, como facilidade de controle e sistema 100% off-line. Apresentando assim, a interface de diagnóstico visível ou interna. Em razão da flexibilidade e segurança do manuseio do equipamento, este dispositivo deverá ser ajustável pelo usuário, em consequência do peso, dimensões e quantidades de peças pré-estabelecidas no desenvolvimento. A fim de redução de custos, para possibilitar o baixo custo de produção.

## **REQUISITOS DE SEGURANÇA DO SISTEMA**

Levando em consideração, a necessidade do sistema para satisfazer seus objetivos de funcionalidade, analisando a adesão a recomendações e as exigências do mercado, tais como



o cumprimento de exigências legais e normativas, fixadas na evolução da tecnologia para aplicação direta no projeto em questão.

De acordo com a norma NR-12 que abrange critérios de segurança do trabalho na automação industrial, podemos identificar os seguintes requisitos de segurança:

- Fazer constantes análises de risco, para evitar falhas inesperadas colocando assim em risco o usuário do equipamento.

- Especificar o uso de cada equipamento, para facilitar o manuseio correto pelo usuário, diminuindo assim a manutenção do equipamento.

- Obter a ART - Anotação de Responsabilidade Técnica - do engenheiro responsável.

## FLUXOGRAMAS / DIAGRAMAS

### FLUXOGRAMA DE AÇÃO DO PROJETO

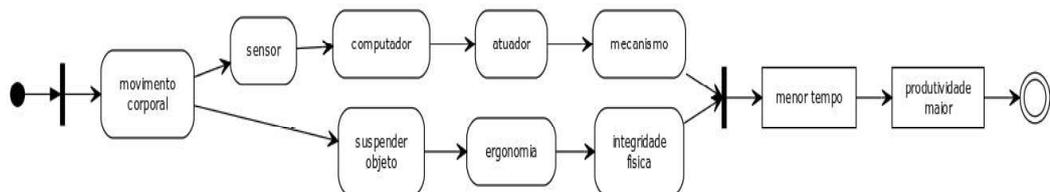


Figura 8. fluxograma de ação do exoesqueleto.  
(Fonte: Elaboração própria-2020)



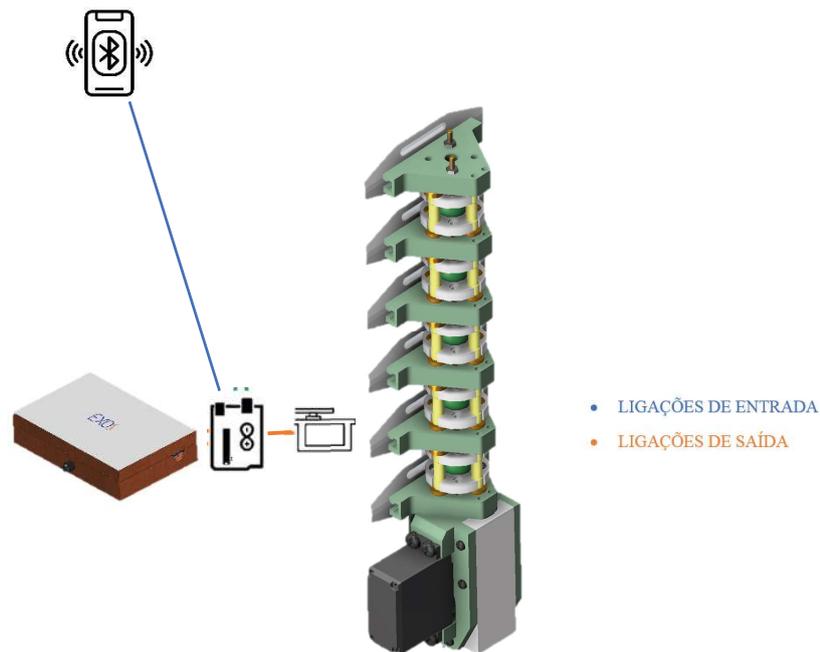


Figura 9. Posicionamento e ligações dos elementos.  
(Fonte: Elaboração própria-2021)

A seguir, o diagrama demonstra a arquitetura da rede de automação. De modo que, o controle e os atuadores são ligados através de comunicação via bluetooth, podendo ser de dados ou de controle, e de forma de

cabeamento a alimentação, que possui junção de duas baterias em paralelos interligada entre uma chave ao microcontrolador.



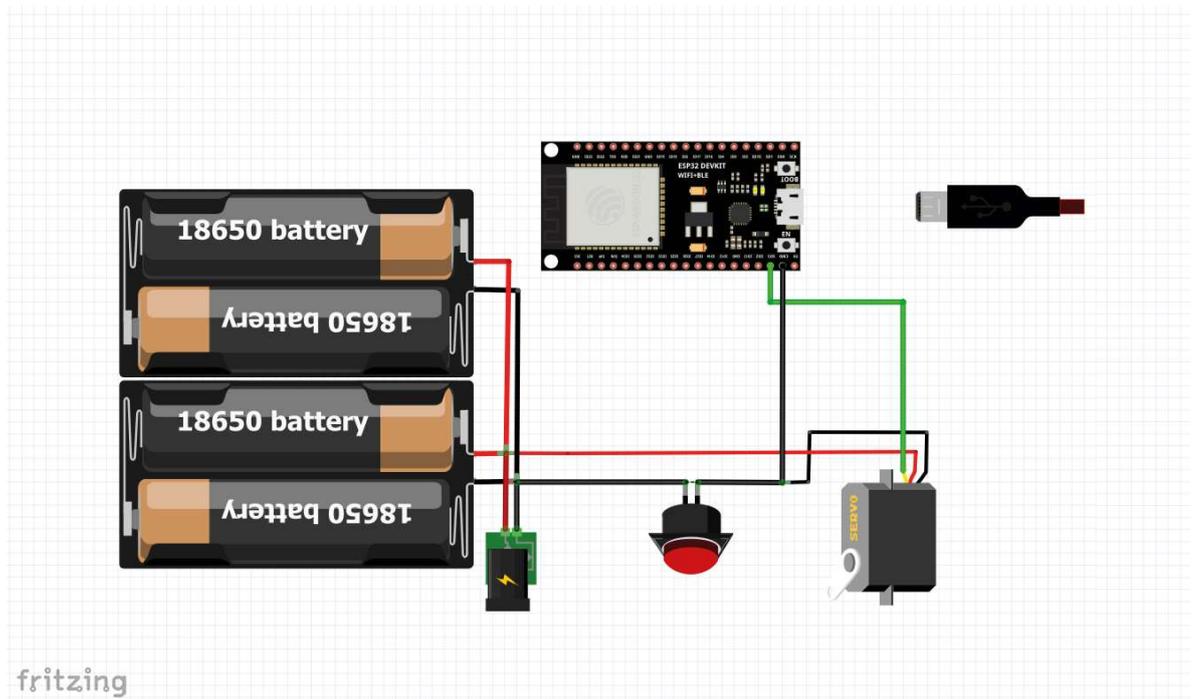


Figura 11. Diagrama do sistema.  
(Fonte: Software Fritzing – 2022)

## ESPECIFICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO

Os processos de modo autônomo necessitam de variados equipamentos e tecnologias, visando promover uma operação mais segura, uma melhor qualidade de produção e, a redução do custo global. Em contrapartida, para se obter um processo, no qual atenda aos requisitos

propostos é de suma importância que a medição das variáveis controladas seja de alta qualidade. Logo, a instrumentação tem uma função fundamental nos processos de automação, sendo a responsável direta pela coleta de dados, pelo qual, convertidos em informação, utilizada na tomada de decisão necessária, podendo ser baseada na automação ou na iniciativa do operador.

A partir desses aspectos, a especificação da instrumentação, possui uma grande importância no plano de automação de um exoesqueleto para uma indústria.

### ESPECIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS PARA UM EXOESQUELETO INDUSTRIAL

Os controladores e atuadores foram selecionados seguindo as necessidades do sistema. Deste modo, eles devem atender os seguintes requisitos: características; quantidade; e posicionamento no sistema. Todos esses requisitos devem estar de acordo com a tabela 2 abaixo:

SENSOR / ATUADOR	QTD	CARACTERISTICAS
Esp32 DEV	1	Conexão BT e WIFI
SERVO MG996r	2	Torque máximo: 15kg.cm

*Tabela 2 – Tabela com informações dos componentes do sistema*

*(Fonte: Elaboração Própria)*

## MICROCONTROLADOR ESP32 DEV

### **Módulo: ESP32-WROOM-32D;**

Chip Base: ESP32-D0WD;

Processador: Xtensa 32-Bit LX6 Dual

Core;

Clock: 80 à 240 MHz (Ajustável);

Memoria ROM: 448KB;

Memória SRAM: 520Kb;

Memória Flash Externa: 32-Bit de acesso



e 4Mb;

Tensão de Alimentação: 4,5 à 12,0 VDC

(Pino Vin);

Tensão de nível lógico: 3,3VDC (não tolera 5V);

---

*Tabela 3 – Configurações do Microcontrolador esp32 dev  
(Fonte: Elaboração própria)*

Para melhor ilustrar o dispositivo, temos:



*Figura 12 – Microcontrolador Esp32 Dev  
(Fonte: Google - 2022)*

## ATUADOR ELÉTRICO

Servo motor	
Modelo	MG996r
Comunicação	Analógica
Alimentação	4,8 V e 7,2 V
Velocidade mínima	0,13seg/60graus (6,0 V)
Velocidade máxima	0,17seg/60graus (4,8 V)
Dimensões	40 mm x 19 mm x 43 mm
Faixa de Rotação	±120°
Torque mínimo	9,4 kg.cm (4,8 V)
Torque máximo	11,0 kg.cm (6,0 V)
Peso	±55g

---

*Tabela 4 – Servo motor.  
(Fonte: Elaboração própria – 2022)*



Para melhor ilustrar o dispositivo, temos:



Figura 13 – Servo motor MG996r.  
(Fonte: Google – 2022)

## DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

## DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO

Para a realização dos requisitos propostos, o projeto é proposto pelo método da prototipação.

## SISTEMA MECÂNICO

Possuindo as principais funções no exoesqueleto, o setor elos não é composto somen-

te por componentes estruturais.

Tendo no sistema, a presença de equipamentos eletrônicos, como o microcontrolador e atuadores, sendo estes dispositivos responsáveis pela realização dos movimentos do exoesqueleto através de cabos (U) e um sistema de articulação utilizando conjuntos de elásticos látex (V), propondo auxiliar o movimento de flexão e extensão da coluna. Em análise dos setores, temos que para a fixação de ambos ao corpo do usuário. Como mostrado na figura abaixo:





**Figura 14. Componentes do protótipo.**  
(Fonte: Software Autodesk Inventor-2022)

Para um monitoramento da composição do projeto, a necessidade de uma análise do peso de acordo com o seu material dos componentes, são de suma importância. Assim permite uma análise estática mais precisa da estrutura. Dado isso pode se verificar a quantidade de peças, podendo ser eletrônicas, estruturais ou de articulação. Como pode ser observado nas tabelas a seguir.

Dada a dimensão do projeto, após a análise de todas as peças que fazem parte do projeto, a quantificação de peças,

como também, a identificação do peso total do dispositivo. O projeto segue conforme os requisitos estabelecidos anteriormente, pelo qual, garante que tanto o peso, como quantidade e dimensão estejam dentro do esperado

## DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O objetivo principal desse projeto é propor um exoesqueleto, que, de forma automatizada, auxilia funcionários na execução de atividades que

necessitam de transporte e sustentação de cargas na indústria.

Considerando esse aspecto, foi o projeto foi desenvolvido levando uma programação para o monitoramento e controle totalmente autônoma, utilizando o microcontrolador Esp32 Dev. A utilização desse modelo de microcontrolador é devido ao fácil acesso e baixo custo, possuindo 14 entradas digitais, 14 saídas digitais, 8 entradas analógicas e 8 saídas analógicas, com a possibilidade de instalação para módulos de expansão de entradas e saídas analógicas, como também possibilita uma comunicação via bluetooth e wifi.

## **PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR**

Para a programação do microcontrolador Arduino foi utilizado o Software Arduino

IDE 1.8.6.

## **CRIANDO OS VARIÁVEIS**

Variáveis são todos objetos capazes de reter e representar um valor ou expressão (numéricas ou alfanuméricas) envolvidas na programação. No qual, essas variáveis podem ser de tipos como: Int, Float, String, long, Time e várias outras. O projeto o faz uso de duas nomenclaturas de variáveis, de entrada, estas utilizadas para designar os dados de entrada dos dados coletados pelos sensores, e variáveis de saída, utilizadas para designar o dos dados de saída, como o controle de atuadores e dados para painéis. Desse modo, foram geradas as variáveis do sistema, conforme a tabela (8).



Variável	Tipo	Definição
comando	Int	variável
servoPin1	Int	Servo motor
SerialBT	Serial	Bluetooth

**Tabela 8 :lista de variáveis  
(Fonte: Elaboração própria – 2022)**

- Variáveis tipo Int: variáveis que possuem valores inteiros.

- Variáveis tipo Float: variáveis que possuem valores decimais.

- Variáveis tipo strings: variáveis com caracteres.

- Variáveis tipo serial: Caractere de comunicação por meio de serial.

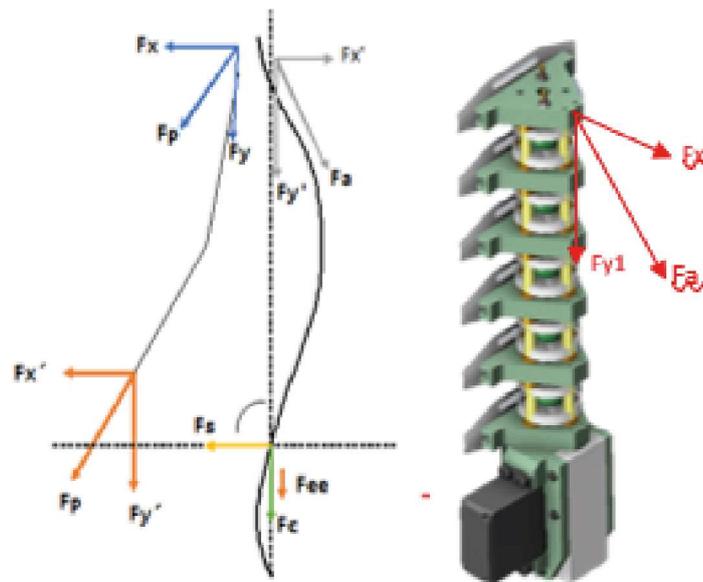
motor deve exercer para cumprir a máxima redução dos esforços físicos. Para isso, foram desenvolvidas análises dinâmicas do mecanismo com as principais forças aplicadas na estrutura. O esquema apresentado na Figura 15 foi usado para realizar estas primeiras análises, no qual, Fa representa a força aplicada pelo torque T, Fy e Fy' são os pesos exercidos, e  $\theta_1$  o ângulo que coluna executa entre 20 a 135 graus.

## SELEÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

### ATUADORES

Os primeiros cálculos foram feitos para obter uma estimativa da força que cada servo





**Figura 15. Estrutura básica do exoesqueleto e principais forças.**  
(Fonte: Elaboração própria- 2022)

## SERVO MOTORES

Este tipo de motor tem ampla área de atuação, pois se trata de uma máquina eletromecânica que é capaz de promover um movimento proporcional ao comando. Dado esse aspecto, traz como principal característica a capacidade de movimentar seu eixo até determinada posição e mantê-lo. Podendo ser especificado principalmente pelo seu torque, velocidade, material das

engrenagens e liberdade do giro do eixo.

## MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é um circuito integrado programável que é constituído com todos os componentes de um computador (CPU, memória, portas de entrada e saída, conversores A/D e D/A etc.). Dado isso, possui uma ampla variedade de aplicações, podendo ser de simples uso



ou em máquinas com processos mais complexos, como máquinas pneumáticas, hidráulicas e entre outros. No cotidiano, é muito comum as pessoas assemelhar esse tipo de dispositivo ao microprocessador. Entretanto, o microprocessador é definido como um circuito integrado com a função de CPU, sendo necessário estar inserido a um sistema maior, que incorpore o sistema de entrada e saída de dados, vias de comunicação e memória externa.

## **IMPACTOS ESPERADOS**

### **I. IMPACTO ECONÔMICO -MELHOR RENDIMENTO DO TRABALHADOR**

O exoesqueleto é capaz de duplicar a capacidade do trabalhador, o que ocasiona a redução de gastos na contratação de funcionários, um fator importan-

te para as indústrias que possuem uma grande demanda de funcionários, como também, provoca um melhor rendimento no setor industrial, no qual, é devido ao aumento de produtividade do trabalhador no seu expediente, igualando com possíveis automações com custos maiores para executar essas funções.

### **II. IMPACTO PESSOAL**

Dado o já exposto, o dispositivo através do auxílio na redução de esforços físicos, mantém a integridade física do trabalhador, permitindo uma sensação física de bem-estar. O projeto exos, encarrega-se de combater possíveis lesões na coluna, causadas por excesso de esforços físicos no trabalho, como o levantamento de peso e repetições constantes, que podem ocasionar a lombalgia, fadiga nos músculos



e na região do tronco, ocasionando desconforto no trabalho.

Gerado como uma ferramenta tecnológica, tem como propósito ser inserida na indústria para auxiliar o bem-estar dos funcionários, dessas formas, resultando uma maior satisfação mental e, conseqüentemente, mais rendimento no trabalho, combatendo um dos principais aspectos que causam essa sensação, o cansaço, que é fator importante para agregar contentamento e melhor desempenho nas atividades laborais.

### **III. IMPACTO SOCIAL – INTERAÇÃO ENTRE O HUMANO E A MÁQUINA**

Desde a revolução industrial o ser humano teve uma interação com as máquinas cada vez maior. Desse modo, essa interação, trouxe a constante inclu-

são das máquinas nas indústrias, tornando-as parte da vida do ser humano ajudando ao homem a desempenhar algum tipo de função com maior facilidade.

A partir disso, o projeto exos assume como proposta uma nova inclusão na indústria atualmente tecnológica, o trabalho humano, no qual, em conjunto a máquina resulta em mais força, resistência e sustentação para o usuário, na qual auxilia os movimentos da coluna do trabalhador que realiza esforços físicos, gerando maior rendimento para a empresa ou indústria, igualando o trabalho humano com uma possível máquina automatizada, que realize as mesmas funções.

### **IV. IMPACTO AMBIENTAL**

Desde o princípio da indústria não é novidade que ocorre



um grande consumo de produtos produzidos com materiais descartáveis. O homem passou a viver então a era dos descartáveis, onde a maior parte dos produtos são inutilizados e jogados fora quando seu uso não é mais necessário. Desta forma, as indústrias começaram a buscar cada vez mais a produção de produtos com matéria prima, na qual, após o seu uso seja reutilizado novamente. Partindo disso, o projeto exos tende ao desenvolvimento de suas peças com a utilização da tecnologia de impressão 3D, que possibilita o uso de materiais polímeros como ABS ou PLA, que torna possível a reutilização depois da vida útil do dispositivo, tornando-o um produto reutilizável produzido com ABS e biodegradável quando produzido com PLA.

## **RESULTADOS COLETADOS ATRAVÉS DO QUESTIONÁRIO**

A partir da coleta de dados através de questionários, após uma seleção entre 123 participantes foram selecionados 77 voluntários. Dado esses aspectos, foram estudados os quantitativos de respostas para um intervalo de idade de 3 anos, como pode se observar na tabela 9.

## **RESULTADOS**



<i>INT</i>	<b>QUANT</b>	<b>%</b>
17 - 20	24	31,2%
21 - 24	34	44,2%
25 - 28	5	6,5%
29 - 32	4	5,2%
33 - 36	2	2,6%
37 - 40	1	1,3%
41 - 44	3	3,9%
45 - 48	3	3,9%
49 - 52	1	1,3%
<i>Total</i>	77	100%

*Tabela 9. Quantidade de pessoas x faixa de idade.*

No qual, a partir do exposto, foram selecionadas determinadas informações contidas dentro do conjunto de todos os dados obtidos através das perguntas do questionário (ANEXO 1), como a relação entre a faixa etária e o tipo de trabalho do voluntário, podendo ser com grande ou médio esforço (tabela 10). Como também, a análise entre a faixa etária e os movimentos ne-

cessários para desenvolver o seu trabalho cotidiano que o voluntário é ou não capaz de realizar (tabela 11).



<i>INT</i>	MÉDIO	GRANDE ESFORÇO
17 - 20	20	4
21 - 24	22	12
25 - 28	1	4
29 - 32	3	1
33 - 36	1	1
37 - 40	1	0
41 - 44	2	1
45 - 48	1	2
49 - 52	1	0
<i>Total</i>	52	25
<i>%</i>	67,53%	32,47%

<i>INT</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
17 - 20	9	9	1	1	1	2	1	0	0
21 - 24	14	11	1	1	0	4	0	2	1
25 - 28	2	3	0	0	0	0	0	0	0
29 - 32	1	0	0	0	0	2	0	1	0
33 - 36	1	0	0	0	0	1	0	0	0
37 - 40	0	0	0	1	0	0	0	0	0
41 - 44	1	1	0	0	0	0	0	1	0
45 - 48	2	0	0	1	0	0	0	0	0
49 - 52	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Total</i>	30	24	2	5	1	9	1	4	1
<i>%</i>	38,96%	31,17%	2,60%	6,49%	1,30%	11,69%	1,30%	5,19%	1,30%

Tabela 10. Faixa de idade x nível de esforço físico.

Tabela 11. faixa etária x movimentos necessários

Partindo do que foi apresentado neste trabalho, as pesquisas em relação à funcionalidade e à eficiência do tratamento usando exoesqueletos em

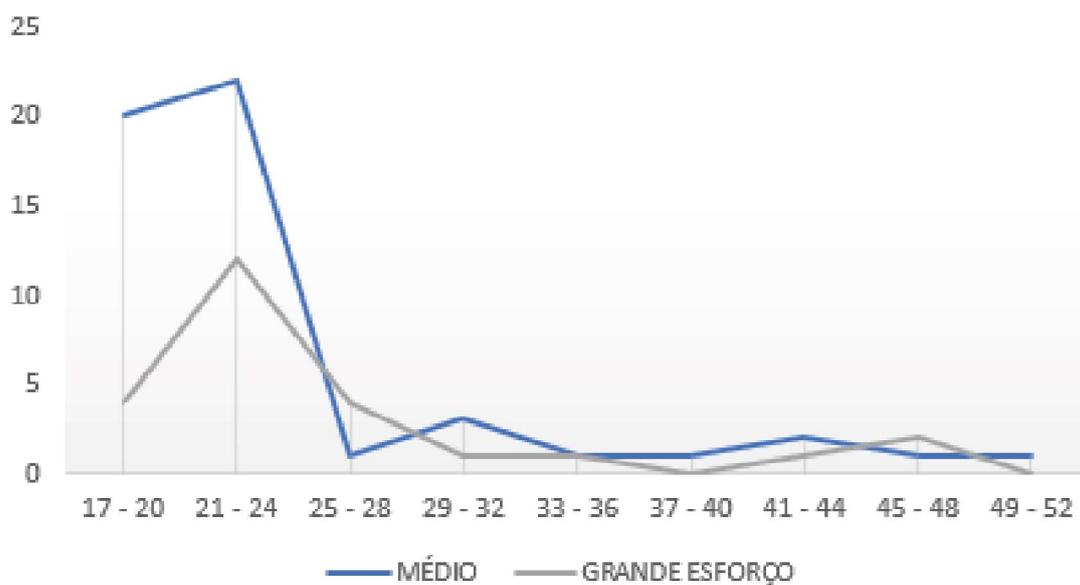
membros da região do tronco são conclusivas.

Dito isto, partindo do aspecto, em que se demonstra através de coletas de dados que



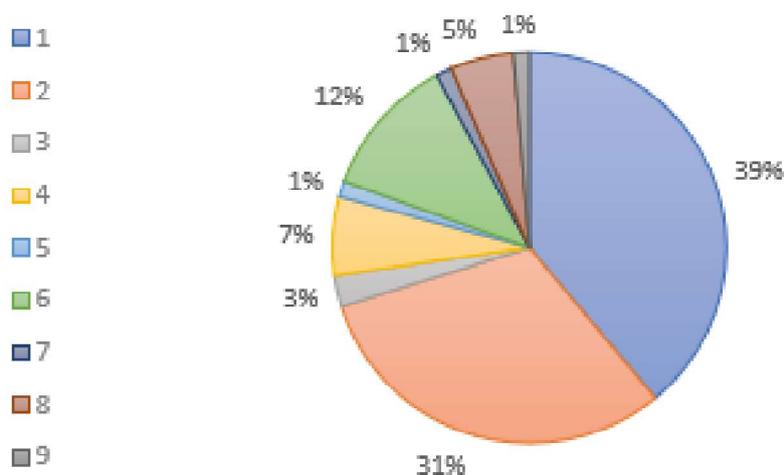
no momento atual, o índice de jovens entre 17 e 30 que trabalham realizando médio ou grande esforço físico e que possuem problemas relacionados a região da coluna está elevado, como pode ser observado no gráfico 1. De modo que, 55,85 % dos voluntá-

rios possuem problemas para realizar situações cotidianas como, levantar objetos pesados com limitações ou com aumento da dor na coluna. Como pode ser observado tanto na tabela 10, como também, no Gráfico 2.



*Gráfico 1. Relação de idade com o tipo de trabalho realizado.*





*Gráfico 2. Relação de idade x situações cotidianas.*

Concluindo que, se justifica o estudo de novos dispositivos e soluções construtivas, além do desenvolvimento de atuadores apropriados para o controle da interação entre o indivíduo e o exoesqueleto.

## PROTÓTIPO 1

### I. Mecanismo

Neste estudo, partindo que a eficiência dos atuadores esta dentre dos aspectos mais importante, a partir de testes reali-

zado de forma física e por meio de softwares de simulação.

No qual foi analisado o componente responsável pelo funcionamento e acionamento do dispositivo, sendo composto por partes fixas e moveis, e possuindo vários esforços mecânicos, como pode ser observado na figura 19.



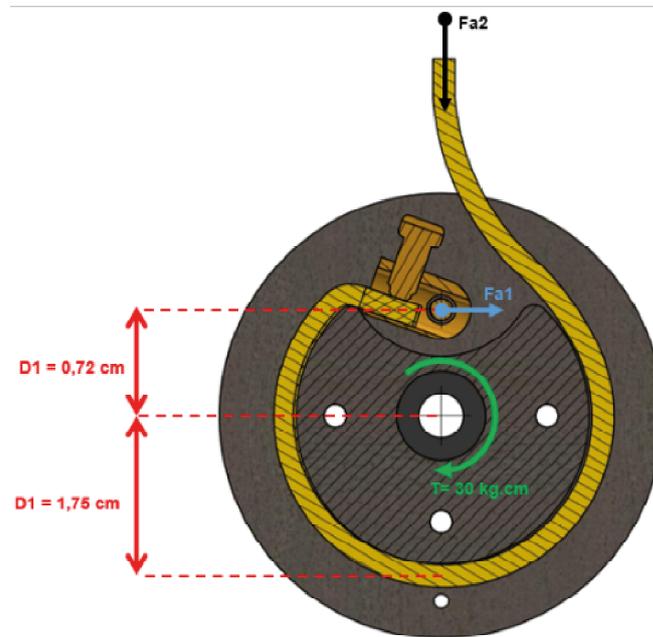


Figura 19. Esquema de funcionamento da rondana.

Dito isto, considerando o conceito de força e torque, observamos que a partir que o componente é acionado e realiza a sua função de retrainr o cabo, gradualmente a distância entre o eixo e o ponto de apoio é aumentado, como pode ser observado

tanto na tabela 12.

Tempo	Distância
1	0,72 cm
2	0,9 cm
3	1,08 cm
4	1,26 cm
5	1,44 cm
6	1,62 cm
7	1,8 cm

Tabela 12. Relação de tempo e distância entre eixo e ponto de apoio.

Desse modo, partindo do sistema com um torque constante, cai de forma exponencial. Gráfico 19.

da relação entre a força e a distância do eixo é observado que a força exercida c pelo componente

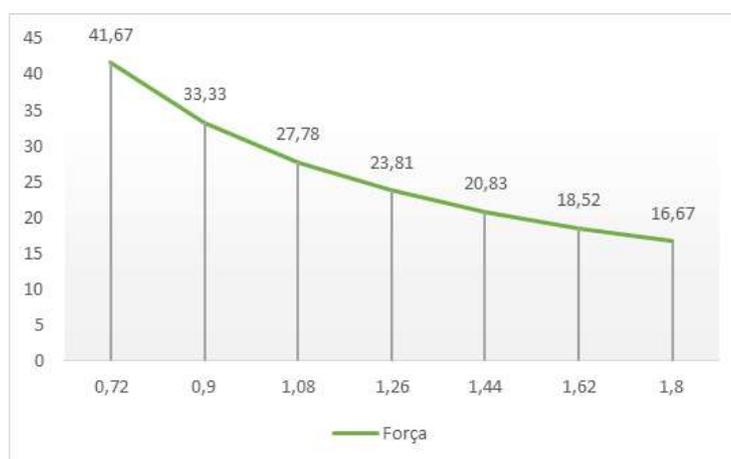


Gráfico 3. Relação distância do eixo x força aplicada.

## II. Sistema de articulação

Partindo dos requisitos, foram analisados e corrigidos

possíveis erros que seriam encontrados, sendo eles, falta de mobilidade, rigidez e falta de liberdade para realização de movi-

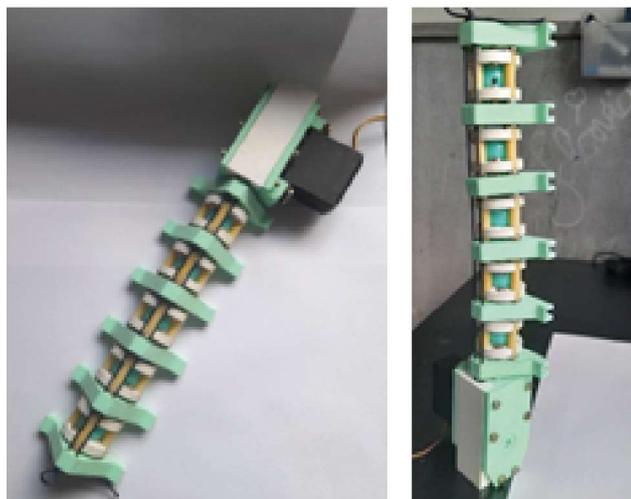


mentos como de rotação, extensão e compressão.

Gerando-se um novo

sistema de articulação para ser integrado ao protótipo. (figura

20).



*Figura 20. Protótipo.*

Desse modo, foram observados e analisados os seguintes

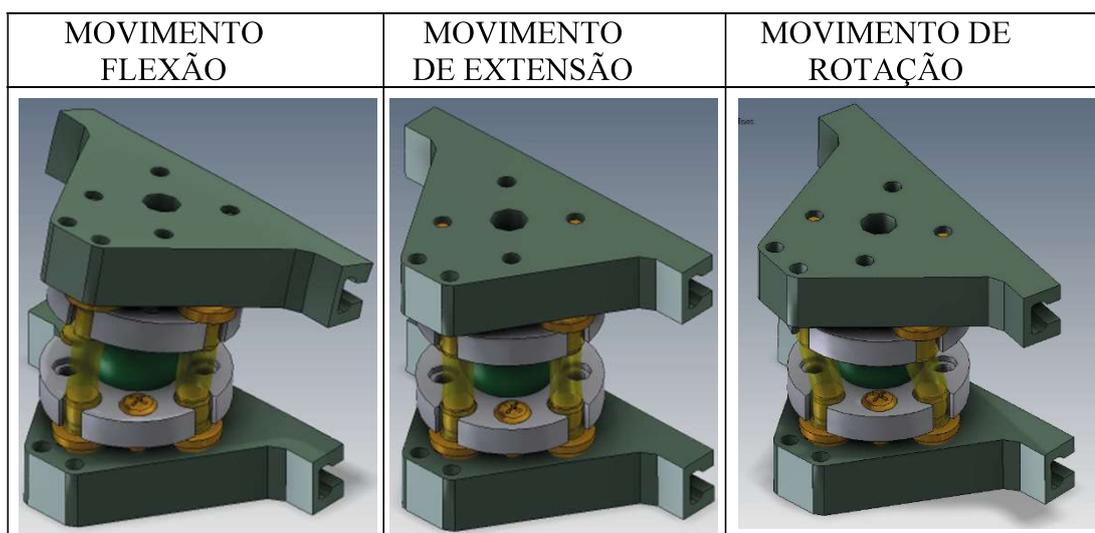
critérios de melhoria. (Tabela 14).

Critérios de melhoria	Solução
Maior grau de liberdade na extensão	Desenvolvimento de sistema de articulação com conjunto de elásticos.
Maior grau de liberdade na compressão	
Maior grau de liberdade na rotação	
Menos rigidez	Diminuição da distância entre elos.

*Tabela 14. Critérios de melhoria x Suas respectivas resoluções.*

- SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.





### III. Em relação ao sistema elétrico e programação

O sistema elétrico do projeto é responsável por fazer a integração e comunicação de todos os componentes mecânicos e elétricos. Ele recebe os dados fornecidos pelos sensores, faz a análise e processamento desses dados no controlador, que por sua vez manda os comandos para os motores.

Motivado na busca de pequenas dimensões, peso leve, baixo custo de aquisição e versatilidade para se trabalhar e pro-

gramar, foi escolhido uma plataforma de prototipagem eletrônica chamada de Esp32 dev (que contém uma comunicação tanto via Bluetooth, como também wifi) para ser o cérebro do projeto.

O controle do dispositivo se dá através do aplicativo Exos controle, desenvolvido através da plataforma MIT inventor (figura 20), onde ao iniciar o aplicativo é feito a testagem e conexão do exoesqueleto ao aparelho celular.



*Figura 20. Tela do aplicativo EXOS CONTROLE*

Feito os processos de inicialização, entra-se num processo de ciclo de funcionamento, onde é feita a leitura do comando no aplicativo indicando se houve acionamento dos controles no aplicativo, após esta leitura é feito um tratamento do sinal verificando e convertendo esse dado para uma forma mais simples, após isto verifica se o dispositivo se está ainda conectado a coluna está, para então enviar o comandos, podendo ser 1, 2 ou 3, desse modo, o microcontrolador recebe

os comandos e interpreta como, girar o motor no sentido anti-horário, horário ou parar motor dependendo da quantidade de cabo puxado ou liberado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartenbach, V.; Wyss, D.; Seuret, D. e Riener, R. (2015). "A lower limb exoskeleton research platform to investigate human-robot interaction." In Rehabilitation Robotics (ICORR), 2015 IEEE



Internacional Conference on. Gait & posture, vol 15, no. 1, pp. 32-44.  
IEEE.

Ding, Y.; Galiana, I.; Asbeck, A.; Quinlivan, B.; De Rossi, S. and Walsh, C. (2014). Multi-joint Actuation Platform for Lower Extremity Soft Exosuits, In: Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Hong Kong, China.

Robinson, D. W.; Pratt, J.; Paluska, D.; Pratt, G. (1999). Series Elastic Actuator Development for a Biomimetic Walking Robot, In: Proceedings of the 1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Atlanta, USA.

Esquenazi, A.; Talaty, M.; Packel, A. e Saulino, M. (2012). The ReWalk Powered Exoskeleton to Restore Ambulatory Function to Individuals with Thoracic-Level Motor-Complete Spinal Cord Injury. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, Volume 91 - Issue 11 - p 911-921.

Roebroek, M.; Doorenbosch, C.; Harlaar, J.; Jacobs, R. e Lankhorst, G. (1994). "Biomechanics and muscular activity during sit-to-stand transfer," Clinical Biomechanics, vol. 9, no. 4, pp. 235-244.

Riener, R.; Rabuffetti, M. e Frigo, C. (2002). "Stair ascent and descent at different inclinations," Santos, W. M.; Siqueira, A. A. G. (2014). Impedance Control of a Rotary Series Elastic Actuator for Knee Rehabilitation In: 19th World Congress of the International Federation of Automatic



Control, 2014, Cape Town.

Winter, D. (1990). Biomechanics and Motor Control of Human Movement – Second edition.

BENDIX, T.; SORENSEN, S.S.; KLAUSEN, K. Lumbar Curve, trunk muscles, and line of gravity with different heel heights. Spine. 1984; 9 (2): 223-227.

De LATEUR, B.T. Footwear and posture, compensatory strategies for heel height. Am J Med Rehabil. 1991; 70 (5): 246-54.

FRANKLIN, M.E. Effect of positive heel inclination on posture. J Orthop Sports Phys Ther. 1995; 21 (2): 94-9.

HALL, S. Biomecânica Básica, Rio de Janeiro – RJ, Guanabara Koogan, 1993.

(COELHO, GEORGE LUÍS SILVA, Associação entre dor lombar e o levantamento de cargas em trabalhadores de frigoríficos. 2011.46f. Monografia apresentada como requisito parcial para conclusão do curso de especialização em ergonomia, do departamento de educação física, setor de ciências biológicas - Universidade federal do Paraná, Curitiba ,2011).

Carregar peso excessivo pode gerar problemas na coluna. Disponível em <https://www.humanaude.com.br/noticias/carregar-peso-excessivo-pode-gerar-problemas-na-coluna,17138>. Acesso em 26 de outubro 2019

