

**IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO ERGONÔMICA EM INSTRUMENTOS
LAPAROSCÓPICOS ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO
INOVADOR COM BASE EM SISTEMAS EMBARCADOS**

Marcelo Nunes Silva

Trabalho realizado sob a orientação de

Professor Doutor João Rocha

Professor Doutor Ricardo Alves

Professor Jorge Henrique de Carvalho Santos

Bragança

2023

**IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO ERGONÔMICA EM INSTRUMENTOS
LAPAROSCÓPICOS ATRAVÉS DO DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO
INOVADOR COM BASE EM SISTEMAS EMBARCADOS**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do
Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Industrial no âmbito da Dupla Diplomação com a
Universidade Evangélica de Goiás.

Marcelo Nunes Silva

Bragança

2023

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.

Eclesiastes 3:1

Agradecimentos

Primeiramente agradeço acima de tudo a Deus. Dedico este trabalho à minha amada família, aos meus queridos pais Orlido e Sandra, ao meu irmão Diego e aos avós, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional e incentivo durante todo o processo de desenvolvimento deste projeto. Em especial, dedico também à minha namorada, Daniela Elsenbach, que se tornou parte integrante da minha família e esteve presente no percurso, me auxiliando e encorajando.

Ao meu estimado orientador, Professor Doutor João Rocha, gostaria de expressar meu mais sincero reconhecimento pelo apoio científico, aconselhamento e dedicação prestados desde o primeiro momento. Através do seu empenho e comprometimento, pude desenvolver este trabalho com excelência. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional, e sou profundamente grato por sua presença constante ao longo deste percurso. Agradeço de coração por tudo que o senhor fez por mim e pelo seu papel fundamental no meu desenvolvimento.

Agradeço também ao professor Jorge Santos, que me acompanhou durante incontáveis horas no FabLab e nos prestou grande auxílio com os equipamentos pelos quais tínhamos menos conhecimento. Sua orientação e suporte foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Ricardo Alves pelos valiosos ensinamentos no campo de eletroeletrônica e instrumentação. Seu contributo foi decisivo para o meu aprendizado nessas áreas.

Também quero agradecer ao meu grande amigo, Mestre Alexandre Neto, que me ajudou durante todo o processo de desenvolvimento eletrônico do projeto. Sua colaboração e apoio foram fundamentais para o sucesso da minha pesquisa.

Além disso, gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que fizeram parte da minha vida durante o período da faculdade, especialmente aos amigos que me ajudaram de alguma forma no percorrer deste trabalho, Heuller, Victor, João Lucas, Thalles Murillo, João Paulo, Lucas Guedes, Sthefanny Camile e a todos os outros que, de alguma forma, contribuíram para a minha jornada acadêmica. Guardarei para sempre boas lembranças e amizades especiais que construímos juntos.

Resumo

A cirurgia laparoscópica, também conhecida como cirurgia minimamente invasiva, tem sido amplamente adotada devido aos seus benefícios, como a redução da dor pós-operatória, a recuperação mais rápida e a menor incidência de infecções. No entanto, essa técnica apresenta desafios significativos para a saúde musculoesquelética dos cirurgiões. Nos últimos anos, houve um crescente interesse e uma extensa pesquisa dedicada à ergonomia da cirurgia laparoscópica e ao bem-estar dos cirurgiões.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver uma solução ergonômica baseada em sistemas embarcados, com o intuito de mitigar esses problemas e proporcionar condições de trabalho aprimoradas para os cirurgiões. Através de uma revisão abrangente da literatura científica, foi constatado que a substituição do modelo original por um novo modelo eletrônico é viável. O modelo proposto utiliza um joystick para controlar o movimento, o qual é programado em um microprocessador ESP32 responsável por enviar os comandos necessários aos servomotores para executar as ações desejadas. O protótipo desenvolvido neste estudo foi dimensionado em uma escala maior, permitindo a realização de testes eletrônicos.

Essa abordagem científica busca fornecer evidências sólidas e embasamento teórico para a escolha do novo modelo eletrônico, considerando seus potenciais contribuições para a ergonomia e bem-estar dos cirurgiões durante a cirurgia laparoscópica. Além disso, a utilização de sistemas embarcados e o controle do movimento por meio de um joystick representam avanços tecnológicos que podem melhorar a precisão e a eficácia das ações realizadas durante o procedimento.

O desenvolvimento de soluções baseadas em sistemas embarcados, como o microprocessador ESP32 e o uso do joystick, requer uma abordagem científica rigorosa, incluindo revisões bibliográficas aprofundadas, testes e avaliações detalhadas. Essa pesquisa científica busca contribuir para o conhecimento científico e o avanço da área de cirurgia laparoscópica, com o objetivo final de proporcionar melhores resultados clínicos e condições de trabalho mais adequadas para os cirurgiões.

Palavras-chave: Ergonomia, Laparoscopia, Biomecânica, Sistemas Embarcados.

Abstract

Laparoscopic surgery, also known as minimally invasive surgery, has been widely adopted due to its benefits such as reduced postoperative pain, faster recovery, and lower infection rates. However, this technique poses significant challenges to the musculoskeletal health of surgeons. In recent years, there has been a growing interest and research dedicated to the ergonomics of laparoscopic surgery and the well-being of surgeons.

In this context, the objective of this research is to develop an ergonomic solution based on embedded systems to mitigate these problems and provide better working conditions for surgeons. Based on an extensive review of the scientific literature, it has been found that replacing the original model with a new electronic model is feasible. The proposed model utilizes a joystick to control the movement, which is programmed in an ESP32 microprocessor responsible for sending commands to the servo motors to perform the desired actions. The prototype developed in this study was scaled up to allow for electronic testing.

This scientific approach aims to provide solid evidence and theoretical foundation for the choice of the new electronic model, considering its potential contributions to the ergonomics and well-being of surgeons during laparoscopic surgery. Furthermore, the use of embedded systems and control of movement through a joystick represent technological advancements that can improve the accuracy and effectiveness of actions performed during the procedure.

The development of solutions based on embedded systems, such as the ESP32 microprocessor and the use of the joystick, requires a rigorous scientific approach, including in-depth literature reviews, testing, and detailed evaluations. This scientific research seeks to contribute to scientific knowledge and the advancement of the field of laparoscopic surgery, with the ultimate goal of providing better clinical outcomes and more suitable working conditions for surgeons.

Keywords: Ergonomics, Laparoscopy, Biomechanics, Embedded Systems.

Índice

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMENTOS | IV |
| RESUMO..... | V |
| ABSTRACT | VI |
| LISTA DE TABELAS | IX |
| LISTA DE FIGURAS..... | X |
| LISTA DE ABREVIÇÕES | XI |
| CAPÍTULO 1..... | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 História da cirurgia..... | 12 |
| 1.2 Ergonomia | 13 |
| 1.3 História da laparoscopia | 14 |
| 1.4 Manufatura aditiva | 16 |
| 1.5 Sistemas embarcado | 17 |
| 1.6 Motivação..... | 17 |
| 1.7 Objetivos | 19 |
| 1.7.1 Objetivos Específicos | 19 |
| 1.8 Estrutura do Documento..... | 20 |
| CAPÍTULO 2..... | 21 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 21 |
| 2.1 Ergonomia no Desenvolvimento de Produtos..... | 22 |
| 2.2 Ergonomia Clínica..... | 22 |
| 2.3 Procedimento operatório | 23 |
| 2.4 Vantagens E Desvantagens | 25 |
| 2.5 Campo de Atuação | 28 |
| 2.6 Dispositivos laparoscópicos | 29 |
| 2.7.2 Trocartes | 30 |
| 2.7.3 Tesouras..... | 31 |
| 2.7.4 Pinças..... | 31 |
| 2.13 ESP32..... | 32 |
| 2.14 Programação..... | 34 |
| 2.14.1 Linguagem de programação C/C++ | 35 |
| CAPÍTULO 3 | 37 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 37 |
| Marcelo Nunes | vii |

| | |
|---|-----------|
| 3.1 Embasamento do projeto..... | 37 |
| 3.2 Identificação do problema..... | 38 |
| 3.3 Definição dos objetivos de uma solução..... | 39 |
| 3.4 Projeto e desenvolvimento..... | 39 |
| 3.4.1 Esclarecimento da tarefa..... | 39 |
| 3.4.2 Projeto conceitual..... | 39 |
| 3.5 Demonstração..... | 40 |
| 3.5.1 Projeto de Modalidade..... | 40 |
| 3.5.2 Projeto detalhado..... | 41 |
| 3.6 Avaliação..... | 41 |
| 3.7 Comunicação..... | 42 |
| 3.8 SOLIDWORKS..... | 42 |
| 3.8 Arduino..... | 43 |
| CAPÍTULO 4..... | 44 |
| 4 RESULTADOS..... | 44 |
| 4.1 Determinação das tarefas..... | 44 |
| 4.2 Árvore de projeto..... | 45 |
| 4.3 Realização do projeto: Protótipo..... | 47 |
| 4.3.1 Desenhos SolidWorks..... | 47 |
| 4.3.2 Impressão das peças..... | 48 |
| 4.3.3 Primeiro modelo do protótipo interno..... | 49 |
| 4.3.3 Segundo modelo do protótipo interno..... | 50 |
| 4.3.4 Terceiro modelo do protótipo interno..... | 51 |
| 4.4 Funcionamento e eletrônica..... | 54 |
| CAPÍTULO 5..... | 57 |
| 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS..... | 57 |
| 5.1 Conclusão..... | 57 |
| 5.2 Trabalhos futuros..... | 58 |
| REFERENCIAS..... | 60 |
| ANEXOS..... | 66 |
| Código utilizado no Software Arduino..... | 66 |
| Desenhos no SolidWorks..... | 70 |

Lista de Tabelas

Tabela 1- Classificação do instrumental laparoscópico 29

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1- Linha do tempo da laparoscopia. | 15 |
| Figura 2- George Kelling..... | 21 |
| Figura 3- Representação esquemática da cirurgia laparoscópica | 24 |
| Figura 4- Posição de Trendelenburg..... | 26 |
| Figura 5- Posição de Trendelenburg invertida | 27 |
| Figura 6- Agulha de Veress | 30 |
| Figura 7- Trocartes. | 30 |
| Figura 8- Tesoura de Laparoscopia | 31 |
| Figura 9- Pinça Laparoscópica. | 32 |
| Figura 10- Microcontrolador ESP32 | 33 |
| Figura 11- Metodologia de Criação de um protótipo virtual de um instrumento laparoscópico..... | 38 |
| Figura 12-- Árvore de projeto do instrumento laparoscópico. | 46 |
| Figura 13-Primeiro protótipo..... | 49 |
| Figura 14- Segundo modelo do protótipo..... | 51 |
| Figura 15- Protótipo finalizado..... | 52 |
| Figura 16- Peça final para fixação no protótipo | 53 |
| Figura 17-Representação esquemática do sistema | 55 |
| Figura 18- Parte do código Utilizado | 56 |
| Figura 19- Vista Superior da Prototipo Final | 70 |
| Figura 20-Vista lateral da Prototipo Final | 70 |
| Figura 21- Vista 3D da Prototipo Final | 71 |
| Figura 22-Parte de de cima da fixação da haste do protótipo final | 72 |

Lista de Abreviações

ABS - *Acrilonitrila Butadieno Estireno*

BCPL-*Basic Combined Programming Language*

BOM - *Bill of Materials*

CAD - *Computer-Aided Design*

CMI - *Cirurgia Minimamente Invasiva*

CNB- *Congresso da Sociedade Portuguesa Biomecânica*

DSR– *Design science research*

FABLAB- *Fabrication Laboratory*

HALS- *Laparoscopia Assistida com Mão*

SDK- *Software Development Kit*

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 História da cirurgia

A história da cirurgia é uma fascinante trajetória de progresso e inovação que se estende ao longo dos séculos. Desde os primórdios da medicina até os avanços modernos, a cirurgia tem evoluído por meio do desenvolvimento do conhecimento anatômico, aprimoramento das técnicas cirúrgicas e introdução de novos instrumentos invasivos. Civilizações antigas, como o Egito, a Mesopotâmia e a Índia, realizavam procedimentos cirúrgicos utilizando técnicas rudimentares adaptadas às suas respectivas compreensões da medicina (Gupta, 2006).

No período renascentista, o anatomista Andreas Vesalius desempenhou um papel crucial ao avançar o conhecimento da anatomia humana por meio de suas observações detalhadas e dissecações, contribuindo para o aprimoramento das técnicas cirúrgicas (Vesalius, 1543).

No século XIX, importantes avanços foram alcançados na cirurgia, como a introdução da anestesia geral, possibilitando cirurgias complexas sem dor para o paciente (Reiz, 2001). Além disso, o cirurgião Joseph Lister revolucionou a prática cirúrgica ao desenvolver técnicas antissépticas, reduzindo significativamente as infecções pós-operatórias e melhorando os resultados dos procedimentos (Lister, 1867).

No século XX, ocorreram avanços tecnológicos notáveis. A cirurgia laparoscópica, por exemplo, tornou-se uma técnica amplamente utilizada, permitindo procedimentos abdominais menos invasivos, com menor tempo de recuperação e menos complicações pós-operatórias (Mouret, 1992). A cirurgia robótica também emergiu como uma abordagem inovadora, utilizando sistemas como o da Vinci para permitir maior precisão e controle durante os procedimentos (Zorn, 2007).

A história da cirurgia é marcada pela incessante busca por avanços e descobertas, com o objetivo de aprimorar a eficácia dos procedimentos e proporcionar melhores resultados para os pacientes. A evolução contínua da cirurgia reflete a dedicação e o

esforço dos profissionais de saúde em melhorar continuamente suas práticas e utilizar tecnologias inovadoras.

Adicionalmente, a evolução tecnológica no final do século XX foi significativa na história da laparoscopia, pois permitiu a realização da primeira cirurgia vídeo laparoscópica em 1987, o que representou uma etapa importante no progresso desta técnica cirúrgica." (Almeida, 2002).

1.2 Ergonomia

O termo "Ergonomia" deriva das palavras gregas "Ergon" (trabalho) e "Nomos" (regras), conforme mencionado por (Armon, 1961). Por volta do ano de 1857, o cientista polonês Wojciech Jarstębowski cunhou o termo "ergonomia" e definiu o conceito da seguinte maneira: "A ergonomia, como uma ciência do trabalho, exige que compreendamos a atividade humana em termos de esforço, pensamento, relacionamento e dedicação". A ergonomia é fundamentada na interação de diversas áreas, como anatomia, fisiologia, psicologia e engenharia, a fim de combiná-las e abordar diferentes sistemas (Supe, 2010). Ela pode ser considerada como uma ponte entre o comportamento humano e a tecnologia, buscando garantir que os futuros equipamentos de trabalho sejam mais facilmente utilizáveis (Stone & McCloy, 2004).

A ergonomia tem como principal objeto de estudo a interação entre o ser humano e o ambiente de trabalho, visando otimizar a eficiência, a segurança e o conforto dos trabalhadores. Essa ciência é aplicada em diversas áreas, como o design de produtos, o design de sistemas de trabalho e o design de ambientes de trabalho (P. Flavia, 2016).

A importância da ergonomia reside no fato de que ela pode contribuir significativamente para a prevenção de lesões e doenças relacionadas ao trabalho, tais como síndrome do túnel do carpo, lombalgia e fadiga visual. Além disso, a ergonomia pode elevar a produtividade e a qualidade do trabalho, uma vez que os trabalhadores são capazes de desempenhar suas atividades de maneira mais eficiente e eficaz quando estão confortáveis e seguros (Stone & McCloy, 2004).

A ergonomia envolve a análise minuciosa de diversos aspectos do trabalho, como o layout do ambiente de trabalho, a iluminação, o mobiliário, as ferramentas e os equipamentos, bem como as tarefas e atividades realizadas pelos trabalhadores. O objetivo é adaptar esses aspectos para que sejam mais compatíveis com as necessidades

e habilidades humanas, com o intuito de reduzir os riscos de lesões e doenças e aumentar a eficiência e o conforto dos trabalhadores (Soares, 2004).

Nesse sentido, a ergonomia é uma disciplina essencial para garantir um ambiente de trabalho saudável e seguro, promovendo a qualidade de vida dos trabalhadores e o aumento da produtividade e eficiência das empresas.

1.3 História da laparoscopia

A laparoscopia é uma técnica cirúrgica minimamente invasiva que revolucionou a abordagem abdominal e se tornou amplamente utilizada na prática médica. Essa técnica permite a realização de procedimentos com incisões menores, menor trauma tecidual e recuperação mais rápida para os pacientes. A história da laparoscopia remonta ao início do século XX, mas foi nas décadas de 1970 e 1980 que ocorreram avanços significativos no seu desenvolvimento.

No campo da ginecologia, a laparoscopia se estabeleceu como uma técnica valiosa para diagnóstico e tratamento de condições como endometriose, miomas uterinos e infertilidade. Em 1987, Philippe Mouret, um cirurgião francês, realizou a primeira colecistectomia laparoscópica, removendo a vesícula biliar usando essa técnica (Mouret, 1987). Essa cirurgia foi um marco importante, pois demonstrou a viabilidade da laparoscopia para procedimentos complexos.

A crescente adoção da laparoscopia em diferentes especialidades cirúrgicas levou a avanços adicionais na tecnologia e instrumentação. A introdução de pinças e tesouras laparoscópicas articuladas, bem como a melhoria dos sistemas de insuflação e iluminação, aprimoraram a precisão e a segurança dos procedimentos laparoscópicos (Champault & Cazacu, 1996).

No entanto, alguns dos instrumentos utilizados nesta técnica foram desenvolvidos anteriormente. Por exemplo, em 1706 foi criado o "trocar" ou "trocarter", um instrumento multifacetado (perfurador) combinado com uma cânula para punção abdominal e drenagem de ascite (Ferraz & Lacombe, 2003). Desde então, a técnica tem sido aprimorada continuamente à medida que a tecnologia também evoluiu.

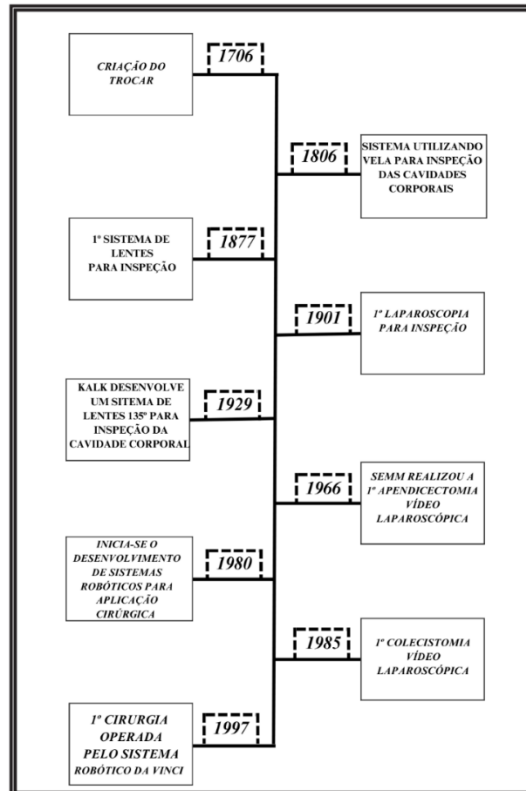


Figura 1- Linha do tempo da laparoscopia.

Fonte: (Virtuozo. Fernanda, 2021).

Além dos instrumentos mencionados anteriormente, outras tecnologias que também têm suas raízes em épocas anteriores são os sistemas de inspeção da cavidade corporal. Estes sistemas tiveram início em 1806 com o Lichtleiter, um dispositivo que utilizava uma vela de cera como fonte de iluminação. Em 1877, este modelo evoluiu para um sistema de lentes utilizado pela primeira vez na Alemanha por Max Nitze para um procedimento de citoscopia (Almeida, 2002). Este conceito foi aprimorado posteriormente por Heins Kalk em 1929, quem desenvolveu um sistema de lentes de visão oblíqua (135°) para avaliação de doenças hepáticas e da vesícula biliar, realizando aproximadamente 2000 biópsias com este equipamento. O trabalho de Kalk permitiu uma ampla aceitação da laparoscopia como uma ferramenta de diagnóstico (Ferraz & Lacombe, 2003; Virtuozo. Fernanda, 2021).

Em 1966, o Dr. Kurt Semm, um médico alemão, desenvolveu um insuflador automático para monitorar a pressão intra-abdominal e o fluxo de gás. Além disso, Semm também realizou a primeira laparoscopia com caráter cirúrgico (apendicectomia), o que

representou um marco importante na história da laparoscopia e abriu caminho para a sua expansão em várias áreas médicas (Ferraz & Lacombe, 2003; Virtuozo. Fernanda, 2021).

A evolução tecnológica no final do século XX propiciou a superação de diversas limitações na medicina, como o surgimento da videolaparoscopia em 1981. Diante da necessidade de realizar cirurgias em ambientes de combate, o exército americano iniciou o desenvolvimento de sistemas robóticos. Essas tecnologias representaram um passo importante para solucionar as limitações da cirurgia laparoscópica convencional. Foram desenvolvidos os sistemas robóticos Zeus e Da Vinci para cirurgias minimamente invasivas e em 1977 foi realizada a primeira cirurgia em um paciente, um marco histórico que tem colocado a laparoscopia em evidência até os dias atuais (Ballantyne & Moll, 2003; Virtuozo. Fernanda, 2021).

1.4 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é uma tecnologia de fabricação que permite a criação de objetos tridimensionais a partir de arquivos digitais, também conhecida como impressão 3D. Este processo aditivo difere dos métodos de fabricação tradicionais que geralmente envolvem a remoção de material a partir de uma peça bruta. A técnica aditiva permite a adição de camadas sucessivas de material até que o objeto final seja formado (Woodson, 2019).

Este processo oferece a possibilidade de criação de objetos complexos com geometrias que seriam difíceis ou impossíveis de serem produzidas por meio dos processos tradicionais. Além disso, a manufatura aditiva tem sido aplicada em diversas áreas, incluindo aeroespacial, automotiva, médica e joalheria, dentre outras (H. Lipson & Kurman, 2013).

Os materiais comumente utilizados na manufatura aditiva incluem plásticos, metais, cerâmicas e até mesmo materiais biológicos. Com o crescimento contínuo da tecnologia da manufatura aditiva, sua utilização deverá expandir ainda mais em diversas áreas, oferecendo uma alternativa interessante aos métodos tradicionais de fabricação. escreve mais um parágrafo do assunto (Beyer, 2014).

1.5 Sistemas embarcado

Um sistema embarcado é uma combinação de software e hardware projetada para desempenhar uma tarefa específica. Consiste em um sistema microprocessado que suporta uma determinada aplicação, como o popular microcontrolador ESP32. O ESP32 é um exemplo proeminente de sistema embarcado, conhecido por sua versatilidade e ampla gama de recursos. Com a sua capacidade de conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada, o ESP32 tem sido amplamente utilizado em dispositivos eletrônicos e aplicações diversas (Kolban, 2018).

Os sistemas embarcados baseados no ESP32 estão se tornando cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, devido aos baixos custos tecnológicos atuais. Além disso, a flexibilidade e o desempenho do ESP32 permitem a execução de várias funcionalidades complexas. No entanto, a complexidade desses sistemas embarcados aumenta a importância da etapa de testes, pois garantir a qualidade do produto final se torna um fator crucial (Carro & Wagner, 2003; Wong, 2006).

Portanto, considerando a crescente presença dos sistemas embarcados baseados no ESP32 e suas diversas funcionalidades, é fundamental dar uma atenção especial à etapa de testes. Realizar testes rigorosos e abrangentes nos sistemas embarcados baseados no ESP32 é essencial para identificar e corrigir possíveis falhas ou problemas de desempenho, garantindo a qualidade e confiabilidade dos produtos finais. Ao investir em testes adequados, é possível assegurar que os sistemas embarcados baseados no ESP32 atendam às expectativas dos usuários e alcancem sucesso no mercado.

1.6 Motivação

A ergonomia dos cirurgiões desempenha um papel crucial na qualidade e eficiência dos procedimentos cirúrgicos. Devido à complexidade e duração prolongada das cirurgias, durante as quais os cirurgiões frequentemente adotam posições desconfortáveis, é de extrema importância buscar constantemente melhorias na ergonomia desses profissionais. A implementação de medidas ergonômicas adequadas é fundamental para minimizar o desconforto físico dos cirurgiões, prevenir lesões ocupacionais e otimizar o desempenho cirúrgico, resultando em melhores resultados para os pacientes.

Ao longo dos anos, uma variedade de tecnologias e metodologias tem sido desenvolvida para reduzir os riscos de lesões musculoesqueléticas, bem como a fadiga e o estresse relacionados à postura inadequada. É imperativo que as instituições de saúde invistam em equipamentos e móveis específicos para o ambiente cirúrgico, juntamente com treinamentos e programas de conscientização destinados aos profissionais, enfatizando a importância de manter uma postura correta e realizar exercícios para prevenção de lesões. A melhoria na ergonomia dos cirurgiões não só beneficia a saúde dos profissionais, mas também pode aumentar a segurança e a qualidade dos procedimentos cirúrgicos, impactando positivamente o bem-estar dos pacientes-

Por outro lado, a produção de protótipos hospitalares pode ser uma tarefa dispendiosa devido a vários fatores, como superdimensionamento, uso de tecnologia avançada e escolha inadequada de materiais. Para mitigar esses custos, é crucial explorar métodos mais acessíveis, como a impressão 3D, para a fabricação de componentes de protótipos. Além disso, é fundamental selecionar cuidadosamente os materiais de acordo com as necessidades específicas do produto, a fim de evitar desperdícios decorrentes da escolha de materiais mais caros do que o necessário. Essa abordagem visa reduzir os investimentos requeridos e promover a eficiência na produção de protótipos hospitalares, possibilitando avanços na área da saúde de forma mais acessível e sustentável

Embora a cirurgia laparoscópica ofereça vantagens significativas para os pacientes, também apresenta desafios consideráveis para os cirurgiões. Durante o procedimento, os cirurgiões enfrentam restrições na amplitude de movimento, o que pode limitar sua precisão e agilidade na execução de certas tarefas. Além disso, a laparoscopia está associada ao aumento da ocorrência de posturas estáticas, nas quais os cirurgiões mantêm posições corporais por longos períodos sem movimentos significativos.

Dentro desse contexto, além dos impactos musculoesqueléticos para os cirurgiões, é relevante destacar uma consequência adicional e crítica relacionada à ergonomia dos instrumentos utilizados na cirurgia minimamente invasiva (CMI). Os cirurgiões podem estar sujeitos a sofrer fadiga muscular e dor durante a realização da cirurgia, o que pode comprometer a segurança do paciente durante o procedimento cirúrgico (Steinhilber B, 2016).

Diversos estudos têm avaliado os aspectos ergonômicos dos componentes laparoscópicas, sendo a maioria deles de natureza mecânica e não eletrônica. Embora os componentes eletrônicos apresentem suas vantagens, em muitos sistemas de saúde elas são consideradas caras e distantes da realidade, o que evidencia a necessidade de se

encontrar soluções mais acessíveis para aprimorar a ergonomia desses instrumentos (Sancibrian, 2014).

Com o objetivo de abordar essa questão, o presente estudo propõe uma metodologia para o desenvolvimento de um protótipo interno utilizando tecnologias virtuais e manufatura aditiva. Além disso, foi implementado um sistema eletrônico baseado no ESP32 para a realização de testes. É importante ressaltar que a validação clínica do design do protótipo será abordada em futuros trabalhos, por meio do desenvolvimento de estudos clínicos. Essa abordagem visa oferecer uma solução mais precisa e eficiente para melhorar a ergonomia dos instrumentos cirúrgicos laparoscópicos, proporcionando benefícios significativos para os profissionais da área médica.

1.7 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento do projeto de um instrumento laparoscópico ergonômico interno para ser aplicado em pinças e tesouras utilizadas em CMI forma que reduza os esforços aplicados pelas mãos dos cirurgiões e que melhore o seu posicionamento durante a cirurgia. Com objetivo principal

1.7.1 Objetivos Específicos

1. Realizar uma análise abrangente dos diferentes tipos de instrumentos laparoscópicos disponíveis no mercado, compreendendo suas características, vantagens e limitações. Essa análise envolverá uma revisão sistemática da literatura científica, consulta a especialistas da área e, quando possível, a realização de testes práticos para avaliar o desempenho e a usabilidade dos instrumentos.

2. Selecionar criteriosamente o tipo de manípulo mais adequado para o instrumento laparoscópico a ser desenvolvido, com base em recomendações científicas e técnicas existentes na literatura. Serão considerados fatores ergonômicos, funcionais e de segurança, visando garantir uma interface eficiente e confortável para os cirurgiões durante a utilização do instrumento.

3. Realizar um estudo detalhado e propor um processo metodológico para o desenvolvimento de produtos na área da engenharia de instrumentos laparoscópicos. Esse processo englobará etapas como análise de requisitos, concepção, prototipagem, testes e

avaliação do desempenho, levando em consideração aspectos técnicos, regulatórios e ergonômicos.

4. Utilizar ferramentas de design assistido por computador e simulações para realizar a modelagem e prototipagem virtual do manípulo interno do instrumento laparoscópico. Essa etapa permitirá a avaliação da ergonomia, funcionalidade e desempenho do manípulo, com o objetivo de otimizar sua forma e usabilidade.

5. Desenvolver um programa para um sistema de controle do manípulo, utilizando um microprocessador adequado. Esse sistema será projetado para garantir o controle preciso e seguro do instrumento, incorporando recursos como monitoramento de força, feedback háptico e outras funcionalidades relevantes para a manipulação durante a cirurgia laparoscópica.

6. Validar o método utilizado. Será realizada a submissão de um artigo científico contendo a descrição do projeto, as metodologias adotadas, os resultados obtidos e as conclusões alcançadas. Esse artigo será submetido a um processo de revisão por pares qualificados, que avaliarão a originalidade, a relevância e a contribuição do trabalho para o campo da engenharia de instrumentos laparoscópicos.

Ao cumprir esses objetivos específicos, espera-se contribuir significativamente para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no campo do design de instrumentos laparoscópicos. O desenvolvimento de uma solução mais eficiente, ergonômica e segura.

1.8 Estrutura do Documento

Este documento está organizado em cinco capítulos, sendo:

- Capítulo 1: Introdução, Motivações, Objetivos Propostos e Estrutura do Documento;
- Capítulo 2: Fundamentação Teórica relacionada ao tema abordado no trabalho;
- Capítulo 3: Materiais, Instrumentação, Métodos e Softwares utilizados na pesquisa;
- Capítulo 4: Resultados e Desenhos obtidos na análise dos dados coletados;
- Capítulo 5: Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros sugeridos a partir dos resultados obtidos

Capítulo 2

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo, serão expostos os fundamentos teóricos essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Em 1901, marcos importantes foram estabelecidos no desenvolvimento da cirurgia laparoscópica. Na Alemanha, George Kelling introduziu um endoscópio na cavidade abdominal de um cão, permitindo a observação das estruturas presentes (Schollmeyer, 2007). No mesmo ano, na Rússia, o ginecologista Von Ott explorou a cavidade abdominal em cadáveres, realizando uma pequena incisão e utilizando um espéculo para visualização (Almeida, 2002).

Esses pioneiros abriram caminho para os avanços subsequentes na técnica laparoscópica. Suas contribuições iniciais estabeleceram as bases para o desenvolvimento posterior de instrumentos e procedimentos laparoscópicos. A partir desse ponto, a laparoscopia passou por um notável progresso tecnológico e clínico, revolucionando a prática cirúrgica. (Schollmeyer, 2007).



Figura 2- George Kelling.

Fonte: (Schollmeyer, 2007).

É correto afirmar que George Kelling foi um dos principais intervenientes na história da cirurgia laparoscópica, mas é importante reconhecer que houve outros profissionais fundamentais no desenvolvimento e aprimoramento dessa técnica ao longo do tempo (Schollmeyer, 2007).

Nos Estados Unidos, Bertram Bernheim foi o responsável pela primeira laparoscopia de diagnóstico em 1911, marcando um marco importante na história da laparoscopia (Louro, 2011).

Em Portugal, a aceitação da cirurgia laparoscópica demorou cerca de 80 anos, conforme mencionado por Louro (2011). Isso destaca que a adoção e a incorporação de novas técnicas cirúrgicas podem variar em diferentes países e contextos de saúde.

2.1 Ergonomia no Desenvolvimento de Produtos

A aplicação da ergonomia no desenvolvimento de produtos é uma tecnologia que visa criar equipamentos cujo foco é o utilizador, assegurando que os mesmos sejam fáceis de usar, fáceis de aprender, produtivos e seguros (Cushman & Rosenberg, 1991). A ergonomia deve sempre ser inserida nas etapas iniciais do projeto, e estas devem considerar o ser humano como seu componente principal. Os requisitos dos utilizadores devem ser incluídos como os requisitos técnicos do produto, para que possam se ajustar reciprocamente (Pinto, 2014).

Ao conceituar um produto como sendo uma ferramenta ou instrumento de trabalho que possibilita ao utilizador realizar uma atividade, deve-se sempre empregar o método específico da ergonomia. Essa abordagem pode ser um triunfo importante para o projetista (Pinto, 2014).

2.2 Ergonomia Clínica

A ergonomia na medicina desempenha um papel fundamental na melhoria da segurança, eficiência e bem-estar dos profissionais de saúde. Essa disciplina multidisciplinar visa adaptar o ambiente de trabalho, equipamentos e práticas clínicas às características físicas, cognitivas e psicossociais dos profissionais, com o objetivo de otimizar o desempenho e prevenir lesões ocupacionais (Carayon, 2011). A implementação de princípios ergonômicos na medicina tem sido associada a benefícios

significativos, incluindo redução de erros médicos, fadiga e estresse, além de melhoria da satisfação dos profissionais e segurança do paciente (Chauvin, 2017).

A ergonomia tem sido aplicada em diferentes áreas da medicina, como cirurgia, anestesiologia, enfermagem e radiologia, com o objetivo de melhorar as condições de trabalho e reduzir riscos ocupacionais. No campo cirúrgico, por exemplo, o design de instrumentos cirúrgicos ergonômicos e a adaptação do ambiente cirúrgico têm sido foco de pesquisa. Estudos demonstraram que a utilização de instrumentos ergonomicamente projetados pode melhorar a precisão, reduzir o desconforto e minimizar o risco de lesões musculoesqueléticas dos cirurgiões (Shah., 2018; Alabdulwahab, 2019).

A aplicação da ergonomia na medicina exige a consideração de diferentes aspectos, como o layout da sala de cirurgia, a altura e posição dos equipamentos, o uso de tecnologia de informação e comunicação, e a organização do trabalho em equipe. É essencial que os profissionais de saúde recebam treinamento adequado em ergonomia, a fim de compreender a importância da postura correta, do uso adequado de equipamentos e da prática de pausas para descanso durante longos períodos de trabalho (Riethmuller, 2012).

2.3 Procedimento operatório

O procedimento operatório da Cirurgia Minimamente Invasiva (CMI) é uma abordagem cirúrgica sofisticada e inovadora que busca realizar intervenções com incisões mínimas e menor impacto nos tecidos em comparação com os métodos cirúrgicos convencionais. Durante o procedimento, são efetuadas pequenas incisões na pele, permitindo a inserção de instrumentos cirúrgicos especializados, como pinças e tesouras, juntamente com um sistema de visualização, como a laparoscopia, que proporciona imagens em tempo real do campo cirúrgico (D'Alessio, 2019; Di Lorenzo, 2020). A Figura 3 apresenta um esquema da inserção dos instrumentos para a realização do procedimento.

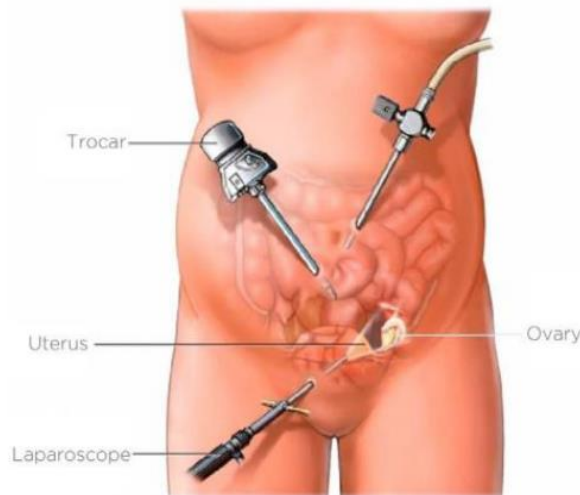


Figura 3- Representação esquemática da cirurgia laparoscópica

Fonte: (Moore & Gunnarsson, 2009)

A CMI oferece diversos benefícios em relação à cirurgia aberta tradicional. Essas vantagens incluem redução significativa da dor pós-operatória, tempo de internação hospitalar reduzido, menor formação de cicatrizes e recuperação mais rápida. Além disso, a minimização do trauma nos tecidos adjacentes diminui consideravelmente os riscos de complicações, como infecções e sangramentos (Di Lorenzo, 2020; Lopes, 2021). A CMI tem sido aplicada em diversas especialidades cirúrgicas, tais como cirurgia geral, ginecologia, urologia e gastroenterologia, com resultados promissores (Kehlet, 2020; Liu, 2021).

No entanto, é importante salientar que a realização do procedimento operatório da CMI requer proficiência técnica avançada por parte dos cirurgiões, devido à complexidade envolvida e às limitações na visão do campo cirúrgico. Portanto, é essencial que os profissionais recebam treinamento especializado a fim de adquirir as habilidades necessárias para garantir a segurança e a eficácia dos procedimentos minimamente invasivos (Lopes, 2021). Além disso, os avanços tecnológicos contínuos, como a adoção da cirurgia robótica e o aprimoramento dos sistemas de visualização, estão impulsionando ainda mais a evolução da CMI (Kehlet, 2020; Liu, 2021).

Ao longo dos anos, a técnica de laparoscopia tem passado por evoluções significativas, resultando no desenvolvimento de variantes, como a laparoscopia assistida com mão (HALS). A HALS difere da laparoscopia convencional, uma vez que permite ao cirurgião ou a um assistente a inserção da mão durante a cirurgia para auxiliar no procedimento (Cuschieri, 2005).

A principal distinção entre a laparoscopia convencional e a HALS reside na possibilidade de inserção da mão durante o procedimento cirúrgico. Enquanto na laparoscopia convencional os instrumentos cirúrgicos são introduzidos por pequenas incisões na pele e manipulados remotamente por meio de alavancas e pinças especiais, na HALS o cirurgião tem a capacidade de inserir sua mão diretamente na cavidade abdominal do paciente (Cuschieri, 2005).

Essa abordagem proporciona ao cirurgião uma sensação tátil mais precisa e uma destreza manual aprimorada durante a cirurgia, o que pode ser particularmente benéfico em procedimentos complexos ou que exijam manipulação delicada de tecidos. Além disso, a HALS pode contribuir para reduzir a duração da cirurgia, melhorar a eficiência e aumentar a segurança do procedimento (Cuschieri, 2005).

2.4 Vantagens E Desvantagens

De fato, a cirurgia laparoscópica apresenta várias vantagens tanto para os pacientes como para os cirurgiões. Aqui estão algumas das vantagens mais comuns da cirurgia laparoscópica:

- Redução da necessidade de medicação analgésica: A cirurgia laparoscópica é menos invasiva em comparação com a cirurgia aberta, resultando em menor dor pós-operatória. Isso significa que os pacientes geralmente requerem menos medicação analgésica para alívio da dor (Hacking & Doyle, 2006).
- Melhora da função respiratória pós-operatória: Devido à menor dor após a cirurgia laparoscópica, os pacientes têm mais facilidade em respirar profundamente, o que ajuda a melhorar a oxigenação e reduzir a taquipneia (respiração acelerada) e o reflexo de tosse (Hacking & Doyle, 2006).
- Tempo de recuperação reduzido: A realização de pequenas incisões durante a cirurgia laparoscópica resulta em um tempo de recuperação geralmente mais curto em comparação com a cirurgia aberta. Isso significa que os pacientes podem retornar às suas atividades normais mais rapidamente (Hacking & Doyle, 2006).
- Melhora do aspecto cosmético: As pequenas incisões utilizadas na cirurgia laparoscópica resultam em cicatrizes menores e mais discretas. Isso contribui para um melhor aspecto estético após a cirurgia (Hacking & Doyle, 2006).
- Melhora da visualização do local da cirurgia: O uso de câmeras durante a cirurgia laparoscópica proporciona uma visualização ampliada e detalhada do espaço

operatório. Isso permite que os cirurgiões tenham uma melhor visão dos tecidos e estruturas que estão sendo manipulados (Hacking & Doyle, 2006).

A cirurgia laparoscópica também apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. Aqui estão algumas das desvantagens mais comuns da cirurgia laparoscópica:

- Consequências fisiológicas do pneumoperitônio: Durante a cirurgia laparoscópica, é necessário insuflar gás, geralmente dióxido de carbono (CO₂), na cavidade peritoneal para criar espaço entre os órgãos e a parede abdominal. Isso pode levar a algumas consequências fisiológicas, como aumento da pressão intra-abdominal, alterações na função respiratória e cardiocirculatória (Hacking & Doyle, 2006).
- Aumento da pressão intra-abdominal: A pressão do pneumoperitônio deve ser mantida dentro de determinados limites durante a cirurgia laparoscópica. Pressões excessivamente altas podem resultar em efeitos adversos, como maior absorção do gás pelo corpo, o que pode levar a complicações como embolia de gás e efeitos cardiopulmonares significativos (Hacking & Doyle, 2006).
- Posicionamento do paciente: Durante a cirurgia laparoscópica, é comum posicionar o paciente em Trendelenburg (com a cabeça inclinada para baixo e os pés elevados). No entanto, essa posição pode ter efeitos negativos para o paciente, como aumento da pressão venosa e débito cardíaco, maior vasodilatação, bradicardia, risco de atelectasia (colapso pulmonar) e comprometimento da circulação sanguínea cerebral. Na Figura 4 encontra-se um esquema exemplificativo da posição de Trendelenburg (Hacking & Doyle, 2006).

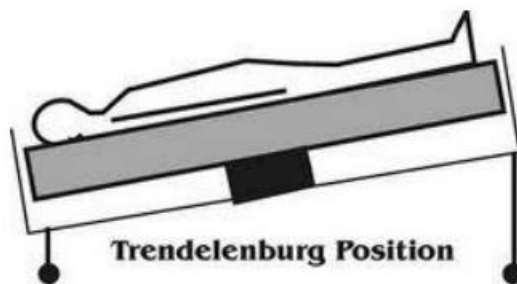


Figura 4- Posição de Trendelenburg

Fonte: (NurseFrontier, 2016)

A posição de Trendelenburg invertida é frequentemente utilizada durante a colecistomia laparoscópica, um procedimento cirúrgico para a remoção da vesícula biliar. Essa posição envolve inclinar a mesa cirúrgica com a cabeça do paciente para baixo e os pés elevados (Hacking & Doyle, 2006).

No entanto, é importante mencionar que essa posição também apresenta uma desvantagem significativa. O retorno venoso pode ser reduzido devido à posição invertida, o que pode levar a uma diminuição do débito cardíaco. Isso ocorre porque a gravidade dificulta o retorno eficiente do sangue venoso ao coração. Na Figura 5 apresenta-se um esquema da posição de Trendelenburg invertida

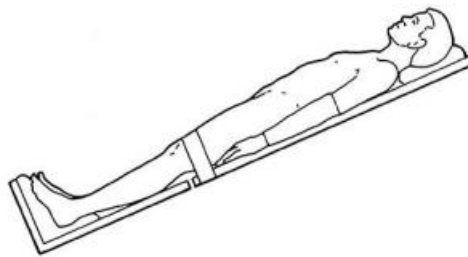


Figura 5- Posição de Trendelenburg invertida

Fonte: (NurseFrontier, 2016).

- Dificuldade técnica do procedimento: A cirurgia laparoscópica exige habilidades técnicas avançadas por parte dos cirurgiões. A manipulação dos instrumentos cirúrgicos através de pequenas incisões e a visualização em um monitor podem requerer um período de aprendizado prolongado e uma curva de aprendizado íngreme para dominar a técnica laparoscópica. A destreza manual e a coordenação olho-mão são essenciais para executar os movimentos precisos necessários durante o procedimento laparoscópico (Ramacciotti & Gomes, 2004).
- Lesões vasculares e viscerais: Embora raras, as lesões em vasos sanguíneos ou órgãos são complicações potenciais da cirurgia laparoscópica. Essas lesões podem ocorrer durante a inserção da agulha de Veress ou dos trocáres (dispositivos usados para acessar a cavidade abdominal), bem como durante a cauterização ou laceração com os instrumentos laparoscópicos. É importante que os cirurgiões tenham treinamento adequado e experiência para minimizar o risco de tais lesões e agir prontamente caso ocorram (Ramacciotti & Gomes, 2004).
- Dificuldade em avaliar a quantidade de sangue perdido: Durante a cirurgia laparoscópica, a estimativa da perda sanguínea pode ser desafiadora devido à

menor visibilidade direta dos tecidos. As pequenas incisões e o uso de câmeras e monitores podem dificultar a avaliação precisa da quantidade de sangue perdido durante o procedimento. É importante que a equipe cirúrgica utilize métodos adequados de monitoramento e esteja atenta a sinais indiretos de perda sanguínea, como alterações na pressão arterial, frequência cardíaca e saturação de oxigênio (Ramacciotti & Gomes, 2004).

É fundamental que os cirurgiões estejam cientes dessas desvantagens e tomem as precauções necessárias para minimizar os riscos associados à cirurgia laparoscópica. A experiência, o treinamento adequado e a atenção cuidadosa durante o procedimento são essenciais para mitigar essas desvantagens e garantir a segurança e eficácia da cirurgia.

2.5 Campo de Atuação

A cirurgia laparoscópica é uma abordagem minimamente invasiva que tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas médicas. Essa técnica tem se mostrado eficaz e segura em diversas áreas de aplicação, proporcionando benefícios aos pacientes.

Na área da cirurgia geral, a laparoscopia tem sido utilizada em procedimentos como colecistectomia (remoção da vesícula biliar), apendicectomia (remoção do apêndice), cirurgia de hérnia e tratamento de doenças do intestino. Essa abordagem minimamente invasiva permite incisões menores, menor perda de sangue, recuperação mais rápida e menos dor pós-operatória (Wu, 2015).

Em ginecologia, a laparoscopia tem sido aplicada em procedimentos como histerectomia (remoção do útero), miomectomia (remoção de miomas uterinos), tratamento de endometriose e avaliação de infertilidade. Essa técnica oferece vantagens como menor trauma tecidual, menor tempo de internação e cicatrizes menores em comparação com a cirurgia convencional (Sinha, 2015).

Além disso, a laparoscopia tem sido amplamente utilizada na área da urologia, incluindo procedimentos como prostatectomia (remoção da próstata), nefrectomia parcial ou total (remoção total ou parcial do rim) e cirurgia de reimplante ureteral. A abordagem laparoscópica permite uma recuperação mais rápida, menor taxa de complicações e menor tempo de internação em comparação com a cirurgia aberta (Gettman, 2016).

2.6 Dispositivos laparoscópicos

O progresso do instrumental laparoscópico tem impulsionado a evolução da técnica para a realização de procedimentos de maior complexidade. Os equipamentos e instrumentos empregados para esse propósito são classificados em quatro categorias distintas, conforme demonstrado na Tabela 1 (Fernanda Virtuozo, 2021).

Tabela 1- Classificação do instrumental laparoscópico

| Instrumentos manuais | Equipamento óptico | Equipamento de montagem | Equipamento especial |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Trocarter | Laparoscópios | Monitor | Instrumentos de Colangiografia |
| Tesoura | | Fonte de Luz | Caledoscópio |
| Dissector | | Câmera de video | Ultrassom |
| Hook | | Insuflador de CO ₂ | |
| Pinças especiais | | Equipamentos para eletrocirurgia | |
| Aplicadores de cliques | | | |

Fonte: (Fernanda Virtuozo, 2021).

2.7.1 Agulha de Veress

A agulha de Veress é um dispositivo utilizado na cirurgia laparoscópica para criar um pneumoperitônio, que consiste na insuflação controlada de dióxido de carbono (CO₂) na cavidade abdominal. A inserção da agulha de Veress é realizada após uma pequena incisão na pele, e o dispositivo é conectado a um sistema de insuflação de CO₂. A injeção controlada de CO₂ permite criar um espaço adequado dentro da cavidade abdominal, permitindo a visualização e manipulação dos instrumentos cirúrgicos durante o procedimento laparoscópico (Veress, J., 1946; Muysoms, 2019).

A técnica de utilização da agulha de Veress requer habilidades e precauções para minimizar riscos e complicações. É essencial seguir procedimentos adequados para inserção da agulha de Veress e confirmar sua posição intraperitoneal antes da insuflação do CO₂. A atenção cuidadosa para evitar perfuração de órgãos ou vasos sanguíneos é crucial (Veress, J., 1946; Muysoms, 2019).



Figura 6- Agulha de Veress

Fonte: (<https://www.medicalexpo.com/>).

2.7.2 Trocartes

Os trocartes são dispositivos utilizados na cirurgia minimamente invasiva para criar portais de acesso ao interior do corpo. Eles são tubos ocos com uma ponta afiada e uma válvula de vedação, permitindo a inserção de instrumentos cirúrgicos especializados, como pinças e tesouras, para realizar procedimentos minimamente invasivos. Os trocartes desempenham um papel essencial na facilitação do acesso e na realização segura dos procedimentos, minimizando o trauma aos tecidos e promovendo uma recuperação mais rápida para os pacientes (Mishra, R. K., & Saha, P. K, 2014).



Figura 7- Trocartes.

Fonte: (<https://www.medicalexpo.com/>).

2.7.3 Tesouras

As tesouras laparoscópicas são instrumentos cirúrgicos utilizados em procedimentos minimamente invasivos, como a cirurgia laparoscópica. Essas tesouras são projetadas especificamente para permitir a dissecação e corte de tecidos durante a cirurgia, através de pequenas incisões na pele do paciente.

As tesouras laparoscópicas são compostas por uma haste longa e fina, que é inserida no corpo do paciente através de um trocarte, e por uma extremidade ativa, onde se encontra a lâmina de corte. Essa extremidade pode ser acionada manualmente pelo cirurgião ou pode ter um mecanismo de acionamento elétrico ou pneumático, dependendo do modelo e do tipo de cirurgia.

A escolha da tesoura laparoscópica adequada é de extrema importância para o sucesso do procedimento cirúrgico. Diversos fatores devem ser considerados, como o tipo de cirurgia, a anatomia do paciente e as preferências do cirurgião. Além disso, é fundamental garantir que as tesouras sejam estéreis e de alta qualidade para evitar complicações durante a cirurgia. (Beldi, G., 2007).

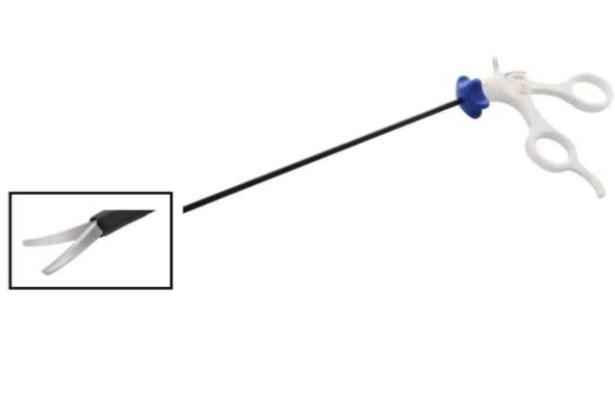


Figura 8- Tesoura de Laparoscopia

Fonte: (<https://www.medicalexpo.com/>).

2.7.4 Pinças

A pinça laparoscópica é um instrumento utilizado na cirurgia laparoscópica, uma técnica minimamente invasiva. Essa pinça é composta por duas hastes longas e finas com extremidades que se encontram em formato de pinça, permitindo ao cirurgião manipular tecidos, órgãos e suturas durante o procedimento. Ela é inserida no corpo do paciente por meio de pequenas incisões e controlada pelo cirurgião através de movimentos precisos realizados no console cirúrgico. (Sánchez-Margallo, F. M., 2010).

A utilização da pinça laparoscópica proporciona diversos benefícios, como menor trauma tecidual, menor perda de sangue, recuperação mais rápida e cicatrizes menores em comparação com a cirurgia aberta tradicional. Além disso, a pinça laparoscópica oferece ampla mobilidade e visão tridimensional, permitindo ao cirurgião realizar procedimentos com precisão e segurança. A Figura 9 ilustra um exemplo de modelo de pinça laparoscópica para fins demonstrativos. (Sánchez-Margallo, F. M., 2010).



Figura 9- Pinça Laparoscópica.

Fonte: (<https://www.medicalexpo.com/>).

Estes exemplos mencionados representam os modelos convencionais de instrumentos laparoscópicos. Atualmente, há um crescente interesse em explorar modificações nesses modelos, devido aos diversos problemas fisiológicos enfrentados pelos cirurgiões devido à ergonomia insatisfatória dos manípulos.

2.8 ESP32

O microcontrolador ESP32 foi desenvolvido pela conceituada empresa de tecnologia Espressif Systems e lançado recentemente no mercado. Sua introdução ocorreu em 2016 e desde então tem ganhado reconhecimento como um dos controladores mais robustos e notáveis disponíveis. Ele se destaca por suas características como velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade, sendo especialmente conhecido por sua capacidade de conexão Wi-Fi, o que o torna altamente versátil e adequado para uma ampla gama de aplicações (KOLBAN, 2018).

O ESP32 é composto por um processador robusto, conforme ilustrado na Figura 10, e foi projetado com um modelo de 32 bits, podendo ser single-core ou dual-core (com

dois núcleos físicos de processamento). Ele é capaz de operar em frequências de clock de até 240 MHz, o que proporciona um desempenho excepcional. Além disso, uma das principais vantagens do ESP32 é sua capacidade de armazenamento, que é significativamente maior em comparação com os microcontroladores Arduino amplamente utilizados. Em particular, a memória flash do ESP32 pode ser o dobro da capacidade do modelo ATmega 2560 do Arduino (IBRAHIM, 2017).



Figura 10- Microcontrolador ESP32

Fonte:(Kolban, 2018).

Na Tabela 2, são apresentadas algumas especificações do microcontrolador ESP32, evidenciando sua superioridade em relação ao Arduino. Um dos destaques é a excelente conectividade do ESP32, que possui dois módulos de comunicação sem fio, como Wi-Fi e Bluetooth, proporcionando opções de conectividade versáteis e abrangentes. Essa capacidade de conexão ampliada do ESP32 permite uma integração mais fácil com dispositivos e sistemas externos, expandindo as possibilidades de aplicação do microcontrolador (IBRAHIM, 2017).

Tabela 2-Especificações técnicas

| Especificações | Detalhes |
|--|-----------------------|
| Tensão | 3.3V |
| Memória RAM | 520Kb |
| Processador | single/dual-core32bit |
| GPIOs | 34 |
| Entradas conversoras Analógico/Digital | 7 |

Essas características destacadas do ESP32 demonstram sua superioridade em termos de conectividade e desempenho em comparação com o Arduino, proporcionando

maior flexibilidade e recursos adicionais para o desenvolvimento de projetos e aplicações (IBRAHIM, 2017).

A programação do ESP32 é facilitada devido à compatibilidade com diversos softwares, destacando-se a linguagem de programação C/C++. Essa linguagem pode ser desenvolvida utilizando o Software Development Kit (SDK) fornecido pela Espressif Systems, a empresa responsável pelo microcontrolador. Além disso, o ESP32 é amplamente suportado pelo famoso ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, o que torna a programação ainda mais acessível e familiar para os desenvolvedores (IBRAHIM, 2017).

Uma das principais vantagens do ESP32 é sua conectividade sem fio, o que permite a programação remota utilizando recursos como Wi-Fi. Essa capacidade de comunicação sem fio facilita a integração do microcontrolador em sistemas de automação residencial, proporcionando uma solução de baixo custo e alta conectividade com os componentes do sistema (IBRAHIM, 2017).

Portanto, considerando as informações mencionadas, o ESP32 apresenta-se como uma opção viável e eficiente como microcontrolador para a execução de projetos clínicos com baixo custo e alta conectividade (IBRAHIM, 2017).

2.9 Programação

A programação é caracterizada como uma abordagem que envolve a expressão de uma determinada atividade profissional por meio de uma lógica, dividida em várias etapas sequenciais, que podem ser aplicadas a equipamentos ou máquinas (PEREIRA, 2015).

Para transformar um problema em programação, é necessário analisar minuciosamente suas causas e buscar resolvê-las de maneira concisa, organizando as causas e soluções de forma proveitosa. Em seguida, todas as instruções encontradas devem ser traduzidas para uma linguagem compreendida pela máquina na qual se pretende atuar.

A programação é dividida em diferentes tipos de linguagens, cada uma com suas peculiaridades, vantagens e custos. O Assembly foi uma das linguagens precursoras da programação, mas atualmente existem diversas linguagens programáticas, como JavaScript, Java, Python, C/C++, entre outras. Segundo (SEBESTA, 2011), é importante buscar a melhor forma de expressar de maneira clara e bem concebida as soluções para um problema, sendo necessário um amplo conhecimento dos diferentes ramos da

programação, o que contribuirá para economizar tempo, memória e processamento dos controladores.

A linguagem de programação C++ é um resultado da implementação da linguagem C e tem se tornado amplamente utilizada no campo dos microcontroladores, devido à sua capacidade de trabalhar com níveis de abstração tanto altos quanto baixos, além de apresentar um bom nível de didática. Por outro lado, a linguagem JavaScript representa uma evolução baseada em sua estrutura, permitindo o desenvolvimento tangível da web por meio de conteúdos interativos e animados (DEITEL, 2010).

2.10 Linguagem de programação C/C++

A linguagem de programação C++ foi baseada na linguagem C e teve sua origem a partir das transformações de linguagens anteriores, principalmente da Basic Combined Programming Language (BCPL). Foi desenvolvida na década de 80 por Stroustrup e é fundamentada na programação orientada a objetos. A programação orientada a objetos permite a representação e modelagem do mundo real por meio de recursos chamados de objetos, o que facilita a criação, aprimoramento e correção de programas.

De acordo com (DEITEL, 2010), os programas em linguagem C++ possuem, além da própria linguagem, duas estruturas essenciais que são intrínsecas a ela: classes e funções. Essas estruturas são disponibilizadas nas bibliotecas da linguagem. Utilizar esses recursos como base reduz o tempo necessário para aprendizagem em comparação com outras linguagens.

Capítulo 3

3 Materiais e Métodos

3.1 Embasamento do projeto

Com base nas evidências científicas disponíveis e nos avanços tecnológicos recentes, este estudo foi realizado com o objetivo de explorar o potencial da manufatura aditiva, como a impressão em 3D, no campo da cirurgia minimamente invasiva e outros procedimentos cirúrgicos. Além disso, foi incorporado o uso do microcontrolador ESP32, um dispositivo embarcado de alto desempenho e baixo custo, que oferece recursos avançados de conectividade e processamento de dados. A combinação dessas técnicas permitiu o desenvolvimento de instrumentos cirúrgicos mais eficientes, ergonomicamente projetados e adaptados às demandas específicas de cada tipo de cirurgia. Além disso, possibilitou a coleta e análise de dados em tempo real durante os procedimentos cirúrgicos, contribuindo para a melhoria dos resultados clínicos e o avanço da prática cirúrgica.

Essa abordagem inovadora tem o potencial de melhorar os resultados cirúrgicos, reduzir complicações e promover avanços significativos no campo da medicina, fornecendo uma solução ergonômica baseada em sistemas embarcados.

No âmbito científico, é fundamental adotar um método de pesquisa que assegure a construção do conhecimento com rigor e consistência. Nesse contexto, este estudo se baseará no método Design Science Research (DSR), amplamente reconhecido na comunidade acadêmica, particularmente na área da engenharia. O DSR é composto por seis fases distintas: (1) Identificação do problema e motivação; (2) Definição dos objetivos da solução; (3) Projeto e desenvolvimento; (4) Demonstração; (5) Avaliação; e (6) Comunicação. Cada fase desempenha um papel fundamental no processo de pesquisa, desde a identificação do problema até a disseminação dos resultados obtidos. A aplicação do método DSR assegurará a qualidade e a robustez deste estudo científico. A figura 11 ilustra a sequência e a interconexão entre as etapas do estudo, fornecendo uma visão geral

do fluxo de trabalho (Junior., 2017; Malta, 2014; Nunez, 2017; Silva, Monção, Cunha , Amaral , Rocha , 1992; P. F. Soares., 2016; Tegner., 2016; Fernanda Virtuozo, 2021).

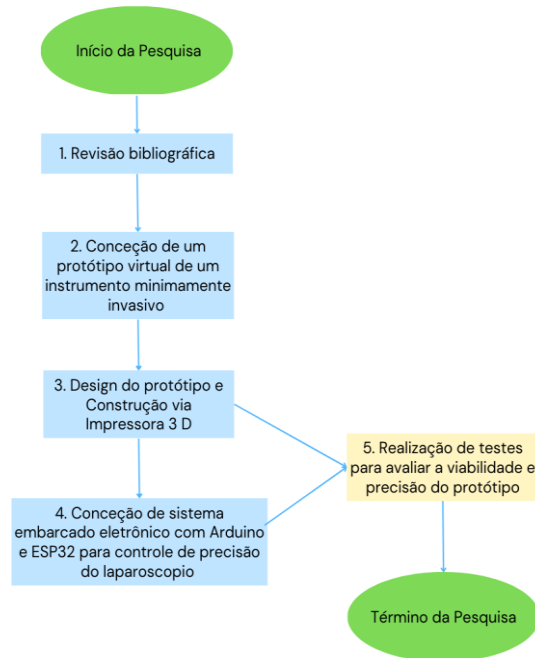


Figura 11- Metodologia de Criação de um protótipo virtual de um instrumento laparoscópico.

Fonte: (Autoria própria)

3.2 Identificação do problema.

A fase atual do estudo abrange a coleta de informações pertinentes à problemática vigente no âmbito do design de instrumentos utilizados em cirurgias laparoscópicas. Esse procedimento, denominado revisão bibliométrica, tem como propósito essencial proporcionar fundamentação e orientação para a condução da presente pesquisa. Nessa etapa, foram realizadas análises minuciosas da literatura científica especializada, com o objetivo de identificar e compreender os desafios e deficiências presentes no design desses instrumentos empregados em procedimentos laparoscópicos. O desfecho dessa revisão servirá de estímulo e diretriz para a abordagem adotada neste estudo, contribuindo para a construção de uma base sólida de conhecimento e informação.

3.3 Definição dos objetivos de uma solução.

Neste trabalho, os objetivos para a solução foram definidos por meio do uso de bibliometria. Assim, o objetivo principal deste estudo é desenvolver um novo protótipo interno que demonstre a viabilidade de um sistema embarcado para cirurgias minimamente invasivas, baseado em diretrizes ergonômicas. Através desse objetivo, busca-se proporcionar melhorias significativas na ergonomia e no desempenho dos instrumentos cirúrgicos utilizados nesses procedimentos, visando aprimorar o conforto dos cirurgiões e reduzir o risco de lesões musculoesqueléticas decorrentes do trabalho repetitivo e prolongado.

3.4 Projeto e desenvolvimento.

Nesta fase, devido à responsabilidade atribuída aos projetistas pelas propriedades técnicas e econômicas de um produto, é de suma importância adotar um procedimento de projeto que proporcione um protocolo consolidado para alcançar o objetivo principal estabelecido. Ter um processo de projeto estruturado e bem definido é fundamental para garantir a eficiência, a consistência e a qualidade da solução desenvolvida.

3.4.1 Esclarecimento da tarefa.

Nesta fase do estudo, é essencial realizar uma pesquisa abrangente sobre o problema em questão, bem como investigar os produtos semelhantes disponíveis no mercado, como foi previamente abordado na introdução desta pesquisa. Além disso, nesta etapa, é necessário listar os requisitos do produto, definindo as exigências mínimas para o desenvolvimento de um projeto satisfatório. Para essa finalidade, foram coletados requisitos e restrições dimensionais na literatura, que servirão como diretrizes para a construção de um protótipo interno funcional, conforme mencionado nas referências. Essa lista detalhada de requisitos será apresentada na próxima seção do artigo, garantindo uma base sólida para o desenvolvimento do protótipo proposto.

3.4.2 Projeto conceitual.

O estágio de projeto conceitual, serão desenvolvidas as estruturas funcionais do produto. A estrutura da função descreve a relação geral pretendida entre as entradas e

saídas de uma máquina ou sistema. Nesse sentido, essa etapa busca definir como o produto irá operar e interagir com o ambiente.

Além disso, a árvore de projetos é uma ferramenta essencial que auxilia o projetista nessa fase. Essa ferramenta divide o produto em sistemas, subsistemas e componentes, permitindo uma análise abrangente de todos os elementos que devem ser considerados no projeto. Essa abordagem sistemática contribui para uma compreensão clara da estrutura do produto e facilita a identificação de todas as partes envolvidas.

Ao empregar tanto a estrutura da função quanto a árvore de projetos, o projetista é capaz de mapear as principais funcionalidades do produto e analisar os requisitos de cada componente, garantindo que todos os aspectos relevantes sejam abordados de forma completa e precisa no processo de projeto conceitual.

3.5 Demonstração.

Nesta fase inclui o desenvolvimento de um protótipo para avaliação e validação do produto a ser fabricado, que pode ser feito por simulações, cálculos analíticos, testes ou métodos experimentais

3.5.1 Projeto de Modalidade.

Nesta etapa do processo, o projeto será desenvolvido levando em consideração critérios técnicos e econômicos. Os projetistas devem determinar o layout geral do projeto, incluindo o arranjo geral e a compatibilidade espacial dos componentes. Além disso, devem ser elaborados projetos preliminares que abordem as formas e materiais dos componentes. Caso seja aplicável, também devem ser considerados os processos de produção envolvidos na fabricação do produto.

O layout geral do projeto envolve a disposição adequada dos componentes dentro do produto, levando em consideração fatores como espaço disponível, eficiência de funcionamento, acessibilidade e requisitos de segurança. Os projetos preliminares abrangem a definição das formas e materiais dos componentes, levando em consideração critérios estéticos, funcionais e de desempenho.

Além disso, é importante considerar os processos de produção durante a fase de desenvolvimento do projeto. Isso envolve analisar as técnicas e tecnologias de fabricação disponíveis, os custos associados, a viabilidade em larga escala e outros aspectos

relacionados à produção eficiente do produto. Ao levar em consideração esses critérios técnicos e econômicos durante o desenvolvimento do projeto, os projetistas podem garantir a eficácia, a viabilidade e a eficiência do produto, além de otimizar a relação custo-benefício.

3.5.2 Projeto detalhado.

Nesta fase, será compilada toda a documentação relacionada ao projeto, incluindo desenhos técnicos, seleção de materiais, procedimentos de fabricação, recomendações de operação e fabricação, entre outros aspectos relevantes para o projeto. Essa documentação é essencial para comunicar de forma clara e precisa todas as informações necessárias para a implementação do projeto.

No presente trabalho, será apresentada uma prévia dessa documentação, que oferece uma visão geral dos elementos essenciais do projeto. É importante ressaltar que a versão apresentada neste artigo não é o projeto definitivo, mas serve como uma demonstração preliminar dos documentos que serão desenvolvidos de forma mais abrangente.

Através dessa prévia documentação, busca-se fornecer uma compreensão inicial do projeto, suas características técnicas, os materiais selecionados, os processos de fabricação recomendados, bem como diretrizes para operação e fabricação. Isso permite que os leitores tenham uma visão geral do projeto e possam avaliar sua viabilidade e potencial implementação.

No entanto, é importante destacar que a versão final da documentação será desenvolvida de acordo com os requisitos e considerações específicas do projeto, levando em conta os resultados de análises mais detalhadas e refinadas

3.6 Avaliação.

A fase atual do projeto tem como objetivo realizar uma avaliação abrangente de todo o trabalho realizado nas etapas anteriores, bem como realizar os últimos testes de simulação e funcionalidade do código desenvolvido. Nessa etapa, serão analisados os resultados obtidos, considerando os objetivos propostos e as metas estabelecidas.

Os testes de simulação são essenciais para verificar o desempenho do projeto em diferentes cenários e condições. Eles permitem identificar eventuais problemas, avaliar a eficácia das soluções propostas e realizar ajustes necessários para otimizar o desempenho

do sistema. Além disso, a avaliação da funcionalidade do código é fundamental para garantir que o software desenvolvido atenda aos requisitos e funcionalidades esperados. Nessa etapa, são realizados testes detalhados para verificar se o código está funcionando corretamente, se atende às especificações técnicas e se é capaz de realizar as tarefas propostas de maneira adequada.

Os resultados e considerações obtidos nessa fase de avaliação e testes serão apresentados nas conclusões deste trabalho. Essa seção resumirá os principais achados, destacará os sucessos e desafios enfrentados durante o projeto e fornecerá recomendações para melhorias futuras.

3.7 Comunicação.

Após a conclusão de todas as fases anteriores, é fundamental divulgar o trabalho à comunidade científica. Essa disseminação do conhecimento será realizada por meio da publicação deste artigo em uma revista científica pelo Springer que é indexada na Scopus do “CNB 2023” e por fim, a apresentação da dissertação de mestrado.

3.8 SOLIDWORKS

O SOLIDWORKS é um software de modelagem paramétrica amplamente utilizado na indústria, mas também possui aplicações no contexto clínico. No campo da medicina, o SOLIDWORKS é utilizado para o desenvolvimento e projeto de dispositivos médicos, próteses, implantes e instrumentos cirúrgicos (Nguyen, T. H., 2019).

Com o software, é possível criar modelos 3D detalhados e precisos de dispositivos médicos, permitindo que os profissionais da área avaliem a funcionalidade, o encaixe e a ergonomia desses dispositivos antes da fabricação. Além disso, o software oferece recursos avançados de simulação, permitindo a análise de tensões, movimentos e fluxos de fluidos, o que contribui para a melhoria do desempenho e da segurança dos dispositivos médicos (Aldridge, S. 2016).

A utilização do SOLIDWORKS no contexto clínico proporciona benefícios como redução de custos e tempo no processo de design e fabricação, maior precisão na produção de dispositivos personalizados e a possibilidade de testar diferentes cenários antes da implementação clínica. Essa abordagem auxilia no desenvolvimento de soluções inovadoras e seguras para o campo da saúde (Aldridge, S. 2016).

3.9 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de prototipagem amplamente adotada na área clínica para o desenvolvimento de dispositivos médicos e sistemas de monitoramento. Sua natureza de código aberto e a combinação de hardware acessível tornam o Arduino uma escolha popular entre os profissionais de saúde que desejam criar soluções personalizadas e inovadoras.

Na prática clínica, o Arduino tem sido aplicado na criação de dispositivos de monitoramento de sinais vitais, como frequência cardíaca, pressão arterial e temperatura corporal. Além disso, é possível desenvolver sistemas de monitoramento remoto e dispositivos de assistência médica, como braços robóticos para auxiliar em procedimentos cirúrgicos.

A utilização do Arduino oferece vantagens como baixo custo, flexibilidade e facilidade de integração com outros sistemas de saúde. Sua natureza de código aberto também promove a colaboração e o compartilhamento de conhecimento entre os profissionais de saúde.

No entanto, é importante destacar que o uso do Arduino na área clínica requer atenção às regulamentações e normas de segurança, garantindo que os dispositivos desenvolvidos atendam aos requisitos de qualidade e segurança necessários para uso clínico.

Capítulo 4

4 Resultados

4.1 Determinação das tarefas

O projeto é iniciado com uma revisão analítica da literatura, que inclui a coleta de dados sobre instrumentos laparoscópicos e o estudo de metodologias de desenvolvimento de produtos. Essas atividades são realizadas em conformidade com a justificativa e a revisão bibliográfica apresentadas neste trabalho.

Com base nas informações obtidas, foi elaborada uma lista de especificações para o produto, seguindo a abordagem proposta por Pahl e Beitz (2007). Essa lista foi dividida em requisitos obrigatórios e desejos dos utilizadores, sendo que estes últimos não são necessariamente obrigatórios para o funcionamento do produto. (Virtuozo. Fernanda, 2021).

Os requisitos obrigatórios foram selecionados com base nas informações encontradas na literatura, abrangendo os princípios ergonômicos considerados fundamentais e indispensáveis para um produto ergonomicamente satisfatório. Os desejos dos utilizadores foram identificados também na literatura e representam requisitos que, embora não sejam essenciais, podem trazer benefícios adicionais aos utilizadores. Portanto, foi elaborada uma lista de especificações do produto, apresentada na Tabela 3, na qual os requisitos obrigatórios e os desejos dos utilizadores foram claramente discriminados. (Virtuozo. Fernanda, 2021).

Tabela 3- Lista de requisitos

| Requisitos Obrigatórios | Desejos dos utilizadores |
|--|--|
| O instrumento deve possuir dois componentes de controle independentes; | O controle deve ser feito apenas por uma mão, mas o design deve ser simétrico para possibilitar a utilização do dispositivo com ambas as mãos; |

| | |
|--|--|
| O movimento dos dedos, mãos e pulsos deve permanecer dentro dos limites permitidos, o que implica que o ângulo entre o eixo e o manípulo estejam entre 14 e 50°; | Deve possibilitar o uso para vários tamanhos de mão; |
| O controle dos componentes deve ser feito pelos dedos e/ou pelo polegar; | O manípulo deve ser adaptável para uma ou mais aplicações; |
| Se presente, a abertura da garra não deve exceder 80 mm, o anel deve ter pelo menos 30 cm de diâmetro, a circunferência da garra deve ser de pelo menos 130 mm e as alavancas devem uma área de contato de no mínimo 120 mm ² ; | A forma da seção transversal pode ser retangular ou cilíndrica, a retangular permite uma pega melhor, mas a cilíndrica é a mais confortável; |
| Os meios de controle devem ser intuitivos e autoexplicativos; | O formato tipo pistola pode ser utilizado, pois se trata de um modelo mais confortável conforme apontado pela literatura. |
| Aparência profissional e confiável, de acordo com os usuários e o ambiente de trabalho.; | O manípulo deve possuir um ângulo de 135° entre o cabo e o eixo de comando, para permitir o posicionamento da mão na posição neutra. |
| Um manípulo estável quando operado utilizando luvas de látex; | O dispositivo deve possibilitar que a pega seja feita com as palmas das mãos. |

Fonte:(Fernanda Virtuoso, 2021).

4.2 Árvore de projeto

Nesta etapa do processo, foi desenvolvida a estrutura hierárquica em forma de árvore do projeto, visando apoiar o projetista na análise abrangente do sistema e na identificação de suas principais funções. Por meio da estrutura de árvore do projeto, os sistemas, subsistemas e componentes do produto foram desagregados e categorizados de maneira sistemática. A representação visual da árvore do projeto é apresentada na Figura 12.

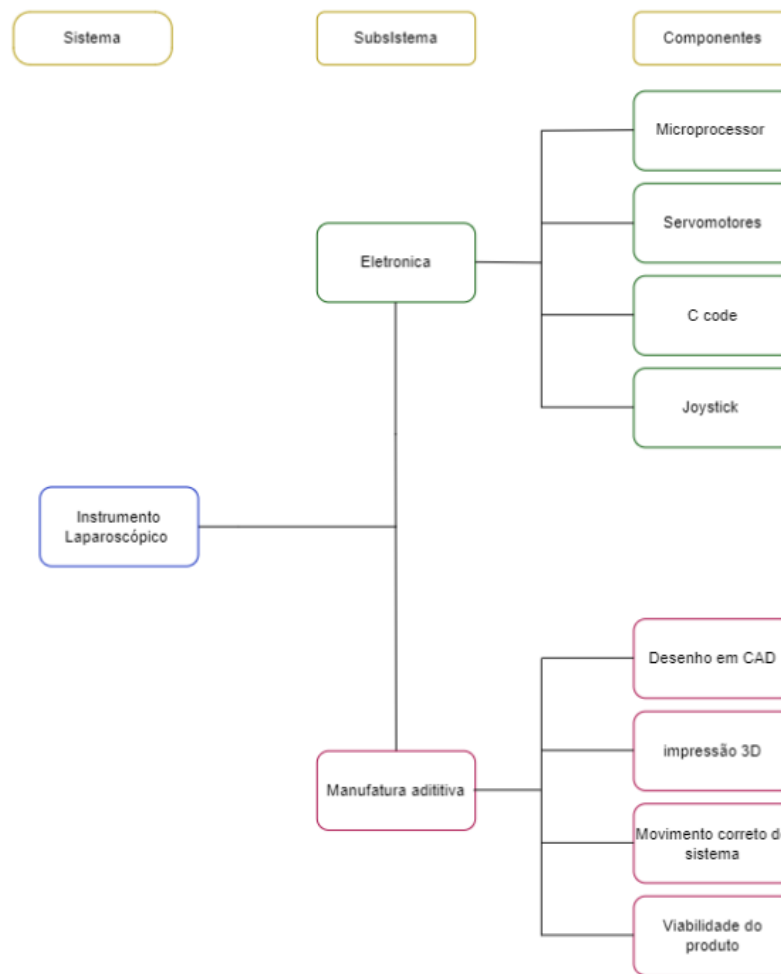


Figura 12-- Árvore de projeto do instrumento laparoscópico.

Fonte: (Autoría Propria).

Essa abordagem da árvore do projeto é de extrema importância, uma vez que permite ao projetista compreender e analisar a inter-relação entre os diferentes sistemas, subsistemas e componentes. Isso facilita a detecção de eventuais questões a serem resolvidas ou melhorias a serem implementadas. Além disso, essa estrutura oferece uma base organizacional para a comunicação e colaboração efetivas entre os membros da equipe de projeto, fornecendo uma representação visual clara e estruturada do projeto.

Em suma, a estrutura hierárquica da árvore do projeto é uma ferramenta essencial para o projetista, uma vez que possibilita uma análise abrangente e sistemática de todos os elementos envolvidos no projeto. Ela assegura que todos os aspectos sejam considerados de forma adequada durante o processo de desenvolvimento.

4.3 Realização do projeto: Protótipo

Os primeiros protótipos foram desenvolvidos levando em consideração as informações coletadas nas fases anteriores do projeto. Essas informações incluíram as especificações do produto, a árvore de projeto, a árvore de funções e as análises realizadas sobre os instrumentos laparoscópicos existentes no mercado.

Com base nessas informações, foi possível iniciar o processo de criação dos protótipos. Esses protótipos serviram como uma representação física inicial do instrumento laparoscópico, permitindo a visualização e avaliação de suas características e funcionalidades.

Os protótipos foram desenvolvidos utilizando técnicas e ferramentas apropriadas, como modelagem 3D, impressão em 3D e montagem de componentes. Essa abordagem possibilitou a criação de modelos físicos que se assemelham ao produto final desejado, permitindo realizar testes preliminares de funcionamento, ergonomia e usabilidade.

Durante essa fase de desenvolvimento dos protótipos, foram feitas iterações e ajustes conforme necessários, com base nas avaliações e feedbacks obtidos. Essas iterações permitiram aprimorar e refinar o projeto, identificando possíveis melhorias e solucionando problemas ou limitações encontradas nos protótipos iniciais.

Os primeiros protótipos desempenharam um papel fundamental no processo de desenvolvimento do instrumento laparoscópico, fornecendo uma base tangível para avaliação e validação das soluções propostas. Com base nos resultados obtidos nessa fase, foi possível avançar para etapas subsequentes, como o refinamento do design, a fabricação de protótipos mais avançados e os testes mais detalhados de desempenho e segurança.

Em resumo, os protótipos foram desenvolvidos como parte integrante do processo de projeto do instrumento laparoscópico, com o objetivo de transformar as informações e conceitos em uma forma física tangível que pudesse ser avaliada e aprimorada ao longo do desenvolvimento.

4.3.1 Desenhos SolidWorks

O SolidWorks permite a criação de listas de materiais, chamadas de "BOM" (Bill of Materials), que fornecem uma visão geral dos componentes e quantidades necessárias para a fabricação do produto. Essas listas podem ser atualizadas automaticamente conforme as alterações são feitas no modelo 3D, facilitando o controle e a organização das informações.

Com a capacidade de criar desenhos detalhados e precisos, o SolidWorks desempenha um papel fundamental no processo de projeto e fabricação, auxiliando na comunicação eficiente

entre os profissionais envolvidos e garantindo a produção de peças e montagens de alta qualidade e conformidade com os requisitos técnicos.

4.3.2 Impressão das peças

A escolha do filamento PLA para a impressão das peças iniciais também foi fundamentada em critérios técnicos e econômicos. O PLA, ou ácido polilático, é um polímero termoplástico derivado de recursos renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar. Ele é amplamente utilizado na impressão 3D devido às suas propriedades mecânicas satisfatórias, facilidade de impressão e baixo odor durante o processo.

Assim como o ABS, o PLA é conhecido por sua acessibilidade econômica em relação a outros materiais de impressão, o que o torna uma opção atraente para projetos iniciais. Além disso, o PLA é considerado mais amigável ao meio ambiente, pois é biodegradável e compostável.

Ao optar pelo uso do filamento PLA, também foram consideradas as oportunidades de realizar um estudo e avaliação dos potenciais dificuldades associadas a esse material durante o processo de impressão 3D. O PLA pode ser sensível a certos parâmetros de impressão, como temperatura e velocidade de impressão, podendo apresentar problemas como *warping* (deformação das peças) e baixa resistência a impactos.

A escolha do PLA permitiu a identificação e resolução de possíveis desafios relacionados à impressão 3D, além de proporcionar uma compreensão mais aprofundada dos fatores críticos que afetam a qualidade e a precisão das peças impressas em PLA. Isso também permitiu o desenvolvimento de soluções e estratégias para otimizar o processo de impressão e obter resultados mais satisfatórios.

Conforme mencionado anteriormente, é importante ressaltar que a seleção do filamento pode variar de acordo com os requisitos específicos do projeto e as preferências do fabricante. À medida que o desenvolvimento avança, é possível considerar outras opções de materiais ou filamentos mais adequados para atender às necessidades específicas do instrumento laparoscópico, levando em consideração critérios científicos e técnicos mais aprofundados.

O protótipo foi impresso utilizando uma impressora Ultimaker 3, levando um total de 21 horas e 45 minutos para ser concluído, incluindo todas as etapas do processo.

É importante destacar que o tempo de impressão pode variar dependendo do tamanho, complexidade e detalhes do modelo, bem como das configurações de impressão selecionadas. Cada projeto pode ter exigências únicas que afetam a duração do processo de impressão.

Ao considerar a impressão 3D de protótipos ou peças finais, é essencial levar em conta o tempo de impressão, juntamente com outros fatores, como qualidade, resistência, precisão e custo, a fim de tomar uma decisão informada sobre o material e as configurações de impressão a serem utilizadas.

4.3.3 Primeiro modelo do protótipo interno

No desenvolvimento inicial do projeto, com base em um modelo existente, foram identificadas questões a serem solucionadas, como a fixação adequada dos servos motores para garantir os movimentos necessários. Para abordar essas questões, foi decidido desenvolver dois componentes específicos: duas peças para fixação do servo motores, para realizar o movimento de abrir e fechar da pinça e duas engrenagens para o movimento de rotação. Esses componentes foram fabricados utilizando a tecnologia de impressão 3D e fixados em uma caixa como mostra a figura 13.

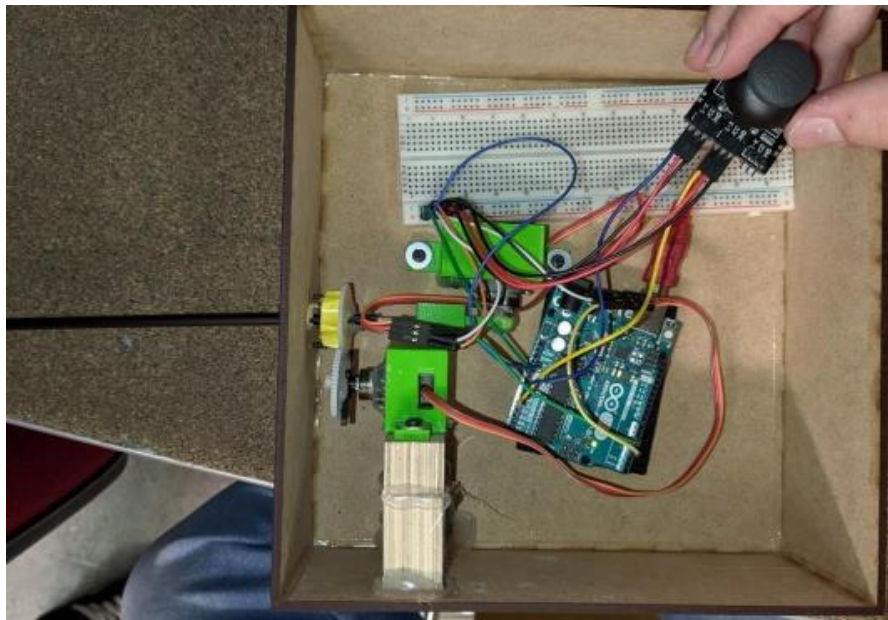


Figura 13-Primeiro protótipo.

Fonte: (Autoria Propria).

Essa abordagem permitiu realizar testes e avaliações mais precisas do sistema, possibilitando a identificação e correção dos problemas existentes. Os testes ajudam a verificar a eficiência e a funcionalidade dos componentes impressos em 3D, além de avaliar a adequação da fixação na caixa.

Essa etapa de testes e avaliações é fundamental para garantir o bom funcionamento do instrumento laparoscópico e para realizar ajustes necessários no projeto. A identificação e

correção de problemas contribuem para o aprimoramento contínuo do sistema, visando atender aos requisitos de desempenho, segurança e ergonomia.

No entanto, a uma desvantagem da abordagem anterior, que não oferecia um encapsulamento completo e resultava em vibrações e ruídos severos, portanto, foi tomada a decisão de desenvolver um novo modelo mais compacto. O objetivo dessa nova abordagem é alcançar resultados mais satisfatórios em termos de estabilidade, funcionalidade e redução de ruídos indesejados.

4.3.3 Segundo modelo do protótipo interno

Foi considerada a utilização de uma estrutura única para a fixação de todos os componentes do instrumento laparoscópico, proporcionando maior integração e estabilidade ao sistema. Essa estrutura foi projetada de forma a abrigar adequadamente todos os elementos necessários para o funcionamento do instrumento.

Para o movimento de rotação, está sendo contemplada a utilização de engrenagens. As engrenagens são dispositivos mecânicos que permitem transmitir o movimento rotativo de uma parte para outra de forma precisa e eficiente. Ao incorporar engrenagens no projeto, busca-se assegurar um movimento de rotação suave e controlado, contribuindo para a precisão e funcionalidade do instrumento.

Já para o movimento de abrir e fechar, foi concebido o uso de um pistão. O pistão é um componente que permite transformar o movimento linear em movimento rotativo. Essa abordagem é pensada para proporcionar um movimento de abertura e fechamento da pinça de forma adequada e controlada, possibilitando a manipulação dos tecidos durante os procedimentos laparoscópicos. A figura 14, mostra o protótipo projetado em CAD e impresso, para passar para fase seguinte da fixação na caixa.

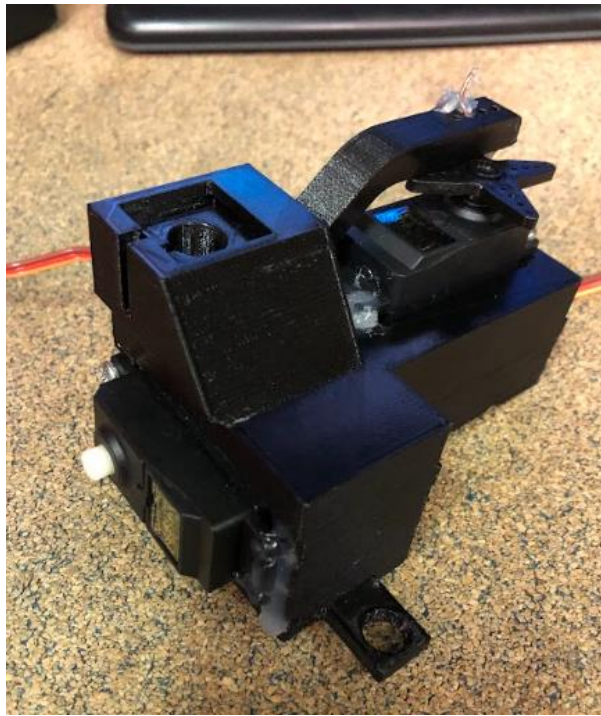


Figura 14- Segundo modelo do protótipo.

Fonte: (Autoria Propria).

O novo modelo mais compacto buscava solucionar a limitação do encapsulamento incompleto, garantindo que todos os componentes do instrumento laparoscópico estejam devidamente protegidos e isolados. Isso contribui para minimizar as vibrações e os ruídos gerados durante o funcionamento do sistema, proporcionando um ambiente de trabalho mais tranquilo e seguro para os profissionais médicos.

Além disso, o novo modelo compacto pode oferecer vantagens adicionais, como facilitar o manuseio e o transporte do instrumento, além de ocupar menos espaço durante o armazenamento.

A busca por resultados mais satisfatórios e aprimoramentos contínuos no projeto são fundamentais para garantir a eficiência e a qualidade do instrumento laparoscópico. A fabricação do novo modelo mais compacto é um passo importante nessa direção, visando oferecer um instrumento de alta performance, ergonômico e confiável para uso médico.

Após testar o novo modelo do protótipo, foram identificadas algumas pequenas falhas relacionadas à estabilidade do cabo do instrumento laparoscópico. Diante dessas observações, surgiu a ideia de desenvolver um terceiro modelo que solucionasse essa questão.

4.3.4 Terceiro modelo do protótipo interno

No terceiro modelo, a proposta era integrar o cabo diretamente na peça projetada, proporcionando uma conexão mais sólida e estável. Essa abordagem permitiria eliminar as

flutuações indesejadas do cabo durante o uso do instrumento, melhorando a precisão e o controle durante os procedimentos laparoscópicos.

Ao incorporar o cabo na própria peça projetada, esperava-se obter uma estrutura mais robusta e segura, minimizando qualquer movimento indesejado. Essa modificação contribuiria para a estabilidade geral do instrumento e proporcionaria uma experiência mais confiável para os profissionais médicos que o utilizam com objetivo de garantir que o instrumento laparoscópico atenda aos mais altos padrões de qualidade, eficiência e segurança exigidos pela área da saúde.

A figura, foi desenvolvida uma base que inclui um suporte de fixação específico para o cabo. Essa base foi projetada para fornecer uma plataforma estável e segura.

Em seguida, na figura 15, uma nova abordagem foi adotada, onde todos os componentes foram integrados em uma única peça. Essa peça unificada inclui tanto a base quanto os suportes necessários para fixar os demais componentes do protótipo.

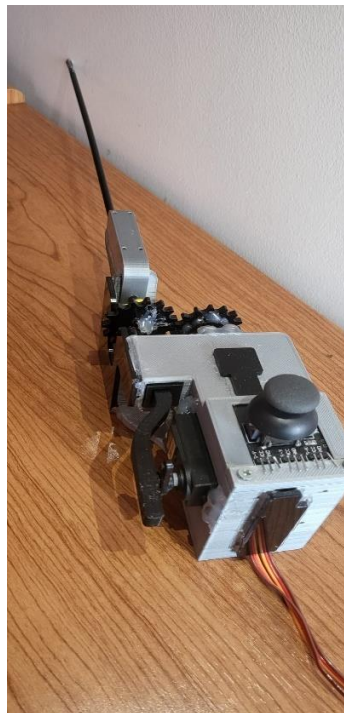


Figura 15- Protótipo finalizado.

Fonte: (Autoria Propria).

Com essa nova configuração, todos os componentes foram posicionados e fixados de forma adequada dentro do protótipo. Isso inclui os elementos responsáveis pelo movimento de rotação, como as engrenagens, bem como os dispositivos relacionados ao movimento de abrir e fechar, como o pistão.

Ao combinar todos os componentes em uma única peça e garantir sua fixação adequada, esperava-se melhorar a estabilidade e a funcionalidade geral do protótipo. Essa abordagem visou solucionar as falhas identificadas nas iterações anteriores, proporcionando um instrumento laparoscópico mais confiável e eficiente.

Após a finalização do protótipo, foram realizados testes de eletrônica para verificar o funcionamento dos componentes e identificar possíveis melhorias. Durante esses testes, percebeu-se que era necessário aumentar a força aplicada pelo pistão para abrir e fechar a pinça de forma mais eficiente.

Para solucionar esse problema, uma abordagem foi adotada. Inicialmente, foi realizado o desenho do novo design no software de CAD (Computer-Aided Design). Esse desenho levou em consideração os requisitos de força e funcionalidade desejados para o pistão.

Em seguida, o desenho foi convertido em um arquivo adequado para o processo de corte a laser. Utilizando um material acrílico, o novo componente foi cortado com precisão, garantindo sua conformidade com as especificações do projeto. Na figura 16 mostra o modelo da peça projetada para ser fabricada através do corte a laser.

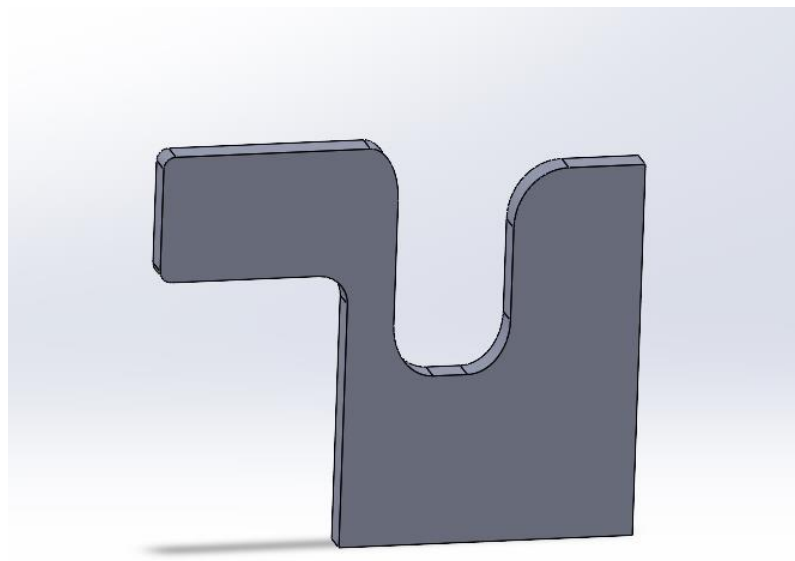


Figura 16- Peça final para fixação no protótipo

Fonte: (Autoria Própria).

Essa nova peça, projetada para aumentar a força aplicada pelo pistão, foi então integrada ao protótipo. Com essa modificação, houve melhoria no desempenho do instrumento laparoscópico, proporcionando uma abertura e fechamento mais eficientes da pinça.

4.4 Funcionamento e eletrônica

Após a montagem do protótipo interno, foi desenvolvido um sistema eletrônico para permitir que o mesmo desempenhasse suas funções designadas. Esse sistema é composto por quatro partes principais: um servo motor, uma placa ESP32, o software Arduino IDE e uma fonte de alimentação.

A primeira parte, o servo motor, é responsável pela componente mecânica do sistema, ou seja, pela execução do movimento necessário para o funcionamento do protótipo.

O software Arduino IDE desempenha um papel crucial no sistema, pois é responsável por gerenciar os dados recebidos e transmitir as funções solicitadas pelo usuário que está controlando o protótipo. Ele atua como o intermediário entre o usuário e a placa ESP32.

A placa ESP32 compõe o sistema de controle eletrônico do protótipo. Ela é responsável por receber os comandos do software Arduino IDE e controlar o servo motor de acordo com esses comandos. A placa ESP32 possui recursos de conectividade e processamento que a tornam adequada para essa finalidade.

Por fim, a fonte de alimentação é responsável por fornecer energia para todo o sistema eletrônico. Ela garante que o protótipo tenha a energia necessária para o funcionamento adequado do servo motor, da placa ESP32 e do software.

Com essa configuração, o sistema eletrônico é capaz de controlar o movimento do protótipo interno, permitindo que ele desempenhe suas funções conforme projetado. Na figura 17 e demonstrado toda conectividade do sistema aos componentes eletrônicos.

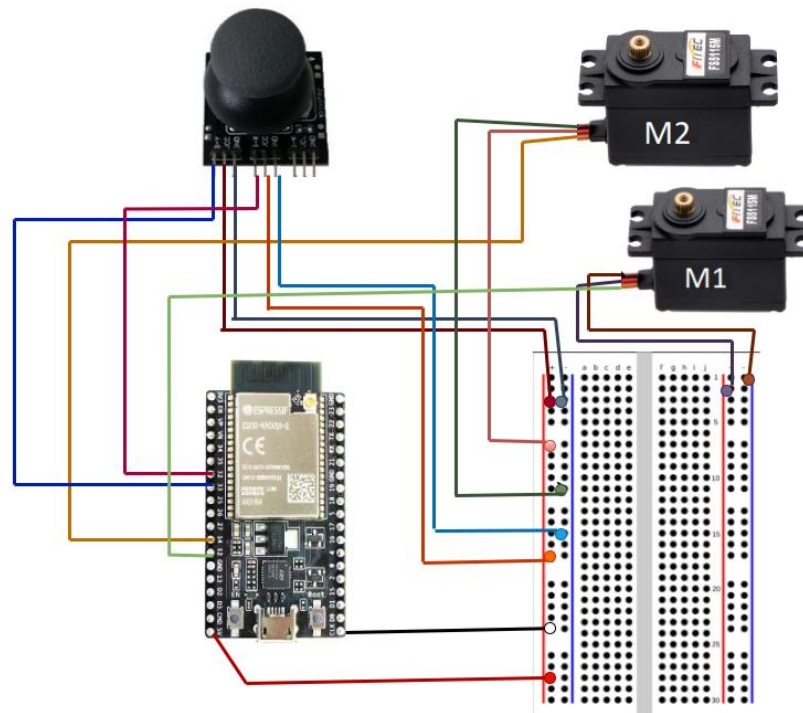


Figura 17-Representação esquemática do sistema

Fonte: (Autoria Própria).

Após uma busca incansável pelo funcionamento do código no software Arduino, observou-se a necessidade de realizar uma derivada na equação da velocidade. Essa observação surgiu como uma forma de aprimorar o controle e a precisão do movimento do motor, levando em consideração as variações instantâneas do input analógico fornecido pelo joystick.

Ao incorporar a derivada na equação da velocidade, é possível obter uma resposta mais dinâmica e responsiva do motor, adaptando-se de maneira mais eficiente às mudanças no input do joystick. Essa abordagem contribui para uma maior suavidade e fluidez nos movimentos realizados pelo motor, proporcionando uma experiência mais satisfatória para o usuário.

A inclusão da derivada na equação da velocidade representa um refinamento do código e uma otimização do sistema de controle, permitindo uma melhor correspondência entre as ações do joystick e as respostas do motor. Essa implementação demonstra o compromisso em buscar soluções aprimoradas e aperfeiçoar o funcionamento do código, garantindo um desempenho mais preciso e eficiente do sistema como um todo.

```
68  if(entrada > Zonaderuido) {
69      displacement = (entrada * Mutiplicadordevelocidade) / Valormaxanlg ;
70      saida = saida + displacement; //derivando a velocidade- equação da velocidade
71      if(saida > Limitemaximoservo) {
72          saida = Limitemaximoservo;
73      }
74  }
75  if(entrada < - Zonaderuido) {
76      displacement = (entrada * Mutiplicadordevelocidade) / Valormaxanlg2; //deslocamento e a variação de espaço = velocidade
77      saida = saida + displacement;
78      if(saida < Limiteminimoservo) {
79          saida = Limiteminimoservo;
80  }
```

Figura 18- Parte do código Utilizado

Fonte: (Autoria Própria).

A figura 18, detalhe que durante a implementação do código, foi necessário realizar um mapeamento do input para a velocidade em vez da posição. Em cada iteração do loop, a posição do motor é atualizada com base na posição anterior somada à velocidade calculada a partir do input analógico. Por exemplo, no início do código, o motor está na posição 70 e o joystick está no centro, resultando em uma velocidade de 0 e mantendo o motor parado. Se movimentarmos o joystick para um dos lados, a velocidade será definida, por exemplo, como 3. Isso fará com que a posição do motor seja atualizada a cada iteração: $70 + 3 = 73$ na primeira iteração, $73 + 3 = 76$ na segunda iteração e assim por diante. Enquanto o joystick permanecer na mesma direção, a velocidade continuará sendo adicionada a cada iteração, resultando em um deslocamento contínuo do motor.

Quando o joystick for solto e voltar ao centro, a velocidade será definida como 0, fazendo com que a posição do motor permaneça a mesma em cada iteração subsequente (posição anterior + velocidade = posição atual). Esse comportamento é mantido até que o joystick seja movimentado novamente. Se o joystick for movido para o lado oposto, a velocidade se tornará negativa, levando a uma diminuição da posição do motor a cada iteração.

Essa abordagem permite controlar a velocidade e a direção do motor com base no input do joystick, proporcionando um movimento fluido e adaptativo. Essa dinâmica é essencial para garantir um controle preciso e responsivo do motor, adequado para aplicações que requerem ajustes finos e contínuos.

Capítulo 5

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusão

Com base em uma ampla revisão da literatura científica, foi verificado que a substituição do modelo original por um novo modelo eletrônico é viável. O modelo proposto utiliza um joystick para controlar o movimento, que é programado em um microprocessador ESP32 responsável por enviar os comandos aos servomotores para executar as ações desejadas. O protótipo desenvolvido neste estudo foi dimensionado em uma escala maior, permitindo a realização de testes eletrônicos.

Por meio dos testes realizados nos protótipos, foi possível identificar e corrigir falhas, limitações e problemas de design, garantindo que o instrumento laparoscópico atendesse aos requisitos de desempenho, segurança e ergonomia. As iterações e ajustes realizados durante o desenvolvimento dos protótipos desempenharam um papel fundamental no refinamento do projeto e na melhoria contínua do produto.

No entanto, para futuras pesquisas, é necessário explorar uma nova abordagem para implementar o protótipo em escalas menores, de maneira mais formal e eficiente. Essa abordagem será essencial para viabilizar a aplicação do modelo em diferentes contextos e impulsionar avanços significativos no campo de estudo.

A implementação em escalas menores permitirá uma maior portabilidade e facilidade de uso do instrumento, ampliando suas possibilidades de aplicação clínica. Além disso, uma abordagem mais formal e eficiente possibilitará a otimização dos componentes eletrônicos, resultando em um dispositivo mais compacto, preciso e confiável.

Portanto, a substituição do modelo original por um novo modelo eletrônico, com a devida consideração para sua implementação em escalas menores de forma mais formal e eficiente, apresenta perspectivas promissoras para avanços no campo de estudo. Isso contribuirá para o desenvolvimento de instrumentos laparoscópicos mais avançados e eficazes, beneficiando a prática médica e melhorando os resultados clínicos.

5.2 Trabalhos futuros

A partir do protótipo virtual desenvolvido neste trabalho, abre-se a possibilidade de criar protótipos físicos por meio da impressão 3D dos modelos. Esses protótipos podem ser utilizados para realizar testes clínicos e avaliar o desempenho do instrumento laparoscópico em situações reais. Dessa forma, uma série de estudos podem ser conduzidos para aprimorar o projeto e otimizar o seu funcionamento.

Alguns exemplos de estudos que podem ser realizados com os protótipos físicos incluem:

1. Avaliação do tamanho do protótipo em relação aos diferentes tamanhos de mãos dos cirurgiões: É importante garantir que o instrumento seja ergonomicamente adequado para ser utilizado por cirurgiões com mãos de diferentes tamanhos, de modo a proporcionar conforto e precisão durante as intervenções.

2. Análise das forças de manipulação: Serão realizados testes para avaliar as forças necessárias para manipular o instrumento, incluindo a abertura e fechamento da pinça. Isso ajudará a determinar se as forças requeridas são adequadas e se o sistema permite um controle preciso durante a operação.

3. Análise do posicionamento das mãos: Será verificado o posicionamento das mãos dos cirurgiões durante a utilização do instrumento, buscando identificar possíveis desconfortos ou restrições de movimento que possam afetar a destreza e a precisão.

4. Testes do engrenagens: realizados testes para avaliar a eficiência e a durabilidade das engrenagens utilizadas no sistema de rotação. Isso garantirá que o movimento de rotação seja suave e confiável, evitando desgastes excessivos ou falhas prematuras.

5. Automação do acionamento do manípulo e adição de graus de liberdade para a pinça: Serão exploradas possibilidades de automatizar o acionamento do manípulo, visando proporcionar um controle mais preciso e intuitivo. Além disso, será estudada a viabilidade de adicionar graus de liberdade à pinça, permitindo movimentos mais complexos e versáteis.

Além dos estudos mencionados, será necessário realizar uma seleção adequada de materiais para todos os componentes do sistema, levando em consideração fatores como resistência, durabilidade, biocompatibilidade e custo. Também será importante adaptar as equações da modelagem analítica do engrenamento para o material selecionado, garantindo uma análise precisa e confiável.

Por fim, será necessário realizar uma análise econômica abrangente, considerando os custos de fabricação, materiais, manutenção e outros aspectos relacionados ao desenvolvimento

e utilização do instrumento laparoscópico. Essa análise permitirá avaliar a viabilidade econômica do projeto e auxiliar na tomada de decisões estratégicas.

REFERENCIAS

Alabdulwahab, S. S., et al. (2019). Ergonomic Considerations in the Design of Surgical Instruments: A Review. *Surgical Innovation*, 26(6), 767-777.

Aldridge, S. (2016). Using SolidWorks in the Design of Medical Devices. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 1240-1248).

Almeida, M. (2002). História da Laparoscopia. *Acta Urológica*, edição especial, 9–10. <http://www.apurologia.pt/acta/2-2002/Historia-lap.pdf>

Ballantyne, G. H., & Moll, F. (2003). The da Vinci telerobotic surgical system: The virtual operative field and telepresence surgery. *Surgical Clinics of North America*, 83(6), 1293–1304. [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(03\)00164-6](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(03)00164-6)

Beldi, G., et al. (2007). Laparoscopic Scissors: Materials, Designs, and Performance. *Surgical Innovation*, 14(3), 190-195.

Beyer, «Strategic implications of current trends in additive manufacturing», *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 136, n.º 6, p. 064 701, 2014.

Carayon, P. (2011). *Handbook of human factors and ergonomics in health care and patient safety*. CRC Press.

CARRO, L.; WAGNER, F. Sistemas Computacionais Embarcados. In: *Jornadas de Atualização em Informática*. Campinas, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2003. P.45-94.

Champault, G., & Cazacu, F. (1996). Tres anos de experiencia na aplicação da videolaparoscopia na cirurgia digestiva. In *Arquivos de gastroenterologia* (Vol. 33, No. 1, pp. 32-37).

Chauvin, C., et al. (2017). Applying ergonomics principles to the design of medical devices. *Applied Ergonomics*, 58, 175-183.

Cuschieri, A., 2005. Laparoscopic surgery: current status, issues and future developments. *The Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*, 3(3), pp.125–138. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S1479-666X\(05\)80032-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1479-666X(05)80032-0).

D'Alessio, A., et al. (2019). Minimally invasive surgery: Historical perspective. *Journal of Minimal Access Surgery*, 15(1), 1-3.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. *Java - Como programar*. [S.l.]: Pearson Universidades, 2010. Citado na página 25.

Di Lorenzo, N., et al. (2020). Minimally invasive surgery: Current status and future perspectives. *Updates in Surgery*, 72(2), 369-374.

Dr. Gilberto L. Galloso Cueto, Dr. Abel Lantigua Godoy, D. S. C. C. (2012). Instrumental básico y especializado en la colecistectomía video laparoscópica. 34(1), 1684–1824. <http://www.revmatanzas.sld.cu/revista medica/ano 2012/vol1 2012/tema08.htm>

H. Lipson e M. Kurman, *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons, 2013.

Hacking, R. & Doyle, P.W., 2006. Anaesthesia and minimally invasive procedures. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 7(2), pp.43–46. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1472029906001949>.

IBRAHIM, Dragan. *The Complete ESP32 Projects Guide*. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017. Citado na página 23.

Jones, S.B. & Jones, D.B., 2001. Surgical aspects and future developments of laparoscopy. *Anesthesiology Clinics of North America*, 19(1), pp.107–124.

Kehlet, H., et al. (2020). Enhanced recovery after surgery (ERAS) for gastrointestinal surgery, part 2: Consensus statement for anaesthesia practice. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 64(3), 289-307.

KOLBAN, Neil. Kolban's book on ESP32. [S.l.]: Leanpub, 2018.

Lister, J. (1867). On the Antiseptic Principle in the Practice of Surgery. *British Medical Journal*, 2(354), 246-248.

Liu, Z., et al. (2021). Current status and future perspectives of robotic surgery in urology. *Translational Andrology and Urology*, 10(6), 2715-2733.

Lopes, M. R., et al. (2021). Minimally invasive surgery in gastrointestinal oncology: The state of the art. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*, 13(4), 315-331.

Louro, M.M., 2011. Cirurgia laparoscópica vs cirurgia convencional: custos em saúde. Universidade da Beira Interior, pp.1–43.

Metabólica, A. brasileira de cirurgia bariátrica e. (2016). A inovação da cirurgia laparoscópica. Associação Brasileira de Cirurgia Bariátrica e Metabólica.

Mishra, R. K., & Saha, P. K. (2014). Laparoscopic trocar site hernia: An overview. *Journal of Minimal Access Surgery*, 10(2), 59-64.

Mouret, P. (1992). From the First Laparoscopic Cholecystectomy to the Frontiers of Laparoscopic Surgery: The Future Prospects. *Digestive Surgery*, 9(1), 40-41.

Muysoms, F. E., et al. (2019). European Hernia Society guidelines on laparoscopic (TAPP) and endoscopic (TEP) treatment of inguinal hernia. *Hernia*, 23(5), 893-1067.

National Institute for Health and Care Excellence. (2019). Laparoscopic surgery for the treatment of colorectal cancer: NICE guideline [NG27]. Retrieved from <https://www.nice.org.uk/guidance/ng27>

Nguyen, T. H., et al. (2019). *Medical Device Design and Prototyping: Using SolidWorks and 3D Printing*. CRC Press.

NurseFrontier, What Is Trendelenburg Position And Reverse Trendelenburg Position? Available at: <http://www.nursefrontier.com/what-is-trendelenburg-position-and-reverse-trendelenburg-position-definition-and-explanation/> [Accessed March 1, 2016].

P, Flavia. *Ergonomia na Cirurgia Laparoscópica – Avaliação e Análise de Esforços*-Tese de Mestrado-2016

Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design* (3rd ed.). Springer-Verlag.

PEREIRA, Silvio do Lago. *Estruturas de Dados em C. Uma Abordagem Didática*. [S.l.]: Érica, 2015. Citado na página 25.

Pinto, R. S., Junior, R. A. R., & Fontenelle, M. A. M. (2014). A ergonomia no processo de desenvolvimento de produtos: estudo e avaliação no projeto de um porta-esmalte. XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_199_129_23464.pdf

Ramacciotti, E. & Gomes, M., 2004. *Cirurgia Minimamente Invasiva*. Colégio Brasileiro de Cirurgiões, III, pp.4 – 17.

Ranch, Craig. (2020). *Laparoscopic Surgery*. <https://www.craigranchobgyn.com/services/laparoscopic-surgery/>

Reiz, S. (2001). The Discovery of Anesthesia. *Journal of Dental Research*, 80(6), 1478-1481.

Riethmuller, A. M., et al. (2012). A descriptive study of an ergonomic risk assessment tool for the operating room environment. *AORN Journal*, 95(4), 481-496.

Rios, J., et al. (2019). *Arduino in Medicine: A Low-Cost Technology for Medical Care*. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 5(7), 66-73.

Sancibrian R, Gutierrez-Diez MC, Torre-Ferrero C, Benito-Gonzalez MA, Redondo-Figuero C, Manuel-Palazuelos JC. Projeto e avaliação de um novo cabo ergonômico para instrumentais em cirurgia minimamente invasiva. *J Surg Res* 2014;188:88–99. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.12.021>.

Schollmeyer, T. et al., 2007. Georg Kelling (1866-1945): the root of modern day minimal invasive surgery. A forgotten legend? *Archives of gynecology and obstetrics*, 276(5), pp.505–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17458553> [Accessed March 1, 2016].

Semm, K. (1983). Endoscopic appendectomy. In *Endoscopy and Surgery* (pp. 140-145). Springer.

Shah, S. G., et al. (2018). Ergonomics in the operating room: A review. *Surgical Innovation*, 25(1), 89-94.

Soares, M. M., Vidal, M. C., Guimarães, L. B. de M. S., & Santos, N. dos. (2004). O Esquema Brasileiro de Certificação de Ergonomistas. 2, 7–27.

SolidWorks. (2021). SOLIDWORKS: Software de projeto 3D. Recuperado de: <https://www.solidworks.com/pt-br>

Steinhilber B, Seibt R, Reiff F, Rieger MA, Kraemer B, Rothmund R. Efeito de um instrumento laparoscópico com alça rotativa no estresse biomecânico durante procedimentos laparoscópicos. *Surg Endosc* 2016;30:78–88. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4164-3>.

Stone, R. & McCloy, R., 2004. Clinical review Ergonomics in medicine and surgery. *BMJ*, 328, pp.1115–1118.

Supe, A.N., Kulkarni, G. V & Supe, P.A., 2010. Ergonomics in laparoscopic surgery. *Journal of minimal access surgery*, 6(2), p.31.

Veress, J. (1946). New instrument for laparoscopic operations. *The American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 52(2), 283-293.

Virtuozo. Fernanda, Integração do Método de Análise de Falhas e Defeitos de projetos (DFMEA) e do Design Science Research (DSR) para o projeto de um instrumento laparoscópico. Tese De Mestrado-(2021). Portugal

Zorn, K. C., Gautam, G., & Shalhav, A. L. (2007). Robotic Urologic Surgery: Current Status and Future Perspectives. *Nature Clinical Practice Urology*, 4(12), 667-675.

Anexos

Código utilizado no Software Arduino

```
//include a Biblioteca Servo do Arduino ESP32 em vez da Biblioteca Servo original do
Arduino
#include <ESP32Servo.h>

Servo myservo;// Criar objeto servo para controlar um servomotor.

// Possíveis pinos de PWM GPIO no ESP32: 0 (usado pelo botão embutido), 2, 4, 5 (usado
pelo LED embutido), 12-19, 21-23, 25-27, 32-33.

int servoPin = 14;
int servoPin2 = 13;

// Pino GPIO usado para conectar o controle do servo (saída digital)
// Possíveis pinos ADC no ESP32: 0, 2, 4, 12-15, 32-39; recomenda-se usar 34-39 para
entrada analógica.

int potPin = 33;
int potPin2 = 32; // Pino GPIO usado para conectar o potenciômetro (entrada analógica)

int ADC_Max = 4095;
int ADC_Max2 = 4095;
// Este é o valor máximo padrão do ADC no ESP32 (largura de 12 bits do ADC);
// essa largura pode ser ajustada (em código de baixo nível) de 9 a 12 bits, resultando em
// uma faixa de valores máximos de 512 a 4096.

int leitura, entrada;
int middlePoint = 2680; //valor do meio, valor que vai no max 2500
int saida = 100;
int deslocamento;

void setup()
{

// Permitir a alocação de todos os temporizadores
Serial.begin(115200);
ESP32PWM::allocateTimer(0);
ESP32PWM::allocateTimer(1);
ESP32PWM::allocateTimer(2);
ESP32PWM::allocateTimer(3);
```

```

myservo.attach(servoPin, 500, 2400);
// Anexa o servo no pino 18 ao objeto servo
// Usando os valores mínimos/máximos de pulso de 500us e 2400us para o servo SG90
// Para o servo MG995 de grande porte, use 1000us e 2000us
// myservo.setPeriodHertz(50); // que são os valores padrão
// "myservo.attach(servoPin);"
}

```

```

void loop() {
  leitura = analogRead(potPin);      // Ler o valor do potenciômetro (valor entre 0 e 1023)

```

```

  Serial.print("leitura da entrada do pino: ");
  Serial.print(leitura);
  Serial.print("\t");
  entrada = leitura - middlePoint;

```

```

  Serial.print("entrada: ");
  Serial.print(entrada);
  Serial.print("\t");

```

`int` Mutiplicadordevelocidade=2.5; //e por que vai multiplicar o sinal de entrada por 2 abritario que tem que ser ajustado depois

`int` Valormaxanlg=1415;

`int` Valormaxanlg2=2600;

`int` Zonaderuido=12;//zona de ruido

`int` Limitemaximoservo=181;

`int` Valordefolgasaida=15;

`int` Limiteminimoservo=33;

```

if(entrada > Zonaderuido) {
  deslocamento = (entrada * Mutiplicadordevelocidade) / Valormaxanlg ;
  saida = saida + deslocamento; //derivando a velocidade ou a equação da velocidade

```

```

  if(saida > Limitemaximoservo) {
    saida = Limitemaximoservo;
  }
}

```

```

if(entrada < - Zonaderuido) {
  deslocamento = (entrada * Mutiplicadordevelocidade) / Valormaxanlg2; //deslocamento e a
variação de espaço = velocidade

```

```

  saida = saida + deslocamento;
  if(saida < Limiteminimoservo) {

```

```

        saida = Limiteminimoservo;
    }
}
leitura = analogRead(potPin); // Ler o valor do potenciômetro (valor entre 0 e 1023)
Serial.print("leitura da entrada do pino: ");
Serial.print(leitura);
Serial.print("\t");
entrada = leitura - middlePoint;

Serial.print("entrada: ");
Serial.print(entrada);
Serial.print("\t");

int MutiplicadordevelocidadeAB=2.5; //vai multiplicar o sinal de entrada por 2.5

int ValormaxanlgAB=1415;
int Valormaxanlg2AB=2600;
int ZonaderuidoAB=15; //zona de ruido

int LimitemaximoservoAB=181;
int ValordefolgasaidaAB=15;
int LimiteminimoservoAB=18;

if(entrada > ZonaderuidoAB) {
    deslocamento = (entrada * MutiplicadordevelocidadeAB) / ValormaxanlgAB ;
    saida = saida + deslocamento; //derivando a velocidade ou a equação da velocidade

    if(saida > LimitemaximoservoAB) {
        saida = LimitemaximoservoAB;
    }
}
if(entrada < - ZonaderuidoAB) {
    deslocamento = (entrada * MutiplicadordevelocidadeAB) / Valormaxanlg2AB;
//deslocamento e a variação de espaço = velocidade
    saida = saida + deslocamento;

    if(saida < LimiteminimoservoAB) {
        saida = LimiteminimoservoAB;
    }
}

Serial.print("VELOCIDADE: ");
Serial.print(deslocamento);
Serial.print("\n");
Serial.print("saida: ");
Serial.print(saida);
Serial.print("\n");
myservo.write(saida);

```

```
delay(100); // Delay do servo
```

Desenhos no SolidWorks

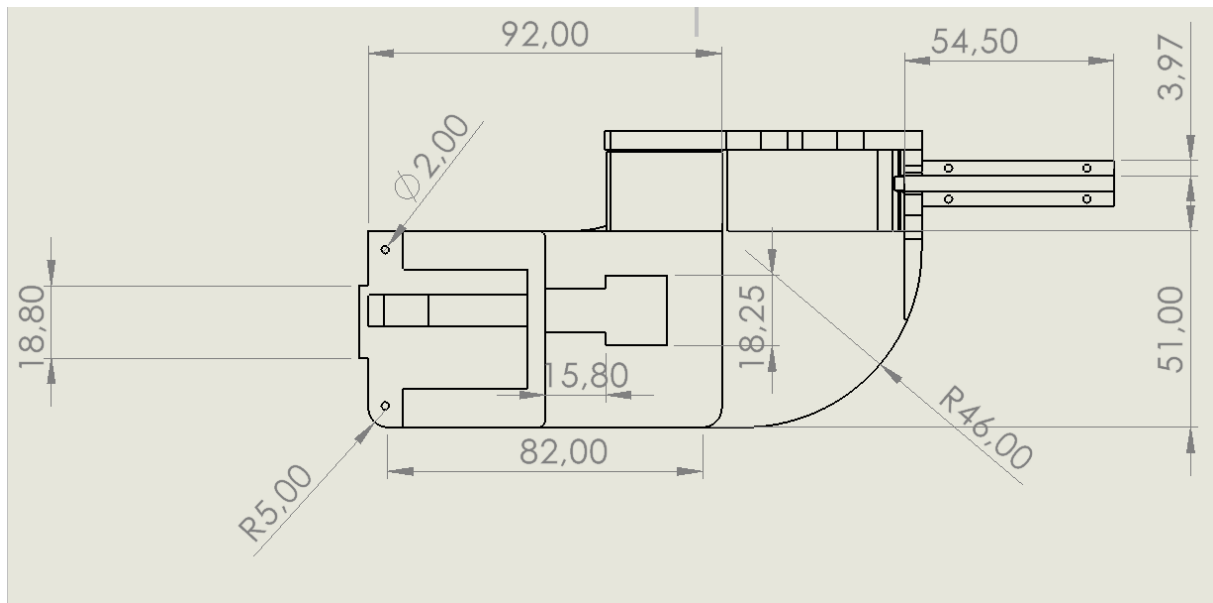


Figura 19- Vista Superior da Prototipo Final

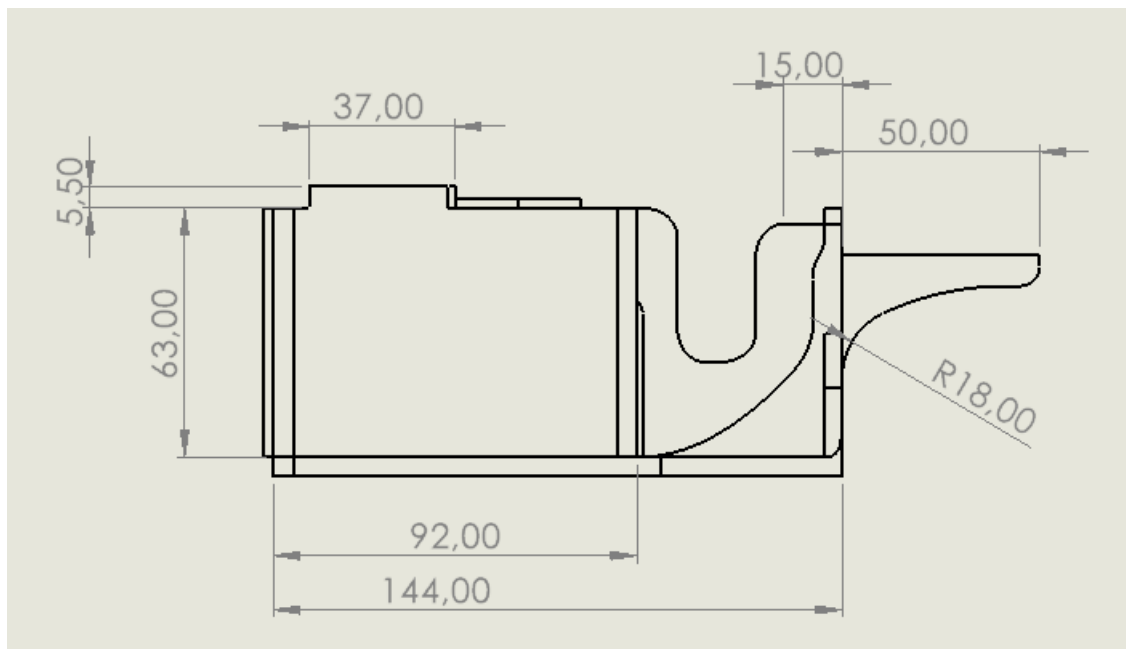


Figura 20- Vista lateral da Prototipo Final

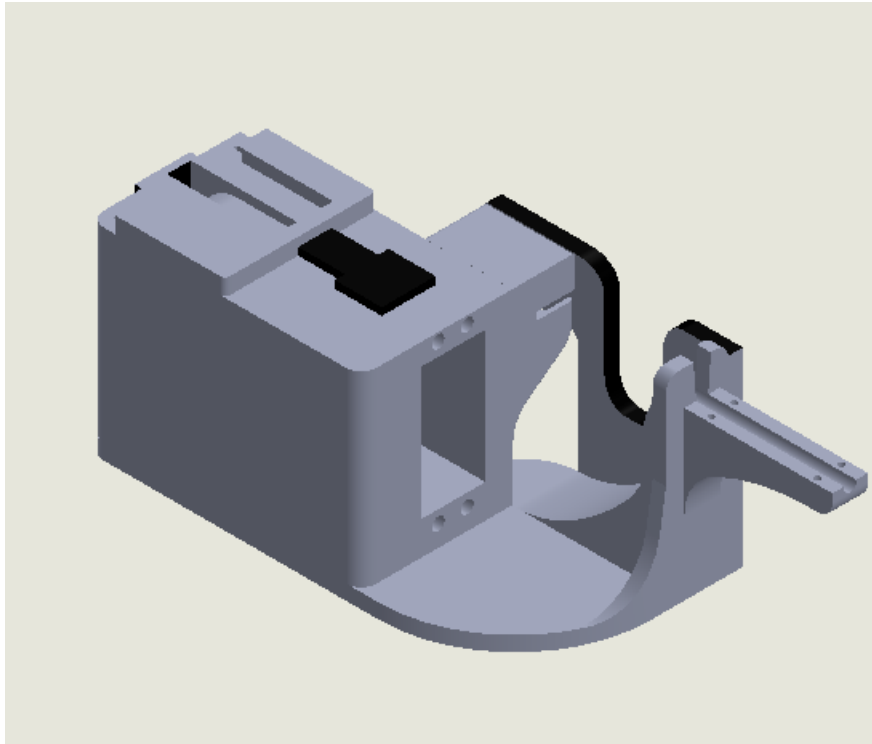


Figura 21- Vista 3D da Prototipo Final

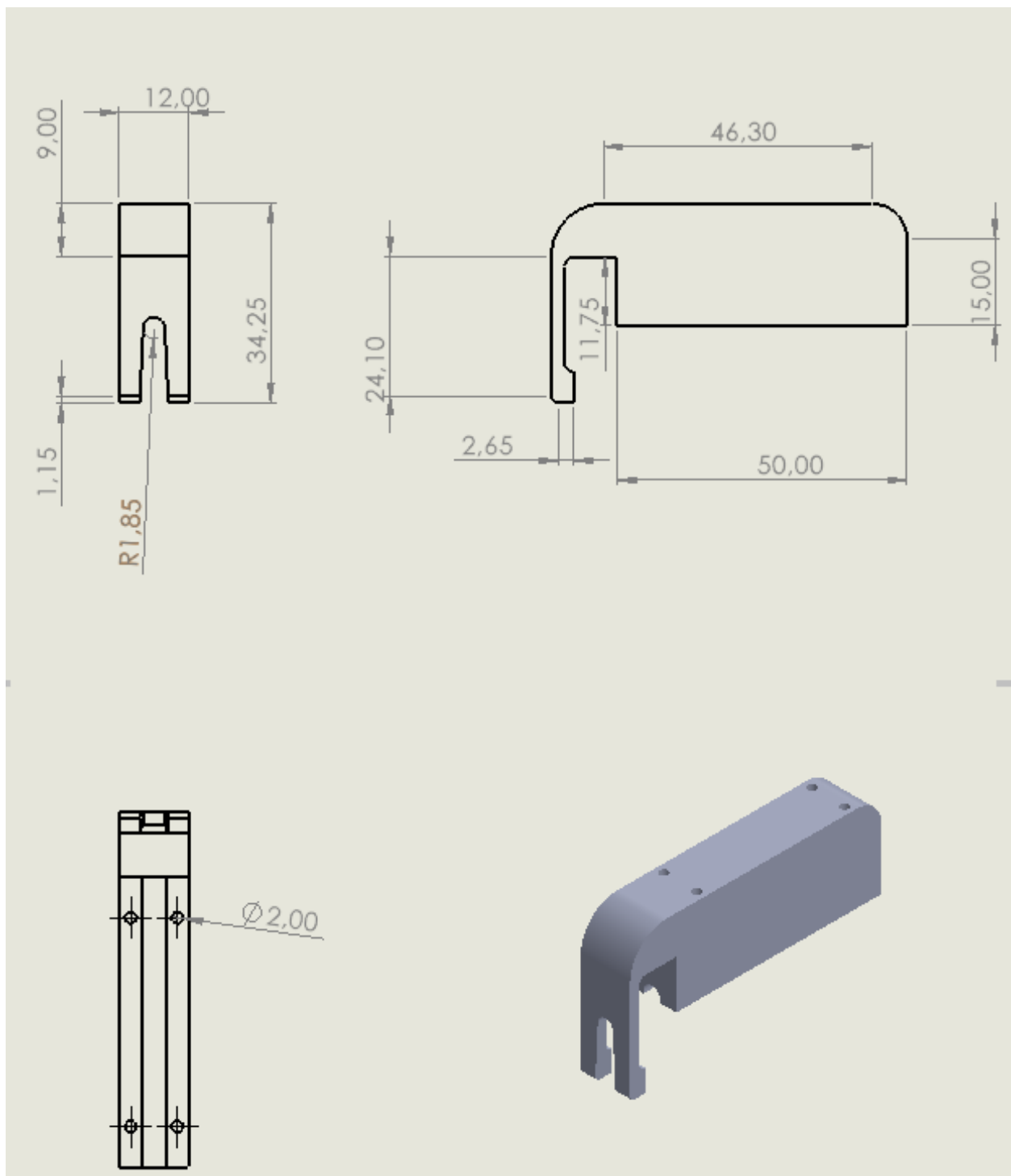


Figura 22-Parte de de cima da fixação da haste do protótipo final