

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE TAMBOREAMENTO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO, UTILIZANDO A PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA ARDUÍNO

## DEVELOPMENT OF A LOW-COST AUTOMATED TUMBLING PROTOTYPE, USING THE ARDUINO ELECTRONIC PROTOTYPING PLATFORM

Fabio Martins Mazzoni  
Lucas Tonussi Moura  
Fortuna  
Patrick Juller de Sousa Moreira  
Orientador: Ila Beghine Soncin

### RESUMO

O propósito deste estudo consistiu no desenvolvimento de um protótipo de tamboreamento em pequena escala e baixo custo, para que possa ser utilizado como meio didático em laboratórios de circuitos , eletrônica, automação entre outras disciplinas. A busca pelo baixo custo se faz necessária quando analisado o cenário nacional, onde nem todas as instituições educacionais possuem capacidade de adquirir kits de alto custo. Desta forma torna-se necessário desenvolvimento desse tipo de material inclusivo , visto que há diversos estudos que apresentam teses onde a utilização de protótipos como meios didáticos propiciam uma maior facilidade de absorção dos conteúdos trabalhados . O protótipo busca trazer em menor escala um processo industrial já conhecido, o tamboreamento, onde pode ser realizado um processo de polimento ou limpeza de peças de qualquer forma através da rotação de um tambor, onde são introduzidos, a peça e um material de moagem que limpa ou realiza o polimento por atrito com a peça.

**Palavras-chave:** Prototipo. Tamboreamento. Didatico.

### ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a small-scale and low-cost tumbling prototype that can be used as a didactic tool in circuit laboratories, electronics, automation, and other disciplines. The search for low cost is necessary when considering the national scenario, where not all educational institutions have the capacity to acquire expensive kits. Therefore, the development of this type of inclusive material becomes necessary, as there are several studies that demonstrate how the use of prototypes as didactic tools facilitates the absorption of the content being taught. The prototype aims to replicate, on a smaller scale, a well-known industrial process called tumbling, which involves the polishing or cleaning of parts of any shape by rotating them in a drum. The drum contains the part and a grinding material that cleans or polishes the part through friction.

**Keywords:** prototype. tumbling. Didactic

Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – tonussi01@gmail.com – graduando em Engenharia Elétrica

Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – fabiomazzoni@gmail.com – graduando em Engenharia Elétrica

Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – patrickjullerjf@gmail.com – graduando em Engenharia Elétrica

Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – e-mail orientador – Orientador

## 1 Introdução

Segundo Gomes & Silveira (2007) são vivenciados atualmente alguns desafios no campo do ensino aprendizagem devido as rápidas mudanças e avanços tecnológicos, que aumenta a necessidade de fortalecimento da relação entre teoria e prática, do despertar da motivação dos alunos, e do desenvolvimento de habilidades técnicas. Desta forma notou-se a necessidade de buscar novos métodos que consigam envolver totalmente os discentes acerca dos temas tratados em aula.

Partindo desse pressuposto entende-se que é necessário desenvolver novas formas técnicas, em busca de uma melhor relação ensino aprendizagem, trazendo para dentro do ambiente educacional atividades que incluam as novas tecnologias da melhor forma possível. Tornando o ecossistema mais interessante e imersivo durante aulas práticas.

Em se tratando de aulas práticas os tipos possíveis de atividades a serem aplicadas podem variar muito, mas sempre mantendo alguns pontos em comum. É necessário que as atividades práticas propiciem uma aprendizagem bem estruturada, favorecendo o uso de recursos tecnológicos (ambientes virtuais, computadores em sala, desenvolvimento de protótipos) potencializando a habilidade de resolver problemas e conduzir a elaboração de projetos nas áreas diversas do setor produtivo.

Analisando tal contexto na área de atuação da Engenharia Elétrica, incentivar o uso de protótipos em laboratório se torna uma opção viável por possibilitar com a aplicação de um único projeto abranger várias áreas de conhecimento ao aplicar esse tipo de atividade combinada com aulas teóricas prévias. É possível observar que com a facilidade oferecida atualmente pelos microcontroladores e todos os componentes que são encontrados no mercado, a tarefa de construção de protótipos para simulações em laboratório torna-se algo muito mais acessível para diversos fins didáticos, já que não são necessários grandes investimentos e nem mesmo uma estrutura muito elaborada.

Analisada a necessidade de novos métodos didáticos práticos o trabalho tem como objetivo geral realizar a construção de um protótipo de tambor de polimento com o melhor desempenho possível mantendo um baixo custo de investimento tornando-o viável para utilização didática em aulas da área elétrica em matérias como: eletrônica, circuitos, automação e programação. Além disso, a pesquisa realizada tem

como objetivos específicos a realização do dimensionamento correto do circuito elétrico do protótipo incluindo toda a parte necessária de proteções e também a construção do protótipo de tambor de polimento mantendo um baixo custo tornando o projeto viável para utilização didática em aulas.

O seguinte artigo será disposto da seguinte forma: na seção dois será apresentado um embasamento teórico acerca dos temas abordados pela pesquisa, tais como aplicação didática de protótipos, componentes elétricos utilizados no protótipo e sobre o processo de polimento de metais que é realizado pelo protótipo. Na seção três deverá constar toda a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. A quarta seção tratará sobre os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do protótipo, seguida da quinta e última seção onde será apresentada a conclusão ao fim do desenvolvimento do projeto.

## **2 Referencial Teórico**

Nesse capítulo será apresentado o referencial teórico acerca dos principais tópicos abordados ao longo do trabalho.

### **2.1 Aplicação didática de protótipos**

A base desejada por professores em geral consiste na melhoria constante ensino aprendizagem, isto é, utilizar seu conhecimento técnico para concretizar a realização da aprendizagem em consequência da atividade de ensinar (Pimenta, 1995). Segundo Meyers, C., Jones (1993) citado por Barbosa (2014) muitos tendem a considerar que o aluno se mantém ativamente compenetrado enquanto assiste uma aula expositiva. Porém alguns estudos científicos conduzem a uma ideia diferente. Tais estudos buscam mostrar que é necessário que o aluno exerça mais atividades que apenas o acompanhamento auditivo da aula, é necessário ouvir, ver, perguntar, discutir, fazer e ensinar.

Segundo Barbosa (2011), quando analisada a tarefa de ensino aprendizagem nas formações superiores, é necessário que o professor planeje suas aulas visando uma ênfase maior na parte da aprendizagem. A execução de tal tarefa permite que o discente evolua constantemente em diversos aspectos. Sendo alguns dos principais o desenvolvimento de capacidades intelectuais, habilidades humanas e profissionais atualizadas de acordo com o mercado de trabalho e, por fim o desenvolvimento de atitudes e valores que integram a vida profissional a vida em sociedade. As práticas

de melhoria do ensino aprendizagem promovem uma mudança quanto ao papel dos estudantes e professores. Assumindo o professor um posto de mediador ou orientador do processo. Enquanto, os alunos devem realizar as tarefas necessárias para que ocorra a aprendizagem, buscando informações, produzindo conhecimento e adquirindo habilidades e valores.

O universitário deve se responsabilizar por buscar informações, analisá-las e saber correlacionar essas novas informações com os conhecimentos que já foram previamente obtidos. Desta forma sendo possível ressignificar o que foi aprendido, permitindo que o aluno elabore conclusões sobre os temas estudados, correlacione os mesmos com situações reais e trabalhe com esses dados em busca de atingir soluções para problemas reais. Já o professor universitário deve dominar a estrutura dos conteúdos, saber compreender e responder as expectativas da comunidade de aprendizagem, além de identificar qual a forma mais adequada para realizar a comunicações pedagógica (BARBOSA, 2011).

Como afirmado por Costa (2009), a utilização de protótipos nas aulas de laboratório tem a função de consolidar os conhecimentos que foram adquiridos ao longo das demais atividades didáticas, desta forma auxiliando na capacitação prática do estudante. É possível identificar que os métodos tradicionais de elaboração de aulas normalmente se mostram parcialmente ineficazes na tarefa de fixação da atenção dos alunos, mesmo quando analisado em situações em que os alunos já possuem uma afinidade maior com o tema tratado. Logo, o desenvolvimento e utilização de protótipos em sala de aula permite explorar com melhor resultado o ensino e pesquisa.

Quando se fala da área de ensino de engenharia, é necessário propiciar uma aprendizagem bem estruturada, favorecendo o uso de recursos da inteligência para gerar habilidades em resolver problemas e realizar a condução de projetos nas áreas diversas do setor produtivo (Barbosa, 2014). De acordo com Gomes & Silveira (2007) e Furtado Neto et al. (2012) é possível observar por muitas vezes que dentro das graduações de engenharia há uma grande reincidência na utilização de aulas práticas em laboratório em que estas são limitadas a atividades simples, como simulações virtuais. Tais atividades que por vezes acabam deixando a desejar didaticamente por não trabalhar com sistemas reais e suas características, o que pode levar a uma perda de desempenho na aprendizagem.

É necessária a reestruturação de procedimentos e posturas metodológicas de ensino/aprendizagem, tradicionalmente utilizadas nos cursos de engenharia e que refletem, na atualidade, experiência incipiente na área, especialmente aquela associada às práticas laboratoriais (CODÁ *et al.* 2013)

A partir dessa questão conclui-se que é necessário buscar formas lúdicas e imersivas para propiciar um ambiente de ensino/aprendizagem onde o estudante realmente exercite os conhecimentos adquiridos de formas variadas.

A utilização de protótipos reais em aulas praticas de eletrônica tem como intuito proporcionar a experiência de projeção e análise prática do funcionamento do circuito desenvolvido, levando a uma visão mais realística do processo estudado. Desta forma possível complementar o modelo tradicional pedagógico, em que se propõe métodos de ensino dinâmicos e construtivistas (CODÁ *et al.* 2013).

Segundo BRASIL, (2017) citado por Martins, Isabela Maria, et al. (2021) “A construção e o uso de protótipos educacionais de baixo custo nas escolas auxiliam no desenvolvimento de aprendizagens essenciais na educação básica, possibilitando um ensino inclusivo, democrático e justo”. Desta forma possível afirmar que não só em cursos de graduação na área de engenharia, e sim na educação como um todo a aplicação de protótipos se mostra uma atividade de extremo valor didático a medida em que proporciona a complementação do ensino, realizando a combinação do conhecimento prático ao teórico.

Como foi analisado por Costa (2009), quando questionados os alunos e professores sobre a aplicação de protótipos ao longos das aulas, de forma majoritária o *feedback* tende a uma aceitação positiva. Professores citam que é uma alternativa bem aceita pelos discentes, já que o processo possibilita uma interação mais real com o que é estudado. Logo, os alunos obtém uma melhor visualização dos temas estudados na pratica, podendo comparar teoria e pratica de forma eficiente quanto ao aprendizado para os alunos e também as tornando mais dinâmicas e interessantes não apenas aos discentes, mas também propiciando o interesse dos professores (Silva et al. 2022).

## **2.2 Componentes eletrônicos utilizados na concepção do protótipo em estudo**

### **2.2.1 Arduino**

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, que se deriva em duas partes, sendo elas hardware e software. Em ambas as partes, temos ampla facilidade de manuseio, pois essa plataforma utiliza um código aberto.

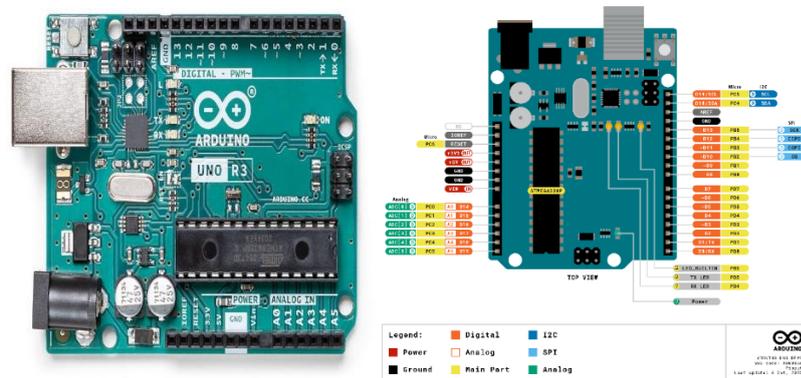
Essas placas Arduino funcionam como um microcontrolador, contendo entradas/ saídas, aonde possui a finalidade de executar determinadas funções aplicadas em seu software (IDE), utilizando a linguagem de programação baseada em “Wiring”. Essas funções podem ser como: um acionamento de um motor, de um LED ou até mesmo ler uma entrada, através de um sinal que a sua placa recebe. ARDUINO, (2022).

### **2.2.2 Arduino UNO R3**

Segundo informado pela ARDUINO, (2022) fabricante da placa eletrônica, suas características possui as seguintes especificações técnicas: “14 pinos de entrada/saída digitais, das quais 6 podem ser usados como saídas PWM (Pulse-width modulation/modulação por largura de pulso), 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 Mhz (Megahertz) do modelo; (CSTCE16M0V53-R0), uma conexão USB, uma tomada de alimentação, um botão de reset e um cabeçalho ICSP, que no caso dos Arduino, o ICSP se refere à capacidade de programar diretamente os microcontroladores da placa usando o protocolo serial SPI (serial periférico interface)”. Nessa mesma placa também possui um chip, que é responsável por controlar todo esse sistema, chamado de ATmega328P Six, et al. (2015).

De acordo com a fabricante, o equipamento possui um alto nível de aprendizagem, e de fácil acesso a todos os usuários, que buscam conhecimento a essa área de automação. Basta o usuário ter acesso a um computador com um cabo USB, ou ligar o mesmo na bateria ou fonte AC-DC, para iniciar seu projeto, sem se preocupar muito em cometer um erro na alimentação da placa, caso isso aconteça, o mesmo pode ser substituído o seu chip por um preço acessível e iniciar outros projetos (ARDUINO, 2022).

**Figura 1:** Placa Arduino UNO R3



Fonte: [store-usa.arduino.cc](http://store-usa.arduino.cc)

### 2.2.3 Interface Homem Máquina (IHM)

A Interface Homem Máquina (IHM) é um sistema que permite a interação do operador ao equipamento, ou seja, um meio de comunicação cujo objetivo é exibir informações operacionais em tempo real e de fácil compreensão. Através desse componente, podemos receber e ou enviar informações para a máquina facilitando o processo de fabricação. Em processos usuais mais modernos, temos esse equipamento atuando com tecnologias mais avançadas e que funcionam juntamente com os CLP's ou controladores lógicos programáveis, que também pode funcionar como um sistema supervisor, por exemplo aonde permite a interação de telas em tempo real e o armazenamento de dados e tag's para envio a uma equipe de manutenção, MINTCHELL (2001).

### 2.2.4 Motores

Um motor elétrico é um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica, geralmente energia cinética. Em um motor elétrico, a simples presença de uma corrente elétrica garante o movimento de um eixo. Pode ser usado de várias maneiras, dependendo do motor sendo aplicado. O acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos com motores elétricos é de grande importância econômica. Estima-se que o mercado mundial para todos os tipos de motores elétricos seja de cerca de 10 bilhões de dólares americanos por ano. Na área de acionamentos industriais, estima-se que em média 75% da energia consumida por todas as indústrias seja convertida em energia mecânica por motores elétricos. Franchi, (2008).

Ao longo dos anos, junto com o avanço tecnológico, cada vez mais começou a se utilizar os motores elétricos, quando analisado atualmente é nítido que estas máquinas elétricas tomaram um posto de grande importância na economia industrial e comercial. Em uma realidade onde estes motores não existam é fácil concluir que as indústrias de forma geral acabariam paralisadas, já que no cenário atual a maioria das máquinas industriais são acionadas por motores elétricos. Petruzella, (2013).

#### **2.2.4.1 Motor CC (Corrente Contínua).**

Conhecidos por seu controle preciso de velocidade e ajuste fino, são amplamente utilizados em aplicações que exigem tais características. Vale ressaltar que, devido ao grande desenvolvimento da tecnologia de eletrônica de potência, fontes de alimentação CC estáticas com tirístores confiáveis, de baixo custo e manutenção simples substituíram os grupos de conversores rotativos. Com isso, os motores CC, apesar de seu custo mais elevado, tornaram-se uma alternativa em diversas aplicações que exigem essa regulação fina de velocidade. Franchi, (2008).

As máquinas de corrente contínua trabalham em duas funções, sendo como geradores ou motores. Quando a mesma recebe energia mecânica, temos como função gerar energia em corrente contínua em seus terminais, assim o motor já funciona em princípio oposto, quando aplicamos energia elétrica CC, o mesmo a transforma em energia mecânica. No motor CC, temos um princípio de funcionamento interno, aonde temos um sistema de fluxo variável, mas com o campo magnético contínuo. Chapman, (2013).

#### **2.2.4.3 Servo Motor**

Os servos motores denominados de máquinas síncronas, é pela razão da velocidade do seu rotor ser sincronizada com seu campo girante que é estabelecido no estator. Realizando tarefas que um motor síncrono convencional não seria capaz de realizar. O servo é desenvolvido com um enrolamento trifásico no estator, porém não com a finalidade de ser ligado a rede trifásica, pois esse tipo de enrolamento é aplicado com a finalidade de proporcionar ao motor algumas particularidades em especial quanto ao torque, velocidade e posicionamento. Esse tipo de motor acaba por apresentar excelentes características de torque e possibilidade de um posicionamento de precisão, dessa forma se tornando ótimas opções para aplicações onde é necessário efetuar a rotação controlada de um eixo PETRUZELLA, (2013).

#### **2.2.4.4 Motovibrador**

Os motovibradores são encontrados no mercado atual para vários tipos de utilização. Porém é possível identificar que de forma geral o princípio de funcionamento de todos estes dispositivos é similar. O motovibrador trabalha basicamente na presença de massas excêntricas que deverão girar a uma velocidade angular. Realizando a combinação entre massas excêntricas, velocidade angular e excentricidade das macas deve ocorrer a força centrífuga, que é caracterizada como uma excitação harmônica RODRIGUES, (2021).

### **2.3 Polimento de Metais**

Todo o fenômeno de avanço na área tecnológica que vem ocorrendo ao longo do último século acaba por ocorrer junto de outros fatos, sendo um desses uma maior utilização de peças e estruturas metálicas por todos os setores encontrados em nossa sociedade, Colares, (2009), com isso é necessário conhecer as características e propriedades dos metais. Quando se fala sobre as propriedades químicas de um material metálico, é necessário identificar um ponto de suma importância que é qual o seu nível de capacidade de resistência à corrosão. MARTINS (2010).

A corrosão se trata do fenômeno da deterioração de materiais metálicos, esse dano é geralmente causado pelas interações químicas ou eletroquímicas ou com o meio ambiente ou com o meio aonde o material está tendo contato. Esta manifestação esta presente em nosso dia-a-dia, e gera uma grande necessidade de atenção, já que esse fenômeno acaba por gerar uma menor qualidade no metal. Tornando dessa forma um fator de grande importância tanto quando olhado pelo âmbito tecnológico, quanto econômico e social. COLARES, (2009).

Diante da relevância deste fenômeno químico, torna-se um tema que traz dentro da área educacional uma discussão de vários temas dentro da química permitindo também uma ligação relacional do conteúdo científico aos aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais que o tema acaba por englobar. Trazendo dessa forma informações de grande importância aos estudantes com temas que estão incluídos no cotidiano de todos. MERÇON, (2011).

Segundo Ferreira et al., 1998 e Guilherme, 2005 citados por Rosa e Guilherme (2011) realizando o correto processo de polimento da superfície do metal é possível reduzir os níveis de rugosidade do material e conseqüentemente a chance de corrosão

do metal. Isto é quanto pior o acabamento da superfície do metal maior é a possibilidade de ocorrer o fenômeno da corrosão, visto que são fatos que estão diretamente relacionados.

#### **2.4 Polimento por tamboreamento**

O método de tamboreamento de peças realiza o polimento baseado no princípio do atrito entre a peça e o corpo de moagem, que se trata do material utilizado para gerar o atrito junto ao tambor, podendo ser areia, pedras ou mesmo alguns aditivos em casos específicos. Utiliza-se esta forma de processamento de superfície para metais, plásticos e alguns outros tipos de materiais para processamento de peças individuais SCHOMOTZ, (1980).

Utilizado tanto nas indústrias galvanotécnicas, mas também na indústria de usinagem e área industrial metalúrgica. Esse método acabou encontrando um grande uso no campo de acabamento a granel e apresentou uma boa possibilidade econômica. SCHOMOTZ, (1980).

A aplicação do método levou a custos e vantagens nas etapas de processamento de rebarbação, descalcificação, nivelamento de rugosidade superficiais, retificação e polimento. Principalmente em termos da quando notado uma grande consistência nos resultados positivos. SCHOMOTZ, (1980).

A técnica de tamboreamento se trata de uma prática antiga, remete ao século passado, época onde os requisitos predominantes não eram tão exigentes como são atualmente. Já havendo registros de utilizações de métodos utilizando como corpo de moagem como: areia, óleo lubrificante, madeira desfiada (pó de serra) e resíduos de couro, ou com adição de petróleo ou água e principalmente nas aplicações mais atuais utilização de soluções químicas, podendo essas soluções ser utilizadas integralmente como também em etapas isoladas específicas. SCHOMOTZ, (1980).

O método de polimento por tamboreamento apresenta bons resultados por ser um processo que possui a possibilidade de tornar o processo totalmente automático ou manter construções se possuem algumas tarefas para realização de forma manual. Além da possível automatização, se trata de um processo que independe da forma do material que devera receber o polimento já que o corpo de polimento ira gerar atrito de forma simples por todo o objeto independente da forma peça. SCHOMOTZ, (1980).

Trata-se de um método muito versátil já que é possível apresentar projetos tanto para trabalho com peças que possuem uma dimensão muito grande como também para peças que possuem um tamanho bastante reduzido. Em casos de projetos de grande proporção é possível até mesmo realizar a utilização de um único motor para realizar a rotação de mais de um tambor, dessa forma obtendo ótimos resultados económicos com a aplicação do método. SCHOMOTZ, (1980).

Qualidades de superfície finas e utilizáveis só podem ser alcançadas quando as velocidades de rotação dos tambores ou as vibrações sobrepostas forem exatamente ajustadas para o material a ser processado. Há uma importância substancial na escolha do tipo e a forma do corpo de moagem e a composição dos aditivos químicos utilizados para o material. Juntos, eles influenciam no sucesso do polimento. Uma determinada operação de polimento requer, dependendo da qualidade superficial necessária da peça a ser processada, um a três estágios de processamento. Por exemplo, é possível ir de preliminar moagem até a moagem final sem retirar as peças do aparelho, mas simplesmente enchendo e mudando produtos químicos. Os próprios corpos de moagem podem permanecer. SCHOMOTZ, (1980).

Apesar de tratar-se de um método de polimento que apresenta bons resultados, são necessários estudos encima do processo que deve ser realizado, isto é analisar qual a peça que ira ser trabalhada quanto ao tamanho, formato e nível de rugosidade desejada na superfície do material, o corpo de moagem que deve ser aplicado em cada caso, podendo ser um material que vai gerar mais ou menos atrito e até mesmo a velocidade de rotação e o tempo em que deve ser concluído o ciclo de polimento. Dessa forma podendo controlar de melhor forma os resultados desejados. SCHOMOTZ, (1980).

### **3 Metodologia**

Segundo as teorias de Costa (2009) no processo de ensino aprendizagem a parte teórica se mostra ocupando um lugar de suma importância, porem quando utilizadas metodologias que realizam uma mistura entre a teoria e atividades praticas, os resultados de aprendizagem se mostram mais satisfatórios. Sendo possível observar também que mesmo em caso onde os estudantes possuem afinidade com os temas tratados é necessária a aplicação de atividades mais interessantes para prender a atenção dos discentes ao longo de toda aula. Os protótipos consistem em um ótimo exemplo para consolidar o conhecimento. Como dito por Barbosa (2014) é

preciso buscar formas de aprendizagem que beneficiem o desenvolvimento de habilidades que favoreçam a resolução de problemas do setor produtivo. A utilização de protótipos permite apresentar de forma simplificada como aplicar o aprendizado em solução de problemas tanto do dia a dia como em auxílio de questões do setor produtivo.

A partir dessas ideias a metodologia deste trabalho consiste no desenvolvimento de um protótipo para fins didáticos, a ser utilizado em aulas práticas em laboratórios de diversas áreas, tais como: eletrônica, circuitos, automação, programação, entre outros. A pesquisa será de natureza aplicada utilizando métodos qualitativos e também coleta de dados. O protótipo será desenvolvido com objetivo exploratório, utilizando a placa de prototipagem eletrônica Arduino, que consiste em um componente eletrônico de baixo custo e de fácil acesso. A utilização da tecnologia Arduino possibilita diversas vantagens, tais como: nível de segurança maior em ensaios de laboratórios, devido ao nível de tensão em corrente contínua aplicada ser em valores baixos, variando entre 5 e 12 Vcc (tensão corrente contínua) além disso, trata-se de um dispositivo de fácil manuseio para o estudante e possui ampla variedade de aplicações, sendo um microcontrolador com entradas e saídas digitais e analógicas, permitido também a aplicação de shields e módulos que são componentes que permitem aumentar as funcionalidades do Arduino.

## **4 Resultados e discussões**

### **4.1 Estrutura do projeto**

#### **4.1.1 Estruturação física do projeto**

Para realizar a construção da estrutura do projeto, o primeiro ponto a ser definido consistiu no material utilizado na estrutura. Foi escolhido o acrílico por entregar um melhor custo-benefício e uma maior facilidade de trabalho com o material. A estrutura final construída pode ser observada na Figura 2. A seguir, serão detalhados os principais componentes do protótipo desenvolvido.

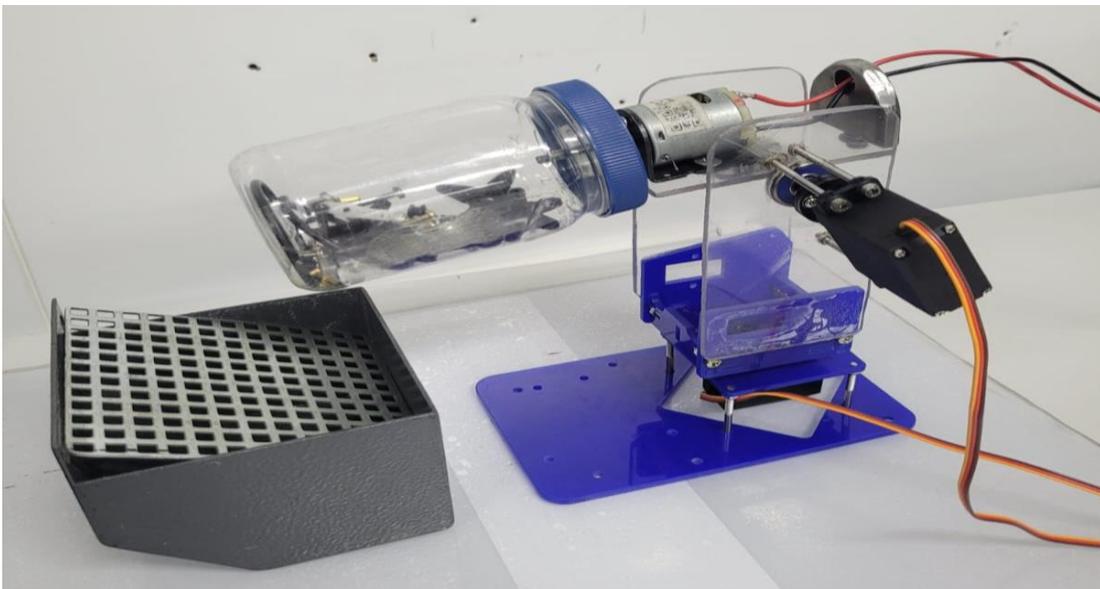
O projeto foi planejado tendo sua base fixada em uma plataforma maior gerando uma estabilidade melhor ao protótipo como um todo. Fixou-se o primeiro servo motor nesta base com a finalidade de ser o servo motor responsável pela rotação de toda a estrutura superior. Em seguida, foi realizada a montagem da estrutura superior, onde foi acoplado o segundo servo motor que tem como função suspender e abaixar o tambor de polimento.

A estrutura foi desenvolvida com uma base mais sólida e rígida, para sustentar as duas laterais da torre onde o tambor fica fixado. Foi feito um furo concêntrico em cada lateral da torre para receber os rolamentos e eixo de inclinação que foram acoplados ao servo motor responsável pela inclinação do tambor. E por último foi incluído junto do segundo servo, uma base adicional em que o motor de corrente contínua de 12 volts foi posicionado juntamente com o próprio tambor que é responsável por fazer a rotação dos materiais para o polimento final do produto, o motor tem sua fixação na base e o tambor tem sua fixação no acoplamento do motor cc.

Para determinar qual seria o melhor componente para desempenhar o papel do tambor de polimento, foi necessário realizar testes com diversos tipos de recipientes, como: garra pet, lata de alumínio, potes de alimentos entre outros, porém o que mostrou mais eficiência foi um pote de maionese, pela sua estrutura cilíndrica, seu material leve e tamanho ideal.

Ao início do desenvolvimento do projeto foram utilizados inicialmente dois micro servos motores convencionais do modelo “micro servo 9g SG90”, entretanto como o início dos testes de funcionamento, estes se mostraram incapazes de realizar os movimentos necessários por falta de força. Desta forma fez-se necessário buscar opções mais viáveis dentro das necessidades do projeto. Foi realizada então a troca dos micro servos por servo motores do modelo “MG996R” que segundo seu fabricante possuem o torque de 9,4 Kgf.cm, possuindo assim uma eficiência de mais de 5 vezes, quando comparado com os micro servos utilizados inicialmente.

**Figura 2:** Protótipo com a estrutura finalizada

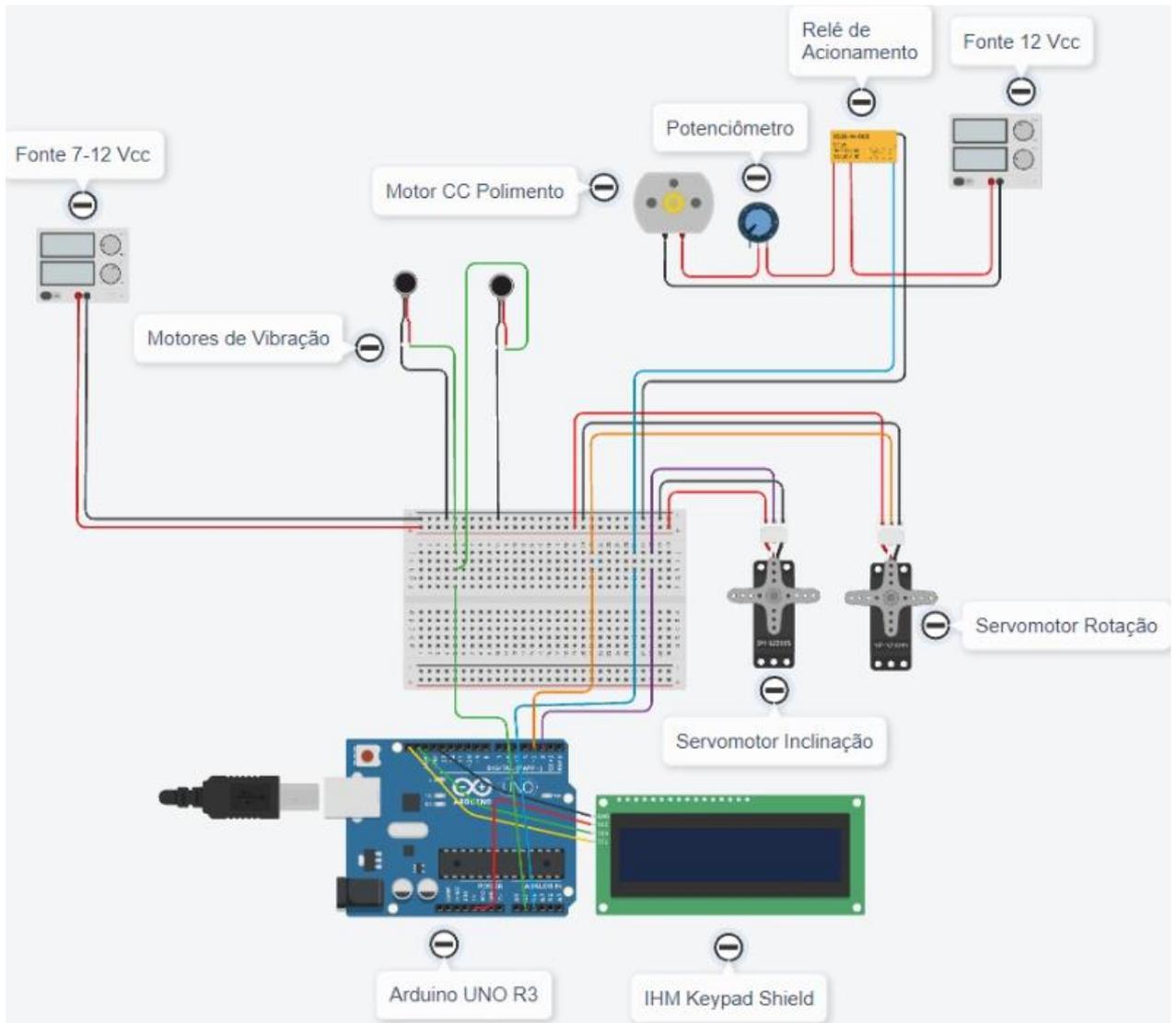


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2 Estruturação do sistema elétrico do projeto

A estrutura do sistema elétrico do projeto foi realizada de acordo com o esquema mostrado na figura 3 a seguir.

Figura 3: Esquema elétrico do projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No esquema é possível localizar todos os componentes utilizados e como foi feita cada conexão. Pode ser analisado através do esquema elétrico acima que há presença de duas fontes de alimentação no circuito, uma de 5 volts em corrente contínua, para alimentação do Arduino, servomotores, display, motores de vibração e modulo relé. Já a outra fonte possui uma tensão de trabalho em 12 volts em corrente contínua, que deve alimentar o motor principal responsável pela rotação do tambor de

polimento, motor esse que tem sua velocidade controlada através do potenciômetro podendo variar de 200 rpm (rotação por minuto) a 3500 rpm.

Na parte de acionamento das portas de saídas digitais do Arduino, temos:

- Porta 3 - Liberação de Tensão de acionamento Servomotor de Rotação;
- Porta 2 - Liberação de Tensão de acionamento Servomotor de Inclinação;
- Portas 4, 5, 6, 7, 8 e 9 – Alimentação e Controle do Display

Foi preciso realizar a conversão de duas entradas analógicas em saídas digitais, devido ao grande número de componentes do protótipo. Recurso esse aplicado para evitar a necessidade de utilizar um Arduino mega, que traria um custo mais elevado ao projeto, desta forma fugindo do objetivo buscado de atingir um baixo preço de custo. As entradas analógicas utilizadas na conversão foram:

- Porta 15 – Liberação de Tensão de acionamento Motores de Vibração;
- Porta 17 - Liberação de Tensão de acionamento Modulo Relé;

#### **4.1.3 Estruturação do funcionamento do projeto**

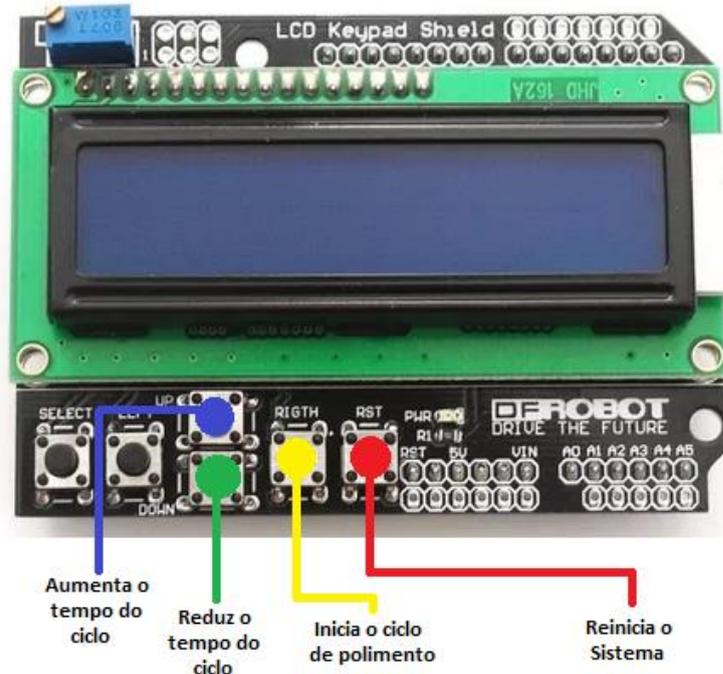
O primeiro passo para realizar a construção do protótipo consistiu no esboço de qual seria o padrão de funcionamento de todo o sistema, o display, os motores, e componentes eletrônicos.

O protótipo teve seu desenvolvimento buscando a reprodução em menor escala do processo de polimento por tamboreamento. Desta forma o protótipo deve funcionar da seguinte maneira:

- Em um primeiro momento o protótipo será iniciado e o display deve mostrar algumas mensagens que realizam a apresentação do projeto.

- Após as primeiras apresentações, o protótipo entra no modo de programação de ciclo, em que será requisitado qual o tempo total desejado no processo de polimento. Essa configuração é realizada através dos botões azul(acrescimo) e verde(decrescimo) como apresentado na figura 4 seguir, esse ajuste é feito segundo a segundo.

**Figura 4:** Display e esquema de botões do projeto



**Fonte:** Elaborado pelo autor

- Quando o usuário finalizar a configuração do tempo desejado, deve ser pressionado o botão mostrado em amarelo na figura 4 acima, que tem como função iniciar o processo de polimento.

- Quando o processo de polimento se inicia, o protótipo se movimenta para a posição 1 (movimento esse realizado pelo servo posicionado na base do protótipo) em que o sistema entra em modo espera, aguardando que material a ser polido seja introduzido no tambor, após isso o projeto irá movimentar-se para a segunda posição em que aguarda a introdução do material de moagem (material que realiza o polimento das peças).

- Após essas duas etapas o protótipo se movimenta para a posição final. Nesta etapa, o equipamento deve iniciar a rotação do motor cc de 12v que fica acoplado ao tambor, o display indica o tempo faltante para encerrar o polimento.

- Ao encerrar o tempo de rotação do tambor, o protótipo deve parar o mesmo e abaixá-lo, despejar o material na bandeja de separação e logo após suspender o tambor novamente com a ajuda do servo responsável pela inclinação. Nesse mesmo momento será dado o comando para que os motovibradores posicionados na peneira de separação sejam ativados, desta forma o material de moagem deverá cair direto para a recipiente de recolhimento enquanto o material que foi polido ficará separado na parte superior, a peneira de separação.

- Ao fim de todo esse processo o protótipo deve automaticamente retornar à posição inicial, em que pode aguardar uma nova programação de ciclo.

Como mostrado na figura também foi adicionado ao projeto um botão de reinício rápido (indicado em vermelho), que pode ser utilizado no caso de ocorrência de alguma falha, que deve ser utilizado em emergência para evitar danos ao protótipo ou acidentes com quem o opera.

#### 4.1.4 Custos de produção do projeto

Ao longo da elaboração, desenvolvimento e produção do prototipo manteve-se o foco em buscar opções viáveis para utilização, mas que mantivesse um baixo custo. Desta forma foram utilizados até mesmo materiais de descarte, como no tambor de polimento, onde foi utilizado um pote plástico de maionese, assim evitando adicionar valores mais altos na produção.

Um ponto decisivo para reduzir o valor de produção, foram técnicas utilizadas na programação do projeto para aproveitar de melhor maneira as entradas analógicas e saídas digitais do Arduino UNO. Através dessas adaptações evitou-se a necessidade de utilização de um Arduino Mega, que possui um valor bastante superior.

Seguindo esse objetivo encerrou-se a produção do projeto com gastos de R\$304,79 que são apresentados abaixo na figura 5.

**Figura 5:** Tabela de custos de desenvolvimento do projeto

Componente	Quantidade	Valor por Unidade	Valor Total
Arduino UNO R3	1	R\$ 41,22	R\$ 41,22
IHM Keypad Shield	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
ServoMotores MG996R	2	R\$ 55,00	R\$ 110,00
Potenciometro	1	R\$ 3,79	R\$ 3,79
Motores de Vibração	2	R\$ 9,00	R\$ 18,00
Motor CC Polimento 12Vcc	1	R\$ 19,90	R\$ 19,90
Fonte 12 Vcc	1	R\$ 12,99	R\$ 12,99
Fonte 5 Vcc	1	R\$ 14,99	R\$ 14,99
Modulo Relé	1	R\$ 12,50	R\$ 12,50
Cabos Eletricos	40	R\$ 0,20	R\$ 8,00
Acoplador para Eixo 3mm	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Suporte para Motor - 25mm	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
<b>Total</b>			<b>R\$ 304,79</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor

## **4.2 Programação do projeto**

### **4.2.1 Linguagem de programação do projeto (C++)**

Quando se faz necessária a comunicação entre seres humanos e computadores, é preciso realizar a conversão das ideias desejadas para uma forma que os computadores possam processar e compreender os comandos, ou seja, utilizar uma linguagem de programação. No contexto do Arduino, a linguagem de programação adotada é o C++ (com pequenas modificações), a qual é uma linguagem tradicional e amplamente reconhecida.

Após desenvolver um código em C++, é necessário converter esse algoritmo para uma linguagem de máquina, a qual é a forma pela qual os computadores recebem as informações. Para efetuar essa conversão para a linguagem de máquina, utilizamos um compilador. A ação de converter um programa para a linguagem de máquina é denominada compilar. Geralmente, utiliza-se um ambiente de desenvolvimento, conhecido como Integrated Development Environment (IDE), que é um aplicativo de computador que possui um compilador integrado. Por meio desse ambiente, é possível escrever o programa e compilá-lo. No caso do Arduino, o ambiente de desenvolvimento utilizado é o Arduino IDE.

### **4.2.2 Algoritmo desenvolvido no projeto**

Durante o desenvolvimento do protótipo, o algoritmo foi dividido em duas partes principais: a programação da Interface Homem-Máquina (IHM), composta pelo display e quatro botões, e a programação dos comandos para os motores integrados no projeto, incluindo dois servomotores, dois motovibradores e um motor de corrente contínua.

### **4.2.3 Programação do display e botões**

A programação do display foi realizada com o auxílio da biblioteca LiquidCrystal, que permite a comunicação com telas alfanuméricas de cristal líquido (LCDs). Por se tratar de uma tela simples ela dispõe de 16 caracteres em cada uma de suas duas linhas, que devem ser programadas separadamente, como pode ser analisado na figura 6 abaixo.

**Figura 6:** Trecho do código de programação do display.

```

lcd.begin(16,2);           //SETA A QUANTIDADE DE COLUNAS(16) E O NÚMERO DE LINHAS(2) DO DISPLAY.
lcd.setCursor(0,0);       //SETA A POSIÇÃO EM QUE O CURSOR INICIALIZA(LINHA 1)
lcd.print("BEM VINDO");   //SETA A MENSAGEM DE INICIALIZAÇÃO
lcd.setCursor(0,1);       //SETA A POSIÇÃO EM QUE O CURSOR INICIALIZA(LINHA 2)
lcd.print("APRESENTAÇÃO TCC"); //SETA A MENSAGEM DE INICIALIZAÇÃO
delay(1000);              //DEFINIÇÃO DO TEMPO DE DELAY DA MENSAGEM

lcd.setCursor(0,0);       //SETA A POSIÇÃO EM QUE O CURSOR INICIALIZA(LINHA 1)
lcd.print("POLIMENTO POR"); //SETA A MENSAGEM DE INICIALIZAÇÃO
lcd.setCursor(0,2);       //SETA A POSIÇÃO EM QUE O CURSOR INICIALIZA(LINHA 2)
lcd.print("TAMBOREAMENTO "); //SETA A MENSAGEM DE INICIALIZAÇÃO
delay(1000);              //DEFINIÇÃO DO TEMPO DE DELAY DA MENSAGEM

```

**Fonte:** Elaborado pelo autor

O modelo do display LCD utilizado no protótipo foi o LCD Keypad Shield que já vem integrado com os botões de controle do projeto. Desta forma torna uma opção viável por utilizar menos saídas do Arduino quando em comparação com uma ligação de cada botão independente, que acabaria por gerar a necessidade de utilização de um Arduino Mega que elevaria os custos do projeto.

Devido a essa forma de conexão dos botões o funcionamento é feito a partir do sinal recebido em apenas uma entrada analógica, dessa maneira é necessário criar comandos de comparação da frequência recebida como na imagem abaixo, para assim interpretar qual botão foi pressionado e realizar corretamente a função desejada.

**Figura 7:** Código para identificar qual botão foi pressionado

```

else if ((analogRead(80)) < 200)
{
| // tarefas realizadas ao apertar o botao pra cima
}

else if ((analogRead(200)) < 400)
{
| // tarefas realizadas ao apertar o botao pra baixo
}

```

**Fonte:** Elaborado pelo autor

#### 4.2.4 Programação dos motores

Os motores utilizados ao longo do desenvolvimento do protótipo possuem programações bem distintas e formas de funcionamento bem distintas.

O servo motor pode ser integrado diretamente ao Arduino, já que é um motor preparado para receber os comandos através de um microcontrolador. Os servos trabalham no projeto recebendo comando de movimentação para um ângulo específico, desta forma sendo necessário vários testes para aperfeiçoar as posições que são desejadas para o perfeito funcionamento do projeto.

Já o motor CC que realiza a rotação do tambor traz a necessidade do uso de um modulo relé, já que o motor CC não conseguiria receber diretamente os comandos

do Arduino. Desta forma o relé irá receber o comando de acionamento do Arduino e o próprio relé realiza a alimentação e promove a partida do motor quando necessário. O terceiro tipo de motor utilizado no projeto são os motovibradores que possuem um funcionamento simples, recebendo diretamente o comando do Arduino onde o vibrador fica ativado ou desativado por uma linha simples de código.

### **4.3 Ensaios**

Após a construção e programação de todo o protótipo foram realizados os ensaios finais com intuito de analisar o funcionamento do protótipo, identificar pontos positivos e negativos e constatar se os objetivos propostos foram atingidos. Nesta fase foram realizados 4 testes . Sendo dois testes utilizando o protótipo para polimento de materiais metálicos, e dois testes com a finalidade de realizar a limpeza de peças metálicas que estejam sujas por óleos.

Os testes de polimento não apresentaram resultados muito positivos . Foi possível identificar que o processo de polimento por tamboreamento se trata de um processo que demanda um ciclo de polimento demorado. Ciclo esse que deveria acontecer por pelo menos uma hora, para que seja realmente possível ter um resultado satisfatório no polimento da peça metálica.

Um ciclo demorado desta forma com o tempo irá gerar um grande desgaste do protótipo, já que o mesmo foi desenvolvido com estrutura acrílica que acaba por ser um material não tão resistente. Principalmente quando analisado que não foi possível realizar um posicionamento com alta precisão de centralização ao acoplar o tambor ao motor de rotação. Devido a essa situação o protótipo durante o ciclo de polimento acaba apresentando muita trepidação gerada pelo funcionamento do motor responsável pela rotação do tambor. Nesses testes é utilizado areia ou pó de pedra como material de moagem, que por se tratarem de materiais densos e pesados , acabam aumentando a trepidação do protótipo devido ao maior peso dentro do tambor.

Os ensaios realizados com intuito de realizar a limpeza de peças acabou por apresentar resultados bem mais positivos. Em um primeiro momento identificou-se que dentro dos processos possíveis de realização através do tamboreamento, a limpeza de peças com serragem funciona muito bem no protótipo. Uma das causas desse melhor funcionamento se deve a serragem de madeira possuir um peso bem abaixo da areia, por exemplo. Isso acaba por gerar uma redução da carga de trabalho

do protótipo, que conseqüentemente melhora a estabilidade do projeto durante o ciclo de polimento. Além do processo de limpeza se tratar de um trabalho que depende de um tempo bem menor de rotação, sendo possível perceber resultados bons com 5 minutos de rotação e quando aumentado esse tempo a 7 minutos não se faz tão nítida a melhorada da limpeza, isso visto que no teste de menor tempo os resultados já se mostraram satisfatórios. Desta forma tornando-se uma atividade mais viável para demonstração do projeto.

## **5 Considerações Finais**

É possível analisar após a conclusão do desenvolvimento e construção do protótipo de tamboreamento que os objetivos buscados foram atingidos. Todo o projeto foi desenvolvido tendo como objetivo principal um baixo custo de produção. Desta forma foram realizadas manobras para evitar custos, como, reciclagem de embalagens para utilização na estrutura e melhor aproveitamento das entradas analógicas e digitais do Arduino. E através destas manobras foi obtido sucesso ao manter o custo de produção do projeto acessível para as instituições educacionais em geral.

Foram realizados diversos testes de funcionamento do protótipo, onde foi possível concluir que apesar de funcional o protótipo apresentou um maior desempenho quando utilizado o método de tamboreamento com objetivo de limpeza de peças, onde o processo ocorreu com sucesso em um baixo intervalo de tempo, sendo assim uma opção mais viável para uma demonstração de funcionamento em aula. Nas realizações dos testes para polimento por tamboreamento foi identificado que o processo demandaria um alto tempo de rotação, desta forma se tornando não muito viável para demonstrações rápidas.

Analisa-se que na reprodução do projeto é possível desenvolver habilidades em diversas áreas. Podendo um professor dentro de sala utilizar o projeto tendo ênfase em algum âmbito ou de forma geral, podendo englobar automação, eletrônica, acionamento, programação e circuitos elétricos.

Ao longo do desenvolvimento do protótipo identificamos 2 dificuldades. A primeira dificuldade foi o dimensionamento dos servos motores

. Inicialmente foi utilizado um micro servo motor que não possuía torque suficiente para realização do trabalho necessário. Problema que foi resolvido

incluindo no projeto servos que possuíam seis vezes mais torque em comparação com os micro servos. A segunda dificuldade foi a centralização do tambor com precisão. Foi preciso realizar diversas tentativas de furações buscando uma maior estabilidade durante a rotação.

Devido ao protótipo não ter apresentado grande estabilidade, identifica-se a necessidade de uma melhoria no material de desenvolvimento da estrutura do projeto, podendo ser realizado até mesmo com placas acrílicas de maior espessura. Além da possibilidade de reduzir o tamanho das placas de acrílico reduzindo a altura do tambor, possibilitando assim uma maior estabilidade durante o processo de tamboreamento.

### Referências

ARDUINO. We Are Arduino, Arduino, Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 25 out. 2022.

Barbosa, Eduardo Fernandes, and DG de Moura. "Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia." *Anais International Conference on Engineering and Technology Education, Cairo, Egito*. Vol. 13. 2014.

Barbosa, Jane Rangel Alves. *Didática do ensino superior*. IESDE BRASIL SA, 2011.

BRASIL -Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017.

CHAPMAN, Stephen J. Fundamentos de máquinas elétricas [recurso eletrônico] / Stephen J. Chapman; tradução: Anatólio Laschuk. – 5ª Ed – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: AMGH, 2013.

Codá, Luiza Maria Romeiro, Silvano Sotelo Pião, and Rafael Santos Moura. "Estímulo ao aprendizado prático de eletrônica digital utilizando protótipos de projetos reais." *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia–COBENGE*. sn, 2013.

Colares, Regilany Paulo. "Estudo da inibição da corrosão do zinco por íons inorgânicos ecologicamente amigáveis: molibdato, tungstato, silicato e fosfato." (2009).

da Costa, Tércio DQ, et al. "Sistema didático de aquisição de dados e controle aplicado nas aulas de Laboratório de Sistemas de Controle." *Trabalho de Conclusão de Curso, ITEC-UFPA* (2009).

FERREIRA, I., COSTA, N.G., TOKIMATSU, R.C. Biomateriais. Fadiga dos metais. [s.l. : s.n.], 1998. p.32-34.

FRANCHI, CLAITIN MORO, Acionamentos eletricos. Editora Érica Ltda 4ª ed. 2008

FURTADO NETO, G.; SILVA, B. L. E. da; ARAÚJO Jr., L. O de & PEREIRA, R. R. Utilização do Kit Lego Mindstorm NXT no Ensino de Controle de Processos. Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém-PA, UFPA, 2012.

GOMES, F. J.; SILVEIRA, M. A. Experiências Pedagógicas. Em: Enciclopédia de Automática, volume 1. São Paulo: Blucher, 2007.

GUILHERME, A. S.; HENRIQUES, G. E. P.; ZAVANELLI, R. A.; MESQUITA, M. F. Surface roughness and fatigue performance of commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloy after different polishing protocols. J Prosthet Dent, v. 93, n. 4, p. 378-385, Jan., 2005.

JÚNIOR, GERALDO CARVALHO DO NASCIMENTO. *Máquinas elétricas: teoria e ensaios*. Saraiva Educação SA, 2011.

Martins, Isabela Maria, et al. "Aplicação de protótipo de microscópio de baixo custo como estratégia para o ensino de ciências e conscientização ambiental." *Extensão Tecnológica: Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense* 8.15 (2021): 191-207.

Martins, J. G., & PEREIRA, A. M. (2010). *Materiais de construção-Metals*.

Merçon, Fábio, Pedro Ivo C. Guimarães, and Fernando B. Mainier. "Sistemas experimentais para o estudo da corrosão em metais." *Química Nova na Escola* 33.1 (2011): 57-60.

Meyers, C., Jones, T. B., "Promoting Active Learning", Jossey-Bass Publishers, San Francisco, 1993.

MINTCHELL. G. Plan Ahead to Build the Perfect HMI System. Control Engineering, 2001. Disponível em: <https://www.controleng.com/articles/plan-ahead-to-build-the-perfect-hmisystem/>. Acesso em: 25 outubro 2022.

Petruzella, Frank. *Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne*. Bookman Editora, 2013.

Pimenta, Selma Garrido. "O estágio na formação de professores: unidade entre teoria e prática." *Cadernos de pesquisa* 94 (1995): 58-73.

Rodrigues, Huann Costa. "Desenvolvimento conceitual de um motovibrador unidirecional utilizado em acionamento de chaves seccionadoras." (2021).

Rosa<sup>1</sup>, Thaissa Mendonça, and Adérico Santana Guilherme. "Avaliação da influência do polimento sobre a rugosidade superficial de infra-estrutura metálicas de ligas Níquel-Cromo (Ni-Cr) e Cobalto-Cromo (Co-Cr) de próteses fixas sobre implantes."

Schmotz, K. *Grinding and polishing articles in bulk: Burnishing*. No. NASA-TM-75774. 1980.

Silva, Juan Pereira, Ricardo Ferreira da Silva, and Moisés Hamssés Sales de Souza. "ELABORAÇÃO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA O PROCESSO DE ENSINO APRENDIZAGEM DE AUTOMAÇÃO POR MEIO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS."(2022)

Six, P. W. M., and Programmable serial USART. "8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash."