



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE  
FÍSICA -LICENCIATURA

**LUCIANO SOARES MENDES JÚNIOR**

**MICROCONTROLADOR ARDUINO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA:  
VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

Caruaru  
2019

**LUCIANO SOARES MENDES JÚNIOR**

**MICROCONTROLADOR ARDUINO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA:  
VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

Monografia de Graduação apresentada ao Curso de Física-Licenciatura do Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

**Áreas de concentração:** Ensino de Física, Instrumentação, Vibrações Mecânicas.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Sérgio de Lemos Campello

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

M538m      Mendes Júnior, Luciano Soares.  
Microcontrolador Arduino aplicado ao ensino de física: vibrações mecânicas. /  
Luciano Soares Mendes Júnior. - 2020.  
59 f. ; il.: 30 cm.

Orientador: Sérgio de Lemos Campello.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de  
Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2020.  
Inclui Referências.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Investigação científica. 3. Ressonância. I. Campello,  
Sérgio de Lemos (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-022)

**LUCIANO SOARES MENDES JÚNIOR**

**MICROCONTROLADOR ARDUINO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA:  
VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

Monografia de Graduação apresentada ao Curso de Física-Licenciatura do Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Aprovada em: 13/02/2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profº. Dr. Sérgio de Lemos Campello (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profº. Dr. João Francisco Liberato Freitas  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profº. Dr. Gustavo Camelo Neto  
Universidade Federal de Pernambuco

## RESUMO

Tendo em vista as crescentes mudanças atuais no campo da tecnologia é necessário adaptar o ensino para acompanhar tais mudanças. É importante a confecção de materiais didáticos que visem a implantação da tecnologia como ferramenta que auxilie o ensino e aprendizagem, bem como o uso de metodologias que ajudem as aplicações da mesma. Também existe a necessidade do ensino de ciências da natureza entrar em consonância com a realidade que é vivida nos laboratórios (PESSOA, 2004). Desta forma, esse trabalho buscou o estudo do fenômeno de ressonância em corda vibrante. O percurso metodológico foi feito com base nas metodologias de ensino por investigação, que tem como objetivo levar o aluno a construir o conhecimento sobre determinado assunto de maneira similar ao que ocorre nos laboratórios. Para isso, foi montado um passo a passo de construção de um oscilador para fazer experimentos referentes ao assunto de ressonância em cordas vibrantes, tendo o baixo custo e a eficiência em produzir dados experimentais como foco principal. Foi usado o arduino como principal ferramenta na montagem do aparato experimental. Ao final, foram realizados dois experimentos, obtendo a relação entre frequência e número de harmônicos e a relação entre frequência, tensão e harmônicos, bem como *feedback* do funcionamento e a precisão que foi alcançada com a construção do oscilador de baixo custo. Foi observado que todos os dados são coerentes com a teoria e que o aparato fornece dados com boa precisão.

Palavras-chave: Ensino por Investigação. Arduino. Ensino de Física. Ressonância.

## **ABSTRACT**

In view of the current growing changes in the field of technology, it is necessary to adapt teaching to accompany such changes. It is important to make didactic materials that aim at the implementation of technology as a tool that helps teaching and learning, as well as the use of methodologies that help its applications. There is also a need for the teaching of natural sciences to come into line with the reality that is experienced in the laboratories (PESSOA, 2004). Thus, this work sought to develop a teaching proposal for the resonance content in vibrant strings. The methodological path was made based on teaching methodologies for research, which aims to lead the student to build knowledge on a given subject in a similar way to what occurs in laboratories. For this, a step-by-step construction of an oscillator was set up to make experiments related to the subject of resonance in vibrating strings, with the low cost and efficiency in producing experimental data as the main focus. Arduino was used as the main tool in the assembly of the experimental apparatus. At the end, two experiments were performed to obtain feedback on the operation as well as the precision that was achieved with the construction of the low cost oscillator. It was observed that all data are consistent with the theory and that the apparatus provides data with good accuracy.

Keywords: Teaching by Research. Arduino Physics teaching. Resonance .

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação visual de uma onda senoidal, destacando suas propriedades físicas.....	20
Figura 2 – Propagação de ondas em sentidos opostos.....	21
Figura 3 – Reflexão de pulsos de ondas .....	24
Figura 4 – Representação dos harmônicos.....	24
Figura 5 – Circuito de controle do motor.....	28
Figura 6 – Exemplo de circuito com interruptor de ação rápida.....	29
Figura 7 – Representação gráfica da tensão do circuito com interruptor de ação rápida.....	30
Figura 8 – Representação gráfica do ciclo ativo.....	30
Figura 9 – Representação gráfica na variação de largura de pulso.....	31
Figura 10 – TIP 120 .....	31
Figura 11 – Circuito para controle de velocidade.....	32
Figura 12 – Esquemático de ligação para controle do motor.....	33
Figura 13 – Código do circuito da figura 11 e 12.....	57
Figura 14 – Representação esquemática do enconder.....	34
Figura 15 – Data sheet do moto C8157-60097.....	35
Figura 16 – Circuito para medição da frequência do motor.....	36
Figura 17 – Circuito esquemático para medição da frequência do motor.....	36
Figura 18 – Código para calcular a frequência a partir dos pulsos gerados pelo enconder.....	58
Figura 19 – Circuito final do projeto.....	38
Figura 20 – Esquema elétrico do circuito final.....	39
Figura 21 – Código do projeto final.....	59
Figura 22 – Caixa do circuito final.....	40
Figura 23 – Representação esquemática da estrutura.....	40
Figura 24 – Esquemas de montagem bem como suas vistas reais .....	41
Figura 25 – Suporte para apoio da corda com pesos.....	42
Figura 26 – Suporte para o motor.....	43
Figura 27 – Haste e descentro onde será presa a corda.....	44
Figura 28 – Resultado final da estrutura mecânica.....	44
Figura 29 – Experimento em funcionamento.....	45
Figura 30 – Gráfico dos dados experimentais frequência em função de n...	47
Figura 31 – Dados experimentais com ajuste linear .....	48
Figura 32 – Comparação entre curva teórica e a obtida experimentalmente.	49
Figura 33 – Erro percentual e absoluto em fundação de n.....	50
Figura 34 – Dados experimentais da frequência em função da Tensão.....	51
Figura 35 – Curva teórica e experimental.....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>O ensino por investigação .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>A importância das atividades investigativas e o papel do aluno e do professor .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>As atividades investigativas.....</b>	<b>14</b>
2.3.1	Demonstrações Investigativas.....	14
2.3.1.1	<i>Como podem ser trabalhadas as demonstrações investigativas.....</i>	<i>14</i>
2.3.2	Laboratório Aberto .....	15
2.3.2.1	<i>Proposta do problema .....</i>	<i>16</i>
2.3.2.2	<i>Levantamento de Hipóteses .....</i>	<i>16</i>
2.3.2.3	<i>Elaboração do Plano de Trabalho .....</i>	<i>16</i>
2.3.2.4	<i>Montagem do Arranjo experimental e coleta de dados ..</i>	<i>17</i>
2.3.2.5	<i>Análise dos dados .....</i>	<i>17</i>
2.3.2.6	<i>Conclusão .....</i>	<i>17</i>
<b>2.4</b>	<b>Questões Abertas .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Problemas Abertos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6</b>	<b>Fundamentação teórica dos conceitos Físicos .....</b>	<b>19</b>
2.6.1	Ondas Estacionárias .....	19
2.6.2	Reflexões de ondas numa corda .....	23
2.6.3	Ressonância .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Lista de componentes da parte eletrônica .....</b>	<b>27</b>
3.1.1	Custos .....	28
<b>3.2</b>	<b>Circuito de controle de velocidade .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Circuito sensor de rotação .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Display e circuito de alimentação .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5</b>	<b>Estrutura mecânica .....</b>	<b>40</b>
3.5.1	Lista de materiais da estrutura mecânica .....	41
3.5.2	Base do experimento .....	41
3.5.3	Haste para apoiar a corda .....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Relação entre frequência (f) e harmônicos (n) .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Relação entre frequência (f) e Tensão (T) .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE A – CÓDIGOS FONTES .....</b>	<b>57</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A busca por novas metodologias tem sido um dos temas mais debatidos por pesquisadores da área de ensino. Tendo em vista que as crescentes mudanças ocorridas nas últimas décadas após os avanços de tecnologias, como a internet e o computador de uso pessoal, trouxeram-nos novas ferramentas, que por sua vez podem ser usadas para auxiliar o ensino e aprendizagem de uma determinada disciplina. Agora o desafio é capacitar os formandos em cursos que são destinados à docência para utilizar metodologias que façam uso das tecnologias disponíveis ao seu favor, possibilitando assim uma aprendizagem mais inserida no contexto atual.

Uma dessas novas tecnologias que surgiu nos últimos anos é o Arduino, o qual é uma plataforma de computação física, de fonte aberta para a criação de objetos interativos independentes ou em colaboração com softwares de computador (BANZI, 2015). O Arduino foi originalmente projetado para artistas, designers e outros profissionais que queiram incorporar a computação física a seus projetos sem que para isso precisem ter se formado em Engenharia Elétrica (BANZI, 2015). Hoje em dia podem-se encontrar diversos modelos de placas Arduino de diferentes fabricantes, que estão sendo usada em diversas áreas, como Robótica, Engenharia, Medicina e também está se intensificando na educação, pois o mesmo possui um baixo custo comparado aos kits educacionais prontos (KAMADA, 2017). Outra vantagem é sua capacidade de customização, pois, diferentemente de outras plataformas, os projetos com Arduino podem se adaptar em diferentes soluções de problemas com facilidade.

Como poderemos perceber, o Arduino é uma ótima opção para a construção de experimentos de física que visam um baixo custo sem perder a qualidade dos resultados experimentais. Esse tipo de abordagem se encaixa perfeitamente em escolas da rede pública, nas quais muitas vezes a compra de kits experimentais fica em segundo plano pela escassez de verbas destinadas a tal finalidade. Além disso, o Arduino possui na licença denominada de Licença *Creative Commons* (*Creative Commons Attribution Share-Alike license*), que tem o significado de dar a permissão para adaptação, reformulação, reestruturação ou reelaboração para todos os fins, seja lucrativo ou não, desde que o mérito e o crédito sejam dados ao autor e as

obras publicadas sejam licenciadas sob os mesmos termos (KAMADA, 2017). A programação também é *open-source*, utilizando uma linguagem derivada do Processing (KAMADA, 2017).

Este trabalho tem como Objetivo: estudar ressonância e ondas estacionárias em cordas vibrantes. A construção de um oscilador de baixo custo usando o Arduino será usada como ferramenta para aplicação das metodologias de ensino por investigação, tendo em vista que na maioria dos livros didáticos há a representação de tal aparato experimental, porém nem todas as escolas têm o mesmo em seu laboratório por se tratar de um equipamento caro.

Seguindo o conteúdo deste trabalho, no capítulo 2 serão tratados os fundamentos teóricos e as perspectivas do ensino por investigação, bem como seus principais aspectos e formas de serem abordados. Também serão apresentados os fundamentos teóricos sobre ressonância em cordas vibrantes, onde serão deduzidas suas principais equações algébricas. No capítulo 3, será formulado o passo a passo a construção do oscilador. Serão apresentados os materiais, circuitos eletrônicos bem como seu esquema de ligação, funcionamento e programação. Ainda neste capítulo é sugerido um esquema para montagem da estrutura mecânica. Será explicada também a técnica de controle de velocidade por PWM (*Pulse Width Modulation* ou Modulação de Largura de Pulso). No capítulo 4, serão mostrados alguns resultados que podem ser obtidos usando o experimento já construído, também serão sugeridas algumas discussões que podem ser feitas com os mesmos. Por fim, o capítulo 5 trará as conclusões e perspectivas.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo, pretendemos apresentar uma breve discussão e apresentação do ensino por investigação. Discutiremos o papel das atividades investigativas na construção do conhecimento, bem como as atitudes do professor e do aluno, os tipos de atividades investigativas e os conceitos físicos para entendimento do trabalho.

### **2.1 O ensino por investigação**

É sabido que o conhecimento científico é construído por meio da investigação, que por sua vez é constituída basicamente de observação, levantamento de hipóteses, experimentação e discussão de resultados. Em ciências da natureza, essas características ficam ainda mais evidentes. Por exemplo, em Física, a partir de observações e análise de dados experimentais, tentamos encontrar padrões em fenômenos onde são traduzidos para a linguagem matemática, dando origem a modelos matemáticos para obtenção de previsões e comparação com experimentos, tendo como objetivo validar o modelo proposto. Percebe-se que existe um longo caminho até um certo conhecimento ser construído e o cientista é análogo a um detetive que segue pistas dadas pelas observações e experimentações.

Dada essa perspectiva, por que não ensinar assuntos de Física ou Ciências no geral a partir da investigação? Os trabalhos de pesquisa em ensino mostram que os estudantes aprendem mais sobre a ciência e desenvolvem melhor seus conhecimentos conceituais quando participam de investigações científicas, semelhantes às feitas nos laboratórios de pesquisa (HUDSON, 1992). Essas mesmas pesquisas mostram que a separação da resolução de problemas, a teoria e as práticas experimentais, tornando o ensino de ciências confuso, as partes estão muito relacionadas umas com as outras, formando um todo coerente e que não deveria ser tratado de maneira separada.

Tomando todas essas considerações, percebemos que há uma necessidade em incluir nos planejamentos das aulas de Física a investigação, questões abertas e

problemas abertos, demonstrações investigativas e laboratórios abertos, tornando assim as aulas de Física mais próximas do que se imagina da realidade do trabalho científico realizado pelos pesquisadores. A meta é guiar os alunos na utilização da metodologia científica, fazer com que eles pensem, debatam, justifiquem suas hipóteses e apliquem seus conhecimentos em situações por muitas vezes novas, usando os conhecimentos teóricos e matemáticos, aplicando assim os modelos já trazidos nos livros didáticos e encontrando novos modelos para determinado fenômeno.

## **2.2 A importância das atividades investigativas e o papel do aluno e do professor.**

Podemos perceber que uma proposta de atividade investigativa, que não precisa ser necessariamente de laboratório, é uma importante estratégia no ensino de Física e de Ciências no geral. As atividades investigativas podem ser pensadas para alcançarem diferentes objetivos pedagógicos e até mesmo sociais, pois as mesmas levarão o aluno a socializar ideias, questionar, problematizar, cooperar, trabalhar em equipe, entre outras (PESSOA, 2004).

De acordo com Carvalho (1995), “É preciso que sejam realizadas diferentes atividades, que devem estar acompanhadas de situações problematizadoras, questionadoras e de diálogo, envolvendo a resolução de problemas e levando à introdução do conceito para que os alunos possam construir seu conhecimento”. A resolução de problemas por meio da investigação deve estar focada na ação do aluno. Os alunos devem ser guiados a interferir e a aula deve ser acompanhada de ações e demonstrações que os levem a um trabalho prático. Porém, o mesmo não deve apenas manipular e observar dados de forma limitada, pois uma atividade de cunho investigativo deve ter características de um trabalho científico: os alunos devem pensar, problematizar, explicar, relatar, testar novas formas de se obter o resultado. Estas ações darão ao trabalho características de uma investigação científica.

Um ponto crucial se dá na fundamentação dessa investigação, pois a mesma deve fazer sentido para o aluno e o mesmo deve saber o porquê da sua

investigação para aquele determinado fenômeno. Para que tal situação aconteça, é imprescindível que o professor, neste tipo de atividade, proponha um problema sobre o que está sendo estudado (PESSOA, 2004).

Para Lewin e Lomascólo (1998):

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratório como 'projetos de investigação', favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas afirmações, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais. (LEWIN, e LOMASCÓLO, 1998, p. 148).

Então, uma atividade investigativa está fundamentada no agir e no envolvimento emocional do aluno com a investigação proposta. Caso isso não ocorra, não haverá aprendizagem sobre o determinando conteúdo. Percebemos então que em uma proposta investigativa o aluno sai de uma postura passiva de receptáculo do conhecimento para passar a ajudar a si próprio a construir tal conhecimento. O professor, por sua vez, sai de sua postura habitual e passa a agir como um guia fazendo o aluno pensar no que ele está observando. Dessa forma, os alunos poderão perceber por meio da observação e ação que o conhecimento científico é formado através de uma construção, revelando assim suas características dinâmicas e abertas.

Gil e Castro (1996) listam alguns aspectos das atividades científicas que podem ser trabalhados numa atividade investigativa. Dentre eles estão:

1. Apresentar situações problemáticas abertas;
2. Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas;
3. Potencializar análises qualitativas significativas, que ajudem a compreender e acatar as situações planejadas e a formular perguntas operativas sobre o que se busca;

4. Considerar a elaboração de hipóteses como atividade central da investigação científica, sendo esse processo capaz de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas as concepções prévias dos estudantes;
5. Considerar as análises, com atenção nos resultados (sua interpretação física, confiabilidade etc.), de acordo com os conhecimentos disponíveis, das hipóteses manejadas e dos resultados das demais equipes de estudantes;
6. Conceder uma importância especial às memórias científicas que reflitam o trabalho realizado e possam ressaltar o papel da comunicação e do debate na atividade científica;
7. Ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho, que interajam entre si.

Segundo Blosser (1988), as metas pedagógicas que se podem atingir com uma abordagem investigativa podem ser resumidas numa lista de cinco grupos. São eles:

- **Habilidades** – de manipular, questionar, investigar, organizar, comunicar, medir;
- **Conceitos** – por exemplo: hipótese, modelo teórico, categoria taxionômica;
- **Habilidades cognitivas** – pensamento crítico, solução de problemas, aplicação, síntese;
- **Compreensão da natureza da ciência** – empreendimento científico, cientistas e como eles trabalham a existência de uma multiplicidade de métodos científicos, interrelações entre ciência e tecnologia e entre várias disciplinas científicas.
- **Atitudes** – por exemplo: curiosidade, interesse, correr risco, objetividade, precisão, perseverança, satisfação, responsabilidade, consenso, colaboração, gostar de ciência.

## 2.3 As atividades investigativas

Neste tópico da fundamentação teórica serão descritas as atividades investigativas que podem ser usadas em uma proposta de Ensino por Investigação. São elas: Demonstrações Investigativas, Laboratório Aberto, Questões Abertas e Problemas Abertos.

### 2.3.1 Demonstrações Investigativas

Em ciências, podemos ilustrar experimentalmente um fenômeno que já foi estudado ou que está sendo, a fim de comprovar a teoria do mesmo (PESSOA, 2004). De acordo com Pessoa (2004), acredita-se que as demonstrações experimentais podem trazer uma contribuição maior para o ensino de Física, desde que envolvam uma investigação acerca dos fenômenos demonstrados. Então, podemos definir demonstrações experimentais investigativas como as demonstrações que partem da apresentação de um problema ou um fenômeno a ser estudado e levam à investigação a respeito do mesmo (PESSOA, 2004).

#### 2.3.1.1 *Como podem ser trabalhadas as demonstrações investigativas*

De início, as demonstrações investigativas partem de um problema. O problema será proposto à turma pelo professor que, por meio de questionamentos feitos aos alunos, procura “detectar” que tipo de conhecimento, seja ele de senso comum ou intuitivo, os alunos têm sobre o assunto (PESSOA, 2004). Essa ação é tomada para que os mesmos exercitem suas habilidades de argumentação para, a partir dessa sistematização, os alunos chegarem ao conceito envolvido.

Após uma discussão geral e uma formulação do problema, a demonstração é realizada e após esse momento se tem início uma discussão sobre o que havia sido observado. O professor tem um papel fundamental em todos os momentos da demonstração por investigação. Ele terá o objetivo de guiar os alunos na passagem do conhecimento de senso comum para o saber científico. O professor fará isso propondo questionamentos, sobre o que foi observado, levando a turma a pensar em diferentes explicações que podem ser baseadas em textos de história da ciência;

para levar a turma a entender como o pensamento sobre aquele fenômeno foi evoluindo ao decorrer do tempo.

Por fim, após as discussões, o professor pode sintetizar as explicações dadas ao fenômeno de maneira a mostrar como a ciência descreve o mesmo e quando necessária chega aos modelos matemáticos do fenômeno em questão (PESSOA, 2004).

As demonstrações realizadas em sala podem ser chamadas de investigativas, porque o aluno foi levado a participar da formulação de hipóteses acerca do problema proposto pelo professor e da análise dos resultados obtidos, ou seja, foi levado a encarar os trabalhos experimentais desenvolvidos em sala de aula como atividades de investigação (LEWIN e LOMASCÓLO, 1998).

De acordo com Pessoa (2004) as aulas de demonstração investigativa podem trazer muitos benefícios para o ensino de ciências e conseqüentemente para o ensino de física. Tais benefícios são:

- Percepção de concepções espontâneas por meio da participação do aluno nas diversas etapas da resolução de problemas;
- Valorização de um ensino por investigação;
- Aproximação de uma atividade de investigação científica;
- Maior participação e interação do aluno em sala de aula;
- Valorização da interação do aluno com o objeto de estudo;
- Valorização da aprendizagem de atitudes e não apenas de conteúdos;
- Possibilidade da criação de conflitos cognitivos em sala de aula.

### 2.3.2 Laboratório Aberto

Como o nome já sugere, uma atividade de laboratório aberto tem como objetivo solucionar uma questão por meio da experimentação. A forma como essa solução é encontrada pode ser dividida em seis partes ou momentos (PESSOA, 2004). São eles: proposta do problema, levantamento de hipóteses, elaboração do plano de trabalho, montagem do arranjo experimental, coleta de dados e, por fim, a conclusão. A seguir é esboçado um diagrama sobre os conceitos que serão discutidos nessa seção.

Diagrama



### 2.3.2.1 *Proposta do problema*

O problema será proposto de forma a incentivar a curiosidade científica dos estudantes. É de extrema importância que a questão não seja muito restrita, para que a mesma possa gerar discussões amplas e os estudantes possam usar o pensamento crítico. Por exemplo: “O raio de objetos cilíndricos influencia na velocidade que os mesmos descem em uma rampa?” ou “A temperatura que um material condutor se encontra influencia sua resistência a passagem da corrente elétrica?”

### 2.3.2.2 *Levantamento de Hipóteses*

Após o problema ser proposto, a equipe de alunos deve levantar as hipóteses sobre as possíveis soluções do mesmo (PESSOA, 2004). As mesmas devem ser feitas por meio de discussões sobre o fenômeno. Os alunos devem também usar conhecimentos prévios sobre o assunto em questão.

### 2.3.2.3 *Elaboração do Plano de Trabalho*

Este é um momento importante, pois será discutida a maneira com a qual o problema será atacado. Esta etapa ocorre após o levantamento das hipóteses e nela será decidida como o experimento será realizado, e como será feita a coleta dos dados. A participação do professor nesta etapa é imprescindível pois ele trará discussões, como por exemplo, de que nem todas as hipóteses podem ser testadas por um único experimento. O professor deve conduzir esses questionamentos.

#### *2.3.2.4 Montagem do Arranjo experimental e coleta de dados*

Os alunos, após definirem tudo no plano de trabalho, o executarão e então será construído um arranjo experimental e será efetuada a coleta dos dados. É uma parte importante do laboratório aberto, pois mostrará aos alunos que a Física é uma ciência experimental.

Um ponto importante é que, nesta etapa do trabalho, os estudantes, com a ajuda do professor, serão capazes de identificar a importância na maneira que se coletam os dados experimentais, pois medições erradas ou imprecisas poderão levá-los a conclusões erradas.

#### *2.3.2.5 Análise dos dados*

Após a obtenção dos dados, será necessário analisá-los de maneira a tirar alguma informação útil sobre a questão problema. Nesta etapa, serão construídos gráficos ou tabelas, caso seja necessário. Nesta etapa também será feito uso de equações e também poderá ser usado um pouco de estatística na análise dos dados. Isso tudo será guiado pelo professor, pois alguns podem ser conhecimentos novos.

#### *2.3.2.6 Conclusão*

Na conclusão, será feita a síntese de todos os resultados obtidos e quais hipóteses foram comprovadas, a fim de chegar nas consequências sobre as mesmas.

## **2.4 Questões Abertas**

As questões abertas, segundo Pessoa (2004), podem ser definidas como: aquelas em que procuramos propor para os alunos fatos relacionados ao seu dia a dia, e cuja explicação estivesse ligada ao conceito discutido e construído nas aulas anteriores. Essas, por sua vez, têm grande importância na construção do pensamento argumentativo dos alunos e da sua redação, ajudando o desenvolvimento de competências que são hoje cobradas no ENEM. Tais competências são: aplicar conceitos para a compreensão de fenômenos naturais, selecionar e organizar informação para enfrentar situações-problema; organizar informações e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para a construção de argumentações consistentes (PESSOA, 2004).

Uma boa maneira de aplicar as questões abertas é propô-las em forma de desafio para toda a turma ou separando a turma em grupos. Posteriormente, as respostas podem ser recolhidas pelos professores e corrigidas, levantando discussões sobre as mesmas. A coerência entre as respostas certas e erradas deve ficar evidenciada para os alunos. É essencial que haja algum registro, pois servirá de material para estudos futuros, fazendo o aluno criar um banco de memórias sobre os fatos discutidos em sala.

## **2.5 Problemas Abertos**

Os problemas abertos são situações gerais apresentadas aos grupos ou a classe, nas quais se discute desde as condições de contorno até as possíveis soluções para a situação apresentada (PESSOA, 2004). Problemas abertos vão além das questões abertas vista no tópico anterior, pois não se limitam apenas na discussão dos conceitos, o mesmo também leva em consideração a parte matemática dos problemas, pois além de problematizar conceitualmente é também parte importante formular o problema em um modelo matemático e resolver o mesmo. Além do mais os problemas abertos diferem das atividades de laboratório aberto. Apesar das suas semelhanças os problemas abertos são atividades

investigativas de cunho teórico, não tendo montagem experimental, e coleta de dados, todas as análises e conclusões são feitas a partir das implicações conceituais e matemáticas formuladas e discutidas pela equipe.

É importante que os problemas abertos sejam de interesse do aluno e que relacionem Ciências\Tecnologia\ Sociedade. Primeiro os alunos vão encarar o problema de maneira qualitativa, discutindo os conceitos envolvidos, elaborando as hipóteses, e suas implicações. Após essa primeira etapa, o grupo deverá formular o problema de maneira algébrica e o professor deve conduzir todo o processo para que os alunos possam entender a formulação algébrica e suas implicações conceituais.

## **2.6 Fundamentação teórica dos conceitos Físicos**

Neste tópico apresentaremos os fundamentos teóricos para o entendimento do nosso experimento, que diz respeito ao tema ondas estacionária e ressonância em uma corda vibrante.

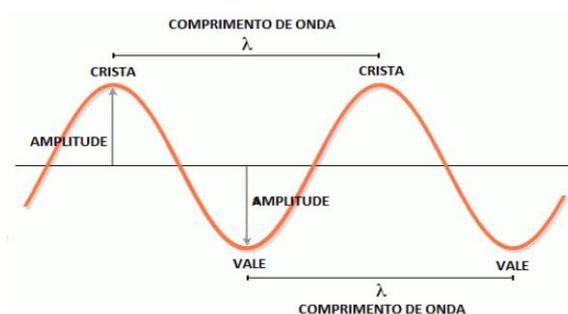
### **2.6.1 Ondas Estacionárias**

Ondas no geral podem ser definidas como perturbações que se deslocam no espaço transportando, essencialmente energia de um ponto para o outro, sem efetuar o transporte de matéria (HALLIDAY, 2014). Podem ser citadas ondas de diferentes naturezas, mecânica, eletromagnética e gravitacional, por exemplo. Ainda podemos classificar as ondas segundo sua propagação, sendo elas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. Quanto à direção de perturbação, são divididas em ondas transversais e longitudinais.

Todas as ondas possuem propriedades físicas, como comprimento de onda, frequência, período, velocidade de propagação e amplitude. Onde o comprimento de onda é equivalente ao espaço que as ondas avançam até que realizem uma oscilação completa ou podemos defini-lo como a distância entre dois vales consecutivos, duas cristas consecutivas. A unidade de comprimento de onda no SI é o metro. A frequência por sua vez é dada pelo número de oscilações que a onda

realiza a cada segundo, sua unidade no SI é em hertz (HZ), que é o inverso do segundo. O período de uma onda é o intervalo de tempo que a mesma leva para efetuar uma oscilação completa, sua unidade no SI é em segundos. O período também pode ser definido como o inverso da frequência. A velocidade de propagação da onda por sua vez dependerá do meio onde a onda se propaga. No SI a mesma é medida em metros por segundos. A mesma também está relacionada com o comprimento de onda e a frequência. A amplitude está relacionada com a intensidade da onda. A amplitude também pode ser definida como a distância da posição de equilíbrio até a altura de uma crista ou vale. Veja na figura a seguir as propriedades físicas mencionadas em uma onda senoidal, que é um tipo de onda que pode ser representada matematicamente por funções seno e cosseno.

**Figura 1:** Representação visual de uma onda senoidal, destacando suas propriedades físicas.

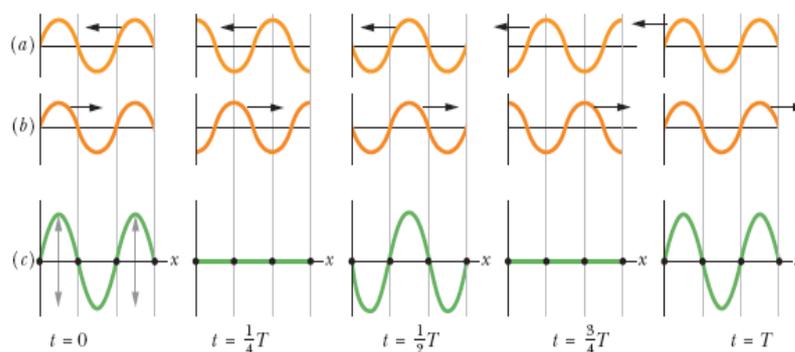


**Fonte:** <https://athoselectronics.com/frequencia-como-funciona/>.

O que acontece se as ondas se propagam em sentidos opostos? A resposta é dada de maneira simples, pois essas ondas se combinam e formam uma onda resultante. Veja a situação ilustrada na figura 1.

Temos a onda (a) e (b) com direções de propagação opostas. Em (c) temos o resultado da superposição dessas ondas em quatro instantes de tempo diferentes. O que podemos observar é a existência de pontos dessa onda que permanecem imóveis, os quais são chamados de **nós**. Observe na figura 2, a onda resultante (c) que quatro desses pontos foram destacados. O ponto médio entre dois nós é onde se encontram os **antinós** que são pontos onde a amplitude da onda é máxima.

**Figura 2 :** Propagação de ondas em sentidos opostos.



**Fonte:** Halliday, p.136, 2010.

A onda resultante dessa superposição é chamada de **onda estacionária**, pois a sua forma não se move para nenhum dos lados, permanecendo estacionada. Isto implica também que as posições dos nós e antinós também permanecem imóveis. Chegamos então a seguinte definição: Se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam *em sentidos opostos* em uma corda, a interferência mútua produz uma onda **estacionária** (HALLIDAY, p.135, 2014).

Para encontrarmos uma expressão algébrica que nos permita descrever a onda estacionária e localizar os pontos onde se encontram os nós e antinós, basta fazermos uma análise quantitativa aplicando o princípio da superposição, onde diz respeito a forma a qual as ondas se combinam. Representaremos as ondas por:

$$y_1(x,t) = A \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$y_2(x,t) = A \text{sen}(kx + \omega t) \quad (2)$$

Onde  $k$  é o número de onda dado por  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $x$  é a distância,  $\omega$  é a frequência angular, por fim  $A$  é a amplitude da onda. Os sinais de mais e menos no termo  $\omega t$  dará o sentido da propagação da onda. Combinando essas duas ondas obtemos a equação de onda resultante que se encontra na equação (3).

$$y_r(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) = A\text{sen}(kx - \omega t) + A\text{sen}(kx + \omega t) \quad (3)$$

Onde após o desenvolvimento do cálculo aplicando identidade trigonométrica chegamos em:

$$\overbrace{y_r(x,t)}^{\text{Deslocamento}} = \underbrace{[2A\text{sen}(kx)]}_{\substack{\text{Fator} \\ \text{Amplitude}}} \underbrace{\cos(\omega t)}_{\substack{\text{Fator} \\ \text{Oscilatório}}} \quad (4)$$

Está equação descreve uma onda estacionária, observe que sua equação é diferente das equações 1 e 2. Observe também que temos dois fatores: o  $2A\text{sen}(kx)$  e  $\cos(\omega t)$ , cada um deles terá um significado físico referente às propriedades da onda. O fator  $2A\text{sen}(kx)$  é a amplitude de oscilação do elemento de corda situado na posição  $x$ , a partir dele podemos encontrar a posição  $x$  a qual se encontram dispostos os nós. Em uma onda estacionária a amplitude é zero para valores de  $kx$  tais que  $\text{sen}(kx) = 0$ . Sabemos que a função seno tem seus valores iguais a zero para múltiplos inteiros de  $\pi$ , logo os valores de  $kx$  que satisfazem essa condição são:

$$kx = n\pi \text{ em que } n = 0,1,2,\dots \quad (5)$$

Fazendo  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  e substituindo em (5) obtemos a relação:

$$x = n \frac{\lambda}{2} \text{ em que } n = 0,1,2,\dots (\text{nós}) \quad (6)$$

A partir dessa relação podemos notar que a distância entre os nós vizinhos é a metade do comprimento de onda  $\lambda/2$ . Para a posição dos antinós, sabemos que a amplitude da onda estacionária terá seu valor máximo de  $2A$ , que ocorrerá para valores de  $kx$  tais que  $|\text{sen}(kx)| = 1$ . Tais valores são

$$kx = \frac{1}{2}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi \text{ em que } n = 0,1,2,\dots \quad (7)$$

Fazendo  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  e substituindo em (7) para isolar  $x$  obtemos a seguinte relação.

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \text{ em que } n = 0, 1, 2, \dots (\text{antinós}) \quad (8)$$

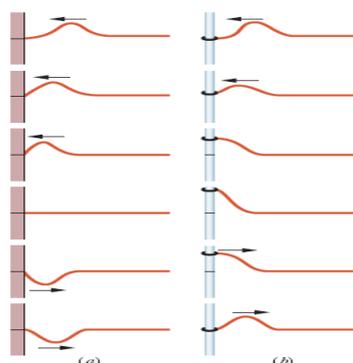
Assim como os nós, os antinós também estão separados um dos outros por uma distância de  $\frac{\lambda}{2}$ .

### 2.6.2 Reflexões de ondas numa corda

Considerando uma corda esticada onde em uma das suas extremidades contém um anteparo, podemos excitar um pulso de onda nesta corda, o pulso viajará até a extremidade onde encontrará o anteparo. Quando o pulso chega a essa extremidade o mesmo exerce uma força sobre o anteparo, e de acordo com a terceira lei de Newton, o suporte exerce uma força contrária, porém de mesmo módulo, sobre a corda.

A força exercida pelo anteparo na corda gerará um outro pulso que se propaga no sentido oposto ao do pulso incidente, isto é o que chamamos de reflexão, a onda ao encontrar o anteparo é refletida com o mesmo módulo e a direção oposta ao pulso de onda incidente. Existem basicamente dois tipos de reflexões. A reflexão que ocorre quando a extremidade está fixa, sem poder se mover em um anteparo, como por exemplo, uma corda que está presa a um prego na parede. Neste tipo de reflexão a onda é refletida com mesmo módulo, porém a posição do seu pulso será invertida. No outro tipo de reflexão a corda pode se mover para cima e para baixo, como, por exemplo, uma corda presa por uma argola que pode se mover em uma barra sem muito atrito. Neste caso a onda quando é refletido, o pulso terá mesmo módulo e sinais do pulso incidente. A figura 3 ilustra essas duas situações. Se houver um conjunto muito grandes de pulsos continuamente esses pulsos refletidos e incididos irão se encontrar e por meio da combinação das ondas formarão ondas estacionárias se os mesmos alcançarem as frequências naturais do sistema (HALLIDAY, 2014).

**Figura 3 :** (a) Reflexão de onda com extremidade imóvel. (b) Reflexão de ondas com extremidade móvel.



**Fonte:** Halliday, p. 137, 2010.

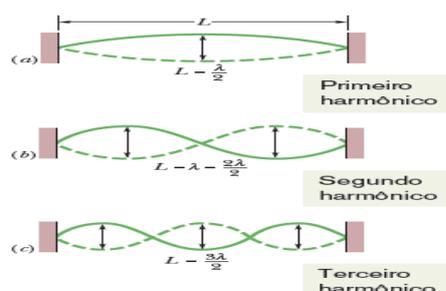
### 2.6.3 Ressonância

Para certas frequências, a interferência produz uma onda estacionária ou modo de oscilação com nós e antinós. Uma onda estacionária desse tipo é gerada quando existe o que chamamos de ressonância e que a corda ressoa. As frequências para qual esse fenômeno ocorre são chamadas de frequências de ressonância. Caso a corda seja excitada em uma frequência diferente de suas frequências de ressonância, não haverá a formação de ondas estacionárias.

Queremos encontrar uma equação algébrica que, a partir das propriedades da corda e da fonte, gerem os pulsos de ondas e que possamos calcular para quais frequências ocorrerá a formação de ondas estacionárias.

Começemos imaginando que uma corda esteja presa entre duas extremidades separadas por uma distância  $L$ . As extremidades são fixas e não devem oscilar. A configuração mais simples é quando existe apenas um antinó, no centro da corda como pode ser visto na figura 4-a.

**Figura 4 :** Representação dos harmônicos (a) Primeiro Harmônico. (b) segundo Harmônico.(c) Terceiro harmônico.



**Fonte:** Halliday, p. 138, 2010.

Observe que o comprimento  $L$  da corda é igual a meio comprimento de onda. Assim, para essa configuração que chamamos de primeiro harmônico,  $\lambda/2 = L$ , logo para que as ondas que se propagam para esquerda e direita da corda produzam essa configuração por interferência, às mesmas devem ter um comprimento de onda  $\lambda = 2L$ . Outra configuração simples que satisfaz a condição de que tenha que existir nós nas extremidades fixas pode ser vista na figura 4-b. Para essa configuração temos três nós e dois antinós. Para que as ondas que se propagam gerem essa configuração elas precisam ter um comprimento de onda  $\lambda = L$ . Para uma terceira configuração que satisfaça essa mesma condição tem quatro nós e três antinós veja a figura 3-c, o comprimento de onda da mesma deve ser  $\lambda = 2L/3$ . Observamos um certo padrão que para cada comprimento de onda que segue a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \text{ em que } n = 1,2,3,\dots \quad (9)$$

Então, uma onda estacionária pode ser gerada em uma corda de comprimento  $L$  por qualquer onda cujo o comprimento satisfaça a condição apresentada na equação (9). Para as frequências de ressonância que correspondem a esses comprimentos de onda, podemos usar a equação (10).

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (10)$$

Substituindo (9) em (10) obtemos:

$$f = n \frac{v}{2L} \text{ em que } n = 1,2,3,\dots \quad (11)$$

Onde  $v$  é a velocidade das ondas progressivas em uma corda e é dada pela equação.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (12)$$

Onde  $T$  é a tensão e  $\mu$  é a densidade linear da corda que pode ser calculada dividindo a massa pelo comprimento total  $L$  da corda.

$$\mu = \frac{m}{L} \quad (13)$$

Substituindo (12) e (13) em (11) chegamos a expressão para as frequências de ressonância em uma corda tensionada.

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{TL}{m}} \quad \text{onde } n = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

Os valores de  $T$ ,  $L$  e  $m$  são medidos experimentalmente. Com a equação (14) conseguimos calcular as frequências para formar cada harmônico  $n$ . Então, para o primeiro harmônico, teremos  $n = 1$ , para o segundo  $n = 2$ , e assim sucessivamente. Podemos relacionar os harmônicos com o número de ventres que é formado na corda ou com o número de nós da mesma.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentado a metodologia de construção do experimento, bem como a lista de materiais usados para o desenvolvimento do mesmo. Tendo em vista manter uma boa didática na exposição do passo a passo de montagem, iremos dividi-la em partes. A eletrônica foi subdividida em três circuitos distintos que juntos formam o circuito final, logo em seguida, vem a estrutura mecânica. Vale pontuar que todos os desenhos dos circuitos que serão usados aqui foram feitos em software livre. Primeiro recomendamos que todos os circuitos sejam montados em uma *Protoboard* e posteriormente sejam passados para a placa *Fenolite-Perfurada*.

#### 3.1 Lista de componentes da parte eletrônica

Segue abaixo a lista de materiais utilizados na montagem da parte eletrônica:

- 1 - Arduino Nano;
- 1 - Placa de fenolite perfurada 10x5cm;
- 1 - *Display* lcd nokia 5110;
- 1 - Motor C8157-60097 Hp Officejet Pro K550
- 1 - Potenciômetro de 10K;
- 1 - Chave seletora on-off;
- 2 - Resistores de 230 ohms;
- 1 - Resistor de 15Kohms;
- 1 - Diodo limitador de corrente 1N4007;
- 1 - Capacitor de 100 $\mu$ F;
- 1 - Fonte de alimentação 12V-2A;
- 1 - Transistor TIP 120;
- 1 - Regulador de Tensão 7809-9V;
- 1 - Dissipador de calor;
- 1 - Ferro de solda;
- 1 - Sugador para solda;
- 15 - *Jamper's* ou Fio de Internet.

### 3.1.1 Custos

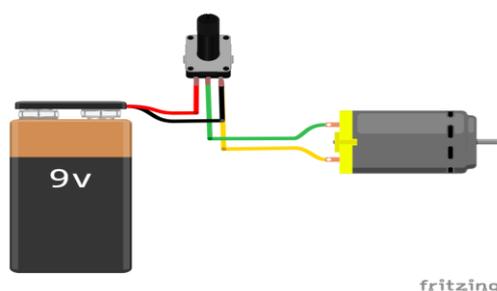
O arranjo experimental foi projetado de forma que a sua construção oferecesse o melhor custo benefício, tendo em vista sua possível utilização em escolas da rede pública com orçamento limitado. Para a construção da estrutura mecânica, foi gasto um total de R\$ 25,00 reais. Por sua vez para o circuito eletrônico foi utilizado um orçamento de R\$ 160,00 reais, sendo contabilizadas em tal valor as ferramentas utilizadas para fazer a montagem do mesmo. Temos um total de R\$ 185,00 reais que é 11% do valor de um comprado em fábrica com mesmas características.

## 3.2 Circuito de controle de velocidade

Nesta seção será especificado o passo a passo de montagem do circuito de controle da velocidade do motor, bem como seus principais aspectos. Para isso, usaremos uma técnica chamada de *PWM* (*Pulse Width Modulation* ou Modulação de Largura de Pulso), aproveitando assim algumas funções já fornecidas pelo padrão da linguagem do Arduino.

Existem várias técnicas para controle de velocidades em motores elétricos. A mais comum é o controle por limitação da corrente, exemplificada na figura 5. O dispositivo ligado entre o motor e a bateria é chamado de potenciômetro, ou resistor variável, o mesmo limita a passagem de corrente entre uma faixa específica de acordo com as suas propriedades, com isso é possível variar a potencia, possibilitando controlar o motor deixando o mesmo com velocidades mais altas ou mais baixas.

**Figura 5:** Circuito de controle do motor.

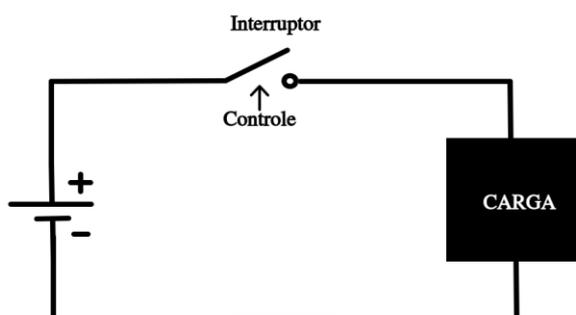


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Há uma desvantagem em usar esse método: a queda de tensão do potenciômetro multiplicada pela corrente que ele limita representa uma grande quantidade de calor gerado. O controle passa a dissipar e exigir mais potência que a fornecida pela própria carga em determinadas posições do potenciômetro (BRAGA, 2019).

Existem algumas maneiras de contornar esse problema, a mais eficaz é com o uso da técnica denominada de PWM que é a abreviação de *Pulse Width Modulation* ou *Modulação de Largura de Pulso* (MATARIC, 2014). Para que você possa entender como funciona essa técnica de controle, podemos partir do exemplo de um circuito fictício formado por um interruptor de ação muito rápida e certa carga que deve ser controlada, como exemplificado na figura 6.

**Figura 6:** Exemplo de circuito com interruptor de ação rápida.



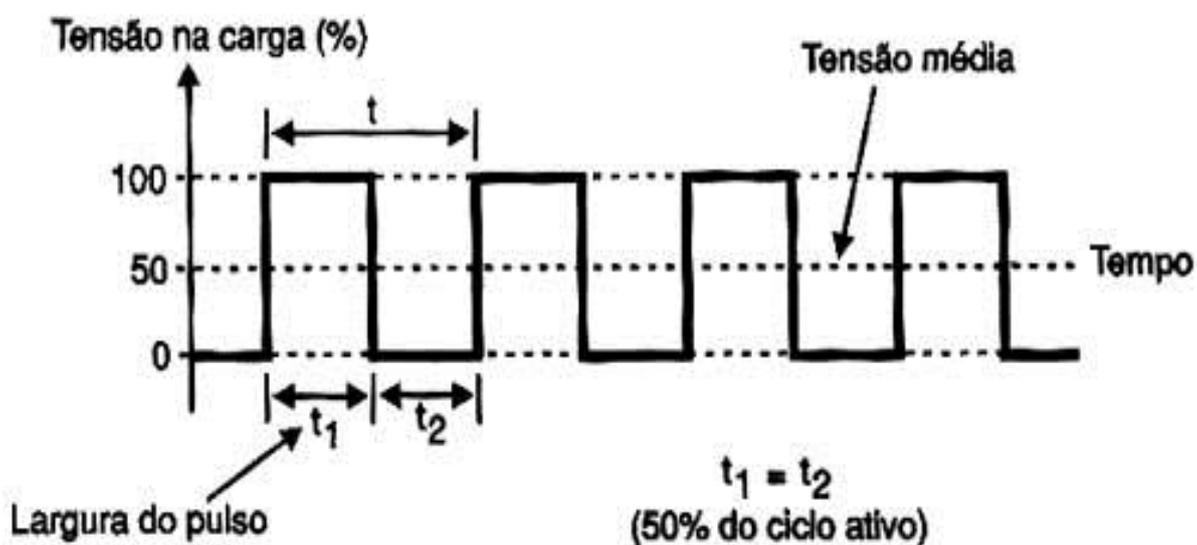
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Neste circuito, quando o interruptor está aberto, não há passagem de corrente, portanto não há corrente na carga, e a potência aplicada é nula. No instante em que o mesmo interruptor é fechado, existe passagem de corrente e a carga recebe a tensão total da fonte e a potência nela aplicada é máxima (BRAGA, 2019). Então como fazer para obtermos uma potência que seja intermediária de 50% aplicada à carga?

Um bom modo é fazer com que o interruptor seja aberto e fechado de maneira muito rápida de forma a ficar 50% do tempo aberto e os outros 50% fechado. Isso significa que, em média, iremos ter metade do tempo com corrente e

metade do tempo com ausência de corrente, veja na figura 6 a representação gráfica dessa ação (BRAGA, 2019). Logo a potência média e, conseqüentemente, a própria tensão média aplicada à carga é neste caso 50% da tensão de entrada. Observe também que o tempo que o interruptor se mantém fechado pode definir uma largura de pulso em função do tempo em que ele fica nesta condição, e um intervalo entre os pulsos pelo tempo que o mesmo fica aberto. Os dois tempos juntos definem a frequência de controle da carga.

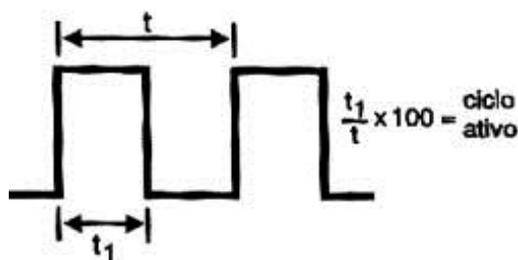
**Figura 7:** Representação gráfica da tensão do circuito com interruptor de ação rápida.



**Fonte:** <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>.> Acesso em Julho, 2019

Com o tempo que temos um pulso e a duração de um ciclo completo de operação do interruptor podemos definir o ciclo ativo (BRAGA, 2019) conforme é mostrado na figura 8 .

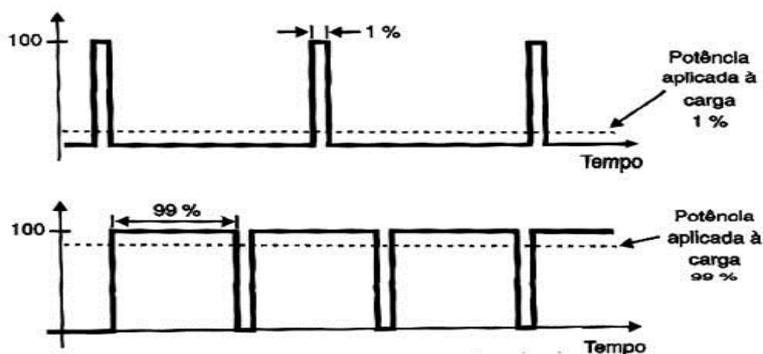
**Figura 8:** Representação gráfica do ciclo ativo.



**Fonte:** <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>.> Acesso em Julho,

Variando então a largura do pulso e também o intervalo, de modo a se obter ciclos ativos diferentes, podemos assim controlar a potência média aplicada a uma determinada carga. Portanto, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também variará da mesma proporção (BRAGA, 2019), conforme é indicado na figura 9.

**Figura 9:** Representação gráfica na variação de largura de pulso.



**Fonte:** <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>> Acesso em Julho, 2019

Esse é exatamente o princípio que é usado na técnica de PWM. Variamos (modulamos) a largura do pulso de forma a controlar o ciclo ativo do sinal aplicado a uma determinada carga e, com isso, a potência aplicada a ela.

Segundo a DOCUMENTAÇÃO (2019) o Arduino por padrão já vem com algumas saídas que possuem a função de PWM, facilitando assim ao projetista no momento da montagem de seu projeto. Contudo, essas saídas não fornecem a quantidade adequada de corrente que é necessária para se manter ligado uma carga muito alta como, por exemplo, um motor DC. Logo, precisaremos de uma fonte externa ao Arduino. Desta forma, faremos uso de um transistor TIP-120 igual ao da figura 10.

**Figura 10:** transistor TIP 120



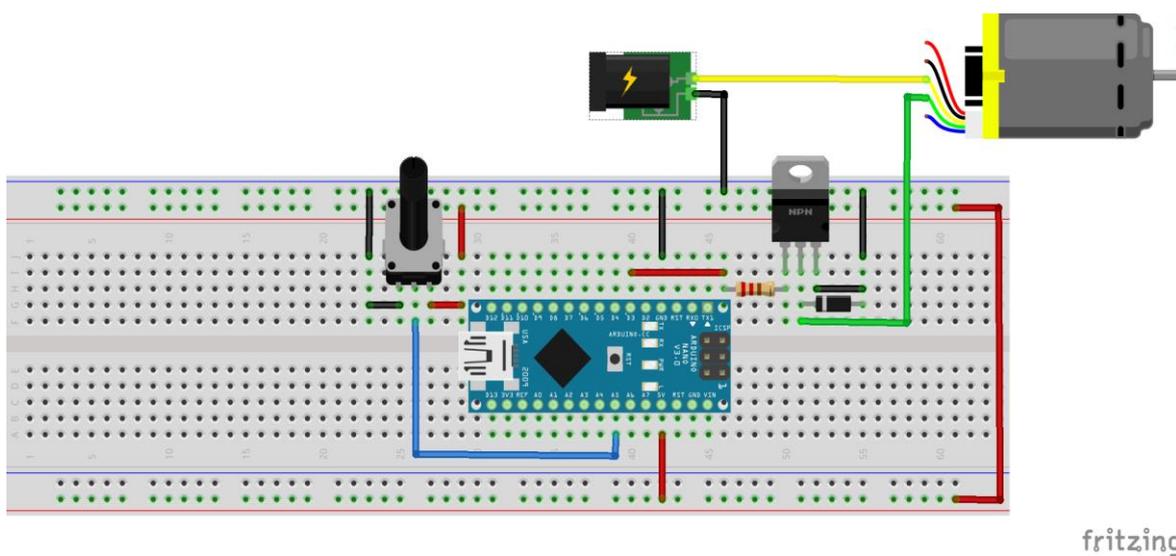
**Fonte:** <<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=552825>>. Acesso em julho, 2019

Este dispositivo servirá como chave *on-off*, de modo que o Arduino irá controlar seu acionamento e ele por sua vez irá controlar o fornecimento da corrente vindo de uma fonte externa ao Arduino, evitando a sobrecarga do mesmo.

O TIP-120 contém três pinos que são eles a base, coletor, e emissor. Desses pinos, dois deles são para a corrente fluir e o outro será o controle. O coletor é a entrada da corrente que será fornecida por uma fonte externa e o emissor será por onde essa corrente sairá. A base, por sua vez, é o controle que fará o dispositivo interromper a passagem da corrente ou simplesmente a deixar fluir normalmente. Na eletrônica, esse tipo de dispositivo é chamado de MOSFET (BANZI, 2015). Perceba que ele funciona exatamente como o interruptor de atuação rápida dado no exemplo do início da seção. Contudo, usaremos um sinal vindo do Arduino para ativá-lo ou desativá-lo. O sinal do Arduino será enviado para a base do TIP-120.

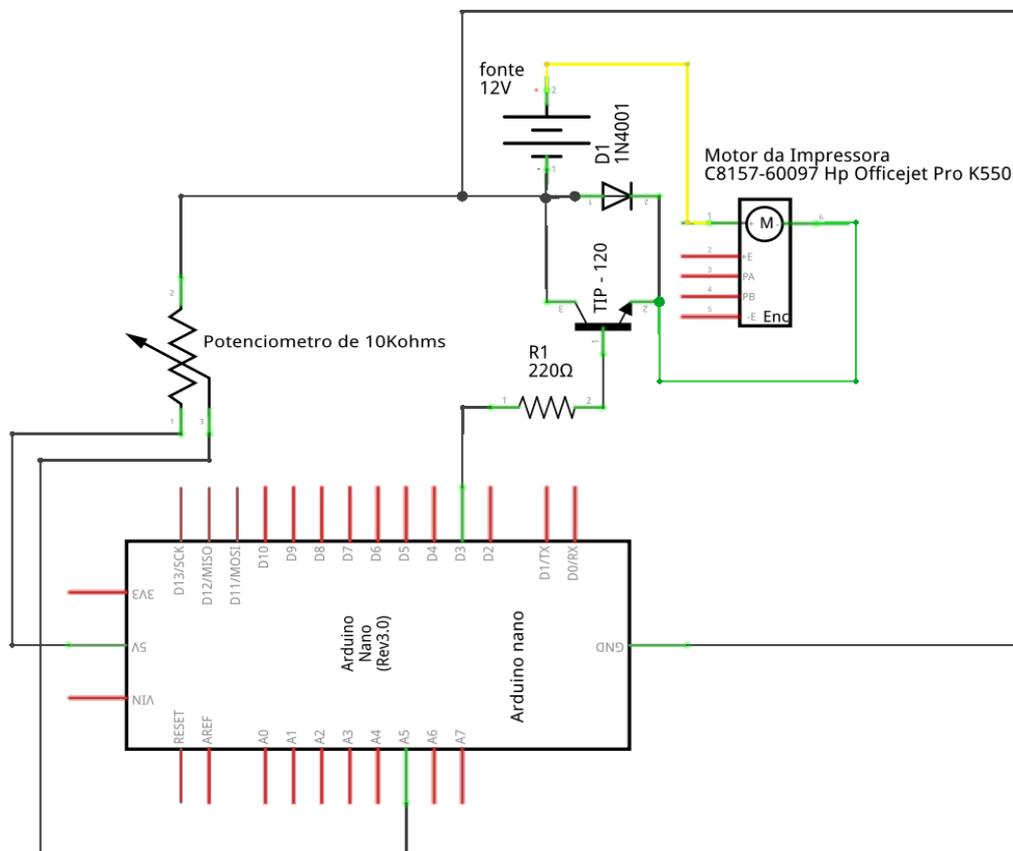
Também neste mesmo circuito usaremos um potenciômetro de 10K (1000 $\Omega$ ) que servirá como controlador da frequência PWM. Então para isso foi construído o circuito cuja sugestão de montagem encontra-se na figura 11 e seu esquema na figura 12.

**Figura 11:** Circuito para controle de velocidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 12:** Esquemático de ligação para controle do motor .



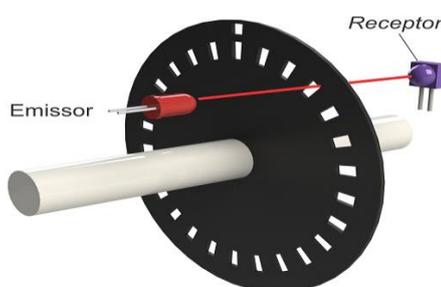
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O motor que estamos usando tem um total de 5 fios, sendo 2 deles usados para alimentação, e os outros 3 restantes usados em seu sensor óptico que será explicado no decorrer do texto. Para esta etapa do projeto será usada apenas os fios amarelo e verde, sendo eles os fios de alimentação. Isto implica que o controle da velocidade do mesmo será feito a partir desses dois fios. O controle é feito programando o Arduino para fazer a leitura do potenciômetro, o valor lido será dividido por 4 para ficar numa faixa de 0 a 255. Essa faixa de valores será a largura do pulso do PWM. Para o valor 0 no potenciômetro teremos 0% da potência da fonte aplicada a carga, em 255 teremos 100% da potência da fonte aplicada a mesma. A faixa de valores de 0 a 255 é padrão do Arduino (DOCUMENTAÇÃO, 2019). Veja o código comentado dessa etapa na figura 13 no apêndice.

### 3.3 Circuito sensor de rotação

Para fazermos o cálculo da frequência de oscilação da corda, precisamos saber com precisão qual é a frequência que o motor está rotacionando, pois a mesma será acoplada ao eixo do motor em questão. Queremos então um método para contar a quantidade de giros por segundo. O motor escolhido já vem de fábrica com um *encoder* acoplado em seu eixo, esse dispositivo simples consiste em um disco com marcações iguais dispostas de maneira simétrica e um sensor óptico, que por sua vez é formado por um emissor e um receptor infravermelho (ALMEIDA, 2017). Veja a representação do sistema na figura 14.

**Figura 14:** Representação esquemática do encoder.



**Fonte:** <<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>>  
Acesso em julho. 2019.

O funcionamento desse dispositivo consiste em interromper ou deixar passar o feixe de luz infravermelha, ao passo que o disco realiza o movimento de rotação. O receptor servirá para passar a informação ao Arduino, o disco está se movendo onde o Arduino fará a leitura do número de pulsos gerados em um intervalo de tempo, sendo eles proporcionais ao número de marcações do disco (ALMEIDA, 2017). O número de marcações será a resolução do *encoder*. Para este trabalho foi usado um *encoder* com 48 marcações, isso implica que em uma volta inteira o Arduino fará a leitura de 48 pulsos.

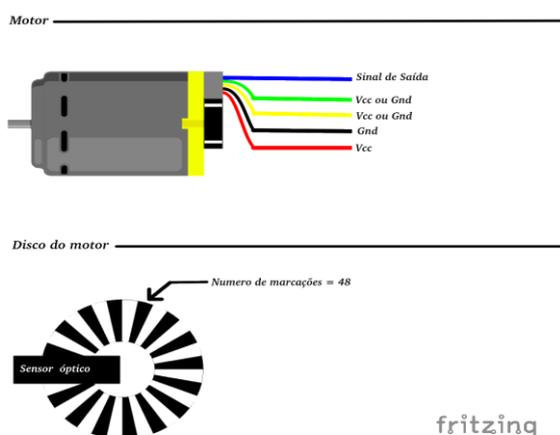
Usar interrupções é algo muito útil em circuitos com microcontroladores, elas podem ajudar a solucionar problemas de temporizadores, em nosso caso elas serão responsáveis na identificação da movimentação do *encoder*. A função `attachInterrupt()` é usada para reconhecer as interrupções, ela por sua vez receberá

três parâmetros, que são eles o pino ao qual fará a leitura da interrupção, em nosso caso o pino onde o receptor infravermelho está ligado, o modo, que seria quando a interrupção deve ser ativada ou contabilizada, e a ISR (do inglês *interrupt service routine* ou rotina de interrupção de serviço) que é a função a ser chamada quando a interrupção é ativada. A função ISR para este projeto incrementará uma variável para sabermos quantas marcações do encoder foram contadas conforme o motor realiza o movimento de rotação. Isso servirá para calcularmos o número de voltas por segundo (ALMEIDA, 2017). É importante também pontuar que existem quatro modos para ativação da função de interrupção, que são eles (DOCUMENTAÇÃO, 2019):

- **LOW:** acionar a interrupção quando o estado do pino for LOW;
- **CHANGE:** acionar a interrupção quando o estado do pino mudar;
- **RISING:** acionar a interrupção quando o estado do pino for de LOW para HIGH apenas;
- **FALLING:** acionar a interrupção quando o estado do pino for de HIGH para LOW apenas;

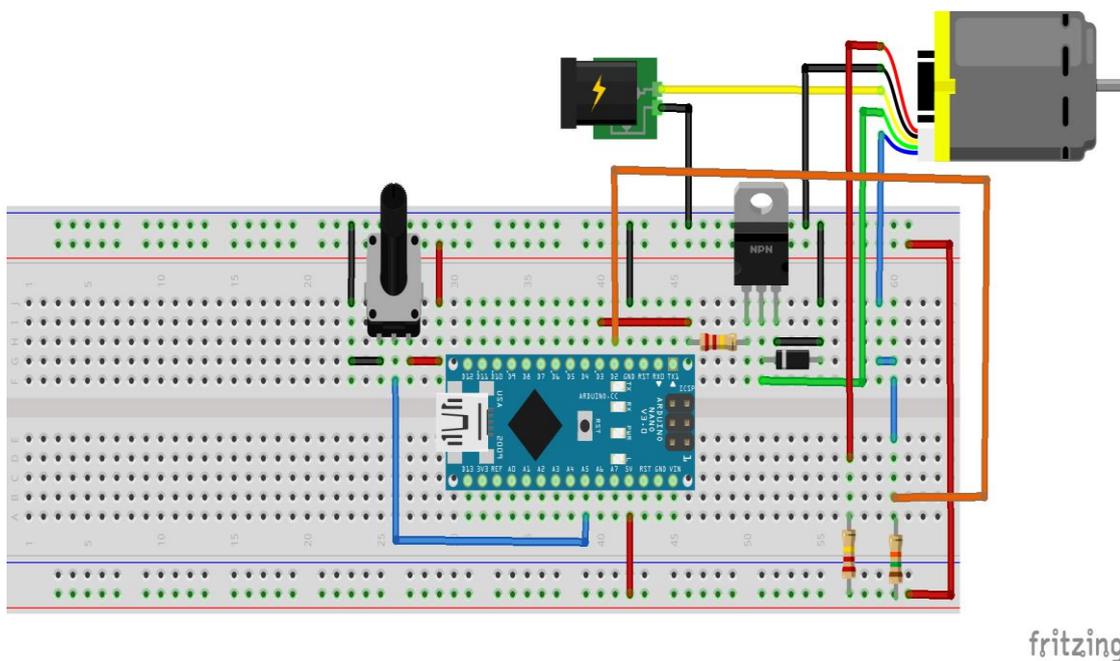
Para este projeto usaremos a função ISR no modo **RISING**. O motor que usamos foi retirado de uma impressora Hp Officejet Pro K550 usada. Segue as características apresentadas na figura 15:

**Figura 15:** Data sheet do moto C8157-60097 Hp Officejet Pro K550.



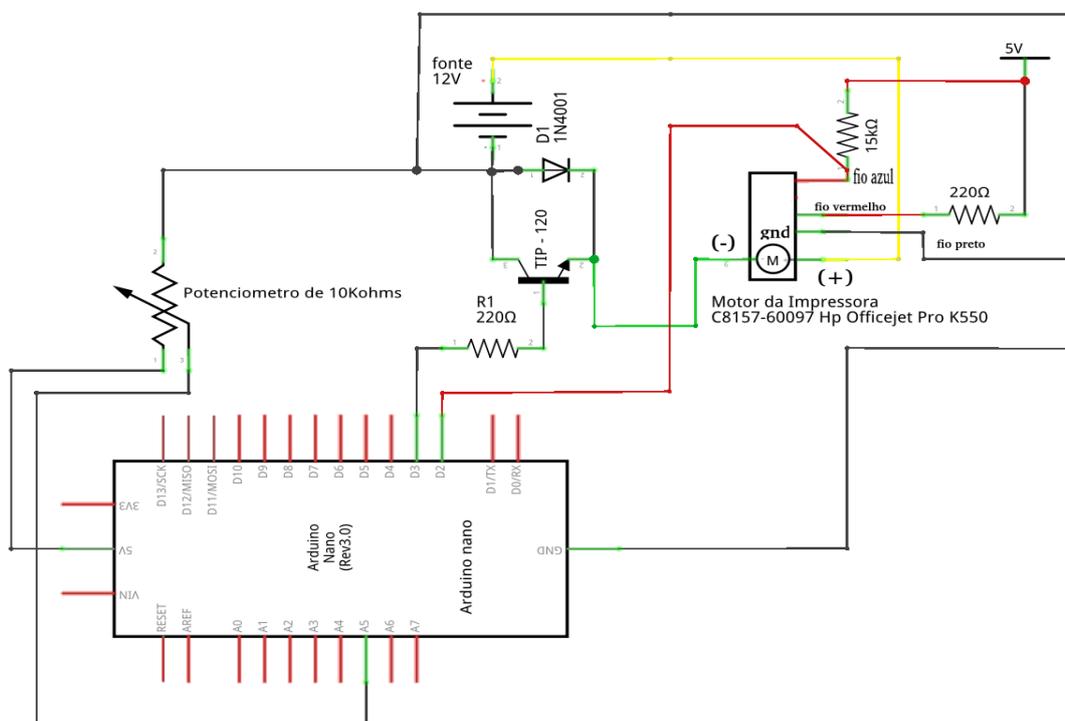
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16: Circuito para medição da frequência do motor.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17: Circuito esquemático para medição da frequência do motor.



**Fonte:** Elaborada pelo autor

Para o programa, serão feitas algumas modificações no código já apresentado na figura 13 que se encontra no apêndice. Mas antes deduziremos uma equação para fazer o cálculo da frequência a partir da quantidade do número de pulsos lidos pelo Arduino.

Sabendo que a definição de frequência é:

$$f = \frac{\text{Quantidade de voltas}}{\text{Intervalo de tempo}} \quad (15)$$

Chamaremos essa quantidade de voltas de  $N_v$  e o intervalo de tempo de  $\Delta t$ , logo a equação 1 fica na forma:

$$f = \frac{N_v}{\Delta t} \quad (16)$$

O *encoder* que estamos usando tem 48 faixas, conseqüentemente o mesmo gerará 48 pulsos a cada volta logo  $N_v$  é:

$$N_v = \frac{N_p}{48} \quad (17)$$

Onde  $N_p$  é a quantidade de pulsos gerados. Substituindo a equação (17) em (16) obtemos a seguinte equação:

$$f = \frac{N_p}{48\Delta t} \quad (18)$$

Contudo, a função do Arduino que calcula o  $\Delta t$  está em milissegundos e para converter esse intervalo em segundos devemos dividi-lo por 1000. Logo, a equação (18) fica na forma:

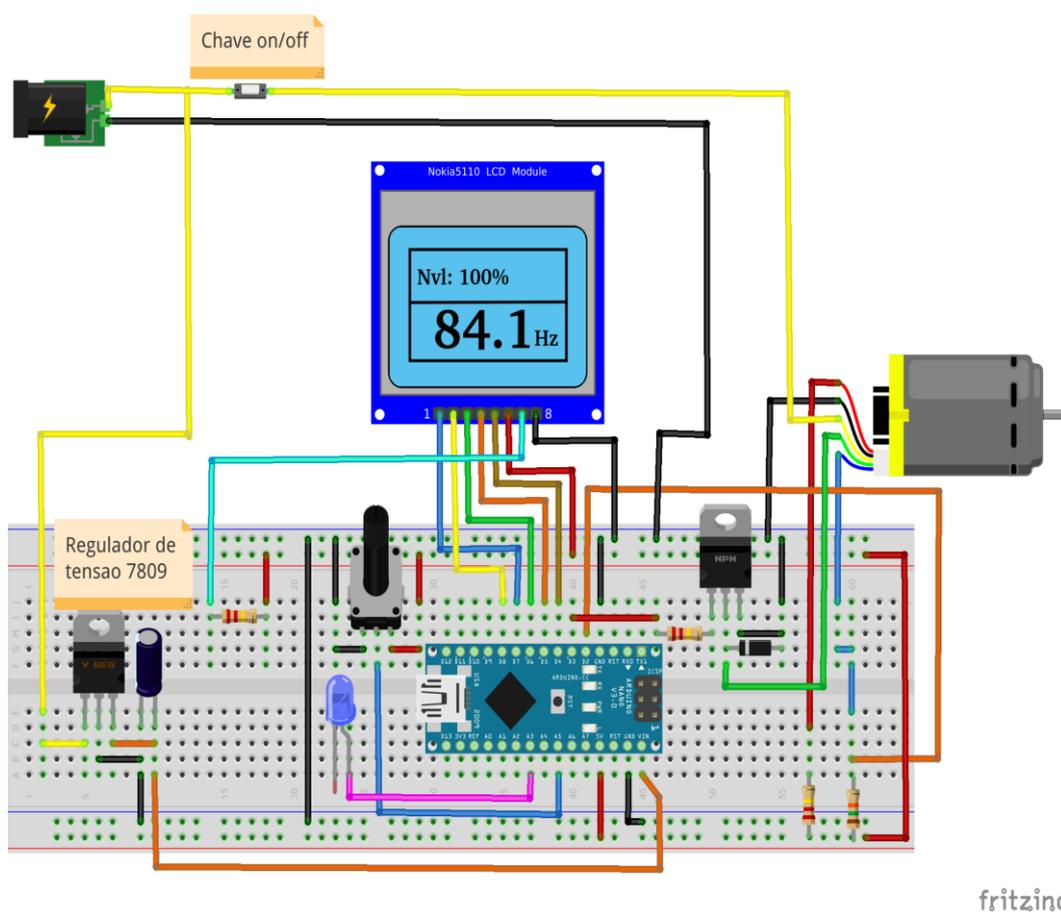
$$f = \frac{125 N_p}{6\Delta t} \quad (19)$$

Em um intervalo de tempo fixo será computada a quantidade de pulsos e esse valor será substituído na equação (19), calculando assim a frequência que o motor está girando. Conseqüentemente, saberemos com qual frequência a corda está oscilando. Logo, o código terá o que se segue na figura 18 que se encontra no apêndice. A frequência será impressa no monitor serial.

### 3.4 Display e circuito de alimentação

O circuito apresentado nesta seção será o final usado no aparato experimental, para isso é interessante que o mesmo não dependa de um computador para funcionar. Até o momento tudo que foi feito depende de um computador externo para a visualização da frequência calculada bem como alimentar todo o circuito. Para facilitar a aplicação do mesmo, foi decidido usar uma fonte de alimentação externa de 12V e um pequeno display para informar a frequência de oscilação. Será usado uma tela de nokia 5110 que será ligada conforme o circuito apresentado na figura 19 onde seu esquema elétrico encontra-se na figura 20.

**Figura 19:** Circuito final do projeto.



Fonte: Elaborada pelo autor.



O código final, por sua vez, será apenas um *upgrade* do último código aqui apresentado, será adicionada a biblioteca do display, bem como uma linha extra para calcular o quanto do potenciômetro está aberto, isso ajudará no momento das experimentações. É importante que todo o circuito elétrico esteja de acordo com o esquema apresentado na figura 20, pois qualquer que seja a discordância o sistema poderá apresentar um mal funcionamento, ou até mesmo não funcionar. Segue na figura 21 o código final da programação do Arduino. Por fim o circuito eletrônico foi acomodado em uma caixa plástica, veja na figura 22.

**Figura 22:** Caixa do circuito final.



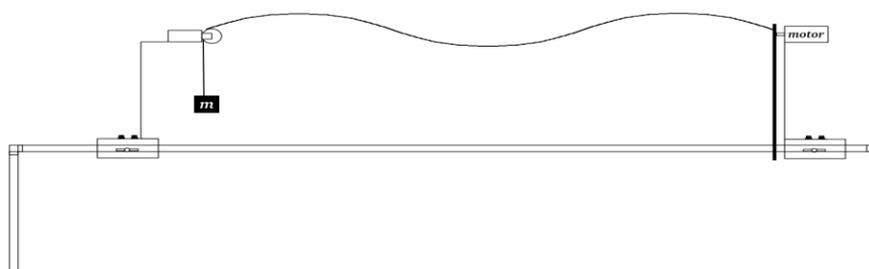
Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.5 Estrutura mecânica

O componente principal para a construção da estrutura mecânica será um cano de PVC de 25 mm. As peças de suporte do motor e das cordas foram confeccionadas em ferro, porém as mesmas podem ser feitas em madeira, ou outro material desde que seja seguido o passo a passo aqui estabelecido.

A estrutura final deverá ficar semelhante à apresentada na figura 23:

**Figura 23:** Representação esquemática da estrutura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.5.1 Lista de materiais da estrutura mecânica

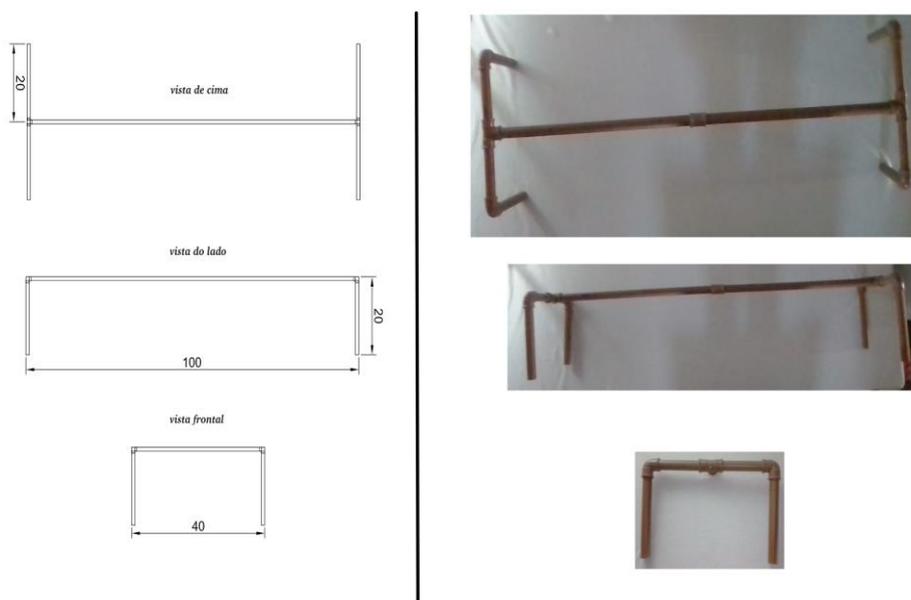
Segue abaixo a lista de materiais utilizados na montagem da parte mecânica:

- 2,6m – Cano PVC 25mm;
- 20cm – Cano PVC 30mm;
- 2 – Conexões do tipo T;
- 4 – Conexões do tipo Joelho;
- 5 – Parafusos de 1,25mm ou 1/8;
- 5 – Porcas para os parafusos de 1/8;
- 1 – Palito de churrasco;
- 1 – Paleta de picolé;
- 1 – Luva para cano 25mm.

A seguir serão apresentados os esquemas de montagem da estrutura mostrada na figura 19, bem como suas medidas. As unidades das medidas estão em centímetros.

### 3.5.2 Base do experimento

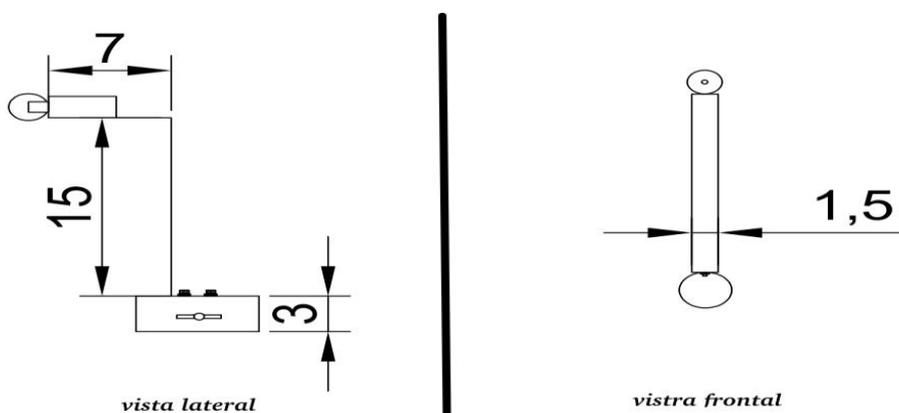
**Figura 24:** Esquemas de montagem bem como suas vistas reais .



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

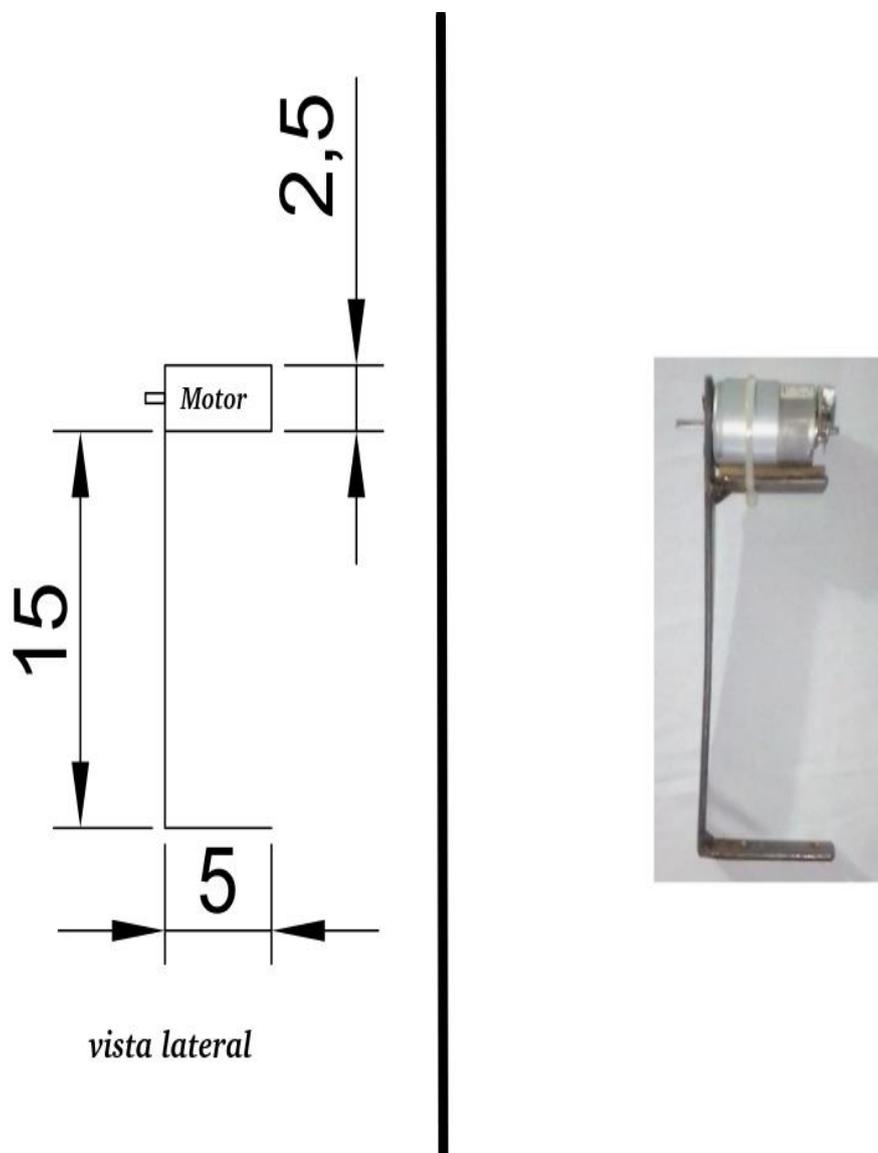
Depois que essa estrutura estiver pronta, serão construídos os suportes para o motor e o apoio do peso. Em nosso caso ambos foram feitos em barras finas de ferro. A estrutura onde o motor será fixado ficará imóvel na base já construída, por sua vez a outra peça terá uma pequena roldana para passar a corda onde ela se moverá ao longo da estrutura maior, permitindo ajustar a distância da mesma até o motor. Com isso ela será parafusada em um suporte feito de cano com 30 mm de diâmetro, onde o mesmo terá um outro parafuso para efetuar a fixação ao ajustarmos a distância. Seguem nas figuras 25 e 26 como essas peças devem ser confeccionadas.

**Figura 25:** Suporte para apoio da corda com pesos.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 26: Suporte para o motor.



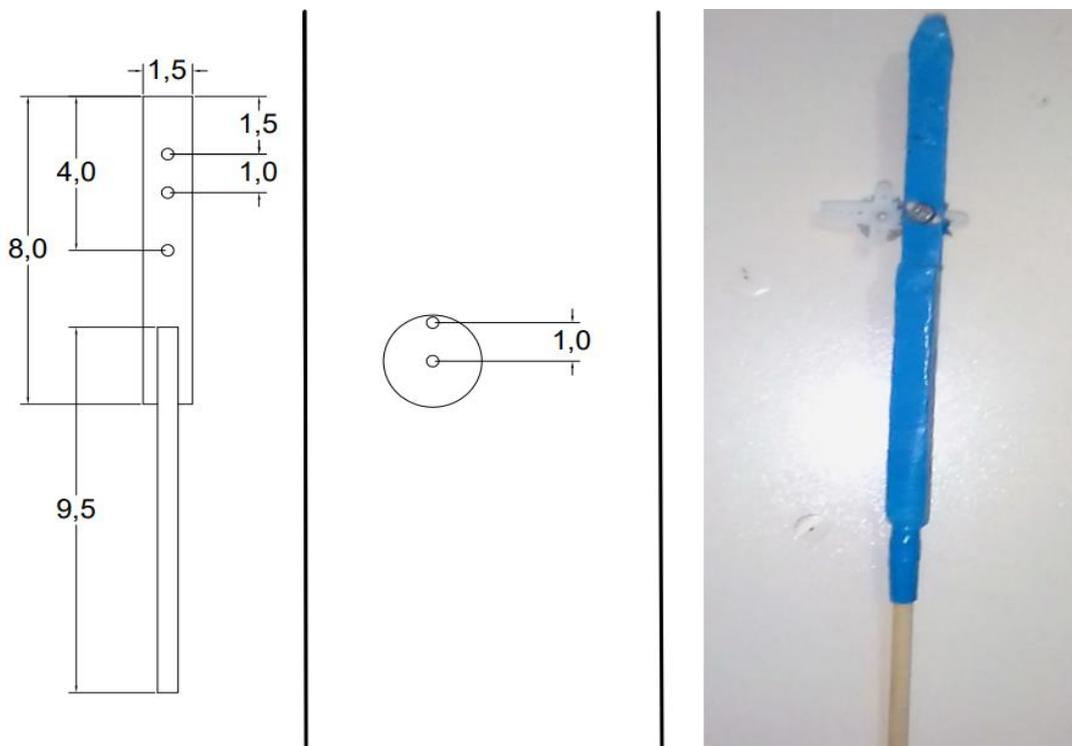
Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.5.3 Haste para apoiar a corda

Para prender a corda ao eixo do motor de forma que a mesma oscile, iremos montar um mecanismo composto por um disco com 1cm de raio e um furo afastado do centro. O centro desse disco será preso ao eixo do motor, o outro furo por sua vez será preso a uma haste vertical. O conjunto forma o que na engenharia se

chama de biela manivela. Agora veja na figura 27 como esse conjunto deve ser construído.

**Figura 27:** Haste e descentro onde será presa a corda.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Apos a montagem de todos esses conjuntos o resultado final deverá ser parecido com o apresentado na figura 28.

**Figura 28:** Resultado final da estrutura mecânica.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 29:** Experimento em funcionamento.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo serão discutidos alguns resultados obtidos a partir do uso do arranjo experimental construído.

### 4.1 Relação entre frequência (f) e harmônicos (n)

Para esse procedimento, deve ser fixado um comprimento L e uma tensão T no fio. Logo em seguida o oscilador é acionado variando assim sua frequência, anotando as frequências em que ocorre cada harmônico. Foram anotadas as frequências  $f(n)$  para  $n = 1, 2, 3$  e  $4$ . Para o cálculo da densidade  $\mu$  foram utilizados os dados que estão na tabela 1.

Dados do Fio		
Comprimento L	Massa m	Densidade linear $\mu$
8,28m	0,00238Kg	0,00028744 Kg/m

Tabela 1

Para o procedimento experimental foram utilizados os dados da tabela 2.

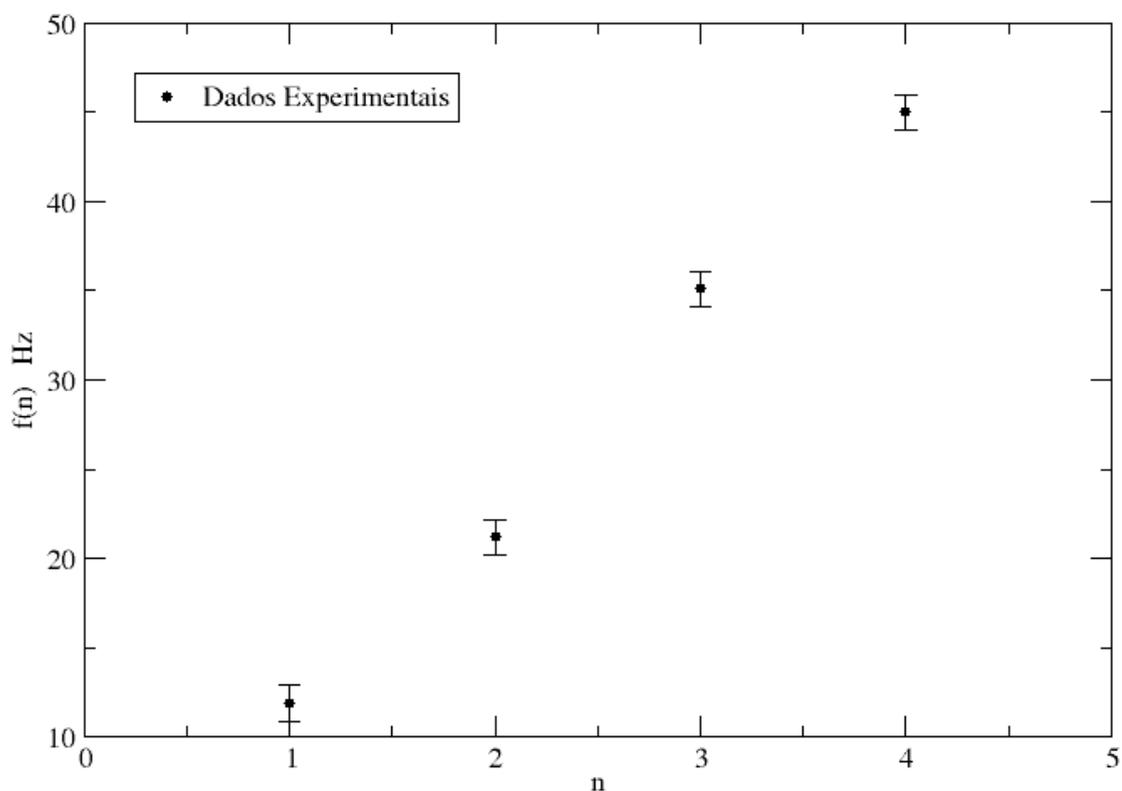
Dados utilizados no experimento		
Comprimento L	Tensão T ( $m \cdot g$ )	Densidade linear $\mu$
0,50m	0,041590255 N	0,00028744 Kg/ m

Tabela 2

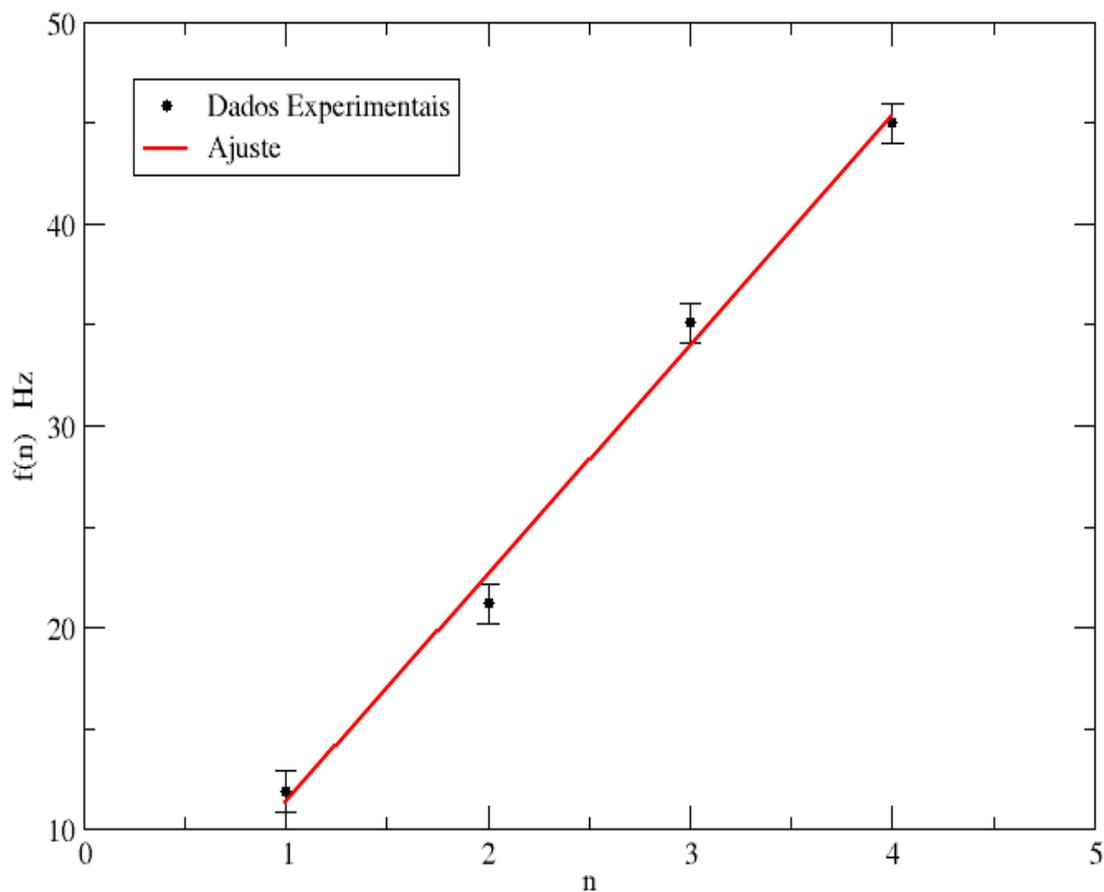
Variando a frequência obtemos os valores que estão dispostos na tabela 3, a partir deles construímos um gráfico de  $f(n) \times n$  que se encontra na figura 25.

f(n)	N
11,9Hz ± 1	1
21,2Hz ± 1	2
35,1Hz ± 1	3
45,0Hz ± 1	4

Tabela 3

**Figura 30:** Gráfico dos dados experimentais frequência em função de n.

Ao construir o gráfico é observado que o mesmo segue uma lei do tipo  $f(n) = b + an$ . Aplicando um método de ajuste usando o software Xmgrace conseguimos encontrar os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$ . A figura 26 mostra os pontos experimentais e seu ajuste linear.



**Figura 31:** Dados experimentais com ajuste linear.

O resultado esperado foi atingido, ao qual seria o valor de  $b$  ser muito menor que o valor de  $a$ . Sendo notada a dependência de  $a$  em relação aos valores de  $L$ ,  $T$  e  $\mu$ . Assim encontramos a reta que melhor representa a relação  $(f(n) \times n)$ .

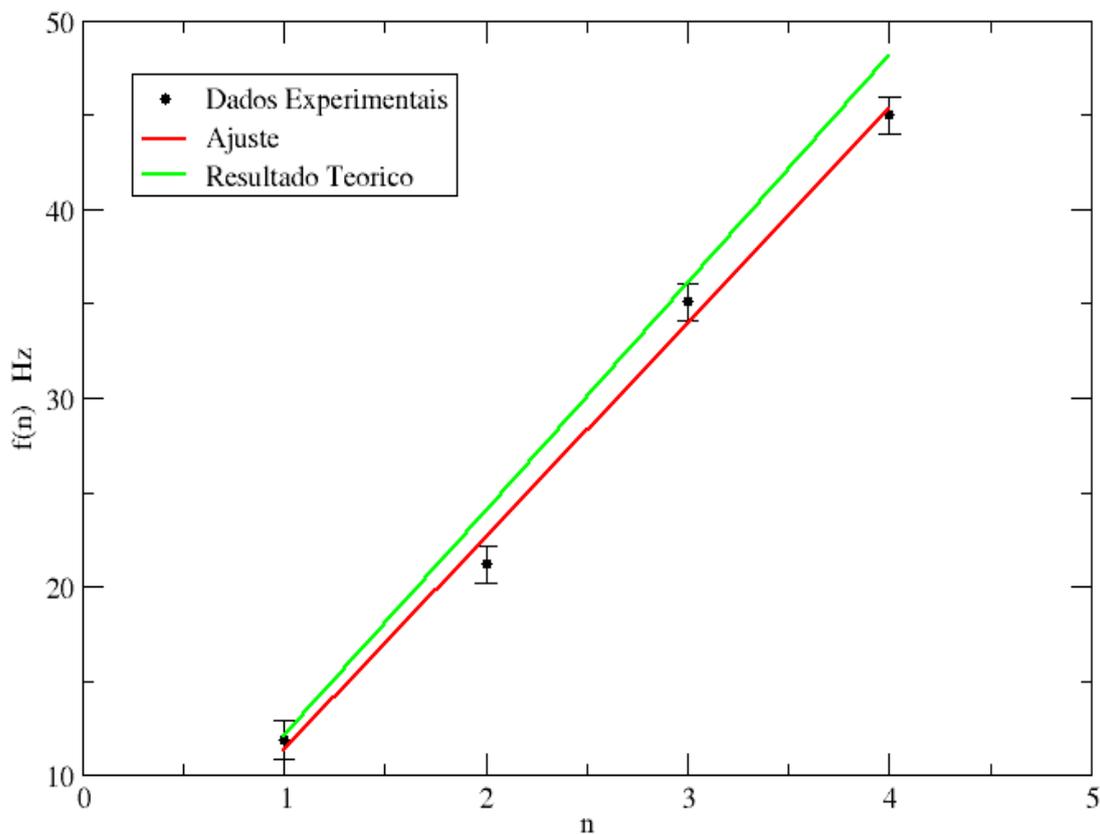
$$f(n) = 11,6n - 1 \quad (20)$$

Usando a equação (14) e os dados que estão na tabela 1 encontramos para a reta teórica a seguinte equação.

$$f(n) = 12,03n \quad (21)$$

Onde  $12,03 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{TL}{m}}$

O gráfico da figura 32 mostra a representação entre a curva teórica, e o ajuste feito a partir dos dados experimentais:

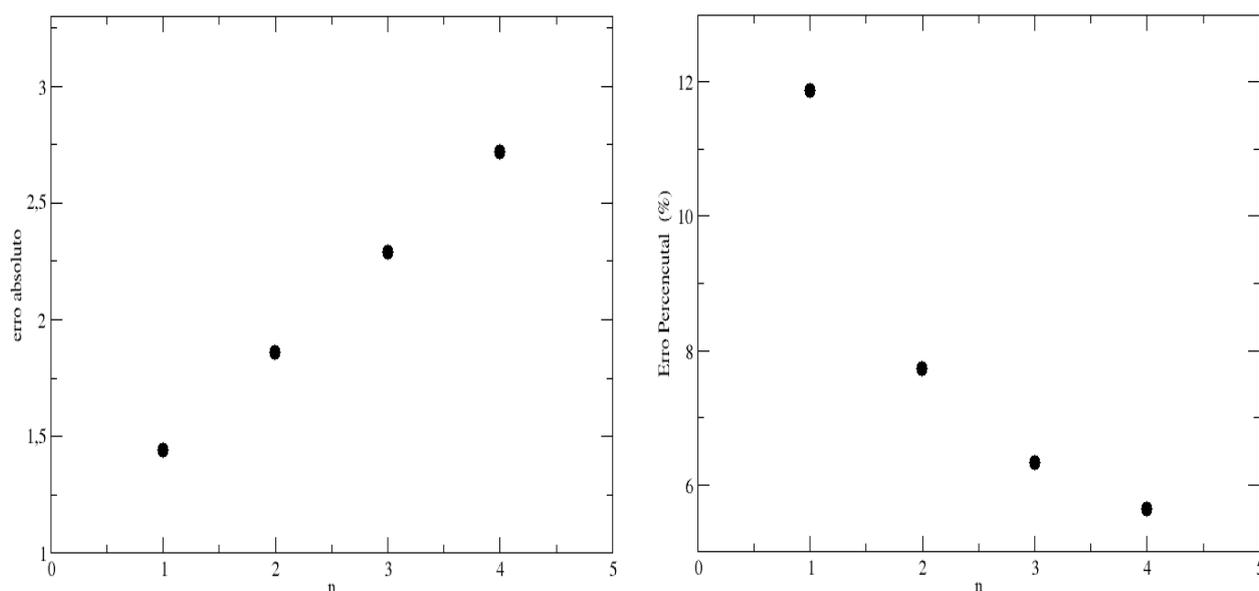


**Figura 32:** Comparação entre curva teórica e a obtida experimentalmente.

A tabela 4 encontra-se o erro percentual do ajuste em relação a curva teórica para cada harmônico. Observe os gráficos dos erros absoluto e percentual que se encontra na figura 33.

Erro absoluto	Erro (%)	n
1,439	11,87	1
1,859	7,72	2
2,290	6,33	3
2,719	5,64	4

Tabela 4



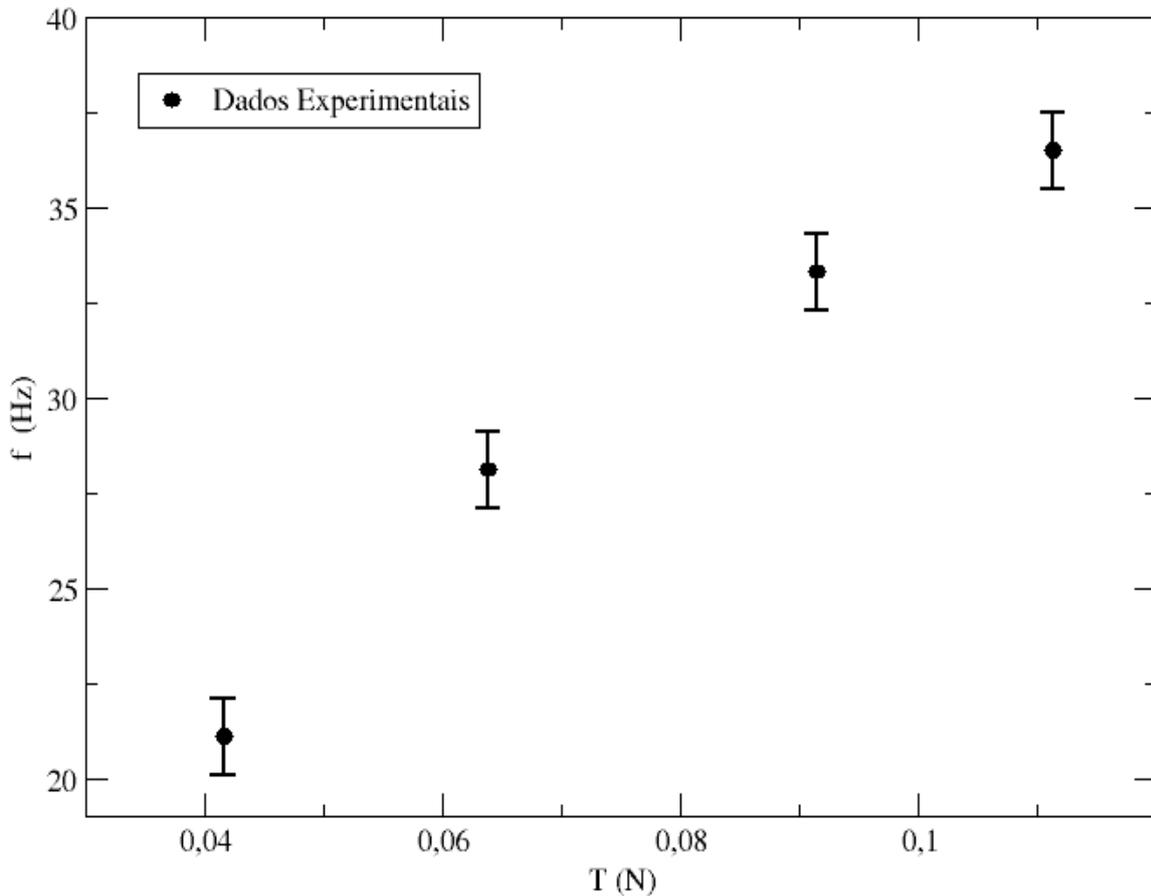
**Figura 33:** Erro percentual e absoluto em função do aumento dos harmônicos.

## 4.2 Relação entre frequência (f) e Tensão (T)

Na segunda observação foi verificada a relação entre frequência e tensão aplicada. Para tal inferência deve-se escolher um harmônico e verificar para uma dada tensão aplicada que frequência é necessária para obter o harmônico escolhido. Fazendo isto foi montada a tabela 5 com os valores para 4 diferentes tensões, e o harmônico escolhido foi o segundo ( $n = 2$ ). Com a tabela 5 montamos o gráfico da figura 34. É observado que conforme a tensão aumenta a frequência necessária para obter o mesmo harmônico também aumenta.

Tensão N	Frequência Hz
0,04159	21,1 ± 1
0,06385	28,1 ± 1
0,09152	33,3 ± 1
0,11133	36,5 ± 1

Tabela 5



**Figura 34:** Dados experimentais da frequência em função da Tensão.

Nota-se que a dependência é do tipo  $f(T) = gT^h$  e para encontrar os coeficientes  $g$  e  $h$  foi feito um ajuste usando o software Xmgrace, onde foi obtida a seguinte função.

$$f(T) = 124,89T^{0,55355} \quad (22)$$

Foi feito um estudo do erro do ajuste em relação a curva teórica obtida através da equação (14) onde foi usado  $n = 2$ ,  $L = 0,5\text{m}$  obtemos a seguinte equação.

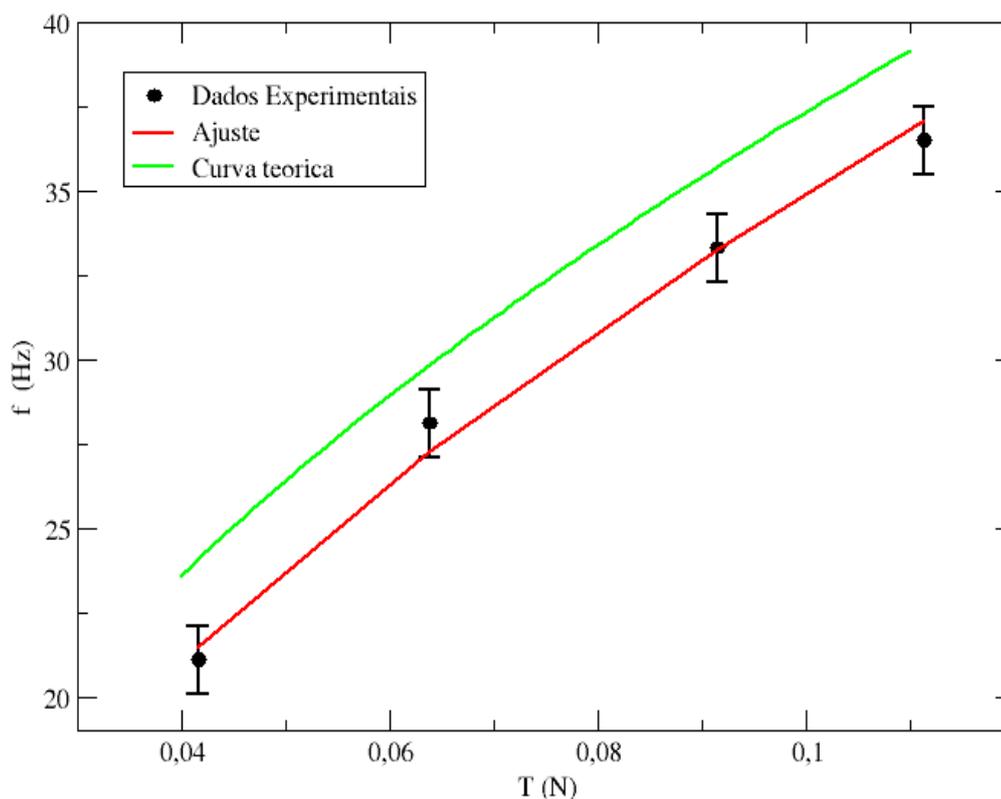
$$f(T) = 117,96T^{0,5} \quad (23)$$

Onde  $117,96 = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{L}{m}}$  sendo  $n = 2$ .

Se comparado os coeficientes  $g$  e  $h$  obtidos com a equação teórica e o ajuste a um erro de 5,87% para  $g$  e 10,71% para  $h$ . A tabela 6 apresenta o erro percentual e absoluto para cada valor de  $T$  do ajuste em relação à curva de teórica.

Erro absoluto	Erro (%)	T
2,57	10,70	0,04159
2,57	8,63	0,06385
2,44	6,85	0,09152
2,31	5,87	0,11133

Tabela 6



**Figura 35:** Comparação entre a curva obtida experimentalmente e a curva teórica.

## 5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O principal objetivo desse trabalho foi apresentar a metodologia de ensino por investigação e aplicar essa metodologia ao ensino de ressonância em cordas, para isso foi desenvolvido um aparato experimental de baixo custo usando arduino e com ele podemos realizar a maioria dos experimentos que estão relacionados a esse assunto. O mesmo pode também ser usado para demonstrações de conceitos que são apresentados em livros didáticos.

A escolha do Arduino como principal ferramenta para construção e obtenção dos resultados experimentais justifica-se pelo baixo custo do mesmo e sua fácil adaptação em diferentes projetos. Também podemos ressaltar a facilidade em encontrar material didático sobre o mesmo, diminuindo as dificuldades em resolver algum problema referente a seu funcionamento.

Foram obtidos alguns resultados experimentais que são relevantes para demonstração em sala de aula bem como testar o aparato experimental. Foi verificada a relação da frequência em função na formação dos harmônicos. Como já era esperado, obtemos uma reta ao comparar a reta obtida experimental com a teórica e verificamos que o erro experimental está dentro do aceitável. O segundo resultado experimental foi a obtenção da relação frequência em função da tensão. Foi obtida uma lei de potência com expoente próximo a  $\frac{1}{2}$  como esperado, ao ser comparado com a curva obtida experimentalmente também foi observado que o erro está dentro do aceitável.

Pode-se concluir que o aparato experimental funciona com uma boa precisão satisfazendo os pré-requisitos para seu uso em sala de aula. Também verificamos que é possível construir um bom experimento usando o Arduino, e que o mesmo possibilita a coleta de dados experimentais com boa qualidade. Tendo em vista o potencial em seu uso em sala de aula pretende-se em trabalhos futuros, propor variações do experimento, como, por exemplo, estimar a densidade linear da corda a partir dos parâmetros do ajuste, bem como sua aplicação em turmas do ensino médio e fundamental usando a metodologia de ensino por investigação.

## REFÊRENCIAS

**NEWTON C BRAGA.** newtoncbraga, c2019. Página inicial. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169mec071a>>. Acesso em: 24 de out. de 2019.

**FERNANDA ALMEIDA.** Tecnoblog, c2017. Página inicial. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>>. Acesso em: 24 de out. de 2019.

**MATARIC, MAJA J.** Introdução à robótica / Maja J. Mataric; tradução Humberto Ferasoli Filho, José Reinaldo Silva, Silas Franco dos Reis Alves. – 1.ed. São Paulo: Editora Unesp/Blucher, 2014.

**DOCUMENTAÇÃO** de referência da linguagem Arduino. Arduino, 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/>>. Acesso em: 24 de out. de 2019.

**MASSIMO BANZI.** Primeiros Passos com o Arduino: A Plataforma de Prototipagem Eletrônica Open Source 2ed. Novatec Editora Ltd 2015.

**KAMADA, W E JUNQUEIRA, A** .Utilizando o arduino como plataforma educacional no ensino de Física. 6<sup>o</sup> Congresso de Pesquisa no Ensino.

**HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J.** Fundamentos de Física. Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

**BACHELARD, G.** A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto. 1996.

**BLOSSER, P. E.** O papel do laboratório no ensino de ciências. Tradução M. A. Moreira. Cad. Cat. Ens. Física, 5 (2), p. 74-78, 1988.

**CARRASCO, H. J.** Experimento de laboratorio: un enfoque sistémico y problematizador. *Revista de Ensino de Física*, 13, p. 77-85, 1991.

**CARVALHO, A. M. P.** Construção do conhecimento e ensino de ciências. Em *Aberto*, Brasília, ano 11, no 55, jul./ set. 1992.

**CARVALHO, A. M. P.** et al. El papel de las actividades en la construcción del conocimiento en clase. *Investigación en la Escuela*, (25), p. 60-70, 1995.

**CARVALHO, A. M. P.** et al. Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 1998.

**DUSCHL, R.** La valorización de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), p. 3-20, 1998.

**GARRET, R. M.** Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), p. 224-230, 1988.

**GIL, D. e TORREGROSA, J. M.** La resolución de problemas de física. Madrid: Mec, 1987.

**GIL, D. e CASTRO V., P.** La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza De Las Ciencias*, 14 (2), p. 155-163, 1996.

**GIL, D.** et al. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las ciencias*. 17 (2), p. 213-314, 1999.

**HODSON, D.** In Search of a Meaningful Relationship: an exploration of some issues relating to integratin in science and science education. *International Journal of Science Education*. 14(5), p. 541-566, 1992.

**LEWIN, A. M. F. e LOMÁSCOLO, T. M. M.** La metodología científica en la construcción de conocimientos. *Enseñanza de las ciencias*, 20 (2), p. 147-1510, 1998.

**MOREIRA, M. A.** Uma abordagem cognitivista ao ensino de física. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

**MOREIRA, M. A. e LEVANDOWSKI, C. E.** Diferentes abordagens ao ensino de laboratório. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

**PESSOA, A.M .** Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa a Prática. Cengage Learning Edições Ltda, 2004.

## APÊNDICE A – CÓDIGOS FONTES

**Figura 13:** Código do circuito da figura 11 e 12.

```
1
2 //pino analógico onde o potenciômetro está conectado.
3 int const potenciometro = A5;
4 //pino digital onde o TIP120 está conectado.
5 int const transistor = 3;
6 //armazenará o valor lido no potenciômetro.
7 int valPotenciometro = 0;
8 //função setup é executada uma vez quando o arduino é ligado.
9 void setup() {
10   Serial.begin(9600);
11   //definindo o pino digital 9 como de saída.
12   pinMode(transistor, OUTPUT);
13 }
14 //Função loop é executada repetidamente enquanto
15 //o arduino estiver ligado.
16 void loop() {
17   //lendo o valor do potenciômetro (0 até 1023) e
18   //dividindo por 4 para obter um valor entre 0 e 255
19   //que são valores adequados para a base do TIP120.
20   valPotenciometro = analogRead(potenciometro)/4;
21   analogWrite(transistor, valPotenciometro);
22 }
```

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 18:** Código para calcular a frequência a partir dos pulsos gerados pelo encoder.

```

1 //=====
2 //--- Variáveis Globais ---
3 int const pot = A5;
4 int const transistor = 3;
5 float ValPot = 0;
6 float delta_t = 0;
7 float frequencia = 0;
8 int Np = 0;
9 unsigned long t1;
10 //=====
11 void contador()//---Interrupção ---
12 {
13   //Incrementa contador
14   Np++;
15 }
16 // --- Configurações Iniciais ---
17 void setup()
18 {
19   Serial.begin(2000000);//velocidade de comunicação com o serial monitor
20   pinMode(2, INPUT_PULLUP); // defini o pino 2 como entrada
21   pinMode(transistor, OUTPUT); // defini como saída
22   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), contador, RISING); // Define qual pino ocorrerá a interrupção
23   Np = 0;
24   frequencia = 0;
25   t1 = 0.0;
26 } //fim setup
27 void loop()// --- Loop Infinito ----
28 {
29   ValPot = analogRead(pot)/4.011764706;
30   analogWrite(transistor,ValPot);
31   delta_t = (millis()-t1); // Calcula o intervalo Delta t
32   if (delta_t >= 1000.0)//Calcula a frequencia usando um intervalo de 1s (1000ms)
33   {
34     detachInterrupt(0); //Desabilita interrupção durante o calculo
35     frequencia = 125.0/6.0*Np/(delta_t);
36     t1 = millis();// atualiza o novo t1
37     Np = 0;//zera a variável Np para uma nova contagem
38     Serial.println(frequencia,3);//Mostra o valor da frequencia no serial monitor com 3 casas decimais
39     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),contador, RISING);//Habilita interrupcao
40   }
41 } //fim loop

```

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 21: Código do projeto final.

```

2 LCD5110 tela(4,5,6,8,7);
3 /*Cria objeto da classe LCD5110
4 CLK - Pino 4
5 DIN - Pino 5
6 DC - Pino 6
7 RST - Pino 8
8 CE - Pino 7
9 */
10 //Obtendo as fontes
11 extern uint8_t SmallFont[];
12 extern uint8_t MediumNumbers[];
13 //=====
14 //--- Variáveis Globais ---
15 int const pot = A5;
16 int const LED = A2;
17 int const transistor = 3;
18 float x = 0.0 ;
19 float ValPot = 0.0;
20 float delta_t = 0.0;
21 float frequencia = 0.0;
22 int Np = 0;
23 unsigned long t1;
24 //=====
25 void contador()//---Interrupção ---
26 {
27     //Incrementa contador
28     Np++;
29 }
30 // --- Configurações Iniciais ---
31 void setup()
32 {
33     tela.InitLCD(); //Inicializando o display
34     pinMode(2, INPUT_PULLUP); // defini o pino 2 como entrada
35     pinMode(transistor, OUTPUT); // defini como saída
36     pinMode(LED, OUTPUT); // defini como saída
37     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), contador, RISING); // Define qual pino ocorrerá a interrupção
38     digitalWrite(LED,HIGH); //liga o led
39     delay(1000); // mantém o led ligado por 1 segundo
40     digitalWrite(LED,LOW); // desliga o led
41     Np = 0; // inicia a variavel Np com zero
42     frequencia = 0; // inicia a variavel frequencia com zero
43     t1 = 0.0; // iniciar a variavel t1 com zero
44 }
45 //fim setup
46 void loop()// --- Loop Infinito ---
47 {
48     ValPot = 255.0 - analogRead(pot)/4.011764706; // regula o valor do potenciometro para ficar entre 0 e 255
49     x = (ValPot/255.0)*100.0; // calcula a porcentagem de quanto o potenciometro está aberto
50     analogWrite(transistor,ValPot);
51     delta_t = (millis()-t1); // Calcula o intervalo Delta t
52     if (delta_t >= 1000.0)//Calcula a frequencia usando um intervalo de 1s (1000ms)
53     {
54         detachInterrupt(0); //Desabilita interrupção durante o calculo
55         frequencia = 125.0/6.0*Np/(delta_t); // calcula a frequencia com a formula deduzida
56         t1 = millis();// atualiza o novo t1
57         Np = 0; //zera a viavel Np para uma nova contagem
58         attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),contador, RISING);//Habilita interrupcao
59         tela.clrScr();// atualiza a tela
60     }
61
62     tela.drawLine(0,20,83,20); // desenha uma linha
63     tela.drawRect(0,0,83,47); // desenha um retangulo
64     tela.update(); // atualiza a tela
65     tela.setFont(MediumNumbers); // set o tamanho da fonte
66     tela.printNumF(frequencia, 1, 20, 24); // imprime na tela a frequencia calculada na linha 55
67
68     tela.setFont(SmallFont); //set o tamanho da fonte
69     tela.print("Hz", 67, 32); // imprime Hz na tela
70     tela.print("Nvl:",2, 8); // imprime Nvl na tela
71     /*Se o potenciometro estiver em zero ou a frequencia for zero faça*/
72     if(x <= 0 || frequencia <= 0){
73
74         tela.print("Mode:OFF",2, 8); // imprime Mode: OFF na tela
75
76     }else{ // caso contrario
77
78         tela.printNumF(x, 0, 30, 8); // imprime o valor do potenciometro
79         tela.print("%",50, 8); // imprime o simbolo "%"
80     }
81 }
82 //fim loop

```

Fonte: Elaborada pelo autor.