

UMA PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE ARTEFATO PARA SENTIR AS SETE NOTAS MUSICAIS ATRAVÉS DA VIBRAÇÃO MECÂNICA

Saulo Pereira da Silva

saulopsg@hotmail.com

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul

III Seminário de Pós-graduação do IFMS – SEMPOG IFMS 2023

Resumo. Este artigo visa explorar o uso do Arduino, componentes eletrônicos e programação em C++ para trabalhar conceitos de hertz, período, frequência e notação musical. O objetivo é construir um protótipo que permita aos discentes compreender fisicamente as diferenças entre ondas senoidais e as sete notas musicais. A metodologia adotada é a aprendizagem baseada em projetos, na qual se apresenta o processo de construção do artefato. O artefato, que pode ser desenvolvido com simuladores web ou componentes físicos, busca proporcionar uma experiência tátil, permitindo que os alunos sintam as sete notas musicais através do tato. Através do uso do Arduino e da programação em C++, é possível criar um ambiente de aprendizagem interativo, onde os conceitos teóricos são vivenciados de forma prática e sensorial. O projeto busca promover uma compreensão abrangente e significativa desses conceitos, além de oferecer inclusão e acesso à música para pessoas com deficiências sensoriais.
Palavras-chave: hertz. período. notação musical. robótica educacional.

Abstract. This article aims to explore the use of Arduino, electronic components and programming in C++ to work with concepts of hertz, period, frequency and musical notation. The objective is to build a prototype that allows students to physically understand the differences between sine waves and the seven musical notes. The methodology adopted is project-based learning, in which the construction process of the feat is presented. The resistance, which can be developed with web simulators or physical components, seeks to provide a tactile experience, allowing students to feel the seven musical notes through touch. Through the use of Arduino and programming in C++, it is possible to create an interactive learning environment, where theoretical concepts are experienced in a practical and sensory way. The project seeks to promote a comprehensive and meaningful understanding of these concepts, in addition to offering inclusion and access to music for people with sensory impairments.

Keywords: hertz. period. musical notation. educational robotics.

Resumen. *Este artículo tiene como objetivo explorar el uso de Arduino, componentes electrónicos y programación en C++ para trabajar con conceptos de hertz, período, frecuencia y notación musical. El objetivo es construir un prototipo que permita a los estudiantes comprender físicamente las diferencias entre las ondas sinusoidales y las siete notas musicales. La metodología adoptada es el aprendizaje basado en proyectos, en el que se presenta el proceso de construcción de la hazaña. La resistencia, que puede desarrollarse con simuladores web o componentes físicos, busca brindar una experiencia táctil, permitiendo a los estudiantes sentir las siete notas musicales a través del tacto. Mediante el uso de Arduino y la programación en C++, es posible crear un entorno de aprendizaje interactivo, donde los conceptos teóricos se experimentan de forma práctica y sensorial. El proyecto busca promover una comprensión integral y significativa de estos conceptos, además de ofrecer inclusión y acceso a la música para personas con deficiencias sensoriales.*

Palabras clave: *hertzios. período. Notación musical. robótica educativa.*

1. Introdução

A música que é a arte dos sons, considerada por muitos como a sétima arte, traz em sua história conceitos subjetivos, onde cada pessoa tem um tipo de interpretação, através de seus sons e ritmos. Todo ouvinte observa desde criança a música, seja em sua residência, em locais públicos, escolas, entre outros. Embora os ouvintes consigam perceber a música através de seus ouvidos, muitos não conseguem senti-la na sua mais pura essência, mas não a sentem em sua totalidade pois não aprenderam a tocar um instrumento musical ou não entende uma partitura musical.

A partitura musical é uma representação escrita de uma composição musical. Ela é composta por símbolos musicais e notações que indicam a altura, duração, ritmo e expressão das notas musicais. A partitura é uma forma de documentar a música de maneira precisa e possibilita que os músicos toquem uma peça musical sem depender apenas de sua memória ou de gravações.

Quando um dos cinco sentidos - Visão, Audição, Tato, Paladar e Olfato - falha, outro tende a ser mais explorado. Por não ouvirem, as pessoas surdas, geralmente, têm os demais sentidos aumentados para recompensar.

Conforme Stanfield (2013) o sentido do tato tem receptores sensoriais, que recebem o estímulo e o transformam em impulsos nervosos, que serão interpretados pelo sistema nervoso. Esse sentido foi escolhido para explicação pois as pessoas surdas tendem a utilizá-lo com mais ênfase, não só nesse sentido, mas também a visão fica com maior percepção. As pessoas com problemas de visão também têm seu tato aumentado.

A justificativa para demonstração do artefato em sala de aula para alunos do curso de Técnico em Eletrotécnica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS), na Unidade Curricular (matéria) Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência, dará ao discente a possibilidade de entender como os hertz funcionam mecanicamente através das sete notas musicais. A motivação para encontrar resposta para a questão da pesquisa que motiva e permeia a busca é a seguinte: **Como demonstrar o funcionamento, mecanicamente, das ondas sonoras?**

O objetivo geral é trabalhar com conceitos de Frequência sob temas período e frequência, e construir um protótipo para os discentes entenderem as diferenças entre as frequências vibracionais da onda hertz e o funcionamento das sete notas musicais mecanicamente.

O objetivo específico consiste em criar através do aplicativo web TinkerCad (2023), ou através de hardware físico, um artefato para os discentes identificarem como os hertz se comportam mecanicamente para executar as sete notas musicais.

As contribuições idealizadas desse trabalho são: 1) Mostrar aos alunos que cada nota musical emite uma onda sonora fisicamente; 2) Existe uma diferença entre uma nota musical e outra, e isso pode ser identificado através dos hertz que serão identificados na vibração que o motor irá fazer.

2. Fundamentação Teórica

A robótica é um ramo da tecnologia de engenharia dedicado à pesquisa, desenvolvimento e aplicação de robôs. Um robô é um dispositivo mecânico programável que pode ser controlado para executar tarefas de forma autônoma ou semi autônoma. A robótica combina conhecimentos de engenharia mecânica, elétrica e eletrônica com ciência da computação e inteligência artificial para criar sistemas robóticos capazes de realizar uma variedade de tarefas em diferentes ambientes.

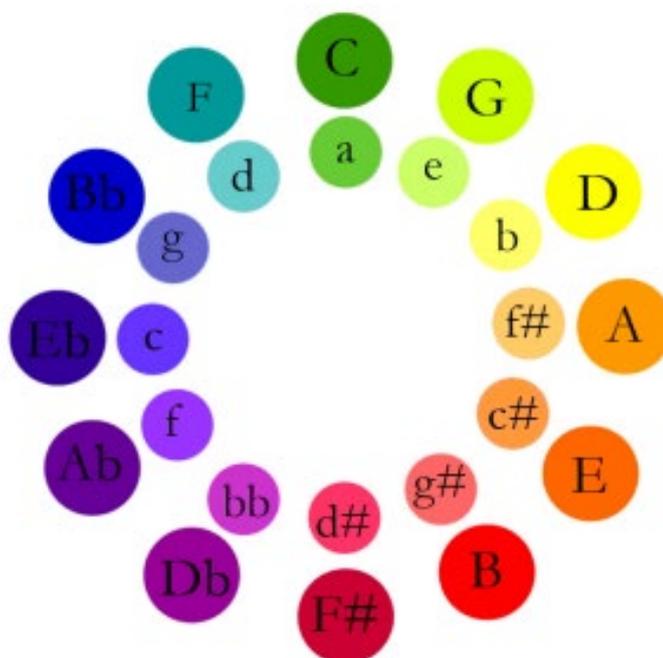
Conforme Sousa Júnior (2014) a robótica educacional é uma abordagem pedagógica que utiliza a tecnologia dos robôs como recurso educativo para promover o aprendizado de forma prática e interativa, desenvolvendo habilidades como pensamento computacional, resolução de problemas, trabalho em equipe e criatividade.

Os componentes eletrônicos utilizados na robótica educacional servem para construir mecanismos que podem auxiliar docentes e discentes em sala de aula. Esses mecanismos em união e funcionamento, com um fim específico geralmente são denominados protótipos.

Dessa forma, foi idealizado a construção de um protótipo de identificação de notas musicais através da vibração mecânica, onde será necessário, seguir os passos: 1) Identificação de cores das notas musicais e; 2) hertz específicos de cada nota.

As notas musicais foram classificadas visualmente através de cores. Mardirossian e Chew (2007) explicam a relação das notas musicais com as cores. Na Figura 1 vemos um disco contendo letras A, B, C, D, E, F e G, denominada círculo de quintas, onde as notas musicais no anel externo representam as notas principais, enquanto as teclas no anel interno representam as tonalidades menores, envolvendo os tons maiores e menores da notação musical. Podem ser também classificadas como uma sucessão de notas musicais que são distanciadas por intervalos.

Figura 1 – Notas musicais e suas cores



Fonte Mardirossian e Chew (2007)

O círculo externo mostra os tons maiores e o círculo interno os tons menores. As notas musicais mostradas na Figura 1 traduzidas para o português Brasil são:

- 1) A = Lá, Ab = Lá bemol e, a = lá menor;
- 2) B = Si, Bb = Si Bemol, b = si menor, e, bb= si bemol menor;

- 3) C = Dó, c = dó menor e, c# = dó sustenido menor;
- 4) D = Ré, d = ré menor, Db = Ré bemol, e, d# = ré sustenido menor;
- 5) E = Mi, Eb = Mi bemol, e, = mi menor;
- 6) F = Fá, FÁ# = Fá Sustenido, f = fá menor e, f# = fá sustenido menor;
- 7) G = Sol, g# = sol sustenido e, g = sol menor.

Além das cores das notas musicais citadas termos a frequência em hertz da onda sonora onde pode-se observar na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Tabela de frequências sonoras em hertz

Notas	1	2	3	4	5	6	7	8	
01	C	32,70	65,41	130,82	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,00
02	C#	34,65	69,30	136,60	277,20	554,37	1108,73	2217,46	4434,92
03	D	35,71	73,42	146,83	293,66	567,33	1174,66	2349,32	4698,64
04	D#	36,70	77,78	155,57	311,13	622,25	1544,51	2469,01	4938,02
05	E	20,06	41,20	82,41	164,81	329,63	659,25	1318,51	2637,02
06	F	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	689,45	1396,92	2793,83
07	F#	23,12	46,25	92,50	184,99	369,99	739,99	1479,98	2959,95
08	G	24,49	48,99	97,99	195,99	391,99	783,99	1567,89	3135,96
09	G#	25,95	51,91	103,02	207,65	415,30	830,60	1661,22	3322,44
10	A	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00
11	A#	29,13	58,27	116,54	233,10	466,16	932,33	1864,65	3729,31
12	B	30,87	61,74	123,48	246,94	493,88	986,76	1975,53	3951,10

Fonte Froza (2019)

Na Tabela 1 pode-se observar a tabela de frequência em hertz para as frequências sonoras. De acordo com Froza (2019) existe uma relação entre acústica e vibração do ar que pode ser observado a seguir:

A psicoacústica estuda a relação entre as sensações auditivas e o fenômeno físico da vibração do ar, cuja relação trouxe conceitos que inspiraram a criação de vários algoritmos na área de áudio. O som é medido fisicamente por: • Altura: que é determinada pela frequência das vibrações, isto é, da sua velocidade (quanto maior for a velocidade da vibração mais agudo será o som). • Duração: sendo a extensão de um som que é determinada pelo tempo de emissão das vibrações. • Intensidade: que representa a amplitude das vibrações que é o grau do volume sonoro. • Timbre: que é a combinação das vibrações, o timbre é a “cor” do som de cada instrumento. A mais importante das características do som é a altura, pois é determinada pela sua frequência fundamental. O ouvido humano pode reconhecer frequências de 20 Hz a 20K Hz. Sons fora desse intervalo não são percebidos pela maioria das pessoas porque não possuem energia suficiente

para vibrar o tímpano, ou porque a frequência é tão alta que o tímpano não consegue perceber. (FROZA, 2019, p. 13).

O trecho anterior de Froza (2019) informou que os conceitos estudados em psicoacústica inspiraram a criação de vários algoritmos na área de áudio. Sendo a psicoacústica, uma área que estuda a relação entre as sensações auditivas e o fenômeno físico da vibração do ar. Informa também que o som pode ser medido fisicamente em termos de altura, duração, intensidade e timbre. Sendo que a altura é determinada pela frequência das vibrações e é a característica mais importante do som. A autora informa que o ouvido humano pode reconhecer frequências de 20Hz a 20KHz e sons fora desse intervalo não são percebidos pela maioria das pessoas.

Dentre as duas colocações do significado de robótica e robótica educacional é possível entender que a criação do artefato para sentir as sete notas musicais seguirá dois itens: A) Componentes de Hardware e Utilização e; B) Proposta de Ensino;

A. Componentes de Hardware e Utilização

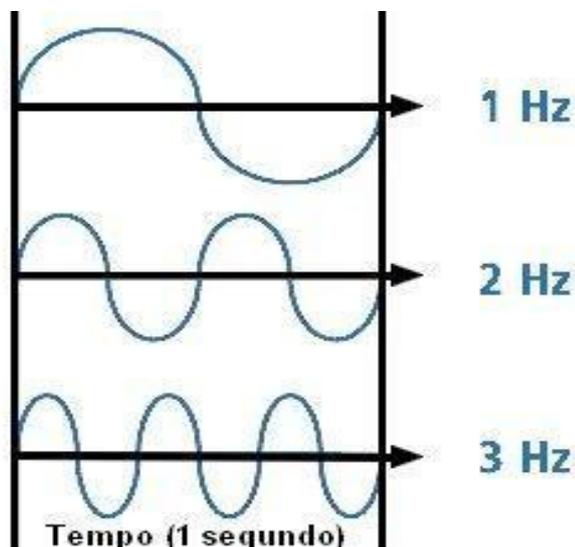
A utilização do protótipo na sala de aula do curso Técnico em Eletrotécnica do IFMS, na Unidade Curricular (matéria) Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência, consiste em mostrar ao estudante que a Frequência é produzida mecanicamente pode ser percebido através do motor de vibração que há no equipamento. Não só o motor de vibração, mas o diodo chamado de LED (Light Emitter Diode - Diodo Emissor de Luz) emitem a luz conforme o discente aperta o botão denominado Push. Além disso, há também uma chave que pode ligar ou desligar o Piezo, que são cristais que geram tensão elétrica por resposta a uma pressão mecânica.

A proposta de utilização do protótipo é demonstrar que a vibração, oscilação, ou seja, qualquer movimento que se repita de forma regular, ou irregular dado um intervalo de tempo gera ondas, por exemplo, um pêndulo simples, que tem diferentes valores de energia cinética e energia potencial ao longo de sua trajetória. Conforme Hallal et al. (2017) a frequência de vibração é mensurada em Hertz (Hz) e representa o número de ciclos de movimento por segundo. A amplitude é caracterizada pelo deslocamento vertical da onda vibratória, sendo expressa em unidades de medidas de comprimento (milímetro, por exemplo).

Na Figura 3 percebemos a frequência que indica o número de repetições durante uma unidade de tempo. O termo F(Hz) representa a Frequência em Hertz e T(s) representa o

Tempo em Segundo. Note que quanto mais hertz empregados em um segundo, menor será o comprimento da onda.

Figura 3 – Diferença de Frequências em Hertz em um segundo.

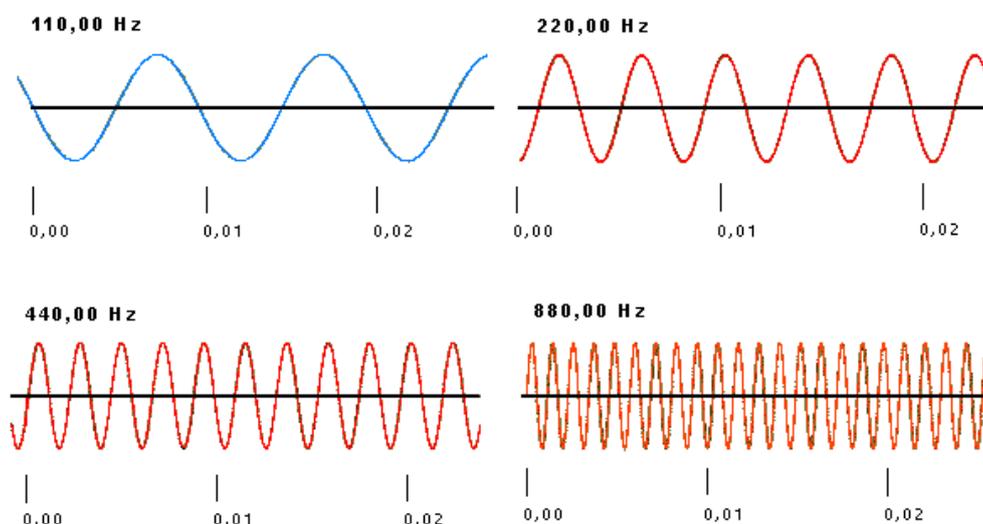


Fonte < <https://www.electronica-pt.com/frequencia-comprimento-onda> >. Acesso em: 02 maio 2023

Conforme "ELECTRONICA-PT", (2023) existem dois tipos de Unidade de Frequência (f), o Hertz para os sistemas eletromagnéticos e a Rotação Por Minuto (RPM) para os sistemas mecânicos. Sendo o tempo necessário para executar uma oscilação chamado de Período (T) e a distância percorrida pela onda durante o tempo de Comprimento de Onda e o cálculo matemático $F=1/T$.

Na Figura 4 nota-se que, quanto maior a oscilação em um segundo, maior será a frequência. Ao observar a Figura 4 em seu canto superior esquerdo vemos 110,00 Hertz (Hz), onde a onda está bem aberta. Ao lado direito, no canto superior, a onda diminui seu espectro e seu valor se torna 220,00 Hz. No canto inferior esquerdo percebemos que o espectro diminui ainda mais quando o valor em hertz se torna 440,00 e por fim, no canto inferior direito, o valor de 880,00 Hz as ondas ficaram mais finas ainda.

Figura 4 – Diferenças de oscilações em um segundo.



Fonte < <https://magroove.com/blog/pt-br/frequencia/> >. Acesso em: 02 maio 2023

As interações realizadas pelos discentes e professor será a de identificar que cada nota musical pode ser percebida através de seu hertz específico mecanicamente. Sendo que para o aluno possa sentir a vibração mecânica de cada nota musical, deve realizar os seguintes comandos, para cada nota musical, da esquerda para direita da Figura 1: 1) Dó, ao apertar botão acenderá a LED verde e o motor de vibração executará 261.6 hertz; 2) Ré, ao apertar botão acenderá a LED amarela e o motor de vibração executará 293.7 hertz; 3) Mi, ao apertar botão acenderá a LED laranja e o motor de vibração executará 329.6 hertz; 4) Fá, ao apertar botão acenderá a LED azul e o motor de vibração executará 349.2 hertz; 5) Sol, ao apertar botão acenderá a LED verde e o motor de vibração executará 392.0 hertz; 6) Lá, ao apertar botão acenderá a LED laranja e o motor de vibração executará 440.0 hertz; 7) Si, ao apertar botão acenderá a LED vermelha e o motor de vibração executará 493.9 hertz.

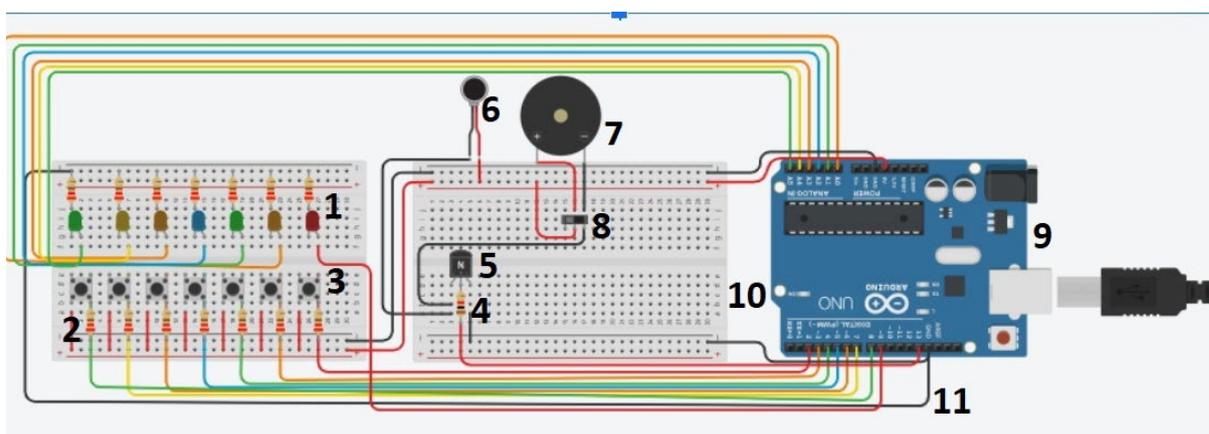
Para construção do protótipo serão necessários os seguintes componentes eletrônicos:

- 1) Sete leds normais;
- 2) Quatorze Resistores de 220 Ohms;
- 3) Sete Push Button;
- 4) Um Resistor de 1 KOhms;
- 5) Um Transistor NPN (BJT);
- 6) Um Motor de Vibração;

- 7) Um Piezo;
- 8) Um Interruptor deslizante;
- 9) Uma Plataforma Arduino UNO;
- 10) Duas Placas Protoboard – placa de ensaio pequena(protoboard);
- 11) Fios para ligação dos componentes;
- 12) Sistema Web Simulador TinkerCad;
- 13) Linguagem de programação C++.

Na Figura 5 há os componentes eletrônicos empregados, cada número faz referência aos itens citados anteriormente.

Figura 5 – Componentes Eletrônicos.



Fonte: Autoria Própria.

As possíveis contribuições que o protótipo trará para os alunos e sociedade são: 1) Aluno, independente da sua condição física, seja ouvinte, surdo, baixa visão, poderá sentir a vibração de cada nota musical; 2) Entenderá mecanicamente as diferentes vibrações mecânicas.

B. Proposta de Ensino

Existem diversas metodologias de ensino diferentes que podem ser encontradas em pesquisas em bases de dados, dependendo do objetivo do estudo e do contexto. Conforme Sefton e Galini (2018) alguns dos tipos de metodologias de ensino mais comuns são: 1) Aprendizagem baseada em problemas, os alunos aprendem por meio da resolução de problemas do mundo real, trabalhando em equipe e aplicando conhecimentos adquiridos em

situações práticas; 2) Aprendizagem baseada em projetos, os alunos trabalham em projetos de longo prazo, que envolvem pesquisa, colaboração, criatividade e solução de problemas; 3) Gamificação, os professores usam elementos de jogos em atividades de ensino, como pontuações, rankings, desafios e recompensas, para engajar e motivar os alunos; 4) Estudo de caso, os alunos analisam e discutem casos reais ou fictícios para compreender conceitos, princípios e estratégias relacionadas a um tema ou disciplina; 5) Sala de aula invertida, os alunos estudam conteúdos antes da aula, por meio de vídeos, textos ou outras atividades, e utilizam o tempo de aula para discutir, realizar atividades práticas e tirar dúvidas.

A proposta de metodologia é a aprendizagem baseada em projetos, pois os discentes irão trabalhar na construção de um artefato onde no final poderão constatar se obtiveram sucesso no aprendizado. O professor irá mediar a construção, seja no simulador web TinkerCad (2023) ou com os componentes físicos, denominados hardwares.

O público-alvo são alunos do curso de Técnico em Eletrotécnica na matéria de Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade sob tema período e frequência.

3. Metodologia

A proposta de aplicação da metodologia consiste em uma aula baseada em projeto onde os alunos serão convidados a construir o protótipo conectando os componentes à placa protoboard e à Plataforma Arduino, todos no sistema simulador TinkerCad (2023) ou em hardware físico.

Ao conectar os componentes físicos e programar o Arduino utilizando a Linguagem de Programação C++, vide Apêndice, os discentes serão convidados a explorar a experiência sensorial. Nesse contexto, cada nota musical é associada a uma vibração específica emitida pelo hardware.

A programação do Arduino permite a personalização das frequências de vibração, que são correspondentes às notas musicais. Esses pulsos são então convertidos em vibrações mecânicas por meio de um motor de vibração conectado ao Arduino.

Ao programar o Arduino, é possível definir a frequência da vibração para cada nota musical. Por exemplo, a nota Lá pode ser associada a uma frequência de vibração de 440Hz. Quando o Arduino é alimentado com essa frequência, o motor de vibração produz uma vibração correspondente à nota Lá.

Essa abordagem proporciona uma experiência interativa e imersiva, permitindo aos discentes explorar e entender as relações entre o som e o movimento. Através dessa conexão entre hardware, software e percepção sensorial, é possível criar composições musicais e experimentar as diferentes sensações produzidas pelas vibrações.

O uso da vibração como uma forma de representação sonora proporciona uma abordagem multidimensional e enriquecedora no campo da música e da educação. Além disso, essa tecnologia pode ser explorada em diferentes contextos, como atividades educacionais, terapias sensoriais e projetos de arte interativa.

Portanto, ao conectar os hardwares, programar o Arduino e conectar os fios corretamente, os participantes são convidados a explorar e experimentar a conexão entre música e vibração, ampliando suas percepções e possibilidades criativas.

4. Discussões e Resultados

A proposta dessa aula baseada em projeto contribuirá para o conteúdo de período e frequência da matéria de Ferramentas Matemáticas Aplicadas à Eletricidade, virtualmente ou fisicamente através de hardware, onde a onda sonora, algo que não pode ser tocado, pode ser identificado mecanicamente e isso dará ao aluno uma nova forma de entender o funcionamento dessa técnica.

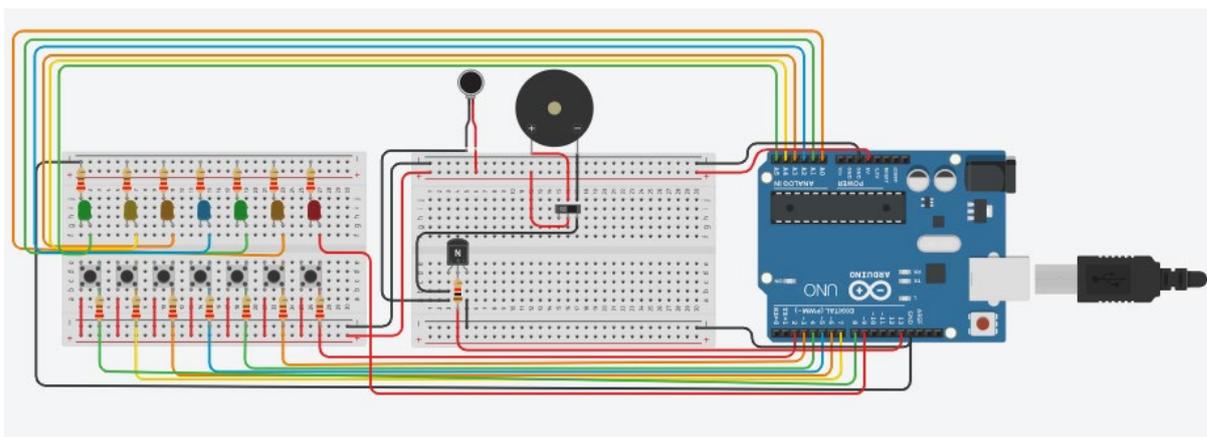
A diferença entre aula baseada em projetos e aula com abordagem tradicional é que o aluno pode identificar a diferença entre uma onda senoidal e outra, virtualmente ou fisicamente. Se fosse aplicada apenas a abordagem tradicional o conteúdo ficaria apenas na imaginação do discente.

As desvantagens da abordagem é que se o professor e o aluno quiserem realizar a atividade fisicamente, o ambiente escolar precisará ter os componentes eletrônicos. De igual modo, para realizar a utilização do simulador web precisará ter acesso a computadores/laboratório.

As vantagens da construção do protótipo é que, os componentes eletrônicos empregados têm valores acessíveis. Como a aula é baseada em projeto, quando o discente e docente terminarem o protótipo poderá ser testado, gerando assim maior aprendizado.

A Figura 6 mostra o artefato criado através do simulador TinkerCad (2023).

Figura 6 – Artefato com todos os componentes



Fonte: Autoria Própria.

5. Considerações Finais

A construção do artefato para identificar as notas musicais através da vibração mecânica dará ao discente a possibilidade de visualizar que é possível entender mecanicamente os hertz específicos de cada nota musical.

A pesquisa aqui realizada poderá ser continuada futuramente como base para construção de sistema computacional para dispositivos móveis utilizando o motor de vibração para explicar os hertz de notas musicais ou explicação física das diferenças das ondas senoidais existentes.

Poderá ser utilizada também para que pessoas surdas ou pessoas com baixa visão possam identificar as notas musicais, com suas diferenças mecânicas, tendo a possibilidade de entender através do tato cada uma delas.

6. Referências

BRAIDA, F.; NOJIMA, V. L. **Design para os sentidos e o insólito mundo da sinestesia.**

Revista de Design, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 45-58, 2008.

ELECTRONICA-PT. **Frequência e comprimento de onda.** Disponível em: < <https://www.electronica-pt.com/frequencia-comprimento-onda> >. Acesso em: 02 maio 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO DO SUL - IFMS. **Projeto pedagógico do curso técnico em eletrotécnica.**

Campo Grande, 2015. Disponível em: < <https://www.ifms.edu.br/centrais-de-conteudo/documentos-institucionais/projetos-pedagogicos/projetos-pedagogicos-dos->

cursos-tecnicos/projeto-pedagogico-do-curso-tecnico-em-eletrotecnica-campo-grande.pdf

>. Acesso em: 03 mai. 2023.

FROZA, Ana Carolina. **Deteção de acordes musicais por meio de informações espectrais**. 2019. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Departamento Acadêmico de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

HALLAL, Camilla Zamfolini; MARQUES, Nise Ribeiro; GONÇALVES, Mauro. **O uso da vibração como método auxiliar no treinamento de capacidades físicas: uma revisão da literatura**. 2017.

MARDIROSSIAN, Arpi; CHEW, Elaine. **Visualizing Music: Tonal Progressions And Distributions. (Trabalho Científico)**, 2007. Universidade da Califórnia do Sul, Departamento de Engenharia Industrial e Sistemas. Los Angeles, EUA.

SEFTON, Ana Paula; GALINI, Marcos Evandro. **Metodologias Ativas: Desenvolvendo Aulas Ativas para Uma Aprendizagem Significativa**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022. ISBN 9786556752167.

SMITH, J. A. **O sentido do tato: Receptores sensoriais e a transformação de estímulos em impulsos nervosos**. São Paulo: Editora ABC, 2010.

SOUSA JÚNIOR, Luiz (Organizador). **Robótica no ensino público: Uma perspectiva interdisciplinar**. 1ª ed. São Paulo: Editora XYZ, 2014.

STANFIELD, Cindy L.; GERMANN, William J. **Princípios de Fisiologia Humana**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TINKERCAD. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em: 03 mai. 2023.