

## FÍSICA, MÚSICA E ROBÓTICA COM ARDUINO

*Physics, Music and Robotics with Arduino*

**Fernando de Freitas Marques Calazans** [fernando.calazans@alunos.ufersa.edu.br]

**Gustavo Alves Mendes** [gustavo.mendes@alunos.ufersa.edu.br]

*Departamento de Ciência Naturais, Matemática e Estatística*

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA*

**Carlos Alberto dos Santos** [cas.ufrgs@gmail.com]

**Gustavo Oliveira Gurgel Rebouças** [gustavoreboucas@ufersa.edu.br]

**Jusciane da Costa e Silva** [jusciane@ufersa.edu.br]

*Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF – Polo 09*

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA*

*Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró RN, Brasil*

*Recebido em: 24/08/2023*

*Aceito em: 27/11/2023*

### Resumo

Desde a antiga Grécia, a relação entre física e música sempre despertou o interesse dos mais diversos pensadores. Apesar disso, o uso de música em atividades didáticas pertinentes à física não tem ocorrido na mesma proporção da relação fenomenológica. Da mesma forma, ainda é incipiente o uso simultâneo de física, música e robótica no Brasil, e não há qualquer estudo publicado no país sobre o uso da placa Arduino nesse contexto, razão pela qual decidimos investigar um arranjo experimental com uma placa Arduino, um relé e um microfone, para produzir música digital potencialmente útil para atividades didáticas concernentes ao ensino de acústica. Reproduzimos algumas músicas com esta montagem. Estamos interessados em mostrar a física envolvida na emissão destas músicas de modo que esta montagem possa ser utilizada em salas de aulas interdisciplinares de física, música e robótica. Optamos por reproduzir músicas conhecidas, tais como: Asa branca de Luiz Gonzaga, *Viva la Vida* da banda Coldplay, Mario Bros de Super Mario e Marcha imperial de *Star Wars*. No entanto é possível por este meio, e com um certo conhecimento de música, escrever outras melodias, ou mesmo as notas musicais isoladamente.

**Palavras-Chave:** Física; Música; Robótica; Arduino.

### Abstract

Since ancient Greece, the relationship between physics and music has always interested the most diverse thinkers. Despite this, the use of music in didactic activities related to physics has not occurred in the same proportion of the phenomenological relationship. Likewise, the simultaneous use of physics, music and robotics is still incipient in Brazil, and there is no study published in the country on the use of the Arduino board in this context, which is why we decided to investigate an experimental arrangement with an Arduino board, a relay and a microphone, to produce potentially useful digital music for didactic activities concerning the acoustics teaching. We play some songs with this montage. We are interested in showing the physics involved in the emission of these songs

so that this montage can be used in interdisciplinary classrooms of physics, music and robotics. We chose to reproduce well-known songs, such as: Asa Branca by Luiz Gonzaga, Viva la Vida by the band Coldplay, Mario Bros by Super Mario and Imperial March by Star Wars. However, it is possible by this means, and with a certain knowledge of music, to write other melodies, or even musical notes in isolation.

**Keywords:** Physics; Music; Robotics; Arduino.

## Introdução

Bem antes dos recursos tecnológicos hoje disponíveis, a robótica já preenchia parte do imaginário humano pela via da ficção, não com o mesmo conceito moderno que temos, mas com ideias precursoras. Por exemplo, tanto a mitologia grega, quanto a hebraica, constituem espaços plenos de figuras artificiais, as quais podem ser vistas como determinados robôs surgidos na literatura séculos depois (Stone, 2005). No século 15, o alquimista Paracelsus introduziu o *homúnculo*, um pequeno ser humano, não mais alto do que 30 cm, ao qual cabia trabalhar associadamente com um *golem*, a figura mítica do judaísmo. Depois o *homúnculo* tornou-se sinônimo de homenzinho que controla os pensamentos de um ser humano. Três séculos depois, surge *Frankenstein*, a primeira e provavelmente a mais famosa das criaturas originadas na ficção científica, área literária que teve grande expansão depois dos anos 1920, com extraordinária repercussão no cinema.

O termo robô surgiu por volta de 1920, em Praga (Hockstein et al., 2007; Stone, 2005). É certo que foi inventado por um dos irmãos Capek, mas há uma controvérsia a respeito de quem é a autoria: de Karel ou de Joseph? Em 1917, Joseph escreveu uma pequena história, intitulada *Opilec*, descrevendo autômatos, isto é, robôs. No entanto, a palavra robô só foi usada três anos depois, por Karel, em sua peça teatral *Rossumovi Univerzální Roboti* (Robôs Universais de Rossum), que ficou conhecida pela sigla RUR. Há uma informação no portal da Academia de Robótica de Adelaide, segundo a qual Karel teria confessado que a palavra robô lhe fora sugerida pelo irmão<sup>1</sup>.

Já a palavra robótica aparentemente foi usada pela primeira vez por Isaac Asimov, em 1938, quando ele tinha 18 anos de idade (Hockstein et al., 2007). O uso industrial dos robôs foi iniciado pela General Motors (GM), em 1961, embora sua concepção seja de 1946, quando George C. Devol patenteou um dispositivo para o controle de máquinas (Stone, 2005). Esse dispositivo evoluiu para o *Unimate* patenteado pela GM. Desde então, os estudos pertinentes à robótica cresceram vertiginosamente nos laboratórios universitários e industriais. No que concerne ao tópico abordado neste artigo, física, música e robótica, ou ao tópico mais amplo, robótica e ensino das ciências da natureza, a literatura mostra um surgimento tardio. Somente a partir de 1979 a base de dados *Web of Science* (WoS)<sup>2</sup> recupera artigos com a sentença de busca “*robotics and science and education*”.

Um estudo sistemático do crescimento da robótica na educação a partir de dados presentes na WoS é apresentado por López-Belmonte et al., (2021). De acordo com esses autores, o trabalho mais citado nessa área de estudo foi publicado por Fabiane Benitti, professora de ciência da computação na UFSC (Benitti, 2012). De acordo com a autora, aproximadamente 80% dos estudos referem-se a tópicos relacionados com física e matemática, mas apenas dois trabalhos são destacados na área da música, e curiosamente a autora não cita qualquer trabalho sobre o uso da plataforma Arduino, que ocupa destacada posição nessa área. Em maio de 2022, a WoS recuperou 4.950 trabalhos com a sentença “*Arduino and science and education*”. Com a sentença “*Arduino and music and science and*

<sup>1</sup> <https://www.roboticsacademy.com.au/who-invented-the-word-robot-and-what-does-it-mean/>

<sup>2</sup> <https://www.webofscience.com>

*education*”, a WoS recuperou 347 trabalhos, e apenas 51 com a sentença que define o objeto central deste artigo, “*Arduino and music and physics and teaching*”.

De acordo com dois artigos de revisão recentes (Coutinho-Júnior *et al.*, 2021; Moreira *et al.*, 2019), a plataforma Arduino ainda não foi usada no Brasil para o ensino de física e música, razão pela qual consideramos importante o compartilhamento dos resultados que já obtivemos no âmbito de um projeto interdisciplinar sobre física, música e robótica. O material apresentado a seguir refere-se ao desenvolvimento de conteúdo para ser usado em futuras intervenções didáticas.

Na sequência apresentaremos uma breve revisão da literatura pertinente aos tópicos centrais do artigo. Iniciaremos com o tema *física e música*, seguido pelo uso da *robótica na educação*, destacando a invenção da linguagem LOGO e a icônica disciplina MIT 6.270, talvez a primeira iniciativa curricular da robótica na educação em nível universitário. Nas seções seguintes detalharemos a temática, abordando *física, música e robótica* e *física, música e robótica no Brasil*. Depois dessa revisão da literatura, descreveremos a *montagem e a programação da placa Arduino*, e as *músicas programadas*. O artigo é finalizado com *comentários finais* a respeito das possibilidades didáticas do trabalho desenvolvido.

## **Física, música e robótica**

Acredita-se que tenham sido Pitágoras e seus discípulos os primeiros a conduzirem investigações científicas sobre a natureza do som (Caleon & Ramanathan, 2008). Foi Pitágoras quem inventou o monocórdio, um instrumento usado por Weber em seus estudos no século 19 (Jackson, 2006), e ainda hoje presente em atividades experimentais em laboratórios de cursos universitários (Varieschi & Gower, 2010). Com o monocórdio, Pitágoras descobriu a normatização das sete notas musicais harmônicas e mediu as frequências do som gerado por uma corda em vibração. Esses estudos de Pitágoras caíram no esquecimento durante séculos, sendo ressuscitados no século 16 pelo pai de Galileu e retomados logo depois pelo filho famoso.

Tudo indica que as primeiras disciplinas universitárias envolvendo física e música começaram a ser implementadas no final dos anos 1950 (Ivey & Josephs, 1972), para alunos de música e de outros cursos fora da física, com matemática ao nível do ensino médio e alguns experimentos em laboratório (McDonald, 1972; Rossing, 1971; Shonle, 1976). Está fora do escopo deste trabalho discutir as razões pelas quais depois de tanto tempo, a abordagem didática de física e música continua numericamente pouco expressiva, a despeito dos inúmeros benefícios pedagógicos apontados pelos estudiosos da área (Bisesi & Michelini, 2008; Linder, 1992; Ramsey, 2015). O que importa neste momento é destacar iniciativas recentes no Brasil e propor uma alternativa com o uso da plataforma Arduino.

Ao nosso conhecimento, a primeira manifestação pública favorável ao uso de contextos culturais no ensino de física no Brasil data do final dos anos 1990, quando João Zanetic inicia a publicação de suas reflexões em torno do tema “Física e Arte: uma ponte entre duas culturas” (Zanetic, 2006). Em 2011, Moura & Bernades-Neto usaram instrumentos de corda e de percussão de baixo custo e fabricação própria para ensinar acústica em uma escola de ensino médio. Trabalho similar foi realizado recentemente por Moreira e Romeu (Moreira *et al.*, 2019). Em 2016, Coelho utilizou o monocórdio para a abordagem de física ondulatória em turmas do segundo ano do ensino médio (Coelho, 2016). Nessa mesma linha de instrumentos de corda, Lago elaborou uma proposta para o ensino de física ondulatória usando uma guitarra (Lago, 2015). Cavalcante e colaboradores fabricaram um instrumento por eles denominado “Tubofone” (Cavalcante, *et al.*, 2012), enquanto Coelho e Machado construíram um móbil com tubos sonoros para a caracterização de sons e a abordagem dos princípios físicos envolvidos nos fenômenos acústicos (Coelho & Machado, 2015).

Além desses trabalhos referentes ao uso da música em atividades didáticas no ensino de física, cabe acrescentar três trabalhos que poderão servir de referência metodológica nessa área pedagógica (Goto, 2009; Nascimento, et al., 2015; Santos, 2013).

Como afirmamos acima, no levantamento que realizamos na literatura nacional não detectamos qualquer trabalho sobre a abordagem de conceitos de acústica com o uso de música produzida com a plataforma Arduino. Como veremos mais adiante, trata-se de uma iniciativa que permite uma abordagem interdisciplinar, na linha do que a literatura internacional denomina Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM, na sigla em inglês).

Existem inúmeros e válidos argumentos de natureza pedagógica para justificar o uso da robótica na educação (Eguchi, 2015; Kubilinskiene et al., 2017; López-Belmonte et al., 2021; Luciano et al., 2019; Miller; Nourbakhsh, 2016; Schivani; Brockington; Pietrocola, 2013). Na perspectiva de uma educação cidadã, uma justificativa se faz presente em nosso cotidiano, quando o que se costuma denominar de internet das coisas começa a invadir nosso espaço doméstico. São inúmeros os eventos robóticos que ocorrem diariamente em uma residência conectada à internet. Então, a criança ou o adolescente de hoje precisam conhecer os fundamentos dessa parafernália para não se tornar o cidadão de amanhã ignorante do seu modo de vida.

Para além da necessidade formativa dos jovens com propensão às carreiras profissionais tecnológicas quanto à apropriação dos conceitos e suas tecnologias pertinentes à robótica, há que se considerar os benefícios pedagógicos de intervenções didáticas com o uso de recursos robóticos, válidos para qualquer espectro da população educacional. Vários estudos (Eguchi, 2015; Filippov et al., 2017; Miller; Nourbakhsh, 2016) têm sugerido que o uso da robótica na educação: estimula o pensamento crítico, a criatividade e a inovação; possibilita abordagens transdisciplinares; favorece o desenvolvimento de habilidades colaborativas; favorece o desenvolvimento de habilidades na busca da solução de problemas; facilita a formatação de uma educação CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) ou CTEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática).

A robótica na educação teve início nos anos 1960, quando Seymour Papert e colaboradores desenvolveram no MIT a linguagem de programação LOGO e criaram o robô digital TURTLE (Abelson et al., 1976; Papert, 1971, 1972, 1980). Em seu artigo de 1972, Papert apresenta suas principais referências pedagógicas (Papert, 1972):

Assim como Dewey, Montessori e Piaget, eu acredito que as crianças aprendem fazendo e pensando sobre o que eles fazem. E assim os ingredientes fundamentais da inovação educacional devem ser melhores coisas a fazer e melhores maneiras de pensar sobre o que estão fazendo [Tradução nossa].

Portanto, não surpreende o fato de que em muitos artigos sobre robótica na educação a ideia construtivista seja ressaltada (Hof, 2021; Luciano et al. 2019; Luna; Chong, 2020; Schina; Steve-Gonzales; Usart, 2020).

Na apresentação do seu projeto *A computer laboratory for elementary schools* (Papert, 1971), Papert define três papéis importantes para o computador na educação: (a) tecnologias da matemática para crianças; (b) modelo para aprender acerca da aprendizagem e outras habilidades cognitivas; (c) ciência da computação como uma fonte para a pesquisa na educação elementar. Olhando em retrospectiva, Barbara Hof vê nessa proposta seminal de Papert forte conexão entre inteligência artificial, construtivismo e tecnologia educacional, algo que transparece cristalinamente nos dias atuais (Hof, 2021).

Como era de se esperar, dado seu caráter multidisciplinar, a robótica educacional começou a ser usada em várias disciplinas. A expansão da robótica na área educacional se fez pela via do construcionismo, uma alternativa pedagógica ao construtivismo, elaborada por Seymour Papert

(Alanazi, 2016; Papert, 1986). Uma das primeiras iniciativas educacionais associando música e robótica foi relatada por Mitchel Resnick, quando trabalhava no *Media Laboratory* do MIT (Resnick, 1991). Tratava-se de um curso de três semanas oferecido a 60 professores do ensino médio, a maioria dos quais da região de Boston. Foram cinco dias de seminários e atividades sobre a linguagem LOGO e sobre o LEGO/Logo, o primeiro kit de robótica educacional relatado na literatura (Resnick; Ocko, 1990). Depois dessa iniciativa pioneira, algumas outras foram relatadas na literatura, mas na avaliação de Svetlana Kubilinskiene e colaboradores, essa área do uso de robôs na educação artística necessita de mais pesquisa (Kubilinskiene et al., 2017), sobretudo no que se refere às intervenções didáticas usando música e física.

No que se refere à instrumentação, um elemento essencial para o uso da robótica no ensino de música, ou para uso da robótica na educação por meio da música, uma boa referência é Ajay Kapur, que fez uma revisão dos instrumentos musicais robóticos, desde a época anterior à invenção do computador até 2005 (Kapur, 2005). Para quem pretende trabalhar com robótica e música, o artigo de Kapur tem um caráter cultural muito importante, e para quem deseja estender esse uso ao ensino, Kapur apresenta alguns argumentos pedagogicamente relevantes:

Para projetar e construir um robô musical, deve-se obter uma infinidade de habilidades cruciais para a forma de arte interdisciplinar, incluindo conhecimentos de acústica, engenharia elétrica, ciência da computação, engenharia mecânica e usinagem (...) a matemática das proporções musicais relacionadas a várias escalas (...) como as ondas se propagam e se comportam em diferentes meios (...) programação de microcontroladores (...) tecnologia de sensores (Tradução nossa).

Embora nem todos os usuários da robótica na educação usem todos esses recursos pedagógicos, é importante ter em mente essa possibilidade de abordagens interdisciplinares. Exemplos de múltiplas estratégias didáticas são apresentadas por Rusk e colaboradores (Rusk et al., 2008), tanto quanto à multiplicidade temática, ou ao público ao qual se destinam as iniciativas educacionais.

Uma iniciativa interessante para ensinar música na escola secundária, fazendo uso da plataforma Arduino, foi relatada por Atilgan e Gürman (Atilgan & Gürman, 2020). Eles programaram uma placa de Arduino para executar diferentes músicas com vários instrumentos: violão, piano, trompete, tambor, acordeão, violoncelo, guitarra, alaúde, banjo, arpa e trombone.

A literatura brasileira a respeito desse tópico é muito recente, comparada com a internacional. Em 2009, Mario Goto publicou um interessante artigo no qual examina as condições físicas e matemáticas da consonância das ondas sonoras e estabelece uma relação entre suas frequências fundamentais (Goto, 2009). Embora o autor não tenha apresentado qualquer proposta didática, seus resultados podem ser utilizados em intervenções didáticas referentes ao uso de música para o ensino de acústica. Os trabalhos específicos sobre música e ensino de física começaram a surgir em 2011 (Cavalcante; Bueno & Amorim, 2012; Coelho, 2016; Coelho; Machado, 2015; Lago, 2015; Moreira et al., 2019; Moura; Pizetta et al., 2017; Santos; Molina; Tufaile, 2013), e aqueles relacionados com o uso da robótica em geral, e especialmente com a plataforma Arduino só foram publicados a partir de 2012 (Coutinho-Júnior et al., 2021; Luciano et al., 2019; Moreira et al., 2018; Schivani; Brockinton; Pietrocola, 2013; Souza; Duarte, 2015). Entre esses trabalhos, dois apresentam revisões da literatura (Coutinho-Júnior et al.; Moreira et al., 2018). Em seus extensos e sistemáticos levantamentos da literatura, entre 2011 e 2019, Moreira (2018) e Coutinho Júnior e colaboradores (2021) não detectaram qualquer publicação referente ao uso didático de música e física com a placa Arduino.

## Montagem e programação da placa Arduino

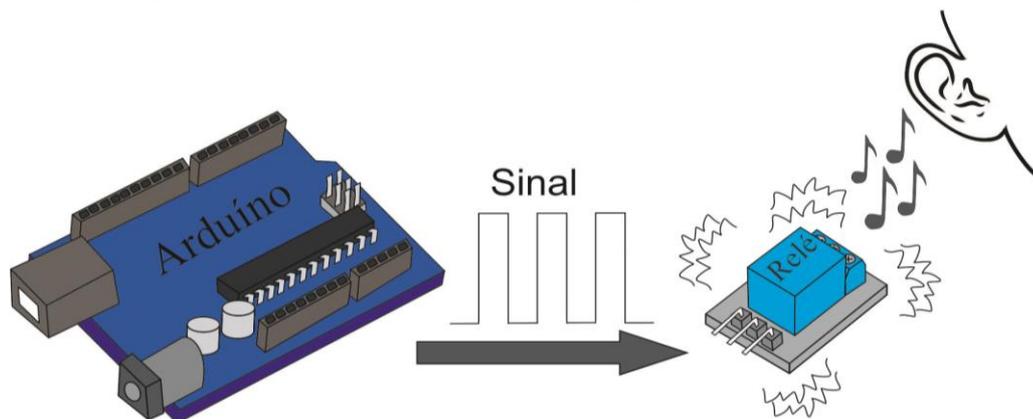
O Arduino<sup>3</sup> é uma placa controladora que exige pouca experiência para sua utilização, razão pela qual tem sido largamente utilizada em muitas atividades de ensino com robótica (Cavalcante; Tavolaro; Molisani, 2011; Coutinho-júnior *et al.*, 2021). Seu microcontrolador é capaz de interagir com diversos tipos de sensores simultaneamente, como em ambientes de aulas de física com sensores de temperatura, luz, som, entre outros como entrada, e *leds*, motores, autofalantes como saída (Souza, *et al.*, 2011).

Um uso comum do Arduino é automação, como ligar e desligar algo. Isso pode ser feito, por exemplo, com o uso de um relé. O relé é um dispositivo que recebe um sinal elétrico de baixa intensidade e pode ligar um aparelho a sua fonte de alimentação. Há vários modelos no mercado e várias aplicações (Braga, 2012). Ao ativar o relé, que funciona como uma chave de ligar e desligar o mesmo vibra produzindo um som. Ao enviar um sinal elétrico periódico o mesmo poderá emitir uma onda sonora com uma frequência bem definida, ou seja, uma nota musical.

A Figura 1 mostra a montagem esquemática de nosso experimento. O Arduino enviará um sinal digital quadrado com amplitude de 5 V, que é equivalente a ligar e desligar o relé. Ao ligar e desligar o relé se movimenta, como este movimento é periódico é possível controlar a sua frequência de vibração, e assim com alguns limites, emitir uma nota musical que se propaga no ar e é audível. Esta vibração não é visível como a de um diapasão, este último pode ter a vibração visualizada colocando o mesmo em contato com a água em um recipiente, o que produzirá ondas na superfície da água (Feravolo, 1965, p. 13).

Em nosso experimento conectamos a placa a um relé (Braga, 2012), de modo que um sinal digital da placa produzirá um som por meio do contato entre os terminais mecânicos, como ilustra a Figura 1. Se esses sinais tiverem frequência e intensidade de determinada música, o contato entre os terminais do relé reproduzirá a música.

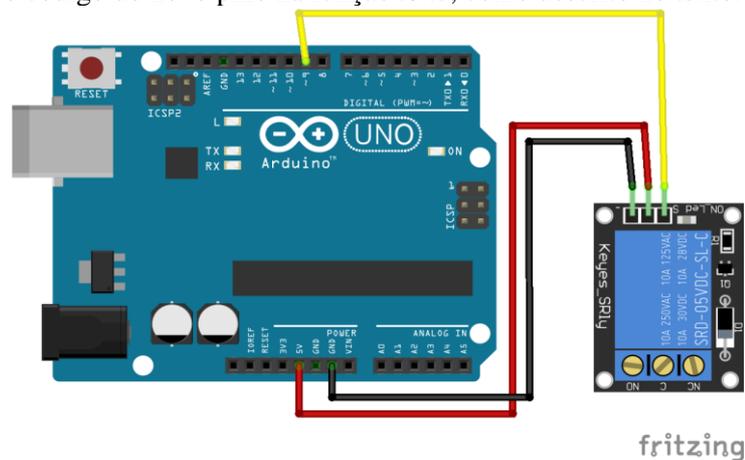
**Figura 1** - Desenho esquemático da montagem do nosso experimento.



A montagem e o código são bastante simples, a Figura 2 mostra o esquema de montagem utilizado. Uma placa de Arduino UNO associada a um módulo relé, o qual pode vibrar em qualquer frequência pré-estabelecida, de modo a reproduzir uma nota musical. Os fios vermelho, preto e amarelo são a alimentação, terra e o sinal, respectivamente.

<sup>3</sup> <https://www.arduino.cc/en/about>.

**Figura 2** - Esquema de montagem do Arduino. Caso utilize outro pino para o sinal, lembrar de mudar o código do novo pino na função *tone*, como descrito no texto.



Por ser um sinal digital, a onda ou sinal enviada ao relé é “quadrada”, emitindo um ruído característico, que ao ser ouvido é identificado musicalmente, tendo ainda seu volume aumentado ao ser posto para vibrar em contato com um recipiente, como um copo descartável ou um pote de plástico.

Para a programação da placa Arduino, utilizamos uma estrutura bem simples, baseada na função *tone()* que gera um sinal de onda quadrada de uma frequência específica, com 50% de ciclo de trabalho em um pino da placa. A função é escrita como *tone* (pino, frequência, duração). O *tone*(pino) indicará o pino do Arduino no qual deverá ser emitido o sinal, o *tone*(frequência) será uma variável inteira que indicará a frequência do sinal em hertz e o *tone*(duração) a duração do sinal em milissegundos (Arduino).

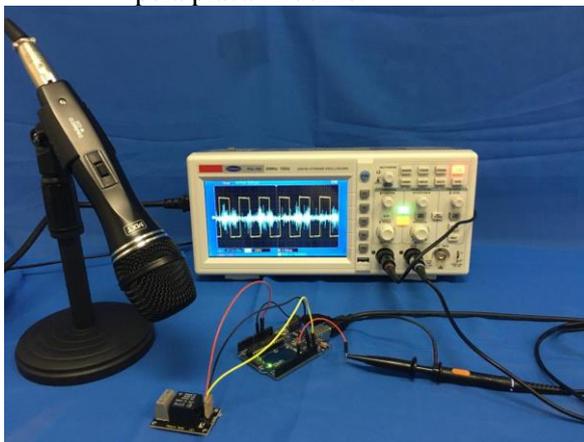
Antes de descrever como as músicas serão tocadas, vamos afinar musicalmente o nosso instrumento com um programa que emitirá uma nota. Com programação abaixo poderemos fazer o relé emitir a nota Lá3, ou seja, 220Hz.

```
int a3=220;
void setup(){
void loop(){tone(9, a3)}
```

Para emitir outras notas bastará atribuir o valor da frequência desejada a variável *a3* com a ajuda da Tabela 1, mostrada mais à frente. Estas três linhas enviará um sinal periódico ao relé que emitirá a frequência de interesse. Na Figura 3, temos o sinal em função do tempo enviado ao pino 9, pelo Arduino, eixo da esquerda. O eixo da direita identifica a onda sonora emitida pelo relé e captada pelo microfone. Identificando a periodicidade para a nota emitida e relacionando o sinal enviado e a onda sonora emitida. É explicitado o período do sinal e da onda sonora, 4,5 ms. A função *tone()* gera o sinal oscilante e é comumente usados em um *buzzer* ativo, que é um alto falante próprio para receber sinais com frequência variável e reproduzir notas músicas. O *buzzer* ativo é o que gera sons em jogos eletrônicos mais antigos também chamados de arcades.

Para caracterização da emissão das notas pelo relé usaremos um microfone acoplado a um osciloscópio. Neste caso podemos visualizar sinal elétrico captado pelo microfone gerado pelo som emitido pelo relé. Usamos a montagem da Figura 3 para capturar o sinal sonoro, bem como, o sinal elétrico periódico que é enviado ao relé e que faz oscilar o relé comparando-os graficamente e identificando o período de oscilação. E ainda utilizar a Transformada Rápida de Fourier para a análise do som captado pelo microfone.

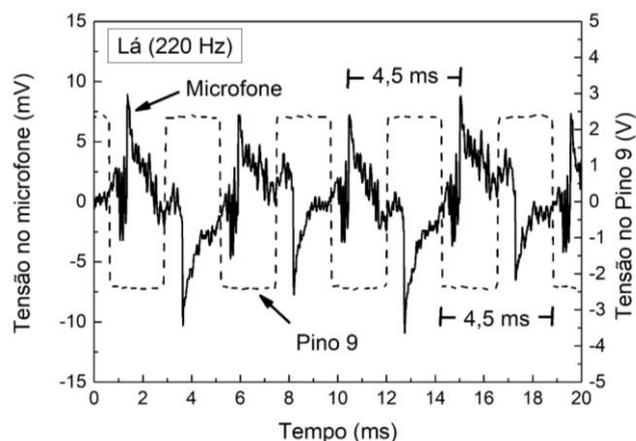
**Figura 3** – Montagem para a captação do sinal sonoro emitido pelo relé em função do sinal digital enviado pela placa Arduino.



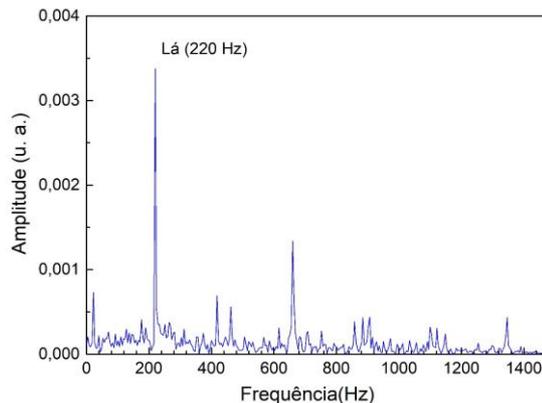
Apresentaremos a seguir um estudo com a nota Lá3 (3<sup>a</sup> oitava), com frequência de 220 Hz. A Figura 4(a) apresenta o sinal sonoro emitido pelo relé e captado pelo microfone para um sinal digital enviado pelo Arduino ligado ao osciloscópio, com um período de 4,5 ms, fazendo o relé oscilar com este período emitindo, assim a nota Lá, 220 Hz. Mesmo não sendo um instrumento musical, o relé emite a nota correspondente à frequência programada. Todavia descobrimos que o som do relé não é audível na 4<sup>a</sup> oitava, a região central do piano e da voz humana. Por tentativa e erro descobrimos que o relé toca melhor na 2<sup>a</sup> oitava. Ainda não sabemos se isso é uma característica dessa marca de relé. A Figura 4(b) apresenta a análise o sinal por meio da FFT e, como esperado, temos um pico no sinal de 220 Hz. Temos ainda picos harmônicos, 440 Hz e 660 Hz, mais claramente identificado. No entanto nem todas as notas são emitidas com a mesma nitidez para o ouvinte.

**Figura 4:** (a) Sinal com frequência de 220 Hz, Lá3, emitido pelo pino 9 do Arduino onda quadrada, linha pontilhada e intensidade definida pelo eixo da esquerda. A linha contínua apresenta o sinal captado pelo microfone, ou seja, a onda sonora emitida pelo relé. (b) Espectro sonoro da onda sonora captada pelo microfone com um pico em 220 Hz.

(a)



(b)



## Músicas programadas

Para definir quais notas e por quanto tempo elas devem ser tocadas, utilizamos a partitura da música como referência, para isso é necessário ter algumas noções básicas de teoria musical. A escala

musical é uma sequência de notas distintas. Utilizamos a escala uma oitava que é uma sequência das oito notas musicais da escala maior: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, Dó. Sendo a frequência fundamental o dobro da anterior, ou seja, o som ouvido como a mesma nota musical, apenas mais aguda ou mais grave. Desse modo utilizaremos as frequências indicadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Frequências das notas utilizadas no nosso trabalho para a segunda e terceira oitava<sup>4</sup>.

Nota	Dó <sub>2</sub>	Ré <sub>2</sub>	Mi <sub>2</sub>	Fá <sub>2</sub>	Sol <sub>2</sub>	Lá <sub>2</sub>	Si <sub>2</sub>	Dó <sub>3</sub>	Ré <sub>3</sub>	Mi <sub>3</sub>	Fá <sub>3</sub>	Sol <sub>3</sub>	Lá <sub>3</sub>	Si <sub>3</sub>
Frequência (Hz)	65	73	82	87	98	110	123	131	147	165	175	196	220	247

A escala musical é uma sequência de notas distintas, agrupadas em frequências. Aquelas com multiplicidade em potências de 2 apresentam sonoridades similares. As escalas são nomeadas conforme sua nota inicial na sequência. Por exemplo, a escala Dó maior, que corresponde às teclas brancas do piano, partindo do Dó até o Dó seguinte mais agudo (Parker, 2009), tem a seguinte sequência: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, Dó. Neste trabalho só usaremos a segunda e a terceira oitava dessa escala, que corresponde às frequências indicadas na Tabela 1, pois foram as que produziram os melhores efeitos sonoros no relé. Ou seja, o relé que utilizamos tem sua extensão definida entre a segunda e a terceira oitava (61 Hz a 131 Hz).

A partitura é a maneira formal de se escrever música. As notas musicais são marcadas no pentagrama, nas linhas e espaço entre elas, de forma que quanto mais acima, mais aguda a nota é, indo de Dó até Si e então repete-se a ordem. Já os compassos são intervalos de tempo igualmente divididos e demarcados por barras verticais (Cantareira, 2015; Dantas; Cruz, 2019). Cada compasso possui um agrupamento de batidas que, com seus tempos somados, completam o intervalo de tempo do compasso. No exemplo mais comum de compasso, no qual focaremos, tem divisão 4/4, isto é, o compasso utiliza a semínima ( $\frac{1}{4}$ ) como base de seu tempo e quatro delas formam um compasso, ou seja, o compasso completo possui 4 tempos. Esse tempo, no qual tocamos nossa música, é definido pelos batimentos por minuto (bpm), sendo assim, se tivermos um *bpm* de 120, significa que a cada minuto 120 semínimas serão tocadas. Utilizamos a teoria musical e a função *tone* (pino, frequência, duração) com a qual é gerada uma frequência e enviada ao relé para executar trechos das músicas programadas.

Até o momento, programamos nosso sistema para executar as seguintes músicas: Asa branca; *Viva la vida*; Super Mário bros; *Star wars* (marcha imperial); 9<sup>a</sup>. Sinfonia de Beethoven (ode à alegria); Bolero de Ravel; *Trenzinho caipira* de Villa Lobos. O tempo do compasso pode ser calculado, de acordo com a equação abaixo:

$$t = \frac{240}{bpm}. \quad (1)$$

Onde o tempo é dado em segundos, e *bpm* será a variável andamento na programação Arduino. Assim o tempo na programação será multiplicado por mil, pois o Arduino trabalha com milisegundos. Em seguida é definido um conjunto de variáveis, uma para cada nota. No caso de Asa Branca serão utilizadas somente cinco notas. Dó<sub>2</sub>(c2), Ré<sub>2</sub>(d2), Mi<sub>2</sub>(e2), Fá<sub>2</sub>(f2) e Sol<sub>2</sub>(g2). Sendo seus valores atribuídos conforme a Tabela 1. Para os tempos estamos usando o compasso 4/4, ou seja, cada

<sup>4</sup> <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/toneMelody>

compasso apresenta 4 tempos. Nesta música temos somente: mínima (1 tempo), seminínimas (2 tempos), semibreve (4 tempos) e a pausa ou silêncio de semínima. Sendo a pausa atribuída ao zero. Finalmente, criamos duas variáveis inteiras. Na primeira estará armazenada a sequência de notas, e na segunda, a sequência de tempos de duração.

### Considerações finais

Apresentamos os alguns resultados obtidos com a programação de uma placa Arduino conectada a um relé para executar algumas músicas, cujos sinais sonoros foram transmitidos a um osciloscópio por meio de um microfone e analisados com o auxílio da transformada de Fourier. Na revisão da literatura que aqui compartilhamos, são indicadas possibilidades de utilização didática do trabalho desenvolvido até o presente, sobretudo no que se refere a uma abordagem interdisciplinar no ensino médio, envolvendo teoria musical, ondas e acústica.

Ao fazer um relé vibrar, fica claro que mesmo a nota captada por um microfone gere um sinal mais complexo e ruidoso a vibração harmônica produz um som com uma nota musical característica humanamente audível em um dispositivo que não foi preparado para isto. As músicas escritas foram executadas em laboratório e podem ser usadas em aulas de física para definir nota musical não a partir de um instrumento, mas a partir de um objeto que vibra em movimento harmônico. Há alguns exemplos na internet de reprodução de músicas no qual o leitor poderá visualizar e usar em sala de aula caso não esteja familiarizado com a montagem proposta. E com um certo conhecimento em música, física e Arduino é possível programar e reproduzir outras músicas.

Trazer esta construção para a sala de aula introduz a interdisciplinaridade entre física, música e robótica expondo os alunos a uma visão diferenciada da acústica e do entendimento de ondas sonoras. Estando a física, música e robótica presente em um experimento relativamente simples com uso de uma placa controladora de baixo custo. Esperamos que o leitor consiga programar outras músicas com o uso dessa proposta.

### Referências

- Abelson, H. et al. (1976) Logo Progress Report 1973-1975. Massachusetts: [s.n.]. Disponível em: <[https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/5787/AIM-356.pdf?sequence=2&origin=publication\\_detail](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/5787/AIM-356.pdf?sequence=2&origin=publication_detail)>.
- Alanazi, A. (2016) A critical review of constructivist theory and the emergence of constructionism. *American Research Journal of Humanities and Social Sciences*, v. 2, p. 1–8.
- Atilgan, D. S.; Gurma, U. (2020) Material Design in Music Education Using Arduino Platform. *Journal of Qualitative Research in Education*, v. 8, n. 4, p. 1377–1402.
- Benitti, F. B. V. (2012) Exploring the educational potential of robotics in schools: A *systematic review*. *Computers & Education*, v. 58, p. 978–988.
- Bisesi, E.; Michelini, M. Planning Curricular Proposals on Sound and Music with Prospective Secondary-School Teachers. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/0808.3695.pdf>>.
- Braga, N. C. (2012) Relés: Conceitos e Aplicações. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <[https://www.newtonbraga.com.br/arquivos/reles\\_previa.pdf](https://www.newtonbraga.com.br/arquivos/reles_previa.pdf)>.
- Caleon, I.; Ramanathan, (2008) S. From Music to Physics: The Undervalued Legacy of Pythagoras. *Science & Education*, v. 17, p. 449–456.

Cantareira, G. D. (2015) Visualização computacional de música com suporte à discriminação de elementos de teoria musical. 2015. 100 f. UNICAMP.

Cavalcante, J. C. L.; Bueno, F. R.; Amorim, R. G. G. (2012). Física e música: uma proposta interdisciplinar. *Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 5, n. 9, p. 101–111.

Cavalcante, M. A.; Tavoraro, C. R. C.; Molisani, E. (2011) Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503–9.

Coelho, A. L. M. B. (2016) Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória. 161 f. Universidade de Brasília. Disponível em:

<[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22208/1/2016\\_AndréLuísMirandadeBarcellosCoelho.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22208/1/2016_AndréLuísMirandadeBarcellosCoelho.pdf)>.

Coelho, S. M.; Machado, G. R. (2015). Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 1, p. 207–222.

Coutinho-Júnior, A. L. et al. (2021) O ensino de física integrado a plataforma Arduino, uma revisão. *Revista Educere Et Educare*, v. 16, n. 40, p. 175–197.

DANTAS, J. D.; CRUZ, S. S. Um olhar físico sobre a teoria musical. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 1, p. e20180099, 2019.

Eguchi, A. (2015) Educational Robotics to Promote 21st Century Skills and Technological Understanding among Underprivileged Undergraduate Students. 2015, Princeton: IEEE, 2015. p. 76–82.

Filippov, S. et al. (2017) Teaching Robotics in Secondary School. *IFAC-PapersOnLine*, v. 50, n. 1, p. 12155–12160. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317328124>>.

Goto, M. (2009). Física e música em consonância. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 2, p. 2307–8.

Hockstein, N. G. et al. (2007) A history of robots: from science fiction to surgical robotics. *J Robotic Surg*, v. 1, p. 113–118.

Hof, B. (2021) The turtle and the mouse: how constructivist learning theory shaped artificial intelligence and educational technology in the 1960s. *History of Education*, v. 50, n. 1, p. 93–111.

Ivey, E. S.; Josephs, J. J. (1972) “Musical Sound”—A Course for Nonscience Majors. *The Physics Teacher*, v. 10, p. 140–143.

Jackson, M. W. (2006) Physics and music in nineteenth-century Prussia: Wilhelm Eduard Weber and precision measurement. *Interdisciplinary Science Reviews*, v. 31, n. 4, p. 307–322.

Kapur, A. (2005) A History of Robotic Musical Instruments. 2005, Barcelona: Michigan Publishing. p. 8. Disponível em:

<<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.380.908&rep=rep1&type=pdf>>.

Kubilinskiene, S. et al. (2017) Applying Robotics in School Education: a Systematic Review. *Baltic J. Modern Computing*, v. 5, n. 1, p. 50–69.

- Lago, B. L. (2015) A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, p. 1504–9.
- Linder, C. J. (1992) Understanding sound: so what is the problem? *Physics Education*, v. 27, p. 258–264.
- López-Belmonte, J. et al. (2021) Robotics in Education: A Scientific Mapping of the Literature in Web of Science. *Electronics*, v. 10, n. 291, p. 1–18.
- Luciano, A. P. G. et al. (2019) The educational robotics and Arduino platform: constructionist learning strategies to the teaching of physics. *Journal of Physics: Conf. Series*, v. 1286, p. 012044.
- Luna, A.; Chong, M. (2020) A PBL approach for teaching Electronics Fundamentals by Developing Robotics Projects. 2020, Porto: IEEE. p. 1–7. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9163791>>.
- McDonald, P. F. (1972) Acoustics for Music Majors—A Laboratory Course. *American Journal of Physics*, v. 40, p. 562–564.
- Miller, D. P.; Nourbakhsh, I. (2016) Robotics for education. In: SICILIANO, B.; KHATIB, O. (Org.). *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer-Verlag. p. 2115–2134.
- Moreira, M. M. P. C. et al. (2018) Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 721–745.
- Moreira, M. M. P. C. et al. (2019) O ensino de acústica no ensino médio da rede pública por meio de instrumentos musicais de baixo custo. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 2, p. 199–216.
- Moura, D. A.; Bernardes-Neto, P. (2021) O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, p. 12-15.
- Nascimento, S. A. et al. (2015) Espectro sonoro da flauta transversal. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 2305–5.
- Papert, S. (1971) A computer laboratory for elementary schools. Massachusetts: [s.n.]. Disponível em: <[https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/5834/AIM-246.pdf?sequence=2&origin=publication\\_detail](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/5834/AIM-246.pdf?sequence=2&origin=publication_detail)>.
- Papert, S. (1986) *Constructionism: A new opportunity for elementary science education*. Massachusetts: [s.n.]. Disponível em: <<http://dailypapert.com/wp-content/uploads/2021/02/Constructionism-NSF-Proposal.pdf>>.
- Papert, S. (1980) *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Nova Iorque: Basic Books.
- Papert, S. (1972) Teaching Children Thinking. *Innovations in Education & Training International*, v. 9, n. 5, p. 245–255.
- Parker, B. R. (2009) *Good vibrations: the physics of music*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Pizetta, D. D. et al. (2017) Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, p. e3301-13.

- Ramsey, G. P. (2015) Teaching Physics with Music. *The Physics Teacher*, v. 53, p. 415–418.
- Resnick, M. Xylophones, hamsters, and fireworks: the role of diversity in constructionist activities. In: I, H.;
- Papert, S. (Org.). (1991) Constructionism. Norwood: Ablex Publishing Corporation. p. 1–10. Disponível em: <<https://web.media.mit.edu/~mres/papers/Xylo/XH.html>>.
- Resnick, M.; Ocko, S. (1990) LEGO/Logo: Learning Through and About Design. Massachusetts: [s.n.]. Disponível em: <[https://scholar.google.com.br/scholar?lr=&q=LEGO/Logo:+Learning+Through+and+About+Design&hl=pt-BR&as\\_sdt=0,5](https://scholar.google.com.br/scholar?lr=&q=LEGO/Logo:+Learning+Through+and+About+Design&hl=pt-BR&as_sdt=0,5)>.
- Rocha-Junior, R. (2009) A. A imagem ambígua da música em Homero e Hesíodo. *Revista Archai*, v. 3, p. 127–136.
- Rossing, T. D. (1971) Physics for Musicians. *American Journal of Physics*, v. 39, p. 1480–1482.
- Rusk, N. et al. (2008) New Pathways into Robotics: Strategies for Broadening Participation. *J Sci Educ Technol* (2008) 17:59–69, v. 17, n. 59–69.
- Santos, E. M.; Molina, C.; Tufaile, A. P. B. (2013) Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 2507–7.
- Schina, D.; Esteve-Gonzalez, V.; Usart, M. (2020) An overview of teacher training programs in educational robotics: characteristics, best practices and recommendations. *Education and Information Technologies*, v. 26, n. 3, p. 2831–2852.
- Schivani, M.; Brockington, G.; Pietrocola, (2013) M. Aplicações da robótica no ensino de física: análise de atividades numa perspectiva praxeológica. *Revista de Educación en Ciencias*, v. 14, p. 32–36.
- Shonle, J. I. (1976) Implementing a course on the physics of music. *American Journal of Physics*, v. 44, n. 3, p. 240–243.
- Solomon, C., et al. (2020) History of Logo. New York: Association for Computing Machinery. p. 66. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3386329>>.
- Souza, A. R. DE, et al. (2011) A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 1702–5.
- Souza, M. A. M.; Duarte, J. R. R. (2015) Low-cost educational robotics applied to physics teaching in Brazil. *Physics Education*, v. 50, n. 4, p. 482–488.
- Staub, J. (2021) Logo Environments in the Focus of Time. *The Bulletin of the EATCS*, v. 133, p. 1–17.
- Stone, W. L. (2005) The History of Robotics. In: KURFESS, T. R. (Org.). *Robotic and Automation Handbook*. Boca Raton: CRC Press, p. 1.1-1.12.
- Varieschi, G. U.; Gower, C. M. (2010) Intonation and compensation of fretted string instruments. *American Journal of Physics*, v. 78, n. 1, p. 47–55.
- Zanetic, (2006) J. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, v. 17, n. 1 (49), v. 17, n. 1, p. 36–57.