

**ARTHUR MESTRE SILVINO
MICHAEL DOUGLAS ALVES SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA ATIVAR UM
PADRÃO DE ACIONAMENTO DE UMA FITA DE LED'S EM RESPOSTA AO SOM
CAPTADO A PARTIR DAS BATIDAS DE UM SURDO DE PERCUSSÃO.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia pela Universidade Federal de
Alfenas. Área de concentração:
Instrumentação

Orientador: Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano.

Poços de Caldas/MG

Julho/2018

**ARTHUR MESTRE SILVINO
MICHAEL DOUGLAS ALVES SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA ATIVAR UM
PADRÃO DE ACIONAMENTO DE UMA FITA DE LED'S EM RESPOSTA AO SOM
CAPTADO A PARTIR DAS BATIDAS DE UM SURDO DE PERCUSSÃO.**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Monografia apresentada como parte dos requisitos para a conclusão do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em:

Prof^a Dr. Laos Alexandre Hirano

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Prof^a Dr. Gunther Brucha

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Prof^a Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Prof. Dr. Paulo Henrique Bretanha

Junker Menezes

Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Poços de Caldas/MG

Julho/2018

RESUMO

Ambientes multimídias à base de componentes eletrônicos estão cada vez mais presentes nas diversas atividades diárias. As alegorias de iluminação a base da tecnologia LED vem se mostrando uma proposta moderna e de baixo consumo de energia. Este trabalho aborda o desenvolvimento de um dispositivo de acionamento inteligente, capaz de equipar instrumentos musicais de percussão com fitas de LED's, dando um aspecto visual ao espetáculo.

Palavras Chave: Piezo elétrico, Arduino, Tensão, LED

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL.....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1	LED.....	10
3.2	ARDUINO®.....	12
3.2.1	ENTRADAS DE SINAIS.....	13
3.2.2	PULSE WIDTH MODULATION.....	13
3.3	AMPLIFICADORES TRANSISTORIZADOS	15
3.4	PIEZOELETRICIDADE	15
3.5	ONDAS SONORAS	16
4	METODOLOGIA.....	18
4.1	ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O SINAL ELÉTRICO GERADO PELA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO ESTÍMULO MECÂNICO.....	18
4.2	EFEITO LOCAL DE INSTALAÇÃO SOBRE A RESPOSTA ELETROMECAÂNICA DA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA	21
4.3	DIMENSIONAMENTO DE UM AMPLIFICADOR DE CORRENTE PARA O ACIONAMENTO DA FITA LED	24
4.4	DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO PARA ACIONAMENTO INTELIGENTE DA FITA DE LED UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO®.....	25
4.5	ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE ACIONAMENTOS DAS FITAS LED	27
4.6	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO DISPOSITIVO	28
5	RESULTADOS	29
5.1	ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O SINAL ELÉTRICO GERADO PELA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO ESTÍMULO MECÂNICO.....	29
5.2	EFEITO LOCAL DE INSTALAÇÃO SOBRE A RESPOSTA ELETROMECAÂNICA DA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA	30
5.3	DIMENSIONAMENTO DE UM AMPLIFICADOR DE CORRENTE PARA O ACIONAMENTO DA FITA LED	33

5.4	DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO PARA ACIONAMENTO INTELIGENTE DA FITA DE LED UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO®.....	34
5.5	ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE ACIONAMENTOS DAS FITAS LED	35
5.6	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO DISPOSITIVO	36
6	CONCLUSÃO	37
7	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	39

1 INTRODUÇÃO

Os conjuntos musicais compostos por percussões, ou também conhecidos como baterias universitárias vêm em grande evolução técnica e têm ganhado destaque. As baterias realizam diversas atividades, entre as quais se destacam os ensaios, apresentações, festas, competições e eventos [1]. A Vulcana é um grande exemplo deste movimento que ocorre dentro da UNIFAL - Campus Poços de Caldas, e vem recebendo destaque por grandes apresentações em diversos locais na cidade e região.

A bateria Vulcana é formada por professores e alunos da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), campus de Poços de Caldas. Fundada em março 2016, atualmente o grupo conta com 35 ritmistas, comandados por três mestres de bateria [2].

Uma bateria é composta por diversos instrumentos, e todos estes são de extrema importância, cada um com sua peculiaridade e papel na composição da percussão musical. Estes instrumentos podem ser classificados em cinco grandes grupos, como representados na Figura 1.

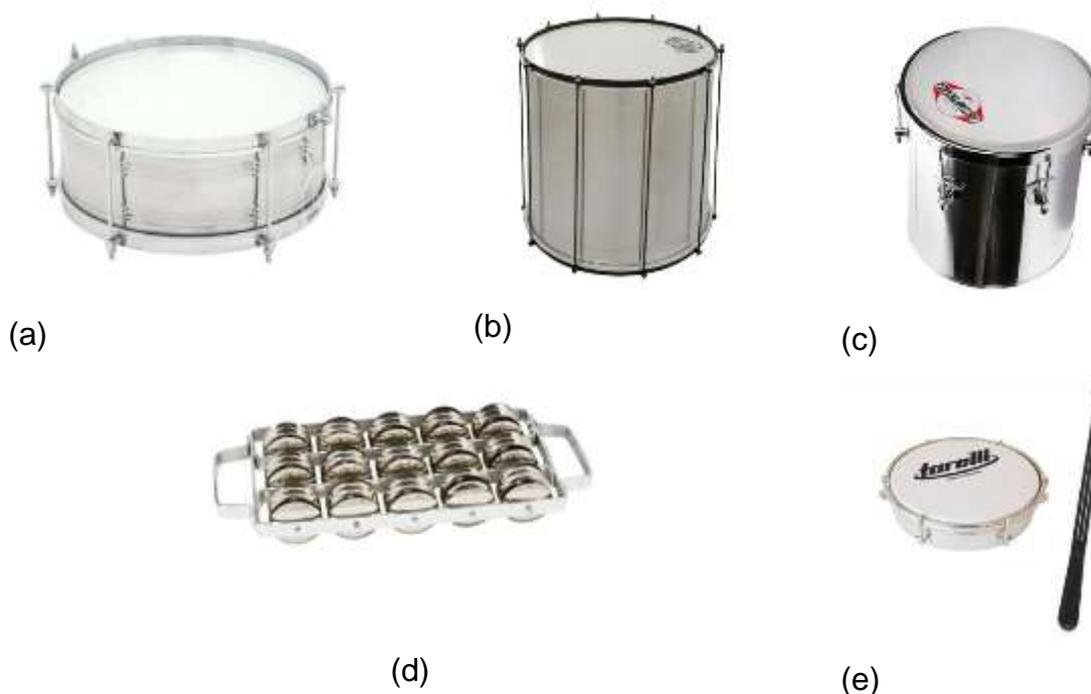


Figura 1 – Cinco grandes grupos de instrumentos que compõe uma bateria: (a) Surdos, (b) Caixas, (c) Repiques, (d) Tamborins, (e) Chocalhos.

Estes instrumentos, entre outros, se destacam pelo seu aspecto sonoro marcante, que geralmente causa impacto direto ao espectador quando devidamente sincronizados a um ritmo musical. Entretanto, especialmente ao caso da Vulcana, em apresentações noturnas ou em ambientes carentes de iluminação, embora seja possível ouvir a batida dos instrumentos de percussão, dificilmente o espectador consegue apreciar o desempenho artístico do percussionista.

Estratégias como canhões de luz ou a instalação prévia de luzes no local da apresentação são algumas das possíveis soluções a serem adotadas. Porém, tais alternativas demandam o transporte de uma aparelhagem delicada (além dos próprios instrumentos) e pouco versátil, correndo inclusive o risco de serem inviáveis conforme o local da apresentação tanto pelo espaço que podem ocupar quanto pela alimentação elétrica exigida para o seu ideal funcionamento.

Palcos móveis, como os que são montados sobre um caminhão personalizado também podem contornar este tipo de problema. Mas também se torna inviável se for considerado o elevado custo para adquirir um automóvel dedicado aos shows. Além do alto custo com o veículo e as instalações, as apresentações em locais cobertos e fechados, tais como salões de festa, assim como locais de espaço reduzido podem ser inviáveis.

A solução proposta por esse trabalho consiste em equipar alguns instrumentos de percussão com fitas de LED's. Além de minimizar o problema de localização dos percussionistas em locais com pouca iluminação, estas fitas de LED podem ser acionadas por dispositivos inteligentes. Tais dispositivos podem proporcionar padrões de iluminação, complementando a animação das apresentações. Essa estratégia além de ser versátil, diferentemente das duas primeiras soluções, também reduz o impacto financeiro, dado que as lâmpadas de LED têm ganhado grande espaço no mercado, caracterizando-se pela alta eficiência luminosa e pelo baixo custo.

A aplicação de fitas de LED's para apresentações e desfiles noturnos tem sido bastante utilizada. É possível observar nas festas de Carnaval, que algumas escolas de samba dos grandes centros (Rio de Janeiro e São Paulo) já se utilizam da tecnologia LED [1]. Desde fantasias compostas de LED's até telões durante os desfiles, são estratégias para impactar o público. A Figura 2 ilustra essa estratégia aplicada nos desfiles de escolas de samba.



Figura 2- Com fantasias iluminadas, integrantes desfilam pela Unidos da Tijuca (Foto: Alexandre Durão/G1)

O uso destas alegorias é comum, inclusive em Poços de Caldas assim como na região do sul de Minas Gerais. A título de exemplo, durante as datas festivas, tais como Natal, e até mesmo nos finais de semana, quando o fluxo de turistas no município é grande, utiliza-se a circulação de trenzinhos iluminados por fitas de LED's. Estes veículos ganham destaque entre outros veículos de forma a chamar a atenção das pessoas que por perto circulam, em especial, as crianças, como demonstrado na Figura 3:



Figura 3- Exemplo de aplicação de fitas LED no ramo turístico. Fonte: Do autor.

Geralmente, estas fitas de LED's são acionadas de maneira a criar padrões animados aumentando o brilho do sistema equipado. A título de exemplo, as luzes de Natal, usualmente, vêm equipadas com temporizadores para criar o efeito de pisca-pisca, e/ou *dimmers* para criar o efeito de esmaecimento. Em sistemas mais sofisticados, observa-se o uso de micro controlador para o acionamento inteligente destas fitas. O uso de micro controlador permite criar diferentes padrões de acionamento dos LED's, acionar individualmente cada LED ou segmentos de LED, acionar o LED em resposta a outros estímulos externos captados através de sensores específicos, a comunicação e sincronização entre outros dispositivos semelhantes, entre outras funções.

Este projeto visou equipar um surdo de bateria com uma fita de LED's acionada com um micro controlador Arduino®. A escolha pelo surdo se justifica levando em conta que o surdo é um instrumento de grande porte, o que aumenta a área de iluminação a ser explorada. Além disso, o surdo destaca-se também por ser o instrumento responsável pela marcação do ritmo da bateria. Tanto os aspectos visuais quanto sonoro fazem do surdo então uma boa escolha para a aplicação das fitas de LED's.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de um dispositivo portátil para ativar um padrão de acionamento de uma fita de LED em resposta do som captado a partir das batidas de um surdo de percussão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudo da relação entre o sinal elétrico gerado pela pastilha piezo elétrica em função do estímulo mecânico;
- Efeito local de instalação sobre a resposta eletromecânica da pastilha piezo elétrica;
- Dimensionamento de um amplificador de corrente para o acionamento da fita de LED;
- Desenvolvimento de uma instrumentação para acionamento inteligente da fita de LED utilizando a plataforma Arduino®;
- Estudo e desenvolvimento de padrões de acionamento das fitas LED
- Avaliação de desempenho do dispositivo;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LED

Os sistemas de iluminação vêm passando nas últimas duas décadas por profundos avanços, em especial aqueles relacionados ao emprego da eletrônica nos processos de ignição, acionamento e promoção da eficiência energética [3]. Nos últimos dez anos, um novo conceito em iluminação tem se estabelecido de forma progressivamente inequívoca. Trata-se do emprego dos diodos emissores de luz, ou LED's (*light emitting diodes*), para constituir sistemas de iluminação destinados ao ambiente doméstico, comercial, industrial ou externo (público) [3].

Segundo SCOPACASA, o LED é um componente eletrônico classificado como semicondutor, capaz de transformar energia elétrica em luz. Em lâmpadas convencionais, utilizam-se desde filamentos metálicos, radiação ultravioleta e até mesmo descarga de gases. Já nos LED's essa conversão é feita na própria matéria.

Os materiais empregados na construção de um LED determinam a coloração da luz a ser emitida pelo componente. Em função do material semicondutor utilizado, o LED apresenta uma ou outra cor [4], como demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Cores emitidas em um LED em função do semicondutor empregado. Fonte: <https://www.electronica-pt.com/led%20>

Semicondutor	Cor da Luz	Comprimento de Onda	Tensão característica
Arseneto de Gálio e Alumínio	Infravermelha	880 nm	1,5 V
Fosforeto de Gálio e Arsênico	Vermelha	645 nm	2,2 V
Fosforeto de Gálio	Amarela	595 nm	2,1 V
Fosforeto de Gálio	Verde	565 nm	2,1 V
Nitreto de Gálio	Azul	430 nm	3,6 V

As cores apresentadas por um LED, tal como os materiais empregados, determinam as características referentes à alimentação desse componente. Conforme os fabricantes Lumex e Electrical Engineering, os valores de tensão elétrica e corrente elétrica necessárias para o ideal funcionamento, encontram-se entre as faixas 1,5 a 3,8 volts para a tensão e 10 a 20 mA (miliampere) para a corrente [3]. Uma estratégia simples e de fácil manutenção é o uso de amplificadores com transistores.

3.2 ARDUINO®

Uma forma para acionar estas fitas LED com diferentes padrões automatizados é com a utilização de plataformas micro controladoras como a do Arduino®.

O Arduino® é uma plataforma física de prototipagem rápida de código aberta e de baixo custo. Entre os diferentes modelos, o que vem apresentando melhor relação custo benefício é o Arduino® Uno. Esta plataforma possui um regulador de tensão, um pino *RESET* de micro controlador, pinos terra GND e etc [6]... Conforme apresentado na Figura 4.

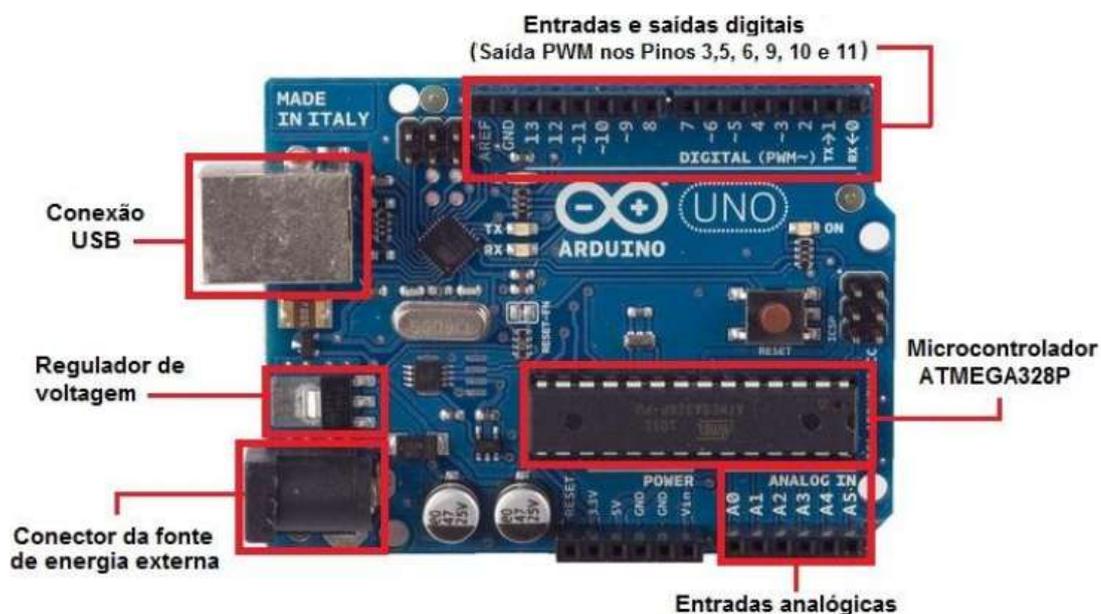


Figura 4 - Representação de uma placa Arduino® (modelo UNO) e seus componentes.

A tabela 2 apresenta de forma resumida as principais características desta plataforma.

Tabela 2 - Sumário de instruções do Arduino Uno

Voltagem de operação: 5 V;	Memória Flash: 32 kB;
Voltagem de alimentação: 7-12 V;	Velocidade de clock: 16 MHz;
Voltagem de alimentação limite: 6-20 V;	Corrente DC por pino de 3,3 V: 50mA;
Pinos de entrada e saídas digitais: 14;	Corrente DC por pino de entrada e saída: 40mA;
Pinos de entradas analógicos: 6;	

3.2.1 ENTRADAS DE SINAIS

Cada um dos 14 pinos digitais do Arduino® pode ser utilizados como pinos de entrada de dados, que operam a uma tensão de 5 V no qual podem fornecer ou receber uma corrente máxima de 40mA [7]. As entradas digitais só podem assumir dois estados, High, e Low, ou seja, 0 e 5V. Desta forma, estas portas são adequadas para receber sinais provindos de botões ou chaves de estado, tais como chave de nível, sensores de presença e etc. Além disso, estas portas podem ser configuradas para operarem como saídas digitais, ou seja, gerar uma sinal High ou Low (0 ou 5V) [8]. Usualmente, estas saídas são utilizadas para o acionamento de LED's de alerta, alarmes e chaves eletrônicas como relés e chaves transistorizadas.

Além dos pinos digitais, o modelo uno possui 6 pinos de entradas analógicas, apresentado pelas portas A0 a A5, equipadas com um conversor A/D de 10 bits sobre um referência de 5V. Em termos práticos, estas portas configuram um voltímetro que medem tensões entre 0 e 5V em 1024 (10 bits) subintervalos [9]. Usualmente, sensores analógicos associados a divisores de tensão são instalados nestas portas configurando uma interface adequada para quantificar o sinal gerado por estes dispositivos.

3.2.2 PULSE WIDTH MODULATION

As portas digitais 3, 5, 6, 9,10 e 11 são equipadas com uma interface do tipo PWM. *Pulse Width Modulation* ou PWM é uma técnica utilizada por sistemas digitais para variação do valor médio de uma forma de onda periódica, é uma maneira de

fornecer um sinal variável através de um determinado sinal definido [10]. O PWM consiste em alterar a largura do pulso, mantendo a frequência de uma onda quadrada fixa, e variar o tempo que um sinal fica em nível lógico alto.

A técnica faz uso de um controle digital, o qual produz um sinal que oscila entre dois níveis de tensão 0 e 5 V. A fração de tempo em que o sinal passa no nível de 5 V é chamada de largura de pulso (*duty cycle*), sua modulação permite o ajuste do nível de tensão/corrente aplicada ao dispositivo [10], resultado da média temporal do sinal digital, na figura 6 são exibidas algumas modulações de PWM:

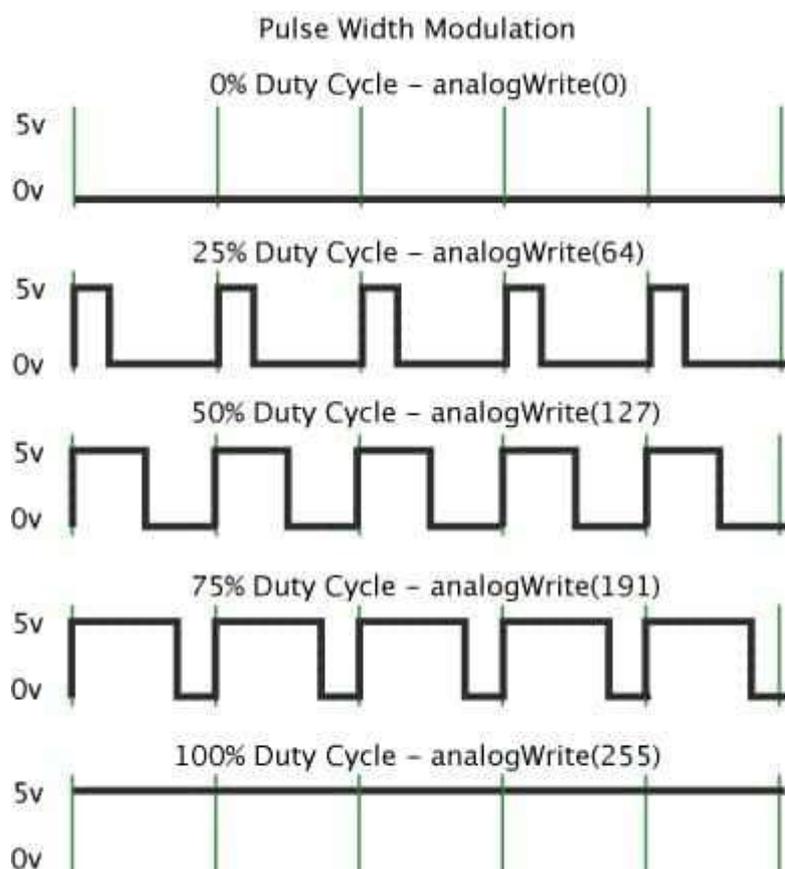


Figura 5 - Pulsos de diferentes modulações de PWM.

Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>

Por meio da visualização das formas de ondas no gráfico, nota-se que a frequência da forma de onda tem o mesmo valor enquanto o *duty cycle* varia. Quando o *duty cycle* está em 0% o valor médio da saída encontra-se em 0 V, e

conseqüentemente, para um *duty cycle* de 100% a saída assume o seu valor máximo, ou 5 V. Analogamente, para um *duty cycle* de 50% a saída assumirá metade do valor de tensão, 2.5 V, e assim sucessivamente para cada variação do *duty cycle* [10].

Em termos práticos, estas portas são utilizadas para acionar dispositivo cuja resposta depende diretamente da tensão aplicada sobre estes. A título de exemplo, estas portas podem ser utilizadas para o acionamento e controle de velocidade de um, motor de corrente contínua, ou intensidade de brilho de um LED.

3.3 AMPLIFICADORES TRANSISTORIZADOS

Na amplificação do sinal proveniente das portas PWM do Arduino®, foram aplicados os amplificadores transistorizados. Esses, por sua vez, caracterizam-se por utilizar-se de transistores (entre outros dispositivos), para obter em sua saída um sinal similar, porém com uma determinada amplificação do sinal de entrada. Tais dispositivos são bastante utilizados em sistemas de áudio frequência, mp3, receptores de rádio e sistemas de comunicação [5].

Os micro controladores, usualmente, não são equipados com portas de saída com correntes superiores a 10 mA. No entanto, a caráter de exemplo, uma fita contendo 10 LED's pode solicitar até 200 mA, visto que cada LED opera com 20 mA.

3.4 PIEZOELETRICIDADE

Diversos materiais, tais como cristais de quartzo naturais, apresentam o efeito conhecido como piezoelectricidade. Tais materiais são capazes de produzir uma tensão elétrica em resposta a esforços mecânicos.

Esta classe de material vem sido utilizada para medições de pequenos deslocamentos. A título de exemplo, este tipo de dispositivo pode ser encontrado em balanças analíticas e microfones os quais envolvem necessariamente pequenos deslocamentos.

Segundo Forward (1980), cerâmicas piezo elétricas demonstram sensibilidade para deformações inferiores a 10 *picostrain* (10-11m/m).

O fenômeno da piezoelectricidade acontece devido à desagregação espontânea de carga no interior de algumas estruturas cristalinas, quando expostas a determinadas condições. Essa polarização espontânea ocorre devido ao movimento da nuvem eletrônica em relação ao núcleo atômico acarretando na produção de um dipolo elétrico [11].

Na figura 6, podem-se identificar as principais direções utilizadas na orientação do material piezo elétrico. O eixo representado pela letra Z é denominado eixo de polarização por ser paralelo à direção de polarização do material [12].

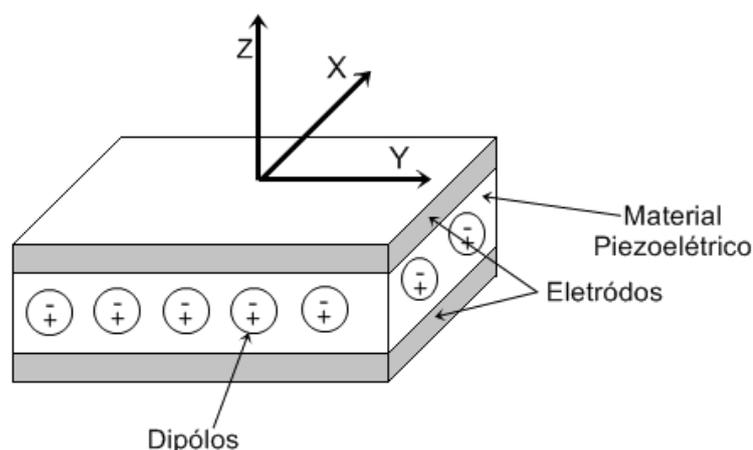


Figura 6- Orientação de um material piezo elétrico Fonte: Do Autor.

3.5 ONDAS SONORAS

Definem-se ondas sonoras as vibrações longitudinais existentes no meio material, seja ele sólido, líquido ou gasoso, e que são propagadas através dele com velocidade aferida através das propriedades mecânicas do próprio meio. Normalmente, a origem das ondas sonoras se dá a alguma espécie de vibração mecânica ocasionada por batidas, atrito ou qualquer outro tipo de agitação ou outras formas de dissipação de energia. As frentes de onda de uma onda sonora são superfícies esféricas e estão sujeitas a toda e qualquer dificuldade como qualquer outro tipo de onda [13].

Os exemplos mais importantes que temos de ondas longitudinais são as ondas sonoras no ar [13]. Entretanto, as ondas sonoras podem se propagar através de qualquer meio material. Na tabela 5 é apresentado diferentes meios materiais, e a velocidade com que as ondas sonoras se propagam em tal meio.

Tabela 3 - Velocidade de propagação de ondas sonoras em diferentes meios. Adaptado de: Serway p.458

Meio gasoso	V (m/s)	Meio líquido	V (m/s)	Meio sólido	V (m/s)
Ar (0°C)	331	Querosene	1324	Chumbo	1322
Ar (20°C)	343	Mercúrio	1450	Ouro	3240
Hélio	972	Água	1393	Ferro	5130
Hidrogênio	1286	Glicerol	1904	Diamante	12000

O som ao se propagar ao ar livre (ondas esféricas) tem a sua área de propagação aumentada, em função do aumento da área da esfera. Como a energia sonora (energia de vibração das moléculas de ar) é a mesma, ocorre uma difusão desta energia, causando uma atenuação da intensidade. A cada vez que se dobra a distância entre a fonte e meio interceptor, a área da esfera aumenta em 4 vezes, diminuindo respectivamente a intensidade na mesma proporção [13].

Quando é interposta uma superfície como obstáculo no avanço de uma onda sonora, esta se divide em várias outras partes: uma quantidade é refletida, a outra é absorvida e a outra atravessa a superfície [13]. A figura 7 dá exemplos destas quantidades:

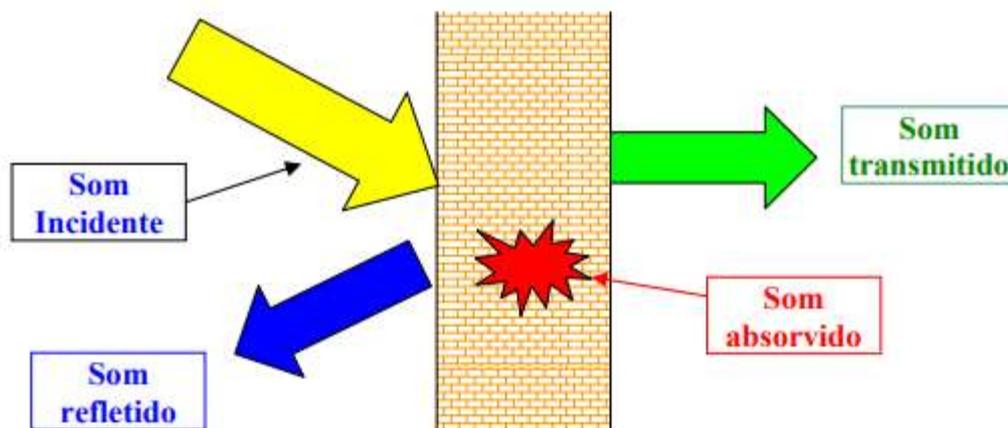


Figura 7 – Esquema de divisão do som ao encontrar um obstáculo

4 METODOLOGIA

Neste capítulo, estão abordados todos os instrumentos e métodos utilizados para a obtenção dos resultados esperados. O texto está dividido em subcapítulos para detalhar os diferentes experimentos realizados.

4.1 ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O SINAL ELÉTRICO GERADO PELA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO ESTÍMULO MECÂNICO

Este experimento utilizou os materiais apresentados na tabela 4:

Tabela 4 - Materiais e instrumentos utilizados experimentalmente

- Esfera maciça de 8,28 gramas;	- Trena métrica;
Garra de lançamento;	- Suporte Universal;
- Pastilha piezo elétrica;	- Cano PVC;
- Osciloscópio DSO1000B(V) SERIES;	

Neste experimento, o estímulo mecânico foi gerado através do impacto causado pela esfera maciça em queda livre a partir de alturas conhecidas. A estratégia foi medir a tensão produzida nas pastilhas piezo elétricas em função da

energia mecânica, neste caso em particular, a energia potencial gravitacional da esfera.

Assumindo que o arrasto da esfera com o ar seja desprezível, é possível determinar a energia potencial desta esfera a partir da equação 1:

$$E_{potencial} = mgh \quad (1)$$

Onde, m é a massa da esfera lançada, g a aceleração gravitacional e h a altura da qual a esfera foi lançada.

Um aparato capaz de medir a tensão gerada pela pastilha piezo elétrica, dada uma energia potencial foi montado conforme apresentado esquematicamente na figura 8. A massa da esfera foi medida em uma balança semi analítica. A altura de lançamento da esfera foi medida com uma trena. Um cano de PVC foi utilizado como guia para conduzir a esfera de tal forma a atingir sempre a mesma posição na pastilha piezo elétrica. A pastilha foi fixada a esta montagem com o auxílio de uma fita adesiva. Os valores de tensão produzidos pela pastilha foram coletados com o auxílio do osciloscópio.

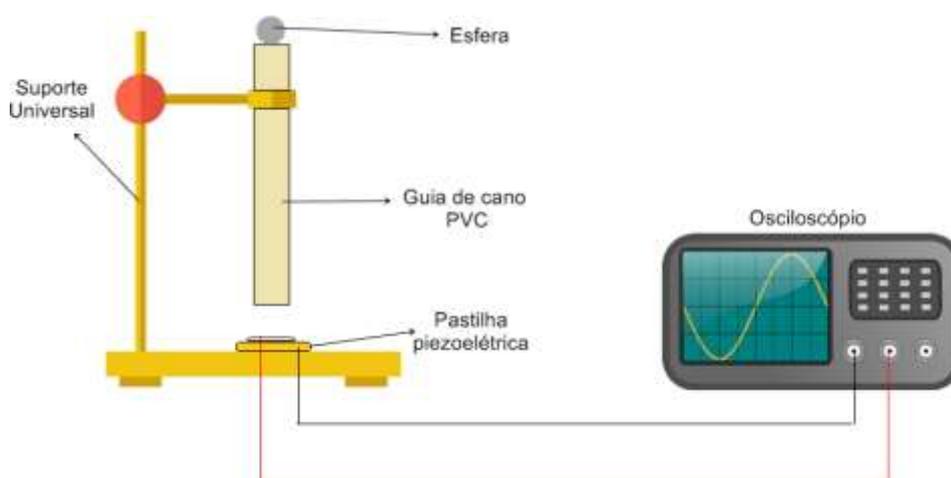


Figura 8 - Aparato utilizado no estudo da relação entre o sinal elétrico gerado pela pastilha piezo elétrica em função do estímulo mecânico. Fonte: Do Autor

As medidas realizadas com o osciloscópio tiveram suas incertezas estimadas seguindo as normas do manual do aparelho para diferentes faixas de tensão, como consta na figura 9:

Range		Accuracy	Resolution
DC Voltage	60.00mV(manual)	$\pm 1\% \pm 1 \text{ digit}$	10uV
	600.0mV		100uV
	6.000V		1mV
	60.00V		10mV
	600.0V		100mV
	800V		1V
AC Voltage	60.00mV(manual)	$\pm 1\% \pm 3 \text{ digit}$	10uV
	600.0mV(manual)		100uV
	6.000V		1mV
	60.00V		10mV
	600.0V		100mV

Figura 9 - Incertezas do osciloscópio para diferentes faixas de tensão. Fonte: Manual do equipamento

As incertezas estatísticas e instrumentais foram consideradas neste experimento. As incertezas estatísticas foram obtidas através de uma tomada de dados para $N=10$ para cada ponto experimental através das equações (2) e (3).

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

Em relação às incertezas instrumentais foram consideradas as incertezas envolvendo a escala da trena (menor divisão dividido por 2), da balança analítica, e as incertezas do osciloscópio apresentadas no manual (figura 9).

A incerteza total de cada ponto foi calculada através da equação 4, da qual trata da soma de incertezas descritas na referência [15].

$$\sigma_{Total} = \sqrt{(\sigma_{Estatistico})^2 + (\sigma_{Instrumental})^2} \quad (4)$$

4.2 EFEITO LOCAL DE INSTALAÇÃO SOBRE A RESPOSTA ELETROMECCÂNICA DA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA

Este experimento utilizou os materiais descritos na tabela 4:

Tabela 4: Materiais utilizados na segunda tomada de dados

- Pastilha piezo elétrica;	- Garra de lançamento;
- Osciloscópio DSO1000B(V) SERIES;	- Esfera maciça;
- Suporte Universal;	- Surdo;
-Arduino®;	

O surdo foi fixado em uma bancada, ajustou-se a altura de lançamento da esfera maciça que deveria então acertar a região central da pele do surdo conforme apresentado esquematicamente na figura 10. Na figura 10 está representado o aparato utilizado para a obtenção dos dados. Neste experimento, a altura de lançamento da esfera maciça, assim como a sua massa foram mantidas constantes e foram medidas no início do experimento, entretanto foram adotadas diversas distâncias entre a pele do surdo e a pastilha piezo elétrica, contida no interior do instrumento. A conexão entre a pastilha e o osciloscópio foi realizada por meio de um orifício presente na parede do instrumento, sendo a altura de lançamento medida com o auxílio de uma trena.

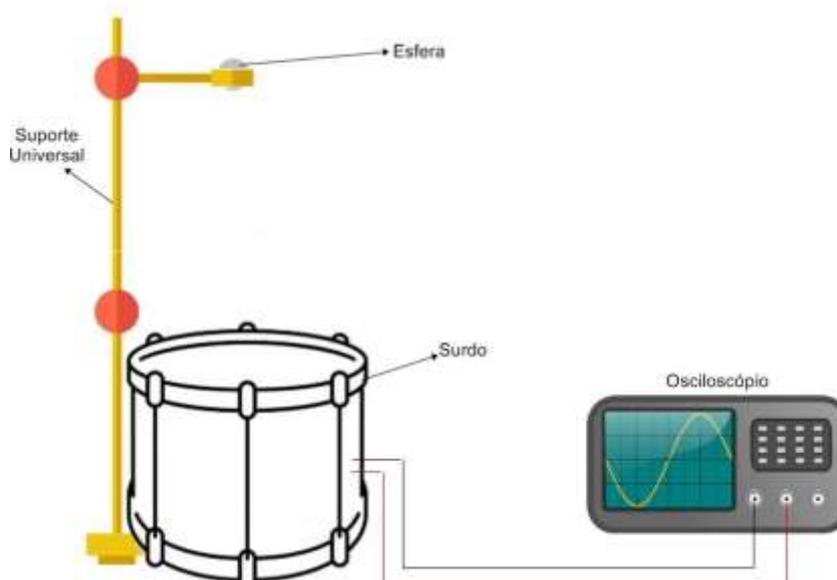


Figura 10 - Aparato utilizado na análise do estímulo mecânico gerado pelas batidas sobre o instrumento musical; Fonte: Do Autor.

Assim como na seção anterior, soldou-se em cada um dos polos um fio condutor para conectá-los a ponta de medição do osciloscópio DSO1000B(V) SERIES. Dessa vez, entretanto, a pastilha foi colocada no interior do surdo, ajustada a uma determinada distância da pele do surdo, para que então pudesse ser estimulada pela onda sonora causada pelo choque entre a pele do instrumento e a esfera. Para o ajuste de tal distância, foram utilizados diversos objetos de alturas variadas, para que pudessem simular o suporte no qual a pastilha seria realocada em uma situação real.

Com o aparato montado e o instrumento devidamente fechado (mantendo a pele esticada), foram realizados os lançamentos da esfera maciça, e com o monitoramento proporcionado pelo osciloscópio DSO1000B(V) SERIES realizou-se as medidas de tensão fornecidas pelo elemento sensor.

Realizados 10 lançamentos para cada distância do sensor para a pele, anotaram-se as tensões de pico-a-pico e de pico proporcionadas pelo sensor. Onde foram feitas as médias para cada tomada de medida e analisou-se então o comportamento das tensões geradas pela pastilha em função da distância entre o sensor e a pele do surdo.

Posteriormente, avaliou-se a melhor região no surdo a instalar a pastilha piezo elétrica. A pastilha foi instalada em diferentes posições e o sinal elétrico lido pela porta analógica do Arduino®, assim como a intensidade de brilho nas fitas de

LED foram avaliadas. Essa resposta está diretamente relacionada com a forma em que o som se propaga no meio, conforme detalhado no capítulo 3.5.

A figura 11 apresenta as diferentes posições em que a pastilha piezo elétrica foi instalada em relação ao surdo. Nas figuras 11a e 11b, a cor verde indica a região na qual a pastilha foi instalada, e na figura 11c, a linha verde, representa o eixo no qual a pastilha foi instalada no interior do instrumento, em diversas alturas.

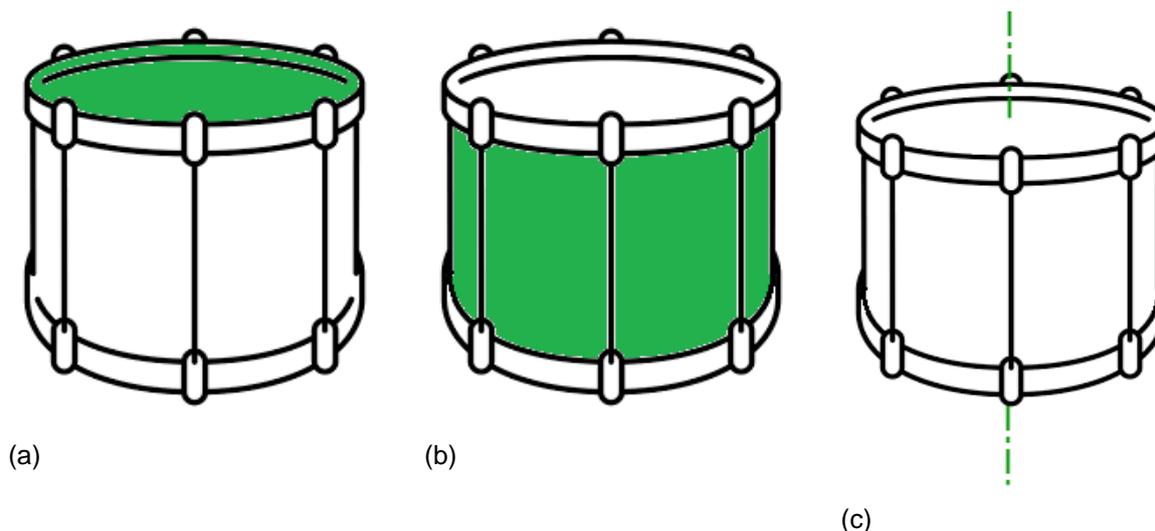


Figura 11 – Regiões de aplicação da pastilha piezo elétrica. (a) Pele no interior do surdo, (b) Lateral interna do surdo, (c) Eixo central no interior do surdo. Fonte: Do Autor

O sinal elétrico produzido na pastilha e lida pelo Arduino® foi monitorado através do Monitor Serial, uma ferramenta disponível na interface de programação da plataforma. Esta apresenta um valor compreendido entre 0 e 1023 e é proporcional à tensão elétrica, entre 0 e 5V, que estimula a porta de entrada analógica da placa. Todos os ensaios foram realizados com a pastilha localizada no local especificado, e o estímulo mecânico foi proporcionado pela onda sonora decorrente do choque da baqueta na pele do instrumento.

4.3 DIMENSIONAMENTO DE UM AMPLIFICADOR DE CORRENTE PARA O ACIONAMENTO DA FITA LED

Um amplificador de corrente capaz de amplificar o sinal de saída do Arduino® para o acionamento satisfatório da fita de LED's foi desenvolvido utilizando os materiais listados na tabela 5:

Tabela 5 - Materiais utilizados no desenvolvimento de um amplificador de corrente

- Amplificador TIP120	- Fios condutores;
- Resistor de 1K ohms	- Placa Arduino® UNO;
- Fonte de tensão (12 volts /1 ampere)	- <i>Protoboard</i> ;
- Fita LED	

A porta PWM (porta 11) foi conectada a um resistor de 1k e, na sequência, conectada à base (terminal à esquerda) do transistor TIP120. Ao pino central do TIP120, denominado coletor, foi conectada o catodo da fita de LED, O aterramento do transistor foi realizado pelo pino denominado emissor, sendo este conectado a entrada GND da placa Arduino® [14]. O terminal positivo de uma fonte de 12 volts foi conectado ao anodo da fita de LED's, possibilitando assim, o acionamento da mesma em seu brilho máximo [14]. Na figura 12, tem-se um esquema de montagem deste circuito.

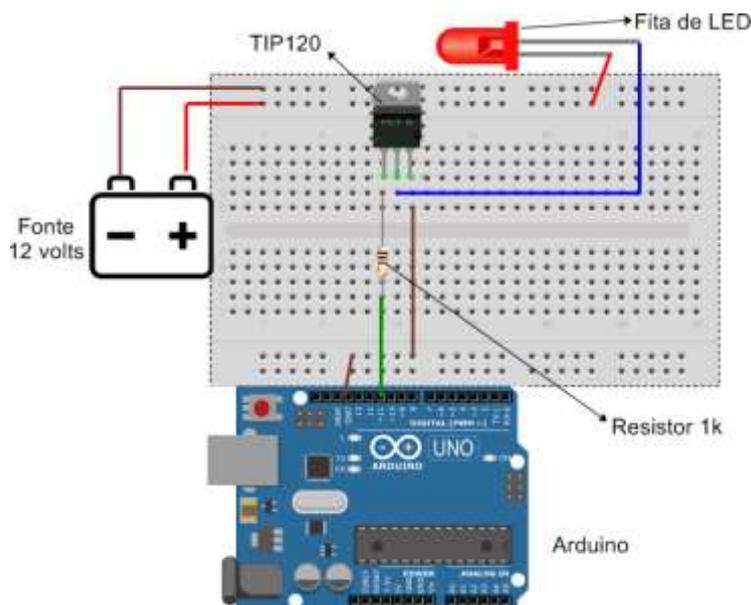


Figura 12 - Esquema de montagem do amplificador de corrente. Fonte: Do autor

Sobre o acionamento da fita de LED, a placa Arduino® teve como única função, enviar um sinal elétrico para o transistor, fazendo com que este atuasse e proporcionasse a amplificação de corrente para a fita de LED.

A avaliação deste dispositivo se deu de maneira qualitativa por meio da observação do seu funcionamento. Comparou-se então, os brilhos desenvolvidos pela fita de LED's quando conectada ao dispositivo e quando ligada diretamente a fonte de 12 volts.

4.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO PARA ACIONAMENTO INTELIGENTE DA FITA DE LED UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO®

No desenvolvimento de uma instrumentação de acionamento inteligente da fita de LED, utilizou-se a pastilha piezo elétrica para que fosse possível detectar as batidas proporcionadas no surdo pelo percussionista. Ao receber um impacto mecânico sobre a pele do surdo, uma onda sonora percorre o interior do instrumento, deformando a pastilha. Essa, por sua vez, responde ao estímulo gerando um sinal elétrico a qual foi captada na porta analógica da placa.

O Arduino® teve como papel principal ler a amplitude do sinal elétrico gerado nesta pastilha e produzir um sinal de saída, responsável por acionar o circuito

amplificador de corrente ligado à fita de LED's. Os materiais descritos na tabela 6 foram empregados no desenvolvimento desse dispositivo:

Tabela 6: Materiais utilizados no desenvolvimento de uma instrumentação de acionamento inteligente

-Pastilha piezo elétrica;	- Ferro de solda
- Placa Arduino®;	- Estanho;
- Resistência de 1M ohms;	-Fonte 12 volts
- Fios condutores;	-Circuito Amplificador;
-Fita de LED's	

O fio conectado a região de polarização positiva da pastilha piezo elétrica foi conectada na porta A0 da placa Arduino®, enquanto que o outro fio, conectado a região de polarização negativa, foi introduzido à porta GND. Entre essas portas ainda foi inserido um resistor de 1 mega ohms. O restante do dispositivo foi composto pelo circuito amplificador de corrente, descrito na seção anterior. Na figura 132, está representado um esquema do dispositivo descrito:

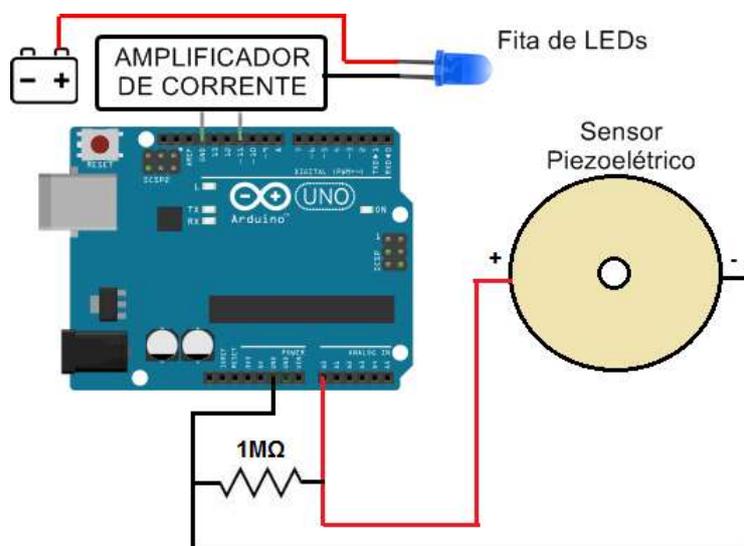


Figura 13 - Esquema de montagem do dispositivo responsável pelo acionamento inteligente da fita de LED's; Fonte: Do Autor.

Com a montagem do aparato concluída, foi desenvolvido então um algoritmo capaz de identificar os estímulos enviados pela pastilha, transformando em um sinal de saída, capaz de acionar o circuito amplificador de corrente. Tal algoritmo foi desenvolvido na plataforma fornecida pelo Arduino®, cuja linguagem de programação nativa é a linguagem C. Um fluxograma da programação desenvolvida pode ser visualizado na Figura 14.

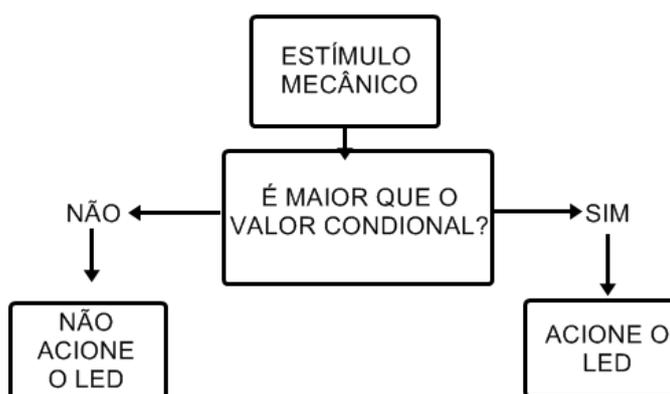


Figura 14 - fluxograma de tomada de decisão desenvolvido na programação da plataforma Arduino®; Fonte: Do Autor.

A caracterização de desempenho desta estratégia se deu de maneira qualitativa por meio da observação do seu funcionamento. Avaliou-se a resposta da fita de LED's toda vez em que houve um estímulo mecânico sobre a pastilha piezo elétrica.

4.5 ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE ACIONAMENTOS DAS FITAS LED

Além do acionamento inteligente, para maior impacto visual, foi proposto que a fita de LED's pudesse apresentar padrões de acionamento distintos. Sendo assim, incrementaram-se na programação do Arduino®, códigos capazes de controlar o sinal de saída da placa, alterando, portanto, a forma em que os LED's seriam acesos.

Dentre as estratégias propostas, neste trabalho foi desenvolvido um padrão de acionamento para esmaecer o brilho dos LED's, usualmente chamado de efeito de *fader*. Nessa estratégia, ao receber o sinal de entrada proveniente da pastilha

eletromecânica, a placa Arduino® aplica em sua porta PWM a sua potência máxima a qual resulta em um brilho máximo à fita LED instantaneamente. Após o brilho máximo, gradualmente, o sinal de saída vai diminuindo, tal como o brilho do LED, até atingir o estado onde a fita LED se apague totalmente. Na figura 14, tem-se uma demonstração desse efeito em um único LED:



Figura 15 - Demonstração do efeito *fader* em um único LED. Da esquerda para a direita, apresentam-se os vários estágios de luminosidade que o componente deve assumir. No instante da batida no surdo, brilho máximo, e gradualmente a luz do LED vai esmaecendo até apagar-se totalmente. Fonte: Do Autor

Nesta estratégia, foram aplicados códigos de repetição existentes na linguagem C. A função *for* foi inserida no código atribuindo um caráter decrescente no sinal de saída a cada repetição. Sendo assim, o LED assume o mesmo comportamento e tem-se então o efeito *fader*.

O caráter decrescente no sinal de saída só foi possível para as portas PWM, dado que foram necessários diversos níveis de tensão intermediários em cada repetição.

A caracterização de desempenho desta estratégia se deu de maneira qualitativa por meio da observação do seu funcionamento. Avaliou-se a resposta da fita de LED toda vez em que havia a atuação dos dispositivos de acionamento inteligente e de amplificação de corrente.

4.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO DISPOSITIVO

Nesta seção foi avaliada a eficácia de todas as estratégias desenvolvidas no capítulo 4, com todos estes sendo adaptados para operar no instrumento de percussão. Para tanto, com a pastilha introduzida nas posições estratégicas, foram

executadas inúmeras batidas da baqueta na pele do surdo, e observou-se a sincronia do acionamento da fita de LED's.

5 RESULTADOS

5.1 ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O SINAL ELÉTRICO GERADO PELA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO ESTÍMULO MECÂNICO

Com os dados obtidos, pôde-se plotar o gráfico da Figura 16, de tensão de pico em função da energia potencial referente cada altura, como forma de se visualizar o comportamento e o desempenho da pastilha piezo elétrica em gerar eletricidade. As incertezas demonstradas pelas barras de erros foram calculadas a partir da descrição do capítulo 4.1 :

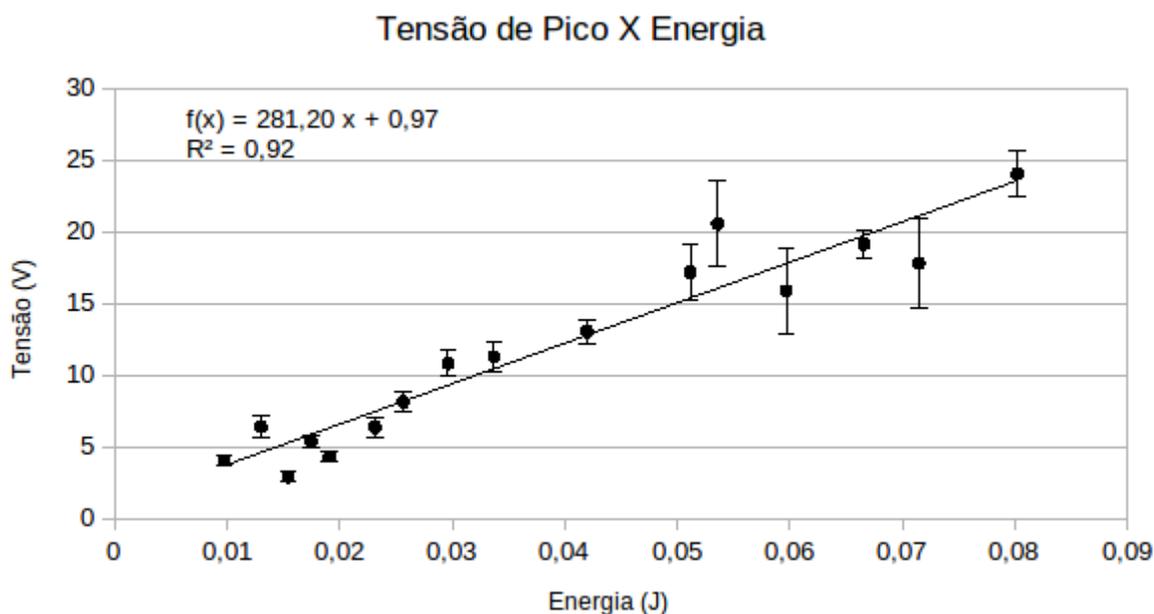


Figura 16- Tensão de Pico em função da Energia Potencial

Os pontos experimentais apresentaram um comportamento tipicamente linear com um $R^2=0,92$. O coeficiente angular da linha da tendência apresentou um valor de $a=281,2$ e pode ser relacionado a parâmetros construtivos e a forma em que o som propagou no surdo. O coeficiente linear apresentou um valor de $b=0,97$ e não possui significado físico sendo apenas um resíduo do ajuste linear. O ponto experimental observado logo acima de $0,05J$ foi o único ponto discrepante em

relação a linha de tendência e pode estar relacionado com erros de condução do experimento visto os instrumentos simples que foram utilizados.

Além disso, também é possível observar que mesmo para valores muito baixos de energia, os valores de tensão foram significativos e suficientes para serem detectados nas portas analógicas da placa Arduino®. Em outras palavras, o sinal gerado pelas pastilhas piezo elétricas não requerem estágios de amplificação podendo ser instalados diretamente às entradas do Arduino®.

O comportamento das incertezas de cada uma das médias demonstradas no gráfico leva a concluir que ao se aplicar energias potenciais cada vez maiores, a tensão gerada pela pastilha torna-se bastante imprecisa. A justificativa proposta para essa tendência decorre principalmente do caráter instrumental da medição, pois como foi demonstrado na seção 4.1 (figura 9), o cálculo de incerteza das medidas de tensões do osciloscópio é diretamente proporcional a magnitude da grandeza medida.

5.2 EFEITO LOCAL DE INSTALAÇÃO SOBRE A RESPOSTA ELETROMECAÂNICA DA PASTILHA PIEZO ELÉTRICA

Durante o procedimento desenvolvido pela estratégia da Figura 11a, o elemento sensor se demonstrou impreciso, operando de forma assíncrona e acionando os LED's até em momentos ausentes de qualquer batida no instrumento. Além disso, ocorreu o desprendimento da pastilha por diversas vezes da pele do surdo, decorrente da grande força de impacto proporcionada pela baqueta. Por fim, ao se monitorar o comportamento da pastilha piezo elétrica no Arduino®, por meio da ferramenta de monitoramento (Monitor Serial), não houve qualquer resposta satisfatória quando o instrumento era tocado.

Na estratégia da Figura 11b, o simples choque com a estrutura lateral do instrumento se demonstrou capaz de acionar os LED's, o que é indesejável dado que o surdo é um instrumento portátil e que está em constante vibração durante sua operação. Ao executar as batidas na pele do surdo, não foi observado um comportamento de sincronia, tão pouca precisão. Por fim, ao se monitorar o comportamento da pastilha no Arduino®, também por meio da ferramenta de monitoramento, não houve qualquer resposta satisfatória quando o instrumento era

tocado. Diferentemente da primeira estratégia, não houve qualquer deslocamento do elemento sensor durante a operação do surdo.

Na estratégia da figura da 11c, cada um dos valores de tensão medidos com o piezo dentro do surdo se referem a um dado estímulo mecânico com a mesma energia potencial (calculada a partir da equação 1), onde a massa e a altura de lançamento da esfera foram mantidas constantes, conforme a tabela 7.

Tabela 7- Medidas da massa da esfera e da altura de lançamento que se mantiveram constantes durante todo o experimento

Massa da esfera (g)	Altura de lançamento (mm)
28,18 ± 0,01	510 ± 0,5

Desta forma, com o piezo instalado dentro do surdo, pôde-se plotar os gráficos de tensão de pico em função da distância (figura 17) entre o elemento sensor e a pele do surdo, como forma de se visualizar o comportamento e o desempenho da pastilha piezo elétrica em gerar eletricidade:

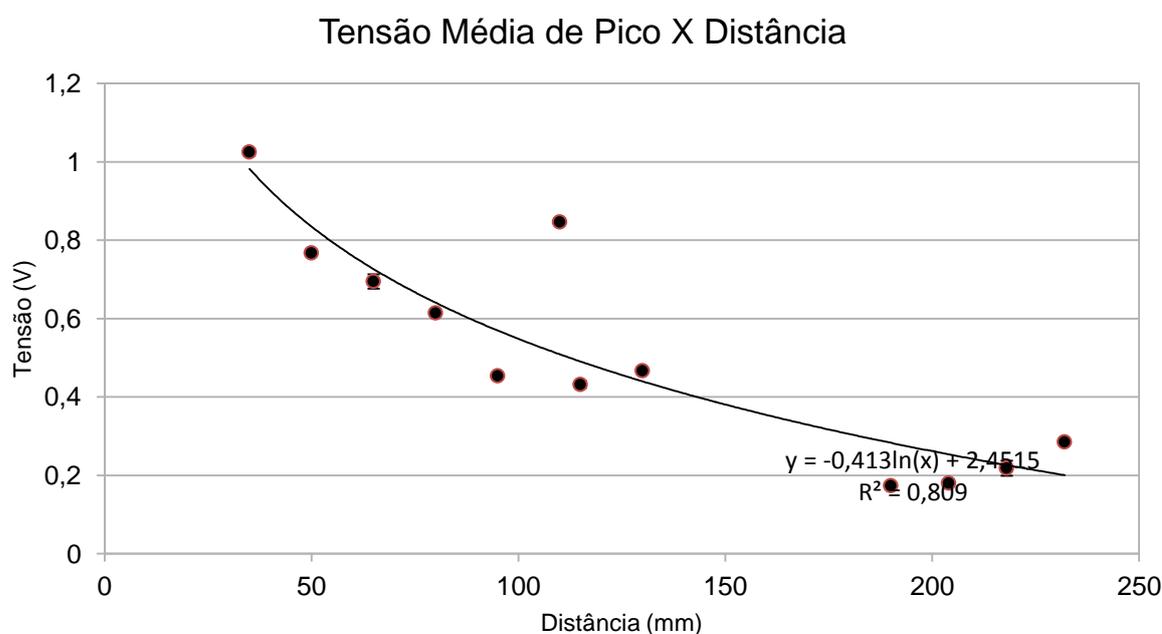


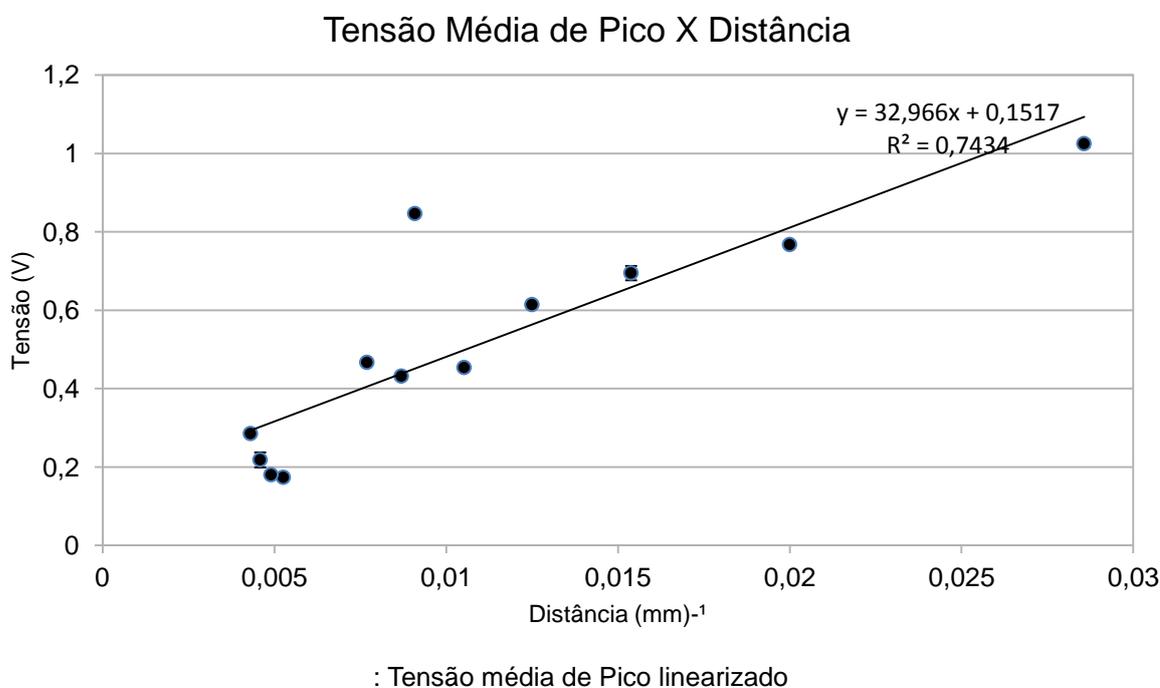
Figura 17: Tensão média de Pico em função da Distância

Os dados experimentais demonstrados na figura 17 demonstram um comportamento dependente da distância interna do piezo em relação a pele do surdo, como as incertezas devido ao osciloscópio são diretamente proporcionais à amplitude da tensão, tem se um erro bem pequeno devido aos pequenos picos de tensão alcançados pela pastilha dentro do surdo.

A melhor posição para a pastilha dentro do surdo é aquela em que os picos médios de tensão melhor se estabilizam pela energia mecânica incidida, ou seja, é a região onde os valores médios demonstram o menor desvio padrão. A importância desta observação está na estabilidade do sinal lido pelas entradas do Arduino®, que acende o LED a partir de certo valor de estado como referência, para regiões onde os valores médios de tensão oscilam muito (ou tem um desvio maior) faz-se necessário de uma maior variação da sensibilidade para este valor de referência.

Graficamente, a região intermediária da distância (100 mm a 150 mm) foi a que apresentou os menores desvios, o que também as caracteriza como regiões de menor incerteza. Esta região pode ser melhor visualizada na figura 18 ao se linearizar o gráfico da figura 17.

Figura 18



O ajuste linear com um $R^2=0,74$. O coeficiente angular da linha da tendência apresentou um valor de $a=32,97$ e pode ser relacionado a parâmetros construtivos e

a forma em que o som propagou no surdo. O coeficiente linear apresentou um valor de $b=0,15$ e não possui significado físico sendo apenas um resíduo do ajuste linear.

A região de 100 e 150 mm é a que melhor se aproxima da reta, os pontos iniciais e finais, que são os mais próximos e mais distantes da pele do surdo respectivamente, são os que mais destoam da curva, isto pode ser verificado pela característica do som, que se propaga tridimensionalmente como uma esfera. A região mais próxima do surdo, apesar de ser a que recebe a maior quantidade de energia sonora é a que apresenta os valores médios de picos mais oscilantes devido à alta dissipação do som pelo ambiente.

Ao fornecer energia mecânica sobre a superfície do surdo, o som incidente nas paredes surdo é transmitido até o fundo do instrumento, criando o efeito do eco, as diferentes intensidades de frentes de ondas recebidas pelo piezo localizado mais a fundo fazem com que o sinal transmitido por ele oscile muito em relação a uma mesma energia de referência.

Por último, na estratégia representada na Figura 11c, na qual se introduziu a pastilha no eixo central a uma distância entre 100 e 150 mm da pele do surdo, a fita de LED's não foi acionada durante a operação do instrumento. Ao se observar as respostas da pastilha eletromecânica no Arduino®, pôde-se observar que a onda sonora não é capaz de fazer com que a pastilha desenvolva um sinal elétrico suficiente para o reconhecimento do estímulo. Dessa forma, pode-se concluir que a aplicação da pastilha no eixo central do surdo também é ineficiente. Assim como na estratégia da Figura 11b, não houve qualquer deslocamento do elemento sensor durante a operação do surdo.

5.3 DIMENSIONAMENTO DE UM AMPLIFICADOR DE CORRENTE PARA O ACIONAMENTO DA FITA LED

Nas figuras 19a e 19b, encontra-se a fita de LED's já fixada ao redor do instrumento. Nessas figuras também é possível fazer a comparação dos brilhos proporcionados pela fita de LED's quando acionada de duas maneiras distintas. Na figura 19a é demonstrada a fita de LED acionada diretamente pela fonte de tensão 12 volts, ou seja, sem a aplicação do amplificador de corrente. A figura 19b, por sua

vez, demonstra a fita de LED sendo acionada com a aplicação do amplificador de corrente desenvolvido neste projeto.

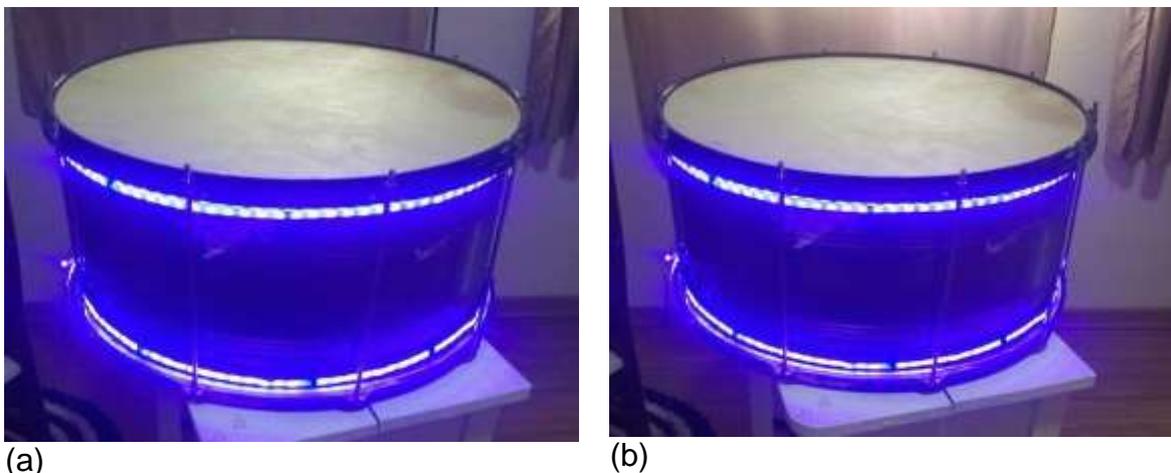


Figura 19 - Comparação das estratégias de acionamento propostas. A figura 17a demonstra a fita de LED's sendo acionada diretamente pela fonte de 12 volts, enquanto na figura 17b tem-se o acionamento com a integração do amplificador de corrente.

A comparação das estratégias de acionamento utilizadas é satisfatória, visto que o brilho proporcionado em ambos os casos é equivalente considerando-se um aspecto puramente visual. Desta forma, pode-se concluir que o dispositivo atingiu com o objetivo proposto, e, portanto, pode ser utilizado nas estratégias a seguir.

5.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO PARA ACIONAMENTO INTELIGENTE DA FITA DE LED UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO®

O esquema de montagem demonstrado na figura 11 foi desenvolvido com êxito. Sendo assim, pode-se estipular um valor condicional para a porta A0, cuja função principal foi delimitar em quais condições a fita de LED's seria acesa. Na figura 20, pode-se observar o comportamento da fita de LED's. Quando o estímulo mecânico na pastilha foi capaz de gerar um sinal elétrico equivalente ou superior ao valor condicional de acionamento, ocorreu o acionamento dos LED's.



Figura 20 - Ao se pressionar a pastilha piezo elétrica no interior do surdo, ocorre o acionamento da fita de LED's. A pastilha se encontra acoplada em uma chapa metálica de formato "L", evitando assim o seu deslocamento e um possível estímulo mecânico involuntário.

A resposta obtida foi satisfatória, dado que apenas um estímulo mecânico forte o suficiente foi capaz de acionar os LED's. Desta forma, o acionamento ocorre de maneira inteligente, atingindo então o objetivo proposto. Por fim, constata-se que esse dispositivo, juntamente com o amplificador de corrente, pode ser utilizado na versão final do protótipo.

5.5 ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE ACIONAMENTOS DAS FITAS LED

Com a aplicação do dispositivo de acionamento inteligente e incorporando a programação descrita na seção 4.5, pode-se observar a resposta da fita LED conforme a figura 21. Nesta figura, é possível acompanhar os vários estágios de luminosidade desenvolvidos pela fita de LED's quando acionada pelo dispositivo.

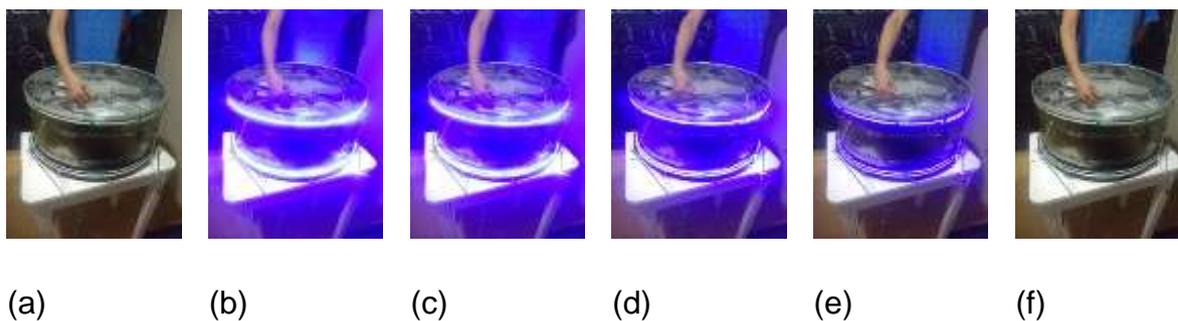


Figura 21 - Fotografias tiradas de forma sequencial, possibilitando a demonstração do efeito *fader*, proporcionado pelo dispositivo de acionamento inteligente em conjunto com a programação desenvolvida na plataforma Arduino®. a) luminosidade demonstrada momentos antes de se do estímulo mecânico na pastilha piezo elétrica. b) Momento exato onde há o acionamento da fita de LED's, caracterizado pelo brilho máximo desenvolvido. c) Cerca de 187,5 milissegundos após o acionamento. d) 375 milissegundos após o acionamento. e) 562,5 milissegundos após o acionamento. f) 750 milissegundos após o acionamento, caracterizando o esmaecimento total da fita.

O objetivo proposto foi realizado com êxito, dado que foi possível observar um padrão distinto de acionamento (neste caso o efeito *fader*), utilizando-se de programação e do acionamento inteligente. Desta forma, conclui-se que tal estratégia pode ser utilizada em conjunto com os outros dispositivos desenvolvidos nas seções anteriores (amplificador de corrente e acionador inteligente), agregando então, mais um aspecto visual ao projeto final.

5.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO DISPOSITIVO

As estratégias adotadas para alocação do elemento sensor no interior do instrumento demonstraram-se ineficientes, dado que em nenhuma delas ocorreu o acionamento instantâneo e preciso da fita de LED's.

Com os resultados descritos acima, constata-se a ineficiência das estratégias adotadas, deixando em aberto à finalização do dispositivo. Sendo assim, propõe-se para projetos futuros a implementação de um amplificador adicional para o sinal proveniente da pastilha piezo elétrica. Desta forma, pode-se obter uma resposta satisfatória no monitoramento executado pela ferramenta do Arduino® (Serial

Monitor), podendo então ser dimensionados os limites de operação da pastilha piezo elétrica.

O principal ajuste a ser feito então, deve levar em consideração uma estratégia que capacite as portas analógicas a reconhecerem o estímulo que o som provoca em um material piezo elétrico.

Apesar de em sua totalidade o dispositivo não demonstrar eficácia quanto ao objetivo geral, grande parte dos objetivos foram cumpridos. O dispositivo de amplificação de corrente, o padrão de acionamento sugerido e a programação inserida na plataforma Arduino®, demonstraram-se eficazes e cumpriram com o que foi proposto. Entretanto, ao incrementar todas essas estratégias no instrumento de percussão proposto, o desempenho do dispositivo não atingiu às expectativas.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados demonstrados ao longo do capítulo 5 constatou-se os seguintes pontos:

- A pastilha piezo elétrica é capaz de detectar o som no surdo, como pôde ser observado no osciloscópio, ou seja, uma onda sonora pode proporcionar o estímulo mecânico necessário para o funcionamento do dispositivo;
- O dispositivo amplificador de corrente desenvolvido cumpriu com as expectativas. Nota-se que o brilho da fita de LED's ao ser acionada com o auxílio de um amplificador de corrente é equivalente ao brilho da fita quando acionada diretamente por uma fonte externa;
- A programação aplicada na plataforma se mostrou eficaz, ou seja, ao detectar o sinal elétrico proveniente da pastilha, o dispositivo responde como o esperado: acionamento da fita de LED's com o efeito de *fader*;
- O estímulo mecânico proporcionado pela onda sonora não se mostrou eficaz em acionar a fita de LED's. Apesar do osciloscópio demonstrar que o som é capaz de deformar a pastilha, tal deformação não é suficiente para a detecção das portas

analógicas da placa Arduino® em nenhuma das posições propostas para a instalação da pastilha.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em projetos futuros, pretende-se agregar outras tecnologias ao dispositivo, assim como outras estratégias de acionamento da fita LED. Dentre os incrementos futuros, pode-se destacar:

- Outros padrões de acionamento da fita de LED's, tais como o acendimento sequencial dos LED's que compõem a fita.
- Estudo de outras posições para a instalação do sensor piezo elétrico;
- Uso alternativo de outros sensores para a captação do som; aumentando a eficiência do dispositivo;
- A aplicação de fitas de LED's que se utilizam do padrão RGB de cores;
- Desenvolvimento de uma plataforma de interação Bluetooth, tornando possível a seleção das cores da fita de LED's RGB.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- [1] MATTOS, Matheus. **Baterias Universitárias Ganham Espaço e Reconhecimento em SP**. SRzd - Notícias sobre o Brasil, 11 Nov. 2015. Disponível em: <www.srzd/carnaval/baterias-universitarias-ganham-espaco-e-reconhecimento-em-sp/>. Acesso em: 19/07/2018.
- [2] Prefeitura Municipal e Poços de Caldas. **Esquenta de Carnaval tem Apresentação da Bateria Vulcana**. Poços de Caldas, 6 Fev 2018. Disponível em <<http://www.pocosdecaldas.mg.gov.br/site/?p=41120>>. Acesso em 19/07/2018.
- [3] DEIVISON, L. C.; Cláudio, G. S.; Roberto, J. T. S. Redução no Consumo de Energia Utilizando Tecnologia LED. **Revista científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, 2014, Nº. 000055, 07/05/2014.
Disponível em:< <https://semanaacademica.org.br/artigo/reducao-no-consumo-de-energia-utilizando-tecnologia-led> >. Acesso em: 21/07/2018.
- [4] SCOPACASA, Vicente. A. **Introdução à Tecnologia de LED**. Revista LA_PRO, São Paulo, ed. 1, p.5-10, novembro 2008.
- [5] HERRADOR, Rafael Enriquéz. **Guía de Usuario do Arduíno**. 2009. 49 f. Universidade de Córdoba. 2009.
- [6] SOARES, Igor Nazareno. **Automação de um Sistema de Medição de Coeficiente Piezoelétrico**. 2015. 62 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

- [7] SOUZA, Fábio. **Entendendo as Entradas Analógicas do Arduino**. 2013. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>> . Acesso em: 30 de jun. 2018
- [8] CAMPOS, Carlos Alexandre Brero; CAMPOS, Paulo Roberto Brero. **Uso do Arduino Uno e de um Sensor de Pressão na Montagem de um Medidor de Pressão de baixo Custo**. Fortaleza, 2017.
- [9] SOUZA, Fábio. **Usando as saídas PWM do Arduino**, 2013. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/pwm-do-arduino/>> . Acesso em: 19 de jul. 2018
- [10] INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL. **Matérias Básicas : Amplificadores Transistorizados**. Rio de Janeiro, 2002.
- [11] FORWARD, R. L. Picostrain measurements with piezoelectric transducers. **Journal of Applied Physics**, v.51, 1980.
- [12] LIMA, W.B.D.. **Transdutores de deformação a base de sensores piezoelétricos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói/RJ, 2013.
- [13] Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. **Acústica E Ruídos - Capítulo 3: Princípios do Som**. São Paulo, 20 julh 2010.
- [14] COOPER, Tyler. **RGB LED Strips: Usage**. Adafruit Learning System. 20 abril 2017. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/rgb-led-strips/usage>> . Acesso em 22/07/2018.

[15] TAYLOR, John R. **Introdução à Análise de erros: Incertezas em medições físicas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookan 2012