

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Guilherme Dionisio

ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DOS  
FUNDAMENTOS DO ELETROMAGNETISMO E DA  
CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA

Passo Fundo

2017

Guilherme Dionisio

**ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DOS  
FUNDAMENTOS DO ELETROMAGNETISMO E DA  
CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Ciências Exatas e Geociências, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, sob orientação do Professor Doutor Luiz Eduardo Schardong Spalding.

Passo Fundo

2017

CIP – Catalogação na Publicação

---

D592a Dionisio, Guilherme

Atividade experimental para o estudo dos fundamentos do eletromagnetismo e da corrente elétrica alternada / Guilherme Dionisio. – 2017.

70 f. : il., color. ; 30 cm.

Orientação: Professor Dr. Luiz Eduardo Schardong Spalding.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, 2017.

1. Corrente alternada. 2. Eletromagnetismo. 3. Física – Métodos de ensino.  
I. Spalding, Luiz Eduardo Schardong, orientador. II. Título.

CDU: 537.8

---

Catalogação: Bibliotecária Marciéli de Oliveira - CRB 10/2113

Guilherme Dionisio

**ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DOS  
FUNDAMENTOS DO ELETROMAGNETISMO E DA  
CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA**

A Banca Examinadora abaixo APROVA a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional da Universidade de Passo Fundo, como parte da exigência para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Fundamentos teórico-metodológicos para o ensino de Ciências e Matemática.

Prof. Dr. Luiz Eduardo Schardong Spalding – Orientador  
Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Paulo Simeão de Oliveira Ferreira de Carvalho  
Universidade do Porto

Prof. Dr. Johnny Ferraz Dias  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Marco Antonio Sandini Trentin  
Universidade de Passo Fundo

## RESUMO

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um aparato experimental para a visualização da variação do valor da corrente elétrica alternada de eletrodomésticos em função do tempo que, neste texto, é denominado como forma de onda (FO) da corrente elétrica. Tal equipamento é resultado de uma pesquisa na linha tecnologias de informação, comunicação e interação aplicadas ao ensino de Ciências e Matemática. Constitui-se de uma ferramenta para ser usada por professores de física no ensino de fenômenos eletromagnéticos, incluindo a corrente elétrica alternada, tendo em vista que existem poucas propostas experimentais de ensino relacionadas a esse conteúdo. A utilização da ferramenta abrange a educação básica, técnica e superior. Para o desenvolvimento do aparato, fez-se uso de um toroide como sensor de corrente, da placa Arduino, como conversor analógico-digital, e de programas de computador para processamento de dados e traçado de gráficos. Na proposta de uso mais simples, utiliza-se a entrada de microfone do computador e o programa de áudio Audacity para a visualização da FO. Para o aprofundamento do estudo, usa-se o Arduino e um programa de autoria própria escrito na linguagem Python integrado a uma planilha de cálculo. No segundo caso, é possível visualizar a FO, decompor o sinal de corrente em seus harmônicos de 60 Hz e analisar esses resultados através de uma planilha Excel preparada para receber estes dados. Com a intenção de divulgar o trabalho de forma que ele possa ser usado por outros professores, foi elaborado um livreto que instrui passo a passo a montagem física do experimento e uso dos programas e planilhas criados, que, também, são disponibilizados para *download*. Como sugestão de uso na educação básica do produto desenvolvido, apresenta-se uma sequência didática centrada na produção, transporte e distribuição de energia elétrica, ancorada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov & Angotti, a qual leva o aluno a compreender fenômenos do eletromagnetismo e ingressar no estudo de dispositivos digitais. Para isto, utiliza-se recursos como vídeos, animações, simuladores computacionais, além do aparato experimental mencionado. Para avaliação da aprendizagem dos conteúdos trabalhados com duas turmas da terceira série do ensino médio e as potencialidades de uso do aparato, utilizou-se a análise de conteúdo de textos e relatórios elaborados pelos estudantes, conforme a proposição de Laurence Bardin.

**Palavras-chave:** Corrente alternada. Ensino de Física. Atividade experimental. Arduino. Planilhas eletrônicas. Python.

## ABSTRACT

The present work describes the development of an experimental apparatus for visualizing the waveform (FO) of alternating electric current in household appliances. This equipment is the result of a research in the line of Technologies of information, communication and interaction applied to the teaching of Sciences and Mathematics. It is a tool to be used by physics teachers in the teaching of electromagnetic phenomena, including alternating electric current, considering that there are few experimental teaching proposals related to this content. The use of the tool covers basic, technical and higher education. For the development of the apparatus, a toroid was used as a current sensor, the Arduino board, as an analog-to-digital converter, and computer programs for data processing and plotting. For a simple application, the microphone input of the computer and the audio program Audacity for the visualization of the FO are used. For further study, we use Arduino and its own authoring program written in the Python language integrated with a spreadsheet. In the second case, it is possible to visualize the FO, decompose the current signal into its 60 Hz harmonics and analyze these results through an Excel spreadsheet prepared to receive this data. With the intention of disseminating the work in a way that it can be used by other teachers, a booklet has been elaborated that directs step by step the physical assembly of the experiment and use of the created programs and worksheets, which are also available for download. As a suggestion for use in basic education, the developed product presents an easy sequence centered on the production, transportation and distribution of electric energy, based on the three pedagogical moments of Delizoicov & Angotti, which leads the student to understand phenomena of electromagnetism and into the study of digital devices. For this, we use instruments such as videos, animations, computer simulators, and the experimental apparatus mentioned. The content analysis of texts and reports prepared by the students, according to the proposal of Laurence Bardin, was used to evaluate the learning of the content worked with two classes of the third year of high school and the potentialities of the use of the apparatus.

**Keywords:** Alternating current. Teaching Physics. Experimental activity. Arduino. Spreadsheets. Python.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Conjunto de peças que compõem a parte de instalação do sensor de corrente toroidal. Os terminais A e B do sensor serão conectados ao circuito eletrônico que vai fazer a conversão do sinal analógico em digital. ....28
- Figura 2 - Circuito para ajustar os valores de corrente que chegam do enrolamento secundário do toroide (A e B) aos valores de tensão elétrica que o Arduino necessita (0,0 V a 5,0 V).....29
- Figura 3 - O capacitor separa a bateria do computador (que alimentaria o microfone externo) do circuito do toroide. ....30
- Figura 4 - Forma de onda da corrente elétrica de uma lâmpada incandescente de 15 W ligada a uma tomada elétrica de 220 V e 60 Hz. Observe que o valor do tamanho da seleção na parte do desenho que foi marcada com um quadro é de 17 ms, próximo dos 16,67 ms esperados. ....30
- Figura 5 - Medida do tempo de dez ciclos completos da forma de onda da corrente elétrica de uma lâmpada incandescente de 15 W ligada a uma tomada elétrica de 220 V e 60 Hz, destacando o período 16,6 ms, na média, para uma onda completa. ....31
- Figura 6 - Forma de onda de três tipos de lâmpadas. A faixa superior corresponde a uma lâmpada incandescente; a do centro, uma lâmpada eletrônica (fluorescente compacta); e a inferior, uma lâmpada LED. As lâmpadas possuem potências diferentes e as amplitudes foram ajustadas para melhor visualização.....31
- Figura 7 - Forma de onda para um carregador de notebook 64 W / 100-240 V, ligado a uma tomada 220 V. A seleção mostra um ciclo completo. ....32
- Figura 8 - Fluxograma do sistema de aquisição e tratamento das informações. ....32
- Figura 9 - Forma de onda (ou forma do sinal) produzida por uma lâmpada incandescente de 15 W. Observe que a diferença entre os picos mínimo e máximo da FO é de aproximadamente 35 pontos (entre 480 e 515), ou seja, o valor de pico é aproximadamente 17,5 na escala de 0 a 1023. Esta escala refere-se aos valores que o conversor A/D do Arduino utiliza (10 bits). ....33
- Figura 10 - Componentes harmônicas para a lâmpada incandescente de 15W. As amplitudes ainda não estão em Ampères e a figura representa valores da metade do espectro espelhado da DFT. ....34

Figura 11 - Comparação entre a forma de onda obtida a partir dos dados capturados pelo Arduino e o harmônico puro de 60 Hz. Em vermelho, o sinal reconstruído do harmônico de 60 Hz com ampliação de 1,5 vezes para que sua visualização não coincida com a linha azul.....	35
Figura 12 - Duas ondas completas produzidas por um ventilador. ....	35
Figura 13 - Harmônicos da corrente de um ventilador doméstico. ....	36
Figura 14 - Reconstrução da FO produzida pelo ventilador. À esquerda, a aproximação com o 1º harmônico; à direita, a aproximação com a influência do 3º harmônico. As curvas em vermelho são os sinais reconstruídos com ampliação de 1,5 vezes. ....	37
Figura 15 - (a) Forma de onda produzida pela corrente elétrica de um carregador de telefone celular e (b) os harmônicos de 60 Hz presentes na corrente elétrica do carregador. ....	38
Figura 16 - Recorte do <i>slide</i> apresentado aos alunos mostrando a simulação de um pêndulo simples de período 2 segundos. Foi destacado que o uso do segundo como unidade de tempo permite que o Hertz seja utilizado como unidade de frequência. ....	41
Figura 17 - Tela do aplicativo <i>Tone Generator</i> . ....	43
Figura 18 - Áudio de demonstração antes de depois da amplificação de um trecho selecionado. ....	43
Figura 19 - Comparação da frequência e período da onda com a altura do som (som grave e som agudo). ....	44
Figura 20 - Tela do Audacity mostrando a forma de onda de sons produzidos com o aplicativo <i>Tone Generator</i> . ....	44
Figura 21 - À esquerda, a matriz energética brasileira para produção de energia elétrica. À direita, o sistema de bandeiras tarifárias adotadas em 2015. ....	45
Figura 22 - Ilustração mostrando o caminho percorrido pela energia elétrica desde a sua geração até o seu uso. A ilustração é utilizada para apresentar os transformadores de tensão elétrica e justificar o uso da corrente alternada nos sistemas de distribuição. ....	46
Figura 23 - Forma de onda da corrente elétrica de um carregador de celular obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente.....	49
Figura 24 - Forma de onda da corrente elétrica de um ventilador obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente.....	49



Figura 25 - Forma de onda da corrente elétrica de um ferro de passar roupas obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente. Neste caso, percebe-se que a forma do sinal da corrente elétrica do ferro ficou cortada na parte inferior e na superior. Os valores de corrente, após a conversão, superaram os 1023 valores (10 bits) possíveis do conversor analógico/digital do Arduino. ....	49
Figura 26 - Com esta modificação, o valor da tensão que vai ao Arduino diminui, possibilitando a visualização da forma de onda correta. ....	50
Figura 27 - Representação da resolução de imagens digitais. A imagem apresenta melhor resolução quando dividida em um número maior de pixel. ....	52
Figura 28 - Representação da imagem em uma matriz de dígitos binários. O dígito 0 representa um pixel preto e o dígito 1 representa um pixel branco. ....	52
Figura 29 - Imagem em tons de cinza. O valor de cada pixel pode variar de 0 (preto) a 255 (branco). ....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos e exemplos referentes ao eletromagnetismo da Base Nacional Comum Curricular para o componente curricular Física. ....	14
Quadro 2 - Categorias e características do discurso do professor. ....	24
Quadro 3 - Distribuição de aulas e conteúdos trabalhados.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do arquivo de saída da aplicação Python que calcula a DFT do sinal para o ventilador. Foram suprimidos os harmônicos maiores que 600 Hz por não terem amplitude significativa. ....	36
Tabela 2 - Número de trabalhos por categoria textual.....	54
Tabela 3 - Relação dos aspectos e conteúdos esperados e número de trabalhos em que foram citados, explicados e/ou relacionados com o problema da geração e transporte de energia elétrica. Apenas os 29 trabalhos classificados como produção foram contabilizados.....	55

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1 TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM....</b>	<b>16</b>
1.1 <b>Objetos digitais de aprendizagem (ODA) .....</b>	<b>17</b>
1.2 <b>O computador como ferramenta de aquisição de dados experimentais.....</b>	<b>18</b>
<b>2 MODELO PEDAGÓGICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 <b>Momentos pedagógicos .....</b>	<b>20</b>
2.2 <b>Diário de bordo.....</b>	<b>22</b>
2.3 <b>Discurso, linguagem e análise conteúdo .....</b>	<b>23</b>
<b>3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>27</b>
3.1 <b>Montagem do sensor de corrente .....</b>	<b>27</b>
3.2 <b>Usando microfone do PC para a visualização da FO da corrente elétrica .....</b>	<b>29</b>
3.3 <b>Usando o sistema de aquisição e análise do sinal de corrente elétrica.....</b>	<b>32</b>
3.3.1 <i>Forma de onda produzida pela lâmpada incandescente de 15 W .....</i>	<i>33</i>
3.3.2 <i>Forma de onda produzida por um ventilador de 60W.....</i>	<i>35</i>
3.3.3 <i>Fontes lineares versus fontes chaveadas.....</i>	<i>37</i>
<b>4 PROPOSTA DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1 <b>Distribuição das aulas .....</b>	<b>39</b>
4.2 <b>Descrição das aulas.....</b>	<b>40</b>
4.2.1 <i>Aula 1: Oscilações e ondas I.....</i>	<i>40</i>
4.2.2 <i>Aula 2: Oscilações e ondas II.....</i>	<i>42</i>
4.2.3 <i>Aula 3: Energia e meio ambiente .....</i>	<i>45</i>
4.2.4 <i>Aula 4: Caminho da energia elétrica .....</i>	<i>46</i>
4.2.5 <i>Aula 5: Gerador eletromagnético .....</i>	<i>47</i>
4.2.6 <i>Aula 6: Atividade experimental.....</i>	<i>48</i>
4.2.7 <i>Aula 7: Compreendendo o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.....</i>	<i>51</i>
4.2.8 <i>Aula 8: Compreendendo os dispositivos digitais .....</i>	<i>51</i>
4.3 <b>Resultados .....</b>	<b>53</b>
4.3.1 <i>Memórias de aula.....</i>	<i>53</i>
4.3.2 <i>Relatório de atividade experimental .....</i>	<i>56</i>

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A - Relatório de atividade experimental submetido aos alunos .....</b>	<b>66</b>

## INTRODUÇÃO

Os livros didáticos de Física para o ensino médio contemplam e abordam conteúdos de forma que não são significativos aos alunos. Isto não significa que não são importantes na formação escolar deles, nem que devem ser abolidos do currículo escolar. Antes disso, é preciso um estudo investigativo amplo que perpassa o ambiente de uma escola ou região específica. Este estudo vai além da pesquisa socioantropológica e econômica da comunidade escolar. Tais dados são importantes para conduzirem à construção do currículo e nortear as práticas pedagógicas dos professores. Entretanto, tanto o currículo quanto à atuação do professor na sala de aula não podem se resumir à atual condição do estudante, pois, neste caso irá de encontro ao direito do aluno de acesso ao conhecimento negando-lhe subsídios para continuidade dos estudos na área de seu interesse (Lei 9394/96, Art. 22).

Sendo assim, a inclusão de novos conteúdos que acompanhem a forma de pensar o meio social, ambiental e tecnológico precisa estar em constante discussão nos cursos de formação de professores (licenciaturas) e formação continuada, além de tornar-se uma prática cotidiana do professor em atuação.

A modernização faz-se necessária, pois o desenvolvimento e o crescimento da produção científica são intensos. Novas teorias, modelos e interpretações científicas e tecnológicas forçam a inclusão desses novos conhecimentos nos programas de formação (graduação) de futuro profissionais (PINHO-ALVES, 2000, p. 178).

A literatura mais recente busca, ainda timidamente, essa atualização citando dispositivos atuais e novas descobertas da ciência por meio de notas ou fragmentos de textos de divulgação científica. Apesar disto, a forma de apresentação do conteúdo continua nos moldes tradicionais, seguindo uma construção linear, por vezes, se tornando extensa e levando o aluno à desatenção.

No ensino de eletricidade, por exemplo, encontram-se nos livros didáticos as relações de área da secção transversal e comprimento do fio com a resistência elétrica de um condutor, o cálculo de consumo de energia elétrica e o funcionamento de dispositivos de segurança como fusíveis e disjuntores. Entretanto, a relação destes elementos com uma instalação elétrica residencial segura, assim como as implicações que alterações feitas na rede elétrica por pessoas sem conhecimento técnico podem trazer à segurança da residência e ao consumo de energia são pouco exploradas. Ensinar eletricidade partindo deste foco e não o inverso, por

exemplo, é uma possibilidade de trabalho que pode levar ao aluno uma melhor assimilação do conteúdo e compreensão da física inserida no dia a dia.

Já no ensino de eletromagnetismo, o foco é o formalismo matemático dos fenômenos, existindo sim alguma relação com o cotidiano, contudo ainda distante e pouco significativa para o estudante. As ondas eletromagnéticas, assim como a geração e uso da corrente elétrica alternada impulsionou o crescimento econômico no final do século XIX e isso implicou em mudanças também na dinâmica social. A aplicação de tais conhecimentos trouxe novas formas das pessoas se relacionarem, terem acesso e usarem a tecnologia. Então, os conteúdos escolares precisam acompanhar o avanço tecnológico, pois este se faz presente no dia a dia do aluno, e mais recentemente, este crescimento vem acompanhado dos conceitos de sustentabilidade e conscientização ambiental. Dessa forma, essas são questões que precisam ser consideradas na construção do currículo, inclusive no plano de ensino de Física e não somente naquelas que possuem ligação mais direta e que, tradicionalmente, já o fazem. Neste sentido, novas propostas de ensino centradas em situações-problemas podem agregar e preencher estas lacunas.

Conceitos e definições construídos no processo de produção de novos saberes elaborados, muitas vezes, com grau de complexidade significativo, necessitam sofrer uma transformação para que seu aprendizado seja facilitado no contexto escolar (PINHO-ALVES, 2000, p. 178).

A proposta deste trabalho, somado ao elemento facilitador da aprendizagem ao qual se refere Pinho-Alves, é dar à corrente elétrica alternada (CA) uma importância maior do que a simples significação de alternância no sentido de movimento de portadores de cargas. Sustenta-se a proposta nas implicações da CA no funcionamento dos equipamentos elétricos e eletrônicos de uso doméstico para, então, dar-se a abordagem conceitual e teórica do conteúdo. Portanto, pretende-se responder se o uso de tecnologias digitais, aliado a experimentos assistidos por computador, pode tornar o ensino de corrente elétrica alternada relevante para os alunos de ensino médio.

Todas estas questões relacionadas à eletricidade e magnetismo são apontadas como objetivos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), dos quais se destacam seis (Quadro 1) intimamente ligados ao produto educacional desenvolvido e aplicação do mesmo descrito neste texto.

Quadro 1 - Objetivos e exemplos referentes ao eletromagnetismo da Base Nacional Comum Curricular para o componente curricular Física.

OBJETIVO	EXEMPLO
1. Compreender e explicar o funcionamento de circuitos elétricos simples a partir de conceitos, leis e princípios do eletromagnetismo.	Relações entre tensão, corrente, resistência, potência dissipada, espessura e comprimento dos fios em um circuito; corrente contínua e alternada; circuitos em uma instalação residencial; chuveiros, aquecedores, lâmpadas e outros equipamentos do cotidiano; curto-circuito e choque elétrico.
2. Compreender as relações entre os campos elétricos e magnéticos a partir de suas variações no tempo e no espaço, identificando os princípios de funcionamento de equipamentos e sistemas.	Bobinas e eletroímãs; motores, geradores, capacitores, indutores e transformadores; dínamo de bicicletas; pilhas e baterias.
3. Compreender a estrutura da matéria de um semicondutor, sua presença em componentes eletrônicos e suas propriedades funcionais nos equipamentos contemporâneos.	Bandas de energia: de valência e de condução; GAP de bandas; dopagem de materiais para produção de semicondutores – diminuição do GAP de energia; diodos semicondutores para retificação de corrente e chaveamento de circuito elétrico; LED (diodo emissor de luz).
4. Reconhecer o impacto do desenvolvimento do eletromagnetismo no âmbito da chamada Segunda Revolução Industrial, assim como as transformações sociais e culturais decorrentes desse evento.	Aumento da potência mecânica útil com os motores; automação industrial; usinas hidrelétricas e termelétricas; impactos: ambientais, na produção de alimentos, nos meios de transporte, nos hábitos e nos modos de vida das sociedades.
5. Pesquisar o funcionamento de diferentes tipos de usinas elétricas, assim como a produção, a distribuição e o consumo de energia elétrica e seus impactos ambientais e sociais.	Usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares, eólicas e solares; rede de transmissão; consumo em residências, indústrias e variações sazonais; matriz energética brasileira; novas tecnologias de aproveitamento de energia elétrica com o menor desperdício possível; impactos ambientais: formação de represas nas hidrelétricas, desequilíbrio de fauna e flora, lixo atômico, emissão de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> .
6. Representar ou obter informações de gráficos e tabelas, assim como compreender símbolos e códigos utilizados para identificar grandezas elétricas e magnéticas e suas variações.	Tabela com propriedades magnéticas de materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos e suas aplicações; gráfico de tensão x corrente em circuitos; tabela de consumo de energia elétrica em vários países; representação icônica de resistência, fonte, sentido de corrente elétrica; código de cores dos resistores.

Fonte: MEC, BRASIL, 2016.

Tendo em vista que o estudo da CA apresenta alguma dificuldade para alunos do ensino médio, assim como são encontradas poucas práticas experimentais relacionadas a este estudo na literatura (ABEGG, 2013; ERTHAL, 2006; PACCA, 2003), apresenta-se uma proposta de um aparato experimental referenciado aqui por Produto Educacional.

Desta forma, pensando em contribuir com a aprendizagem da CA dos estudantes e também em fornecer novas ferramentas para os professores de Física utilizarem e aprimorarem suas práticas pedagógicas, desenvolveu-se um aparato experimental para o estudo da CA assistido pelo computador e auxiliado pelas tecnologias digitais. A proposta aqui apresentada faz uso de planilhas de cálculo (MS-Excel) e também da placa Arduino para a leitura, aquisição e análise de dados referentes à corrente elétrica em eletrodomésticos. Espera-se que ao utilizar um experimento com auxílio do computador e objetos digitais de aprendizagem para resolver um problema de ciências, o aluno entenda um pouco mais sobre a utilidade dos computadores na ciência, desenvolva habilidades cognitivas e vislumbre novos meios para a prática do seu estudo de conteúdos escolares.



O produto educacional desenvolvido abrange diversos níveis de ensino, podendo ser aplicado no ensino de física na educação básica, no ensino técnico ou em cursos superiores de engenharia, além de ser um recurso na formação de professores de física.

O capítulo 1 apresenta uma revisão de literatura tratando do uso de tecnologias digitais no processo de ensino-aprendizagem: o uso do computador como ferramenta de aquisição de dados, que ampara o desenvolvimento do aparato experimental; e o uso de Objetos Digitais de Aprendizagem, que ampara a organização da sequência didática sugerida no capítulo 4.

O capítulo 2 traz subsídios didáticos e pedagógicos para a aplicação do produto inserido na sequência didática, assim como, para a avaliação dos resultados desta aplicação.

No capítulo 3, descreve-se o produto educacional apresentado as possibilidades de uso e alguns resultados obtidos com o experimento, mas o detalhamento da montagem e forma de aplicação do produto está contido no livreto “*Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada de eletrodomésticos*”. O livreto é integrado, por *hiperlinks*, a vídeos tutoriais e arquivos para exemplificação do uso do material.

Como opção para a educação básica, organizou-se, no capítulo 4, uma sequência didática a qual engloba os seis objetivos da BNCC elencados no Quadro 1 e que apresenta uma alternativa de uso do produto neste contexto.

## 1 TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM

A tecnologia está presente na vida das pessoas e nas relações delas com o mundo. A interação social se dá cada vez mais através dela. Pelas redes sociais, por exemplo, as pessoas conectam-se, divulgam informações, organizam-se por grupos de interesse, discutem e expõem opiniões. A comunicação tornou-se ágil, rápida e fácil. O acesso à informação democratizou-se e nunca foi tão fácil encontrá-la e de maneira tão rápida. Assim, a rede mundial de computadores trouxe um novo paradigma à sociedade moderna: informação em abundância e ao alcance de todos (PINUDO, 2009).

Assim como a rede mundial de computadores, os dispositivos móveis assumiram papel importante neste contexto. Os aparelhos celulares já não têm mais a mesma função de anos atrás. Tornaram-se, para muitos, parte do cotidiano, visto que com eles é possível fazer muito daquilo que se faz num computador de mesa. Dessa forma, se configuram um importante aliado no processo ensino-aprendizagem.

As TIC'S (tecnologia de comunicação e informação) como são chamadas essas tecnologias, servem de auxílio ao estudo e facilitam a aprendizagem trazendo o conhecimento de forma mais estruturada. Estudar e usar as tecnológicas de informação, transformando o que é complicado em útil, prática em dinâmica além de ser mais criativo, é estimulante (SOUZA; SOUZA, 2010, p. 128).

Por outro lado, por mais que os jovens estejam inseridos neste contexto de tecnologia, muitos não a conhecem de fato. O computador pessoal, por exemplo, constitui uma ferramenta poderosa na área de ensino de ciências, contudo nem sempre é percebida de tal forma. A informática, segundo Souza (ibid, p. 132), “vem gradativamente ingressando em várias áreas do conhecimento sendo indispensável o uso dos seus métodos para desenvolvimento de qualquer atividade”. Portanto, o computador é muito mais do que uma ferramenta de busca de informação, passando a ser, atualmente, uma ferramenta de produção de conhecimento.

Quais são os usos de um computador? Como essa máquina impulsionou o avanço tecnológico? De que forma pode facilitar nas tarefas do dia a dia? Como fazer bom uso dessa ferramenta? Com a inserção das tecnologias digitais no ensino, todas estas são perguntas que devem ser levadas à discussão na sala de aula, pois, sim, fazem parte do cotidiano dos estudantes, e é imprescindível que também o faça no cotidiano dos professores. Assim, mais do que se perguntar de que forma as ciências empregam-se da máquina para conhecer o mundo, utilizá-lo como parte integrante das metodologias de ensino é essencial para

qualificação do processo de ensino-aprendizagem, e mostra-se relevante tema de discussão no ensino de ciências na educação básica.

### **1.1 Objetos digitais de aprendizagem (ODA)**

Dentre as diversas definições, Nash apud Arantes (2010) interpreta os ODA's "como blocos de informação que estão à disposição do professor para que este os conecte da maneira que achar mais eficiente para o processo de aprendizagem". Desta forma, o uso de meios diversos, tais como fotos, imagens, vídeos ilustrativos, áudios, recortes textuais, animações, simuladores, *softwares* especializados na sala de aula, ou informações disponíveis em páginas da *web*, vem a contribuir e auxiliar o professor em sua prática pedagógica.

A introdução de tecnologias digitais permite aos alunos, segundo Abegg (2013, p. 33), "uma absorção mais adequada dos pré-requisitos técnico-teóricos necessários para o desenvolvimento de seu aprendizado". Nesse sentido, o computador passa a ser extensão das capacidades cognitivas humanas, e as novas tecnologias, a operar como uma extensão dos sentidos do homem (PRETTO apud ABEGG, 2013, p. 34).

O uso de simulações computacionais tem sido recentemente uma ferramenta utilizada amplamente no estudo da física. Com elas é possível simular experimentos e condições experimentais que com o aparato físico não seria possível, além de fornecer uma representação visual muitas vezes necessária para o aprendiz (MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012).

De acordo com Arantes, Miranda e Studart (2010), as simulações são ferramentas que ajudam o professor a introduzir um novo tópico, construir conceitos ou competências, reforçar ideias ou fornecer reflexão e revisão final, podendo ser usadas em aulas expositivas, atividades em grupo, em lições de casa, ou laboratório.

Apesar das inúmeras experiências bem sucedidas com uso de ODA's relatadas em trabalhos na área de ensino como os de Abegg (2013) e Arantes (2010), essas ferramentas só poderão contribuir de forma eficaz à aprendizagem se selecionadas e organizadas partindo de uma proposta metodológica sólida com objetivos claros. Portanto, em que momento, de que forma e com qual finalidade serão usados tornam-se princípios norteadores para seu uso.

Tendo em vista todas essas características citadas, possibilidades e objetivos de uso, pode-se incluir a realização de experimentos físicos que se utilizam de programas de computador, seja para aquisição ou análise de dados, na categoria de ODA.

## 1.2 O computador como ferramenta de aquisição de dados experimentais

Não há dúvida de que as atividades de laboratório devem fazer parte do ensino das ciências por possibilitar o desenvolvimento de diversas habilidades e competências como a familiarização e manuseio de instrumentos, formulação de hipóteses e capacidade de observação, até a simples comprovação de leis ou conceitos (PINHO-ALVES, 2000, p. 178). Entretanto, parece ser consenso entre pesquisadores em ensino de física que a prática experimental, hoje, deve ser menos direcionada, possibilitando ao aluno tomar decisões, modificar a montagem experimental, formular e testar suas próprias hipóteses.

A modernização tanto dos conteúdos escolares como das metodologias faz-se importante também nas atividades experimentais. Assim, Pinho-Alves (*ibidem*), à frente das regras da transposição didática propostas (CHEVALLARD; JOSHUA apud PINHO-ALVES, 2000) apoia a modernização do laboratório didático com a substituição dos instrumentos de medida por equipamentos modernos e a adoção de novos procedimentos experimentais.

Desta forma, tirando sobre o aluno o peso da habilidade de manuseio de equipamentos – que não é o objetivo primeiro da prática experimental – ele pode dar atenção ao registro das observações sobre o fenômeno, à análise dos dados coletados, e a uma verificação ampla do fenômeno estudado, contribuindo, assim, para uma melhor aprendizagem.

Como complemento para aulas experimentais de Física surgiram na literatura nos últimos anos, sugestões de sistemas de aquisição de dados de baixo custo. Em 2001, Aguiar propôs o uso da porta de jogos do PC como alternativa às portas serial e paralela e a linguagem de programação LOGO para comunicação entre sensores e o computador. Posteriormente, ainda fazendo uso da porta de jogos como interface de comunicação, Figueira (2004) utilizou macros<sup>1</sup> do Excel para leitura e armazenamento de dados, agora fazendo uso da linguagem *VisualBasic*. Aos poucos, outras entradas do PC acabaram sendo usadas em atividades experimentais. O microfone, por exemplo, foi usado por Barbeto (2000) para a medida da velocidade de propagação do som no ar, enquanto que Magno (2004) fez leituras de tensão elétrica adaptando a entrada de microfone como um osciloscópio.

Atualmente, as pesquisas na área apontam para alternativas como a porta USB e a placa Arduino, haja vista a evolução dos computadores e padrões de hardware. São exemplos os trabalhos de Souza *et al* (2011) com o estudo do oscilador amortecido e a transferência radiativa de calor, Cavalcante (2011) no estudo da descarga de capacitores, e mais

---

<sup>1</sup> Um macro é uma sequência de passos ou comandos programados para cumprir uma tarefa. No Excel, um macro é programado na linguagem *VisualBasic* que está incorporada aos aplicativos do pacote MS-Office.

recentemente Amorim (2015) e Rosa *et al* (2016) com o uso de sensores digitais de temperatura para estudo da condução térmica em barras metálicas.

Portanto, é amparado nestas propostas que permeiam o ensino através de práticas experimentais, que se propõe neste trabalho um sistema para obtenção e análise da forma de onda produzida por corrente elétrica alternada. Tal sistema é composto por um aparato experimental cuja leitura do sensor de corrente e conversão analógico-digital é feita pelo Arduino, e a análise dos dados feita por programas de computador.

## 2 MODELO PEDAGÓGICO

Neste capítulo apresenta-se o modelo pedagógico que guiará a aplicação do produto educacional e a sequência didática proposta que dá aporte a essa aplicação, pois, são diversas as teorias de aprendizagem em que se pode basear uma prática pedagógica, assim como são diversas as formas (metodologias) de ensinar um conteúdo. Ao planejar o ensinamento, o professor estabelece um conjunto de ações, instrumentos e metodologias que utilizará para promover e avaliar a aprendizagem de seus alunos. À luz de uma ou mais teorias de aprendizagem (piagetiana, vygotskiana, ausubeliana, etc.) ao abrigo de uma concepção epistemológica (construtivista, interacionista, etc.) apoiado por metodologias de ensino, constrói-se um modelo próprio, o qual constitui o modelo pedagógico adotado. Segundo Behar *et al* (2007, p. 4), esse modelo pedagógico é “um sistema de premissas teóricas que representa, explica e orienta a forma como se aborda o currículo e que se caracteriza nas práticas pedagógicas e nas interações professor-aluno-objeto de conhecimento”.

Além destes aspectos, Behar *et al* (*ibid*, p. 5) lista os elementos de um modelo pedagógico para a modalidade de ensino à distância, mas que, adaptados, orientam também a proposta deste trabalho.

- i. No planejamento definem-se os propósitos da aprendizagem, organização do tempo e do espaço e expectativas na relação da atuação dos participantes;
- ii. Para o ensinamento do conteúdo, escolhem-se os materiais instrucionais e/ou recursos tecnológicos utilizados, ou seja, os objetos digitais de aprendizagem e o experimento físico;
- iii. Enquanto que nos aspectos metodológicos, definem-se as atividades, interações, procedimentos de avaliação e a organização de todos esses elementos numa sequência didática para a aprendizagem.

Com base nestas considerações, descrevem-se, a seguir, as partes que constituem o modelo pedagógico adotado na sequência didática que envolve o produto educacional desenvolvido.

### 2.1 Momentos pedagógicos

Em 1990, Delizoicov e Angotti, apresentaram a proposta de um programa de ensino de Física baseada em um tema central, as transformações entre as formas de energia, subdividido em eixos de apoio que abordam mecânica, fluidodinâmica, termodinâmica, eletrodinâmica,

eletromagnetismo fenômenos ondulatórios e introdução à física moderna. O livro Física é parte do projeto “Revisão Curricular da Habilitação Magistério: Núcleo Comum e Disciplinas Profissionalizantes” do Ministério da Educação (MEC) daquele ano com o intuito de fornecer subsídios para o ensino das disciplinas do núcleo comum, neste caso a Física.

Cada tópico (conjunto de conteúdos abordados em torno de uma situação-problema, equipamento, ...) é organizado em três partes: núcleo, objetivos e orientações ao professor (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990, p. 21). O núcleo faz referência ao texto introdutório que adianta o que será estudado naquele tópico. Os objetivos indicam as habilidades mínimas que os alunos deverão desenvolver durante o estudo e, assim, orientam o professor para o processo de avaliação. Nas orientações ao professor encontram-se indicações quanto à metodologia para o desenvolvimento dos conteúdos em nível teórico e experimental. A metodologia é fundamentada em três momentos pedagógicos descritos assim pelos autores:

- **Primeiro momento: problematização inicial.** O conteúdo é apresentado aos alunos que são instigados à discussão, partindo de questões ou situações problema trazidos pelo professor. Este momento tem função maior do que apenas a motivação pelo estudo, mas caracteriza-se por aproximar o conteúdo às situações reais vivenciadas pelo aluno. O professor assume uma postura mais voltada a “questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações” (DELIZOICOV apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 623). A problematização pode ocorrer em dois sentidos:

De um lado, estão as concepções alternativas dos alunos, aquilo de que o aluno já tem noções, fruto de aprendizagens anteriores. De outro, um problema a ser resolvido, quando o aluno deve sentir a necessidade de conhecimentos que ainda não possui (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 623).

Por fim, problematização pode fazer os alunos sentirem a necessidade de buscar conhecimentos que ainda não possuem e necessários para a completa compreensão do problema.

- **Segundo momento: organização do conhecimento.** Neste momento desenvolve-se o conteúdo necessário para responder aos questionamentos e dúvidas do momento anterior de forma a se chegar à compreensão do tema e da problematização inicial (ibid, p. 624). Para este fim, o professor pode utilizar de diferentes estratégias e atividades como textos, vídeos, experimentos, simulações, trabalhos extraclasse, formulação de questões, entre outras. É neste momento que se aprofunda definições, conceitos, leis, relações emergidas no primeiro momento. De acordo com os autores, a metodologia usada é diversificada: exposição pelo

professor; formulação de questões que desenvolvam habilidades de conceituação, análise e síntese; discussões a partir de textos coordenadas pelo professor, trabalho extraclasse; experimentos, realizados pelos alunos ou pelo professor (demonstração).

Em relação aos experimentos, alertam que estes não devem ser a “base de todo conteúdo” nem “apêndice da teoria”, e sim, ter uma relação complementar teoria-experiência. Nestes experimentos podem ser trabalhados: a construção de gráficos, a análise de tabelas ou a análise de fenômenos físicos pela observação.

- **Terceiro momento: aplicação do conhecimento.** É a etapa em que o aluno sistematiza e utiliza o conhecimento adquirido para explicar/compreender tanto o problema inicial quanto outros não abordados até então, mas relacionados ao mesmo conhecimento. Trata-se de um momento importante para o aluno perceber que o conhecimento está disponível para todos e que pode usá-lo em suas tarefas diárias. Quanto à metodologia para atingir este objetivo, os autores reconhecem serem as mesmas do momento anterior.

## 2.2 Diário de bordo

O diário de bordo se apresenta como um instrumento de reflexão sobre a prática pedagógica do professor. Não tange apenas ao relato das atividades desenvolvidas por ele e por seus alunos, vai além, incorporando impressões, opiniões, pensamentos e sentimentos sobre ela, incluindo o que deu certo ou errado (ALVES, 2001 apud DIAS, 2013, p. 4).

Também é um relato da relação do aluno com a atividade desenvolvida, tornando-se, assim, uma ferramenta de avaliação tanto da prática quanto do desempenho do próprio professor. Esse registro permite ao professor adequar o trabalho na medida em que é realizado ou até mesmo reestruturá-lo se necessário. Para Zabalda (2004, p. 10) constitui-se um momento de aprendizagem, visto que ao escrever sobre a prática retoma-se o passado num “distanciamento reflexivo que nos permite ver em perspectiva nosso modo de atuar”.

[...] podemos identificar as dificuldades encontradas, os procedimentos utilizados, os sentimentos envolvidos, as situações coincidentes, as situações inéditas e, do ponto de vista pessoal, como se enfrentou o processo, quais foram os bons e maus momentos por que se passou e que tipos de impressões e de sentimentos apareceram ao longo da atividade, ao longo da ação desenvolvida. É uma via de análise de situações, de tomada de decisões e de correção de rumos (BERTONI, 2004 apud DIAS, 2013, p. 4).

Ao passo que o êxito da atividade desenvolvida se dá na resposta dos estudantes a ela – isto é, no envolvimento, no comprometimento, na retenção do conhecimento e no



desenvolvimento cognitivo propriamente dito – se torna importante, no diário, a transcrição de falas dos estudantes, pois são nelas que se refletem todo o planejamento do professor colocado em prática naquele momento, e são a partir delas que se pode identificar todos os aspectos sobreditos.

Portanto, justifica-se a utilização do diário de bordo como forma de avaliação do produto educacional e da sequência didática desenvolvida neste trabalho tendo estabelecido o caráter subjetivo que tem a medição da aprendizagem de um conteúdo ensinado, que está, assim, intrinsecamente relacionado à metodologia utilizada durante o processo.

### **2.3 Discurso, linguagem e análise conteúdo**

Se a aprendizagem também ocorre por meio de interações sociais, é preciso propiciar momentos na sala de aula em que os estudantes tenham espaço para manifestar-se. Monteiro (2003) aponta nas atividades experimentais de demonstração uma forma de promover as interações professor-aluno e aluno-aluno e, assim, promover a aprendizagem do conteúdo. Segundo o autor, a atividade de demonstração “pode ter por objetivo desencadear momentos de reflexão sobre fenômenos físicos apresentados, não se limitando à apresentação ilustrativa dos equipamentos simplesmente para que sejam vistos e admirados pelos alunos”.

Logo, a forma interativa com a qual o professor conduz a atividade tem primordial relação com o processo de ensino-aprendizagem. Ao contrário do discurso retórico do professor em que “o aluno é passivo e o professor é quem define o rumo da aula” e do discurso socrático em que o professor “conduz os alunos a determinadas conclusões que ele julga corretas”, Monteiro defende a prática da argumentação dialógica em que o professor “incentiva o compartilhamento de ideias envolvidas no processo de ensino e de aprendizagem, a partir da confrontação de opiniões expostas por todos os envolvidos no trabalho em sala de aula”.

O professor deve priorizar o diálogo, falar e perguntar menos, ouvir e responder mais; estimular e buscar a manifestação dos alunos, preocupando-se mais com a capacidade de compreensão dos alunos do que com os conceitos por eles emitidos (MONTEIRO, 2003, p. 10).

Neste mecanismo, o professor valoriza a fala do aluno e se utiliza dela para conduzir a aula segundo seus objetivos. O autor descreve as categorias desse padrão discursivo que pode auxiliar o professor no planejamento da atividade experimental de demonstração (Quadro 2).

Quadro 2 - Categorias e características do discurso do professor.

DISCURSO DO PROFESSOR	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Argumentação Retórica	Contextualização	Professor que procura envolver o aluno com o tema a ser trabalhado em aula, apesar das ideias de os alunos não serem consideradas, toda e qualquer ação do professor é pensada e executada visando envolvê-los com o tema proposto constituindo um desafio e motivando o aluno pela questão a ser estudada.
	Exposição	Apresentação de ideias que possam subsidiar o aluno na compreensão de um determinado assunto. Esse encaminhamento é organizado pelo professor, quando este julga que os alunos necessitam de determinadas orientações para realizar as tarefas que ele determinou.
Argumentação Sócrática	Elucidação	Tem por objetivo tornar clara algumas ideias que foram expostas, mas não foram inteligíveis para alguns estudantes. É motivada por questões colocadas pelos alunos.
	Fornecimento de pistas	Visa dirigir o raciocínio dos alunos. É feita por meio de uma explicação, ou por intermédio do oferecimento de elementos que o sustentem numa trajetória de raciocínio, que possa conduzi-lo à resposta desejada, ou até mesmo por intermédio de uma sucessão de perguntas que levem os alunos a determinadas conclusões.
	Remodelamento	Destaca algumas ideias, apresentadas pelos próprios alunos, que ainda carecem de maior precisão e detalhes; oferece informações que preenchem lacunas conceituais dos alunos, dando contornos precisos e nítidos a uma ideia, aproximando-a da visão científica.
	Reespelhamento	Autoriza ou não as ideias e a fala dos alunos. Investido da autoridade discursiva, o professor, ao repetir com ênfase ou até mesmo ao gesticular favoravelmente, atribui legitimidade à ideia do aluno, inibindo posições em contrário. Entretanto, a partir dessa mesma autoridade, o professor pode, com uma negativa, ou mesmo com uma espera por outras respostas, indicar para o aluno que suas ideias não foram aceitas como corretas.
Argumentação Dialógica	Instigação	Visa incentivar os alunos a exporem suas opiniões e a iniciar o processo de interação em sala de aula.
	Contraposição	Fala do professor que tem por objetivo destacar alguma contradição nos argumentos apresentados pelos alunos ou gerar conflitos que possam desencadear a confrontação entre ideias no contexto de sala de aula.
	Organização	Busca sistematizar as ideias que surgem da participação dos alunos, com o intuito de situá-los nas concordâncias e discordâncias, oportunizando novas interações em sala de aula.
	Recapitulação	Sintetiza a conclusão das ideias discutidas pelos alunos.
	Recondução	Retoma o desenvolvimento de pertinência das discussões que se estabelecem em sala de aula. O professor regula a discussão definindo os limites e as derivações que não pertencem aos objetivos propostos pela aula.
	Fala Avaliativa	Investiga os motivos que levaram o aluno a externar uma determinada opinião. Se determinadas falas forem muito gerais e não permitirem ao professor uma avaliação adequada das ideias apresentadas, é útil questionar o aluno sobre os fundamentos de sua afirmação.

Fonte: Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de física. (MONTEIRO, 2003).

Com a mesma importância que a fala dos alunos tem para o professor na condução da atividade em sala de aula e, por consequência, no sucesso dela; a prática da escrita pode trazer muitos benefícios aos estudantes. Com o uso de estratégias de aprendizagem, como a da escrita, “é possível ajudar os alunos a exercerem maior controle e refletir sobre o próprio processo de aprendizagem” (BORUCHOVITH, 1999 apud TEIXEIRA, 2013). O ato de redigir um texto traz à tona aspectos importantes à aprendizagem: reflexão, organização e motivação.

A reflexão sobre o que vai escrever resgata informações na memória de trabalho<sup>2</sup> que precisam ser organizadas na escrita, o que pode levar à necessidade de busca por informações

<sup>2</sup> A memória de trabalho permite o armazenamento temporário de informações. A organização e significância que se dá a essas informações permite levá-las a um estágio cognitivo superior e, assim, à aprendizagem.

complementares para subsidiarem o texto. E essa busca pode ocorrer não apenas com objetivo de ajudar no trabalho, pois o resgate da atividade de aula pode levar o aluno a perceber lacunas e levantar dúvidas cuja procura por respostas pode motivá-lo a buscar conhecimento além da sala de aula. A inquietude e insatisfação surgem como elementos investigativos dando, à prática da escrita, traço motivacional.

Na retomada de uma atividade realizada, o aluno relembra conceitos, imagens, ideias. Organizá-las é condição primordial para o relato escrito. E, ao fazer isso, ele está criando os próprios modelos mentais, adequando o conhecimento passado com as novas informações. Ao dar sentido à informação na ação da escrita, evolui cognitivamente num processo piagetiano de assimilação, acomodação e equilíbrio. Acredita-se, desta forma, que o fato do aluno ser capaz de reunir e organizar informações e colocá-las no papel com vocabulário próprio é um sinal de apropriação do conhecimento.

Este relato escrito traz consigo informações de superior importância para o professor em relação à aprendizagem. Se o aluno usa termos do vocabulário comum ou adota termos da ciência, se agrupa informações em classes ou grupos conforme critérios estabelecidos por ele resultando num texto organizado e coeso, se constrói orações ou usa frases resultantes da fala do professor ou colegas, por exemplo, podem indicar o grau de apropriação do conhecimento obtido por ele.

Essa análise do conteúdo, portanto, guiará as atividades futuras para aqueles alunos ou a mesma atividade aplicada a outros alunos. Com base no resultado desta análise, vem a tomada de decisão do professor do quanto pode avançar ou se se faz preciso retomar o conteúdo, pois não se teve os objetivos alcançados.

A análise de conteúdo segundo os prescritos de Bardin (2004) vem contribuir nesta avaliação, podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa. Em termos quantitativos, é feita uma análise frequencial de palavras e termos. Isto é, conta-se o número de ocorrências de determinada informação que se julgue importante sem importar-se com seu significado. Este tipo de análise é uma boa estratégia para averiguar a mudança de vocabulário do aluno antes e depois da atividade. Por outro lado, pode-se analisar a ocorrência de ideias classificadas por “categorias temáticas”. Tais temas podem emergir do próprio texto ou serem pré-estabelecidos pelo professor. Neste caso, é necessário aprofundar-se no sentido do exposto para classificar ideias conforme aquilo que elas têm em comum. Logo, é preciso que o avaliador possua “qualidades psicológicas complementares como a fineza, a sensibilidade, a flexibilidade para apreender o que importa” (CAREGNATO; MUTTI, 2006, p. 683).

Portanto, a linguagem – seja na forma oral ou escrita – é o mecanismo de troca de informações nas interações sociais, assim como a escrita é uma forma de expressão que carrega consigo significados e elementos diagnosticadores. Essa expressão do conhecimento pode ser contabilizada e verificada por técnicas de análise como a AC amplamente utilizada em pesquisa na área de ciências humanas.

### 3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Com o objetivo de aprofundar os estudos da corrente elétrica alternada desenvolveu-se um aparato experimental que permite a visualização do sinal de corrente elétrica de um dispositivo ligado à rede elétrica doméstica. A partir desses dados é possível decompor o sinal elétrico em suas componentes harmônicas pelo método da Transformada Discreta de Fourier<sup>3</sup> (DFT, do inglês *discrete Fourier transform*), analisá-lo e reconstruir o sinal. Para isto, usa-se um toroide com sensor magnético de corrente, a placa Arduino como plataforma de captura de dados, um programa escrito em Python<sup>4</sup> para cálculo da DFT, e uma planilha de cálculo para visualização da forma de onda (FO)<sup>5</sup>, análise e reconstrução do sinal.

Como alternativa pode-se obter a visualização da FO através da entrada de microfone do computador e um software de captura de áudio. Nesta segunda escolha, pode-se fazer a análise de algumas propriedades do sinal, como amplitude, frequência e período, além de verificar na forma de onda a influência de uma carga (equipamentos elétricos ou eletrônicos) ligada à rede elétrica, mostrando-se, então, uma boa alternativa para aplicação na educação básica e para professores com pouca experiência com a placa Arduino ou planilhas de cálculo (Excel).

#### 3.1 Montagem do sensor de corrente

Para capturar uma amostra da FO da corrente elétrica de um eletrodoméstico, foi usado como sensor um toroide de material ferromagnético que é sensível ao campo magnético produzido pelo condutor de corrente que passa pelo seu interior (que chamamos de enrolamento primário, embora o enrolamento seja de apenas uma passagem do fio pelo interior do toroide). Na prática, ele funciona como um transformador de corrente, pois no enrolamento secundário, cujos condutores A e B são as pontas deste enrolamento (Figura 1), surge uma corrente proporcional à corrente que circula pelo eletrodoméstico que será conectado à tomada elétrica. Desta forma, uma corrente elétrica alternada passando pelo

---

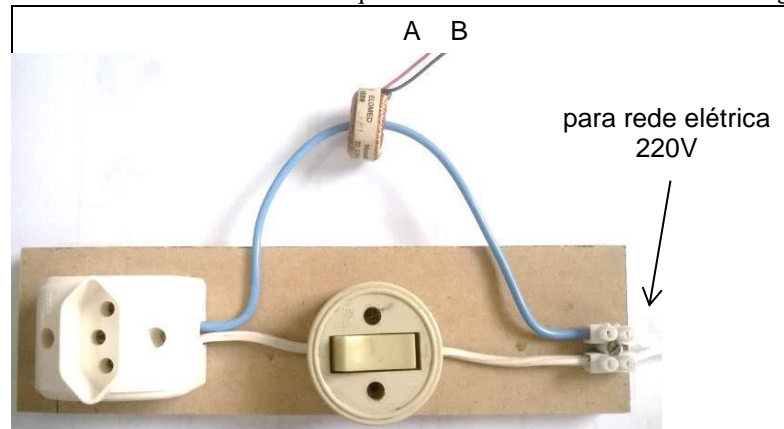
<sup>3</sup> Este trabalho não tem como objetivo desenvolver o método da DFT. Por este motivo foi usada a linguagem Python que possui bibliotecas de computação científica com esta implementação.

<sup>4</sup> Python é uma linguagem de programação de alto nível, multiplataforma e que agrega bibliotecas de computação científica e gráfica, compatível com as versões mais recentes dos sistemas operacionais Windows e baseados em Linux.

<sup>5</sup> A corrente elétrica produz um sinal lido pelo conversor analógico digital que pode ser medido e representado num gráfico em função do tempo. Neste trabalho, usaremos o termo forma de onda (FO) para referir-se à forma do sinal, cujo valor varia com o tempo.

interior do toroide, produz variação do campo magnético em seu entorno induzindo uma diferença de potencial nos terminais A e B (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Figura 1 - Conjunto de peças que compõem a parte de instalação do sensor de corrente toroidal. Os terminais A e B do sensor serão conectados ao circuito eletrônico que vai fazer a conversão do sinal analógico em digital.



Fonte: o autor, 2016.

O toroide, com o seu enrolamento, utilizado nestas medições é fabricado pela empresa *Toroid*, possui núcleo de material ferromagnético e relação de corrente de 20/0,04 A entre o primário e o secundário. Isto significa que o enrolamento do secundário (ligado aos terminais A e B da Figura 1) foi dimensionado para conduzir uma corrente de 0,04 A quando circular uma corrente de 20 A pelo condutor que passa pelo furo (orifício central) do toroide.

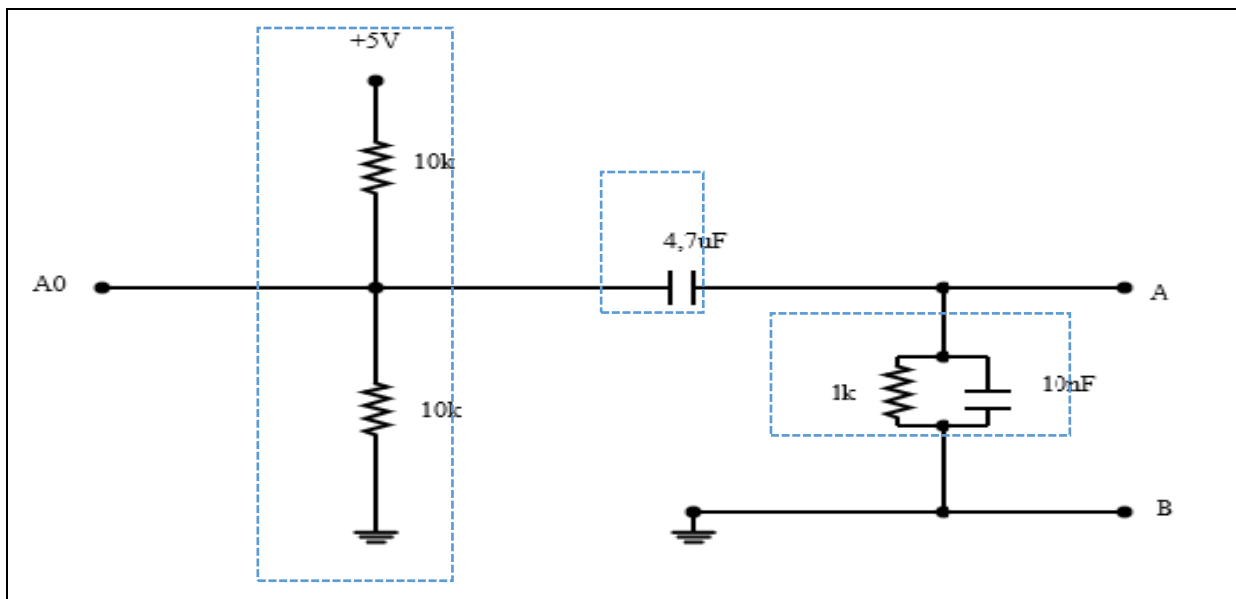
Essa redução de corrente é necessária para não causar danos à placa Arduino, pois é utilizando ela que se farão medidas de valores de corrente elétrica ao longo do tempo obtendo a FO da corrente no primário e decompô-la em suas harmônicas através do método da DFT.

O circuito que conecta o toroide ao Arduino (Figura 2) possui três elementos importantes:

1. Os dois resistores de 10 k $\Omega$  estão no circuito para proporcionar uma tensão de 2,5 V no pino A0 da placa Arduino. Isto é necessário porque as tensões neste pino somente podem variar entre os limites de 0,0 V e +5,0 V quando a tensão no terminal A do resistor de 1,0 k $\Omega$  variar entre valores negativos e positivos. Ou seja, a porta A0 do Arduino não aceita valores negativos.
2. O capacitor de 4,7  $\mu$ F é utilizado para evitar que a tensão de 2,5 V no pino A0 produza uma corrente contínua circulando pelo resistor de 1 k $\Omega$  e pelo enrolamento secundário do toroide.
3. O capacitor de 10 nF é um capacitor de filtro. Ele produz uma impedância capacitiva muito baixa para frequências muito mais altas do que 60 Hz, que é a

frequência de interesse. Se a impedância é baixa, a tensão também será e estes sinais de alta frequência serão atenuados pela presença deste capacitor. Ou seja, as frequências de 60 Hz terão uma tensão maior do que aquelas de frequências maiores. Este capacitor de filtro é necessário para diminuir a tensão a partir da frequência de corte, o que é uma exigência para o uso correto dos conversores analógicos-digitais.

Figura 2 - Circuito para ajustar os valores de corrente que chegam do enrolamento secundário do toroide (A e B) aos valores de tensão elétrica que o Arduino necessita (0,0 V a 5,0 V).



Fonte: o autor, 2016.

### 3.2 Usando microfone do PC para a visualização da FO da corrente elétrica

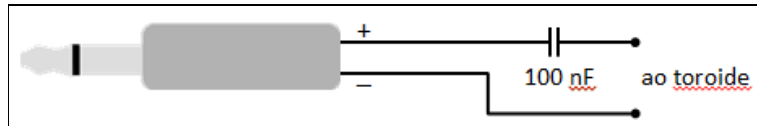
O Audacity<sup>6</sup> é um *software* de captura, reprodução e edição de sons que surge, também, como uma ferramenta de apoio ao ensino de Física. Ele aproveita o *hardware* do computador como a tela e a sua placa de som. A entrada do microfone captura as informações de grandezas físicas utilizadas nos experimentos e estas informações são apresentadas na tela do computador. A possibilidade de que a entrada do microfone pode capturar sinais de tensões e correntes elétricas e não apenas som é explorada no experimento de visualização da forma de onda da CA.

Ao ligar a lâmpada mostrada na Figura 1 na fonte de tensão alternada, a corrente elétrica que percorre o fio produz no toroide um campo magnético variável. A variação do fluxo magnético no toroide induz uma corrente elétrica alternada no enrolamento secundário

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.audacityteam.org>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

(o primário é o condutor ligado à lâmpada). Uma das pontas do secundário é ligada ao ponto de referência do cabo ligado ao conector do microfone do computador. A outra ponta do secundário é ligada a um capacitor de 100 nF/100 V que, por sua vez é ligado ao conector central do microfone (que pode ser uma das duas entradas, se for microfone estéreo). A Figura 3 mostra esta ligação.

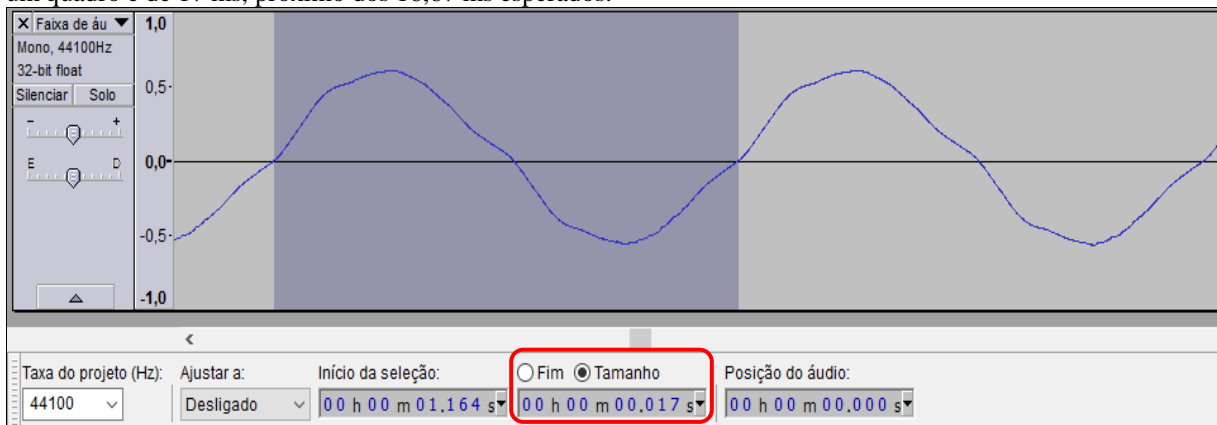
Figura 3 - O capacitor separa a bateria do computador (que alimentaria o microfone externo) do circuito do toroide.



Fonte: o autor, 2016.

Desse modo, a variação da tensão elétrica nos terminais do toroide pode ser visualizada na tela do Audacity, como mostra a Figura 4, abaixo.

Figura 4 - Forma de onda da corrente elétrica de uma lâmpada incandescente de 15 W ligada a uma tomada elétrica de 220 V e 60 Hz. Observe que o valor do tamanho da seleção na parte do desenho que foi marcada com um quadro é de 17 ms, próximo dos 16,67 ms esperados.



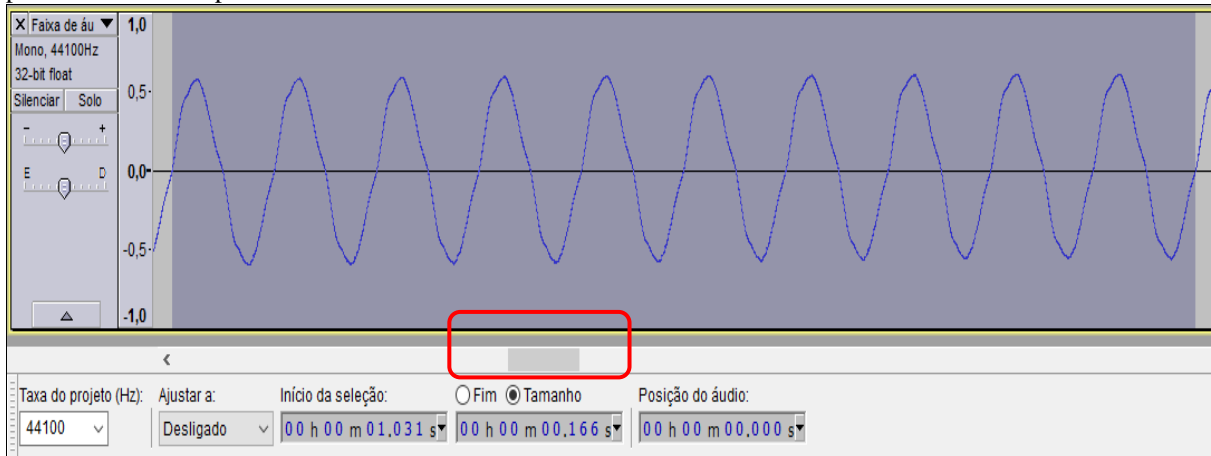
Fonte: o autor, 2016.

Com esta técnica podemos identificar e analisar algumas das propriedades da onda como período, frequência e amplitude. O medidor de tamanho do Audacity (em realce na Figura 4 permite medir a período da onda e por consequência calcular a sua frequência. Observando que o período foi medido em 17 ms, e a frequência é o inverso dele ( $f = 1/T$ ), então obtém-se a frequência de 59 Hz, valor este próximo dos 60 Hz esperados da rede elétrica.

Com a medida do período correspondente a um número maior de ciclos (Figura 5), aproxima-se mais do valor esperado. Esta estratégia retoma técnicas de laboratório importantes para o aluno que inclui competências previstas pelos PCN's e pela BNCC e emerge assuntos como erros de medida e Algarismos significativos.



Figura 5 - Medida do tempo de dez ciclos completos da forma de onda da corrente elétrica de uma lâmpada incandescente de 15 W ligada a uma tomada elétrica de 220 V e 60 Hz, destacando o período 16,6 ms, na média, para uma onda completa.

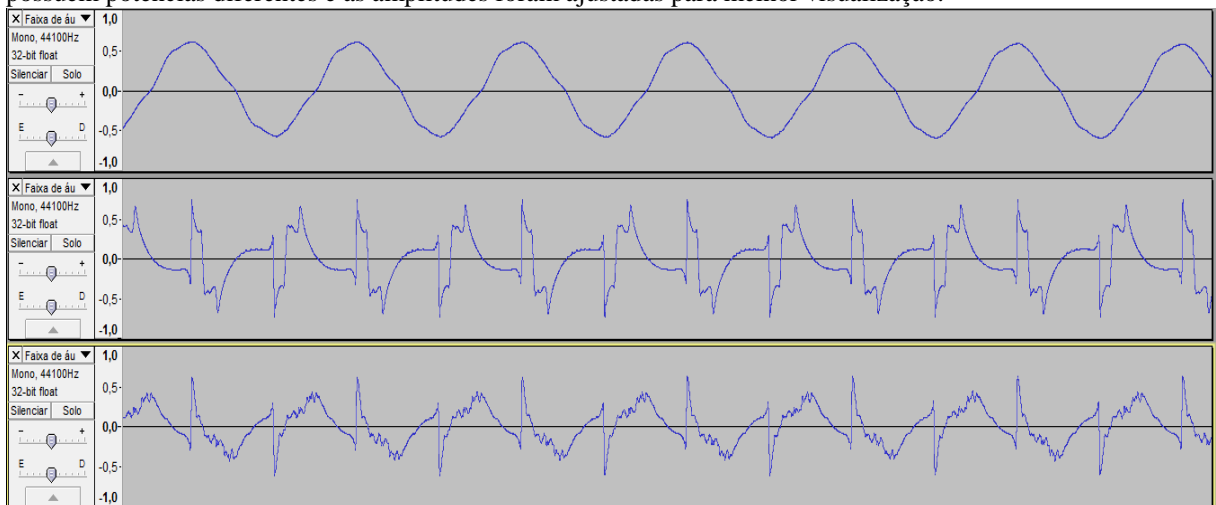


Fonte: o autor, 2016.

Para se trabalhar a amplitude, troca-se a lâmpada de 15 W por outras de maior ou menor potência, de modo a verificar a influência desta variável na amplitude da onda mostrada na tela do Audacity.

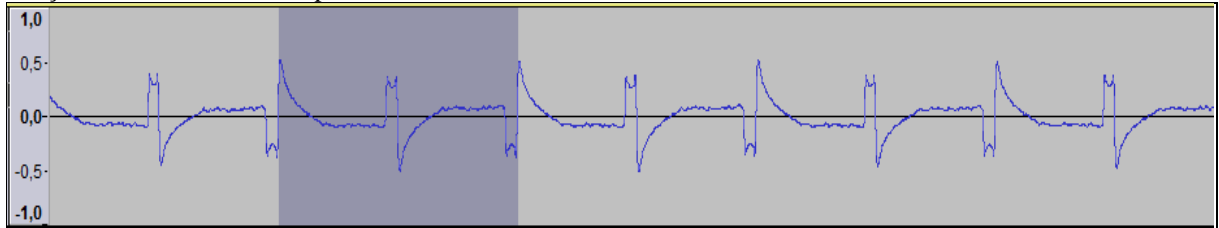
Entretanto, fazendo a troca da lâmpada incandescente por outra de outro tipo, eletrônica ou LED, por exemplo, ou outro equipamento eletrônico, verifica-se a mudança na forma de onda (Figura 6 e Figura 7) o que encaminha para a explicação do funcionamento de fontes chaveadas, descrito na seção 3.3.3, que são mais comuns nos eletrodomésticos atualmente.

Figura 6 - Forma de onda de três tipos de lâmpadas. A faixa superior corresponde a uma lâmpada incandescente; a do centro, uma lâmpada eletrônica (fluorescente compacta); e a inferior, uma lâmpada LED. As lâmpadas possuem potências diferentes e as amplitudes foram ajustadas para melhor visualização.



Fonte: o autor, 2016.

Figura 7 - Forma de onda para um carregador de notebook 64 W / 100-240 V, ligado a uma tomada 220 V. A seleção mostra um ciclo completo.



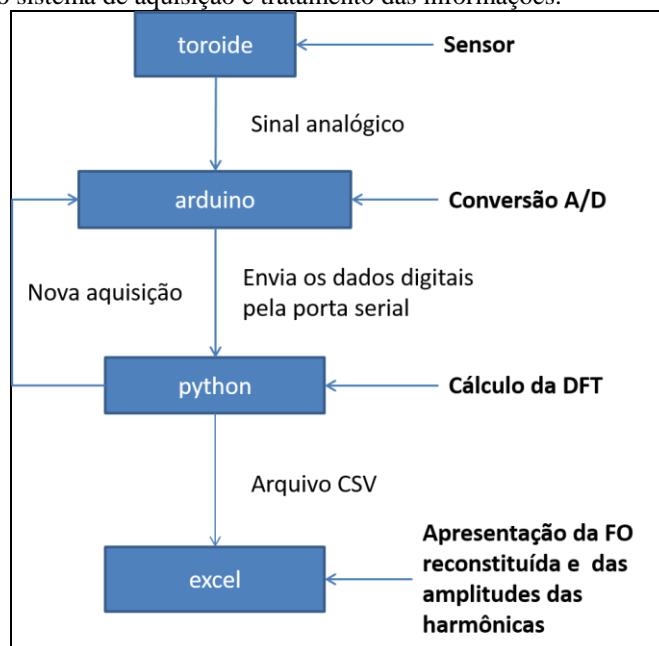
Fonte: o autor, 2016.

### 3.3 Usando o sistema de aquisição e análise do sinal de corrente elétrica

Neste sistema, a tensão analógica enviada pelo toroide é convertida pelo Arduino para o seu equivalente digital. Uma implementação na linguagem Python recebe estes dados e executa o cálculo da DFT alimentando um arquivo de extensão CSV (Comma Separated Values). Este tipo de arquivo possibilita a troca de dados entre aplicativos e planilhas eletrônicas. Assim, fazendo uma conexão de dados com este arquivo no Excel, a planilha é atualizada sempre que o algoritmo for novamente executado.

Para maior agilidade no uso pelo professor em sala de aula, desenvolveu-se um aplicativo, que inclui um arquivo macro do Excel (disponível no endereço [goo.gl/GGBmCn](http://goo.gl/GGBmCn)), que automatiza a sequência de passos mostrados na Figura 8. As instruções de instalação e uso do aplicativo estão no livreto “*Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada de eletrodomésticos*”.

Figura 8 - Fluxograma do sistema de aquisição e tratamento das informações.



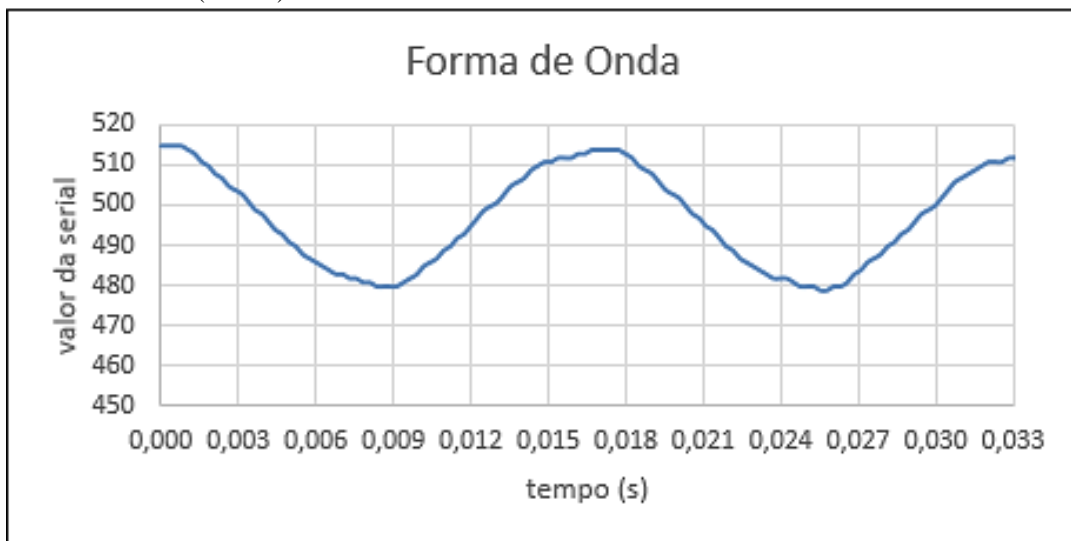
Fonte: o autor, 2016.

### 3.3.1 Forma de onda produzida pela lâmpada incandescente de 15 W

A tensão aplicada à lâmpada é fornecida pela concessionária de energia. Esta concessionária tem como obrigação ao consumidor fornecer uma tensão senoidal de 60 Hz. Uma lâmpada incandescente é construída com um filamento de material de alto ponto de fusão e que, se aquecido pelo movimento dos elétrons em seu interior, oferece uma resistência à circulação da corrente. Por se comportar como uma resistência ôhmica depois de aquecida, a lâmpada é percorrida por uma corrente que varia também de forma senoidal, da mesma forma como a tensão.

Conectando uma lâmpada elétrica à tomada da montagem mostrada na Figura 1, capturamos a variação da corrente que circula por ela. Utilizando o sistema descrito obtivemos, na Figura 9, uma forma de onda senoidal.

Figura 9 - Forma de onda (ou forma do sinal) produzida por uma lâmpada incandescente de 15 W. Observe que a diferença entre os picos mínimo e máximo da FO é de aproximadamente 35 pontos (entre 480 e 515), ou seja, o valor de pico é aproximadamente 17,5 na escala de 0 a 1023. Esta escala refere-se aos valores que o conversor A/D do Arduino utiliza (10 bits).



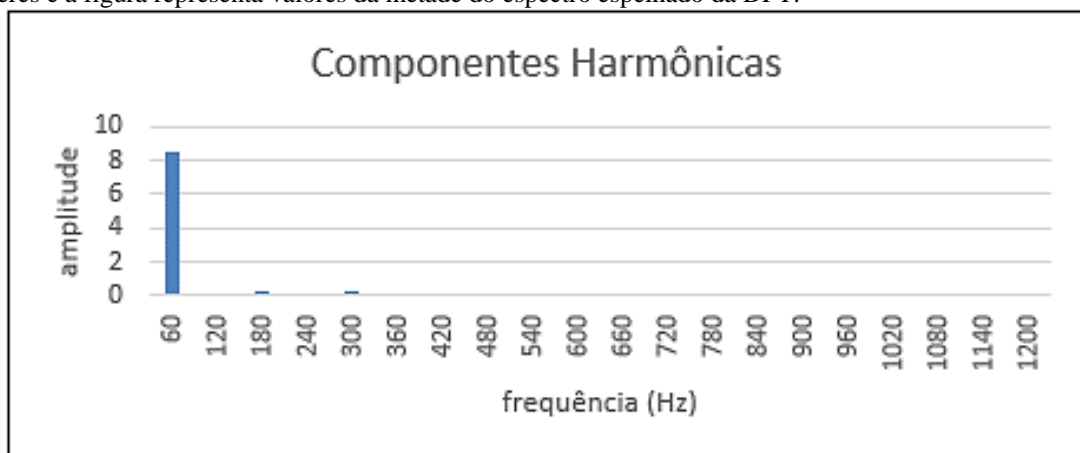
Fonte: o autor, 2016.

A forma senoidal era a esperada, pois a lâmpada se comporta como uma resistência ôhmica. Os valores do eixo das ordenadas ainda estão na escala entre 0 a 1023 (obtidos pela conversão analógica para digital). Optou-se por deixar os valores nesta escala em função da possível dificuldade das escolas terem à disposição os medidores necessários para fazer a transformação destes valores para valores de corrente elétrica. Caso a escola tenha um osciloscópio digital calibrado e o professor tenha o conhecimento necessário para utilizá-lo, é possível fazer a calibração do sistema para a conversão destes para valores de corrente

elétrica, ou seja, valores em Ampères. Neste texto, não há esta preocupação com valores corretos, mas sim com a FO.

A Figura 10 representa as componentes harmônicas e suas respectivas amplitudes que constituem a forma de onda, dadas pela transformada de Fourier. Nota-se a predominância do harmônico 60 Hz e que o valor da amplitude deste harmônico é aproximadamente 8,3 pontos na escala de 0 a 1023. Este é um valor próximo da metade de 17,5, obtido na aquisição mostrada e comentada na legenda da Figura 9. A amplitude correta da componente harmônica de 60 Hz da Figura 10 seria um valor próximo de 17,5 e não de 8,3. Ocorre que o algoritmo que foi utilizado apresenta valores correspondentes à metade do espectro de frequência e optou-se por deixar desta forma no texto para evitar dúvidas aos usuários futuros do mesmo algoritmo. Se for realizada uma “correção” deste valor obtido pela DFT, ocorreria um erro na operação da inversa da DFT. Por esta razão didática, estes valores originais, oriundos dos algoritmos da DFT e da DFT inversa, foram mantidos no texto e acrescentado este breve comentário.

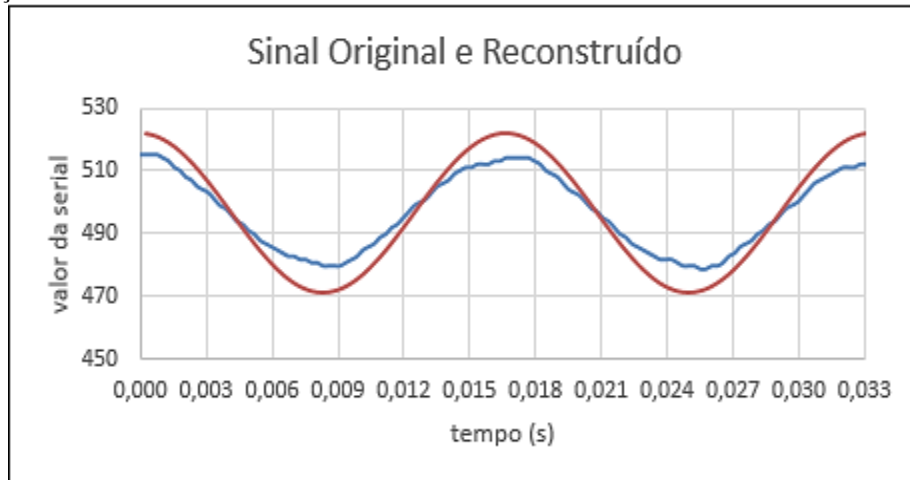
Figura 10 - Componentes harmônicas para a lâmpada incandescente de 15W. As amplitudes ainda não estão em Ampères e a figura representa valores da metade do espectro espelhado da DFT.



Fonte: o autor, 2016.

A partir do valor da amplitude de cada harmônica da Figura 10 e de suas respectivas frequências, é possível reconstruir a forma de onda original que gerou estas harmônicas, executando a Transformada Inversa Discreta de Fourier, que, no caso, é feita pela planilha Excel. A Figura 11 mostra uma comparação visual entre as duas ondas: original e reconstruída somente com a harmônica de 60 Hz. Esta reconstrução já considera que amplitude de 8,3 da Figura 10 deve ser duplicada, considerando que ela representa metade do espectro (espelhamento do espectro). Este texto não é apropriado para detalhar as opções de obtenção de uma DFT e sua inversa. Deixa-se isto para os textos de cursos universitários desta área.

Figura 11 - Comparação entre a forma de onda obtida a partir dos dados capturados pelo Arduino e o harmônico puro de 60 Hz. Em vermelho, o sinal reconstruído do harmônico de 60 Hz com ampliação de 1,5 vezes para que sua visualização não coincida com a linha azul.

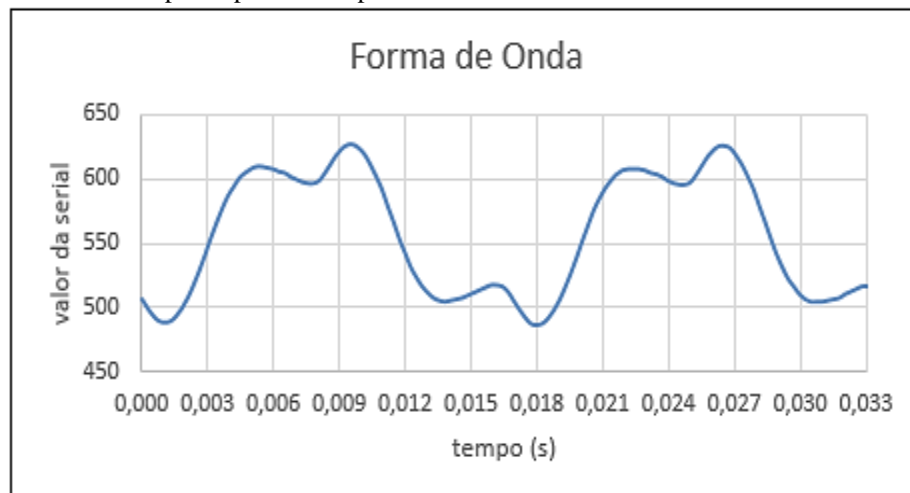


Fonte: o autor, 2016.

### 3.3.2 Forma de onda produzida por um ventilador de 60W

Foi realizado outro teste com um tipo de equipamento doméstico que não se comporta como uma resistência ôhmica, pois possui indutores e circuitos magnéticos envolvidos no seu funcionamento. No caso, obteve-se a forma de onda da tensão sobre um ventilador doméstico, de potência 60 W mostrada na Figura 12.

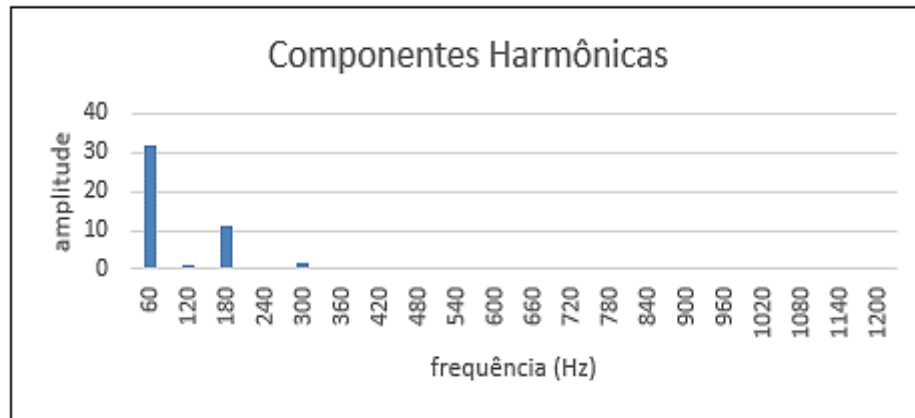
Figura 12 - Duas ondas completas produzidas por um ventilador.



Fonte: o autor, 2016.

O cálculo da transformada de Fourier mostra as frequências de 60Hz e 180Hz (1° e 3° harmônicos) como predominantes na formação do sinal elétrico produzido pela inserção do ventilador no circuito de aquisição (Figura 13).

Figura 13 - Harmônicos da corrente de um ventilador doméstico.



Fonte: o autor, 2016.

De forma similar ao exemplo anterior, com a lâmpada de 15 W, o arquivo gerado pela aplicação Python fornece uma lista das frequências harmônicas com suas respectivas amplitudes e diferenças de fase (Tabela 1), e dessa forma, pode-se recriar o sinal original pela soma dessas ondas. Dois aspectos sobre estes dados devem ser salientados para proceder com a reconstrução:

- a frequência zero corresponde a um fator de translação da curva reconstruída no eixo das ordenadas e que, neste caso, corresponde a uma tensão elétrica de aproximadamente 2,5 V adicionada ao sinal da corrente para que o Arduino pudesse fazer a leitura corretamente (veja o divisor de tensão proporcionado pelos dois resistores de 10 k $\Omega$  da Figura 2);
- o método apresenta resultados espelhados para as frequências harmônicas e, portanto, as amplitudes mostradas na Tabela 1 representam a metade da amplitude que deve ser considerada para aquela frequência na reconstrução da FO.

Tabela 1 - Dados do arquivo de saída da aplicação Python que calcula a DFT do sinal para o ventilador. Foram suprimidos os harmônicos maiores que 600 Hz por não terem amplitude significativa.

Harmônico Freq. (Hz)	Amplitude (valor da serial)	Ângulo de Fase (rad)
0	557	0,000
60	31	-2,937
120	1	-2,519
180	11	1,016
240	0	1,855
300	2	0,302
360	0	1,680
420	1	0,710
480	0	1,561
540	0	0,657
600	0	1,508
⋮	⋮	⋮

Fonte: o autor, 2016.

Assim, a curva reconstruída pelas duas harmônicas predominantes (60 Hz e 180 Hz) é dada pela relação:

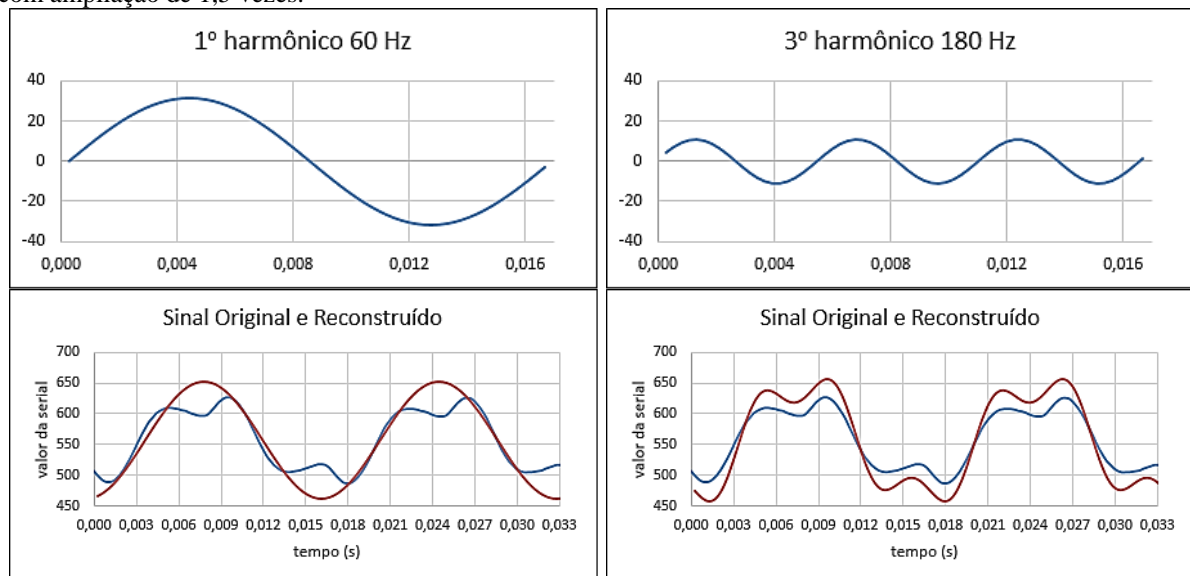
$$y(t) = y_0 + 2 \cdot y(t)_{60} + 2 \cdot y(t)_{180} \quad (1)$$

Onde  $y_0$  é a amplitude da frequência zero,  $y(t)_{60}$  e  $y(t)_{180}$  são as curvas referentes aos harmônicos de 60 Hz e 180 Hz, respectivamente. Para os dados do exemplo mostrado na Tabela 1, a Equação 1 se escreve da seguinte forma:

$$y(t) = 557 + 2 \cdot [31 \cdot \cos(2\pi \cdot 60 \cdot t - 2,94) + 11 \cdot \cos(2\pi \cdot 180 \cdot t + 1,02)] \quad (2)$$

A curva traçada por esta equação é representada pela curva vermelha da Figura 14.

Figura 14 - Reconstrução da FO produzida pelo ventilador. À esquerda, a aproximação com o 1º harmônico; à direita, a aproximação com a influência do 3º harmônico. As curvas em vermelho são os sinais reconstruídos com ampliação de 1,5 vezes.



Fonte: o autor, 2016.

### 3.3.3 Fontes lineares versus fontes chaveadas

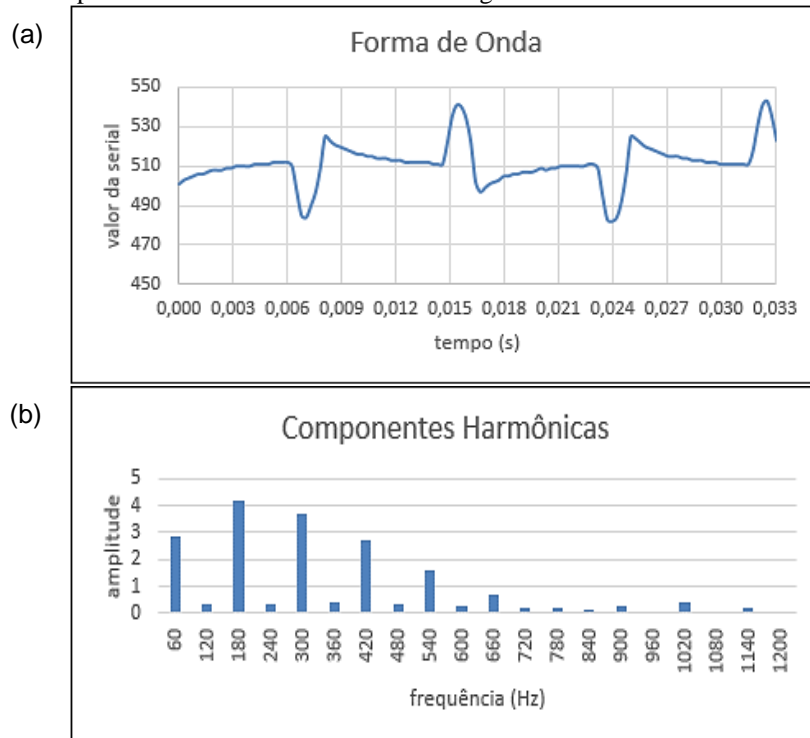
Um carregador de celular constitui-se de uma fonte chaveada, a qual substitui o circuito tradicional com transformador de 60 Hz por um outro conjunto de componentes eletrônicos, incluindo, principalmente, um circuito integrado que regula a tensão de saída através da modulação por largura do pulso (PWM, do inglês *Pulse-Width Modulation*). Isto é,

durante o ciclo de chaveamento, ocorre a carga e descarga de energia armazenada por componentes como indutores, capacitores ou transformadores (MEHL, 2016).

Nas fontes chaveadas, a frequência de 60 Hz da rede é elevada à ordem de quilohertz na operação do circuito. E, com frequências maiores, pode-se reduzir as dimensões físicas dos componentes magnéticos, em especial o transformador, o que representa uma das vantagens no uso deste tipo de fonte nos equipamentos modernos. Entretanto, o aumento da frequência de operação provoca o aparecimento de alguns harmônicos na corrente elétrica desta fonte chaveada. O surgimento destes harmônicos pode ser observado na Figura 15 que apresenta o resultado obtido pela DFT do sinal devido à presença da fonte chaveada de um carregador de telefone celular.

Da mesma forma que anteriormente, pode-se reconstruir o sinal a partir dos harmônicos que o compõem, cujos dados são fornecidos pela aplicação Python. Entretanto, o importante a ressaltar neste exemplo é o surgimento de frequências distintas da rede elétrica, cujas amplitudes superam a da frequência fundamental (60 Hz). Estas tensões podem provocar interferência elétrica perceptível em outros equipamentos ligados à mesma rede.

Figura 15 - (a) Forma de onda produzida pela corrente elétrica de um carregador de telefone celular e (b) os harmônicos de 60 Hz presentes na corrente elétrica do carregador.



Fonte: o autor, 2016.



## 4 PROPOSTA DE APLICAÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma sugestão de aplicação do produto educacional desenvolvido para a visualização da forma de onda da corrente elétrica alternada, no ensino médio. Contudo, as possibilidades de uso do experimento são mais amplas, podendo, a sugestão aqui apresentada, ser adaptada para o ensino técnico.

### 4.1 Distribuição das aulas

Como sugestão de aplicação do experimento de visualização da CA, foi elaborada uma sequência didática conforme o Quadro 3. Tal distribuição de aulas foi pensada de forma a serem trabalhados os pré-requisitos ao estudo de CA; introdução aos conceitos de eletromagnetismo essenciais à compreensão dos resultados da experimentação, e apresentação de elementos da tecnologia digital exemplificando algumas aplicações. Cada aula tem duração de cem minutos, correspondente a dois períodos de cinquenta minutos cada.

Quadro 3 - Distribuição de aulas e conteúdos trabalhados.

Aula 1	24/08/2016	Oscilações e ondas I	Revisão sobre movimento periódico, oscilações e ondas; Período, frequência, amplitude.
Aula 2	31/08/2016	Oscilações e ondas II	Demonstração das qualidades fisiológicas do som com Audacity; Relação entre altura, intensidade e timbre com os elementos da onda.
Aula 3	14/09/2016	Energia e meio ambiente	Matriz energética brasileira, meios de geração de energia (hidrelétrica, eólica, termoeletrica, nuclear, solar), impactos ambientais.
Aula 4	21/09/2016	Caminho da energia elétrica	Geradores, linhas de transmissão, subestações, AC x DC. Apresentação de vídeos.
Aula 5	28/09/2016	Gerador eletromagnético	Princípios do eletromagnetismo com simuladores PHET: campo magnético, polos magnéticos, lei de Ampère e lei de Faraday.
Aula 6	05/10/2016	Atividade experimental	Aplicação do experimento de visualização da forma de onda; Implicações da mudança da FO na rede; Discussão dos resultados.
Aula 7	19/10/2016	Compreendendo o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	Elaboração pelos alunos de um texto descritivo do caminho da energia elétrica desde sua geração até a sua utilização.
Aula 8	26/10/2016	Compreendendo os dispositivos digitais	Conversão analógico digital; Sistema binário; Análise de sinais digitais; Vantagens do uso (som, imagem, transmissão de dados).

Fonte: o autor, 2016.

As aulas 1 e 2 não são propriamente referentes ao conteúdo da proposta de trabalho, entretanto, são importantes pela revisão de conceitos abordados durante o estudo de corrente elétrica alternada. Além disto, na discussão dos resultados do experimento pretende-se relacionar os elementos de onda com características elétricas das cargas, assim como as analogias feitas com as qualidades fisiológicas, abordagem realizada na aula 2.

A aula 3 tem por objetivo estimular questionamentos sobre uso e geração de energia elétrica. Esta aula tem tanto a função de levantar conhecimentos dos estudantes sobre o assunto, quanto servir de organizador prévio. Sendo complementada pela aula 4, faz parte do primeiro momento pedagógico, que se refere à problematização, de acordo com a metodologia Momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti, abordada na seção 2.1 e escolhida para aplicação desta sequência didática.

A aula 5 é planejada para servir como introdução aos conceitos de eletromagnetismos fornecendo, assim, subsídios para retomada e elaboração de explicações para as questões levantadas durante a etapa de problematização. Esta aula tem como instrumento de ensino o simulador PhET “*Laboratório de eletromagnetismo de Faraday*”<sup>7</sup>. Na sexta aula é feita a aplicação do produto educacional: o experimento de visualização da forma de onda. Nesta aplicação também se faz uso dos conceitos levantados na aula anterior. Estas duas aulas referem-se ao segundo momento pedagógico, ou seja, organização do conhecimento.

A sétima aula é reservada à atividade de avaliação, na qual os alunos, em posse de suas anotações, materiais disponibilizados pelo professor, livro didático ou outra fonte de pesquisa, elaboram um texto centrado no tema “geração, transmissão e distribuição de energia elétrica”, de forma a contemplar o terceiro momento pedagógico, a aplicação do conhecimento. Por fim, a oitava aula aborda o tema tecnologia digital. Com base na descrição do aparato experimental e seu funcionamento é feita uma introdução aos dispositivos digitais e à conversão analógico digital, visto que o tema ainda não foi introduzido, de fato, no currículo escolar e a compreensão do mundo tecnológico passa pelo conhecimento destes elementos.

## **4.2 Descrição das aulas**

### *4.2.1 Aula 1: Oscilações e ondas I*

A aula teve início com a revisão de movimentos oscilatórios, tendo como exemplo o movimento de um pêndulo simples. O objetivo foi fixar os conceitos elementares como período, frequência e amplitude de oscilação, assim como a relação entre eles. Foi utilizado um pêndulo, construído com uma pequena esfera de chumbo usada para pesca, preso por uma linha de costura, colocado a oscilar. Primeiro, foi definido aos estudantes o significado

---

<sup>7</sup> Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

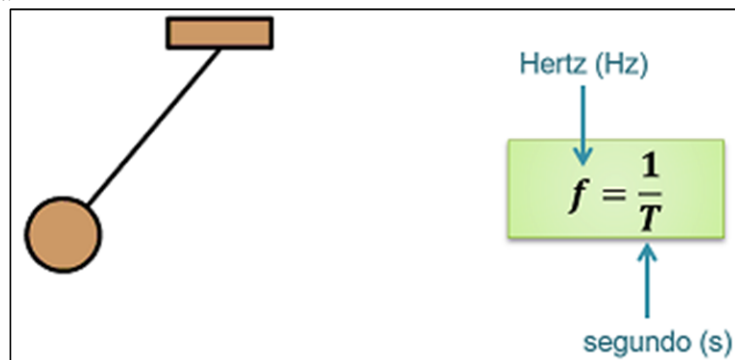
de uma oscilação completa e posteriormente eles foram desafiados a cronometrar o tempo de uma oscilação. Socializando os resultados, eles perceberam a dificuldade de se fazer essa medida com precisão. Então, foi pedido a eles que cronometrassem o tempo de cinco oscilações. As cinco oscilações foi uma escolha aleatória do professor. Em momento posterior, alterando o comprimento do pêndulo, foi pedido aos alunos que cronometrassem o tempo de dez oscilações completas. Nos dois momentos, obteve-se o período de oscilação pela média:

$$\text{período} = \frac{\text{tempo total}}{\text{num. de oscilações}} \quad (3)$$

Os resultados de cada estudante foram novamente expostos, discutindo-se, assim, os erros de medida, assim como formas de reduzir estes erros, que neste caso foi medir um número maior de oscilações e realizar a média, conforme a Equação 3. Os alunos perceberam que contando um número maior de oscilações teriam resultados mais parecidos com os dos colegas (Diário de bordo, 2016).

Para esclarecer o conceito de frequência, foi utilizada a animação de um pêndulo elaborada pelo autor<sup>8</sup>, cujo período de oscilação corresponde a exatos dois segundos, apresentado na Figura 16. Quando perguntados quantas oscilações aquele pêndulo completava em um segundo, os alunos conseguiram inferir que o pêndulo levou um segundo para ir de um extremo a outro e mais um segundo para voltar e, dessa forma, a resposta correta deveria ser meia oscilação. “Com este exemplo, mesmo antes de definir a relação matemática entre período e frequência, me pareceu que ficou muito claro o significado de frequência de oscilação e da unidade Hertz” (Diário de bordo, 2016).

Figura 16 - Recorte do *slide* apresentado aos alunos mostrando a simulação de um pêndulo simples de período 2 segundos. Foi destacado que o uso do segundo como unidade de tempo permite que o Hertz seja utilizado como unidade de frequência.



Fonte: o autor, 2016.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://youtu.be/gdStkwo9FT0>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

#### 4.2.2 Aula 2: Oscilações e ondas II

Esta aula teve por objetivo o estudo de ondas mecânicas com foco nos elementos de onda (comprimento de onda, período, frequência, amplitude e forma de onda). Para isto, optou-se pelo estudo de acústica de forma a tornar a aula mais dinâmica e atraente com a utilização de um gerador de frequências, um sintetizador de sons e o programa de gravação e edição de áudio Audacity. O Audacity é usado no estudo da forma da onda da CA como descrito na seção 3.2 e, desta forma, o seu uso neste momento também é uma forma do aluno habituar-se ao programa e seus recursos. Assim, no momento que for usado para o estudo da CA, ele irá dar atenção ao conteúdo e não o uso do programa, a exemplo do que ocorreu ao andar desta aula.

Em diversos momentos os alunos perguntavam sobre o programa, para que servia, como usava, ou se podiam baixar no computador, etc. A aula durou mais tempo do que o previsto, pois foi preciso repetir as atividades, visto que a turma prestou mais atenção em como eu usava o Audacity do que no conteúdo que eu queria ensinar. Mas, isto já era previsto, pois sempre que eu uso um aplicativo novo eles ficam muito curiosos (Diário de bordo, 2016).

A metodologia descrita a seguir está baseada na proposta de ensino de acústica de Pieri, Dionisio e Caporal (2017). Para gerar sons de diferentes frequências e timbres, utilizou-se o aplicativo *Tone Generator* para *WindowsPhone* (Figura 17). O aplicativo permite gerar sons de 20 Hz a 20 kHz<sup>9</sup> e, também, sinais de formas senoidal, dente de serra e quadrada. Com ele foram demonstradas as características sonoras (intensidade, altura e timbre) e suas relações com os elementos de onda (amplitude, comprimento e forma de onda).

O estudo de cada característica ocorreu com a comparação entre a visualização da onda mostrada pelo Audacity e a percepção sonora dos participantes na atividade. Para cada etapa, que se destina estudar um elemento da onda mecânica, procedeu-se nos quatro momentos seguintes:

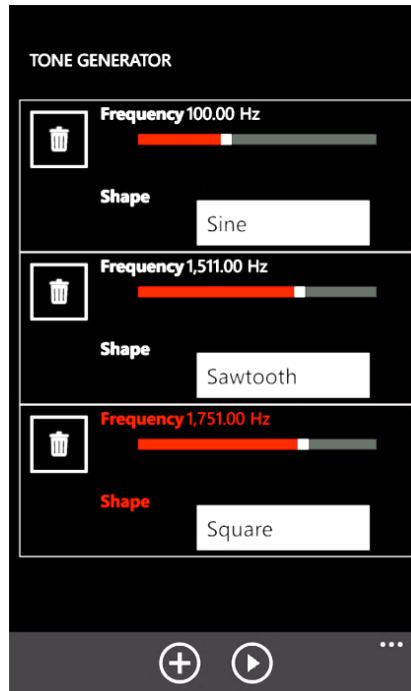
- i. Escutar o som emitido pelo celular;
- ii. Fazer a gravação do som no Audacity;
- iii. Visualizar o resultado na tela do Audacity;
- iv. Retomar a ausculta no Audacity.

---

<sup>9</sup> Apesar de o aplicativo permitir configurar sons de frequências entre 20 Hz e 20kHz, o autofalante do aparelho celular usado não emite sons em toda esta faixa de frequência. Conseguiram-se bons resultados na faixa entre 100 Hz e 12 kHz.

Estas quatro etapas são acompanhadas por intervenções do professor, promovendo discussão a respeito do som escutado em comparação com o resultado apresentado na tela do computador.

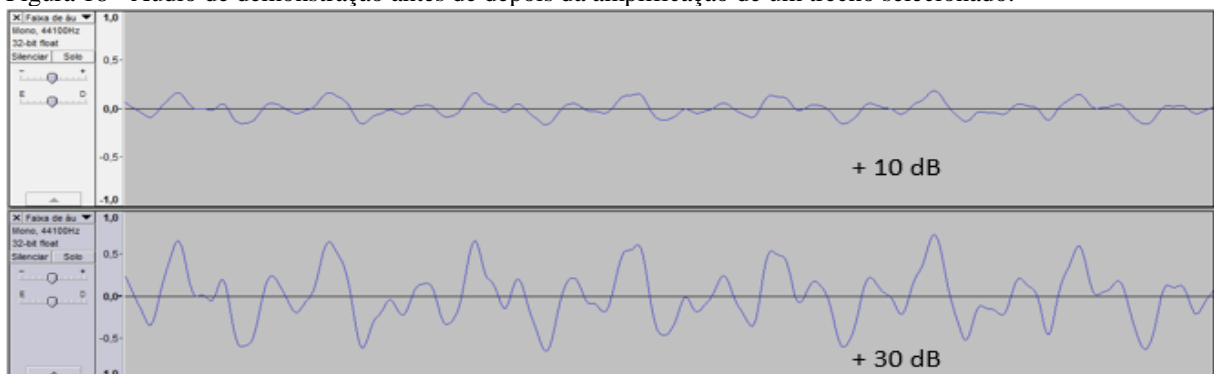
Figura 17 - Tela do aplicativo *Tone Generator*.



Fonte: o autor, 2016

A primeira atividade com o aplicativo foi relacionar a amplitude da forma de onda (ou, simplesmente a amplitude da onda) com a intensidade do som. Para isto, gravou-se um sinal sonoro de 600 Hz com o Audacity. A faixa de gravação foi duplicada e uma delas amplificada com a ferramenta que o programa dispõe (Figura 18). Assim, reproduzindo cada faixa separadamente, os alunos compararam a amplitude da onda mostrada na tela com a percepção do volume sonoro escutado por eles.

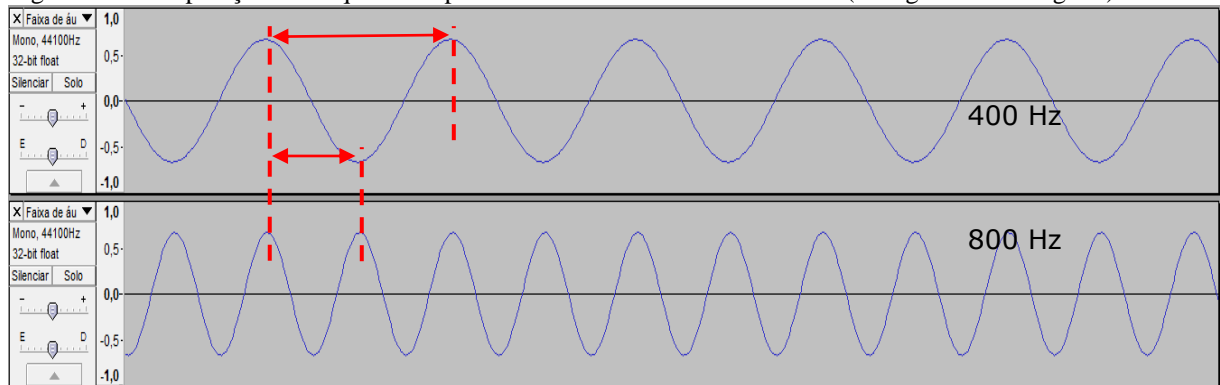
Figura 18 - Áudio de demonstração antes de depois da amplificação de um trecho selecionado.



Fonte: o autor, 2016.

Para fazer a relação entre frequência e altura do som, foram gerados com o aplicativo *Tone Generator* sinais senoidais de diferentes frequências entre 400 Hz e 10 000 Hz. Estes sons foram gravados com o Audacity e os sinais visualizados na tela do computador (Figura 19) que também foi projetada no quadro para que todos os enxergassem. Com este procedimento, relacionou-se o período e a frequência da onda com a característica altura do som (grave ou agudo).

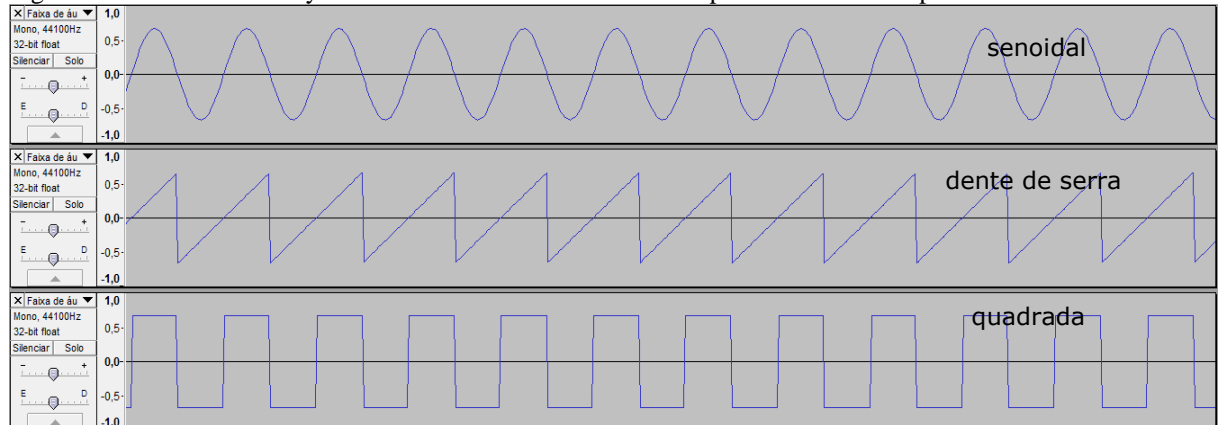
Figura 19 - Comparação da frequência e período da onda com a altura do som (som grave e som agudo).



Fonte: o autor, 2016.

A última característica sonora, o timbre, está relacionada à forma da onda. Neste estudo fizeram-se a gravação de três sinais produzidos pelo aplicativo, todos na frequência de 800 Hz, porém com forma de onda senoidal, dente de serra e quadrada (Figura 20). A nossa audição percebe a diferença de timbre, e com a comparação com a forma da onda mostrada pelo Audacity os estudantes foram capazes de perceber a influência da forma da onda nos diferentes sons escutados.

Figura 20 - Tela do Audacity mostrando a forma de onda de sons produzidos com o aplicativo *Tone Generator*.



Fonte: o autor, 2016.

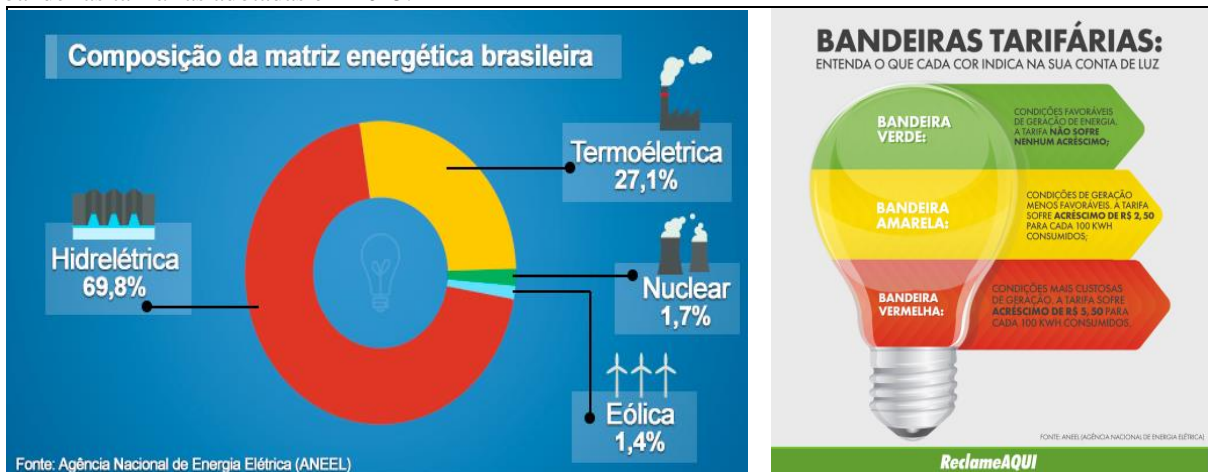
Este foi um momento importante para o estudo da CA, pois um dos objetivos do experimento didático – apresentado no capítulo 3 – é conhecer a forma do sinal da corrente elétrica dos eletrodomésticos.

#### 4.2.3 Aula 3: Energia e meio ambiente

Esta aula foi embasada na proposta apresentada no livro Física (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1995). A sequência didática e resultados relativos a uma pré-aplicação são discutidos no artigo *Programa de ensino de corrente alternada ancorado nos três momentos pedagógicos* (DIONISIO; SPALDING, 2016).

A atividade iniciou partindo do tema central “produção e distribuição de energia”. Na ocasião, abordou-se a matriz energética brasileira no ano de 2015 fazendo um levantamento das fontes de energia utilizadas, custos e capacidades de produção. A Figura 21 foi mostrada aos alunos e serviu como base de discussão e levantamento de hipóteses em relação à produção de energia elétrica e ao uso de fontes de energia renovável.

Figura 21 - À esquerda, a matriz energética brasileira para produção de energia elétrica. À direita, o sistema de bandeiras tarifárias adotadas em 2015.



Para promover a discussão foram usados dois vídeos disponíveis no *youtube*: um sobre a produção de energia hidrelétrica e o funcionamento da usina<sup>10</sup> e outro sobre a substituição de energias não renováveis pela energia solar fotovoltaica<sup>11</sup>. Os vídeos foram escolhidos propositalmente de forma a contrapor opiniões e assim estimular a participação. O primeiro é

<sup>10</sup> Como funciona uma usina hidrelétrica? Vídeo documental. Disponível em: <<https://youtu.be/iYPMZamqSH4?list=PLADEA8lzWEJOUyopcBZ-HwgO8vbf9gAKo>>. Acesso em: 14 set. 2016.

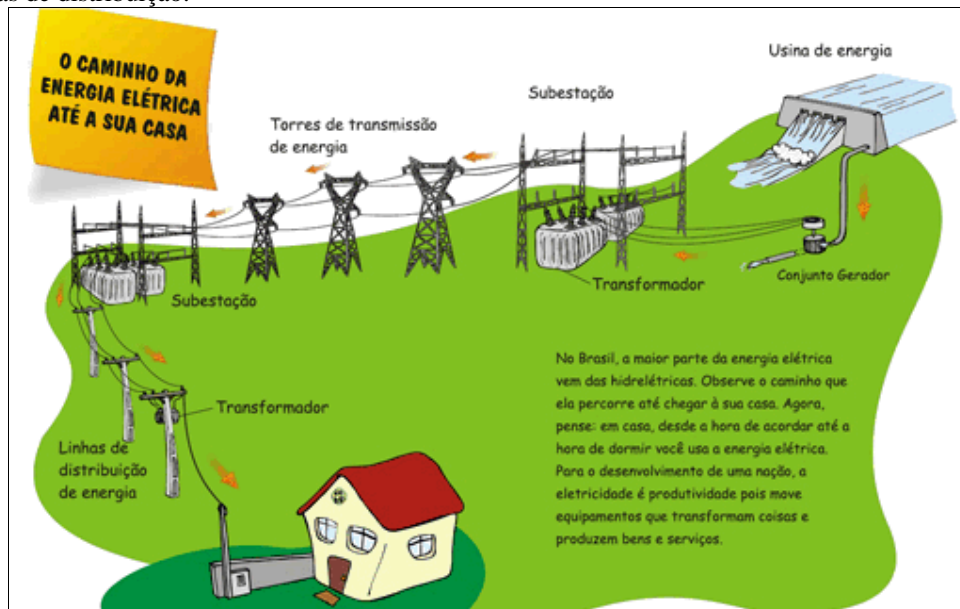
<sup>11</sup> Como funciona a energia solar fotovoltaica. Vídeo documental. Disponível em: <<https://youtu.be/6ODHCBO2Xwk?list=PLADEA8lzWEJOUyopcBZ-HwgO8vbf9gAKo>>. Acesso em: 14 set. 2016.

um vídeo de apoio ao uso e construção de hidrelétricas, enquanto que o segundo, de apoio ao uso de energia solar como substituta de outras fontes não renováveis.

#### 4.2.4 Aula 4: Caminho da energia elétrica

Neste encontro foram abordadas as questões do transporte e distribuição de energia elétrica (Figura 22). Estas questões fundamentam-se nos princípios do eletromagnetismo os quais o produto educacional apresentado neste trabalho se propõe ensinar, como: corrente elétrica contínua (CC<sup>12</sup> ou DC) e alternada (CA ou AC), campo magnético gerado por corrente elétrica e indução eletromagnética. Além destes tópicos, também foi levantado questionamento quanto ao tipo de corrente elétrica (CA ou CC) que é usado nos sistemas de distribuição de energia. Como objeto norteador desta investigação fez-se uso de um fragmento do documentário “Nikola Tesla, o gênio da eletricidade”<sup>13</sup>. Neste vídeo é mostrada a diferença entre os dois tipos de corrente elétrica, assim como, a escolha do ponto de vista funcional, no final do século XIX, pelo sistema de corrente alternada de Nikola Tesla em vez do sistema de corrente contínua de Thomas Edson.

Figura 22 - Ilustração mostrando o caminho percorrido pela energia elétrica desde a sua geração até o seu uso. A ilustração é utilizada para apresentar os transformadores de tensão elétrica e justificar o uso da corrente alternada nos sistemas de distribuição.



Fonte: [http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/energia\\_eletrica\\_sem\\_riscos\\_01/\\$FILE/01\\_caminho\\_energia.gif](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/energia_eletrica_sem_riscos_01/$FILE/01_caminho_energia.gif).

<sup>12</sup> DC é a abreviatura de *Direct Current*, que, na língua inglesa, é equivalente a corrente contínua. Da mesma forma, AC significa *Alternating Current*, ou corrente alternada.

<sup>13</sup> Nikola Tesla: o gênio da eletricidade. Vídeo documentário. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=RNacGtEi\\_NY](https://www.youtube.com/watch?v=RNacGtEi_NY)>. Acesso em: 19 dez. 2016.



#### 4.2.5 Aula 5: Gerador eletromagnético

Esta aula foi destinada à realização de experimentos virtuais para o estudo dos conceitos de eletromagnetismo necessários à compreensão do gerador eletromagnético. Utilizou-se o simulador *PhET* “*Laboratório de eletromagnetismo de Faraday*”. Este pacote reúne cinco simuladores brevemente descritos a seguir:

1. Ímã em barra: mostra o campo magnético gerado por um ímã em forma de barra. Uma bússola pode ser deslocada em torno do ímã para verificação da direção e sentido do campo em cada ponto.
2. Solenoide: um ímã pode ser deslocado próximo a um solenoide ligado a uma lâmpada mostrando a indução eletromagnética. Permite visualizar uma representação do movimento dos elétrons livres no interior do condutor.
3. Eletroímã: um solenoide ligado a uma fonte de tensão elétrica ajustável para o estudo do campo magnético produzido por corrente elétrica CA ou CC.
4. Transformador: formado por dois solenoides, um ligado a uma fonte e outro a uma lâmpada. Pode-se deslocar cada sistema em relação ao outro para indução de corrente elétrica.
5. Gerador: sistema formado por um solenoide ligado a uma lâmpada, um ímã preso a uma roda d’água e uma torneira com controle de vazão. O fluxo d’água faz girar a roda (e o ímã) induzindo corrente elétrica no solenoide.

Os simuladores foram utilizados como meios auxiliares à apresentação de conceitos e leis, tendo como premissa a observação do fenômeno. A cada fenômeno simulado antecederam-se indagações aos alunos coletando informações, suas ideias e concepções prévias. Também, foram sendo anotadas no quadro as palavras-chave que o professor considerou importante para auxiliar aos alunos na atividade referente ao terceiro momento pedagógico descrito na seção seguinte deste trabalho.

O simulador “Ímã em barra” foi utilizado como revisão sobre magnetismo e campo magnético. Com o simulador “Solenoide” demonstramos o fenômeno de indução eletromagnética. O simulador traz a opção de representar o movimento de elétrons livres no condutor. Com isso, demonstrou-se que tanto o surgimento quanto o sentido da corrente induzida têm dependência com a variação do fluxo magnético sobre o solenoide, conforme a lei de Faraday. Com este simulador também se demonstrou a origem da corrente alternada em geradores de energia. E, então, como o simulador “Gerador”, explicou-se o funcionamento de um gerador eletromagnético como aplicação do princípio da indução eletromagnética.

Posteriormente, o experimento de Öersted foi reproduzido com o simulador “Eletroímã” e, com ele, a Lei de Ampère foi apresentada aos alunos. Este simulador permite alterar o valor da tensão aplicada pela fonte, mudar sua polaridade ou trocá-la por uma fonte de tensão alternada. Assim, foi reforçada a diferença entre as correntes CA e CC.

Abordou-se, também, o princípio de funcionamento dos transformadores de tensão, equipamento presente nas redes de transmissão de energia elétrica apresentados no primeiro momento da atividade.

#### *4.2.6 Aula 6: Atividade experimental*

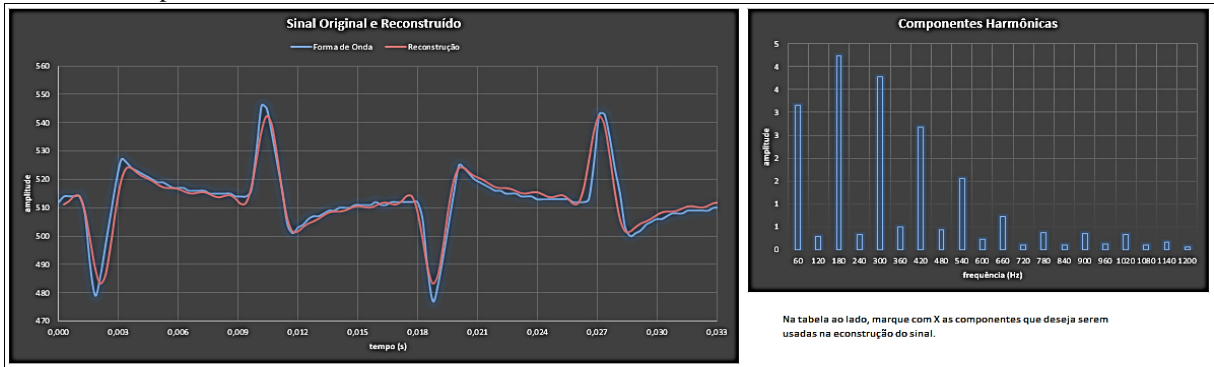
Neste encontro, foi realizada a atividade experimental para visualização da forma de onda da corrente elétrica utilizando o aparato descrito no capítulo 3. Este aparato foi concebido para ser uma proposta de inserção de um novo conteúdo no ensino médio: o conhecimento de que a forma de onda da corrente elétrica é diferente para cada equipamento elétrico, neste caso, os eletrodomésticos. Acreditamos que isto ajuda também a entender melhor a diferença entre os conceitos de tensão elétrica e corrente elétrica. A intenção é mostrar que a tensão é oferecida pelas concessionárias de energia elétrica com a forma de onda senoidal e a corrente é uma consequência de qual equipamento esta tensão é aplicada. Ao mesmo tempo em que o aparato se apresenta para esta finalidade, ele consolida alguns conceitos de eletromagnetismo e abre caminho para a discussão das tecnologias digitais. Um deles é a diferenciação entre sistemas analógicos de digitais, assim como vantagens da digitalização de sinais, no caso, exemplificado pela decomposição do sinal da corrente elétrica em uma série de senoides.

Iniciando a atividade, apresentou-se aos alunos o aparato experimental dando ênfase ao toroide. Foi por meio dele que se fez a relação entre a corrente alternada e o fenômeno de indução. Procedeu-se com a visualização pelo Audacity da corrente elétrica de três diferentes lâmpadas, duas incandescentes de 15W e 60W e eletrônica (fluorescente compacta) de 15W. Com estes testes analisou-se a forma e amplitude das ondas, diferenciando as lâmpadas pelo seu tipo e potência nominal.

Posteriormente, fazendo uso da planilha Excel integrada ao Arduino, aprofundou-se a discussão utilizando outros dispositivos como fontes chaveadas (Figura 23), ventilador (Figura 24) e ferro de passar roupas (Figura 25). Com a aplicação desenvolvida para decomposição do sinal elétrico em seus harmônicos foram introduzidas noções sobre digitalização de sinais. Recursos de manipulação de imagem presentes em aparelhos celulares como controle de brilho e contraste e a possibilidade de tornar uma fotografia colorida em

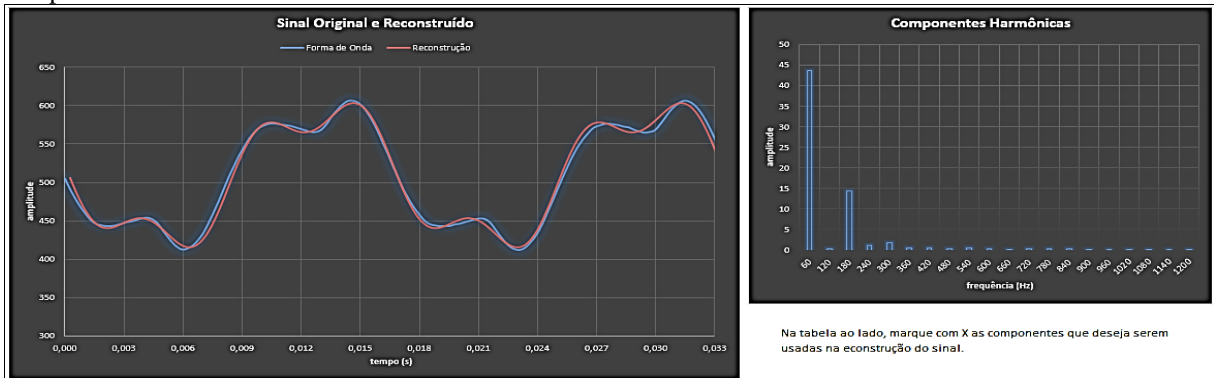
preto e branca ou deixá-la com um aspecto de envelhecida (efeito sépia) foram utilizados como exemplo de vantagens que o processo de digitalização traz, por serem de uso comum a muitos dos estudantes. Desta forma, esta exemplificação é a ponte para a oitava aula que trata da compreensão do funcionamento dos dispositivos digitais.

Figura 23 - Forma de onda da corrente elétrica de um carregador de celular obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente.



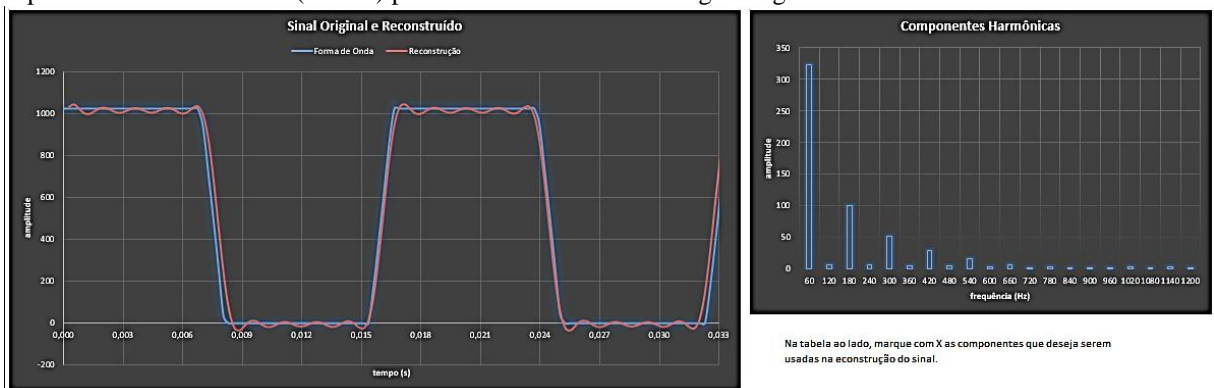
Fonte: o autor, 2016.

Figura 24 - Forma de onda da corrente elétrica de um ventilador obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente.



Fonte: o autor, 2016.

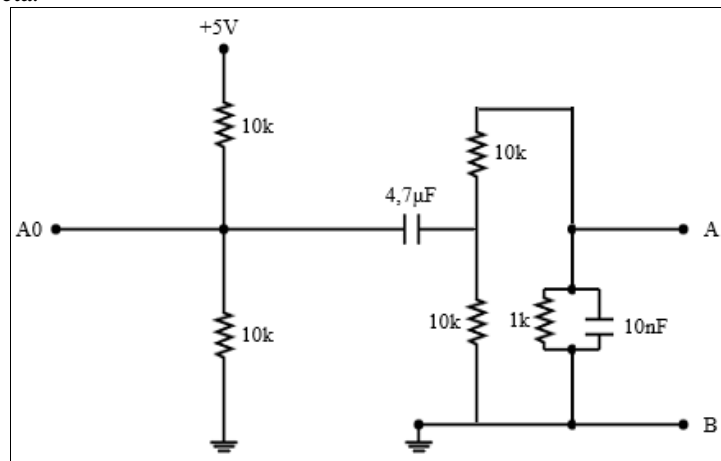
Figura 25 - Forma de onda da corrente elétrica de um ferro de passar roupas obtido com o Arduino e Excel. À direita, as componentes harmônicas do sinal de corrente. Neste caso, percebe-se que a forma do sinal da corrente elétrica do ferro ficou cortada na parte inferior e na superior. Os valores de corrente, após a conversão, superaram os 1023 valores (10 bits) possíveis do conversor analógico/digital do Arduino.



Fonte: o autor, 2016.

A FO do ferro de passar roupa também foi importante para demonstrar que os sistemas de medição devem operar dentro dos limites. A corrente elétrica exigida pelo ferro está acima do valor permitido para o uso do nosso circuito inicial e para visualizar a forma de onda correta, foi necessário usar os conceitos de resistores em série e divisor de tensão, que são conteúdos estudados em eletrodinâmica (Figura 26).

Figura 26 - Com esta modificação, o valor da tensão que vai ao Arduino diminui, possibilitando a visualização da forma de onda correta.



Fonte: o autor, 2016.

A forma de onda capturada, no formato quase trapezoidal, gerou a distribuição das componentes harmônicas da Figura 25, incluindo frequências que não existem no formato real da corrente do ferro de passar roupas. Este ferro possui uma resistência ôhmica, que produz uma FO senoidal da corrente. Alguns ferros, também possuem um diodo, que quando são conectados, mudam a forma de onda, reduzindo pela metade a energia consumida pelo ferro.

A curiosidade maior dos estudantes ficou por conta da simetria da FO obtida com o ferro de passar roupas. Com esta imagem foi possível introduzir o sistema binário que é o elemento fundamental para a digitalização de sinais analógicos, assim como para o funcionamento de microcomputadores. Além disso, aproveitando a oportunidade produzida pela discussão, foi explicado aos alunos o funcionamento de um diodo, um elemento bastante comum em aparelhos eletrônicos, mas raramente abordado em livros de física da educação básica.

A forma peculiar do sinal da “corrente elétrica” do ferro de passar roupas e, conseqüentemente a curiosidade dos alunos em relação a ela, levou ao replanejamento das atividades. A oitava aula – compreendendo os sistemas digitais – foi elaborada apoiada na motivação evidenciada nos alunos pelo assunto. Sendo assim, pôde-se incluir um novo conteúdo não previsto no plano de ensino da disciplina daquela escola.

#### 4.2.7 Aula 7: Compreendendo o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica

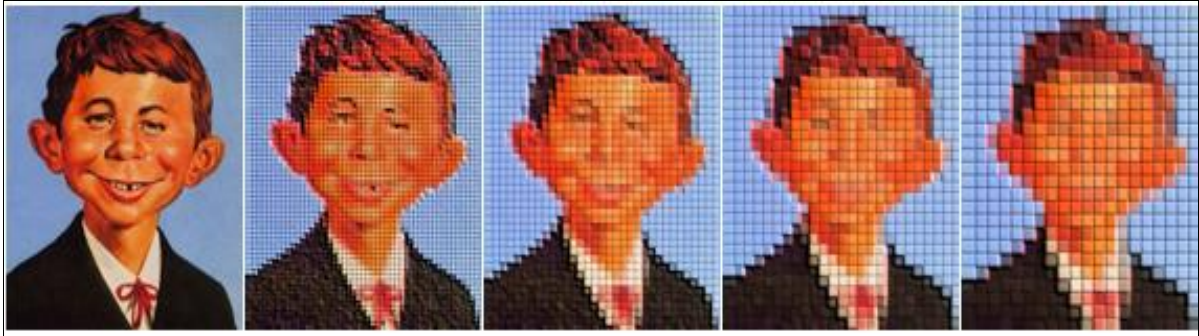
Como atividade de retenção de conhecimento foi solicitada aos alunos que redigissem uma memória de aula. Nela, eles deveriam desenvolver um texto curto de vinte a trinta linhas sendo possível usar, como referência, as palavras-chave escolhidas pelo professor durante o uso dos simuladores. O texto produzido pelos alunos tem o objetivo de explicar o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica abordado nas aulas anteriores com a linguagem científica. Os textos, com redação simples, podem ser utilizados por outros estudantes do ensino médio para facilitar o estudo do conteúdo, pois são textos didáticos escritos por alunos para alunos. Na prática relatada, as palavras-chave foram: tensão elétrica, resistência elétrica, corrente alternada, corrente contínua, indução eletromagnética, campo e fluxo magnético, transformador e fonte de tensão. A produção deste texto possibilita verificar se os alunos adquiriram algum conhecimento sobre os fenômenos eletromagnéticos.

#### 4.2.8 Aula 8: Compreendendo os dispositivos digitais

Elaborada em função das discussões da aula anterior, esta aula não só a complementou como se mostrou importante para compreensão da digitalização dos sinais de corrente elétrica e representação deles por suas componentes harmônicas. O objetivo não foi o aprofundamento no tema imagens digitais, todavia optou-se, como forma de contextualização dos sistemas digitais, por apresentar alguns aspectos da criação e tratamento de imagens por computador, como a resolução e os efeitos de cores em imagens. Da mesma forma, a formação de imagens por computador trouxe à tona as potencialidades dos sistemas digitais sobre os sistemas analógicos. Ressalta-se que estes aspectos são comuns aos estudantes, uma vez que tratamento de imagens obtidas com aplicativos para câmeras de aparelhos celulares é rotineira para grande parte deles.

Inicialmente mostrou-se que as imagens são divididas em *pixel*. Um *pixel* pode ser definido como a menor unidade de imagem digital. Com auxílio da Figura 27 fez-se a discussão quanto à qualidade de imagens em função de sua resolução.

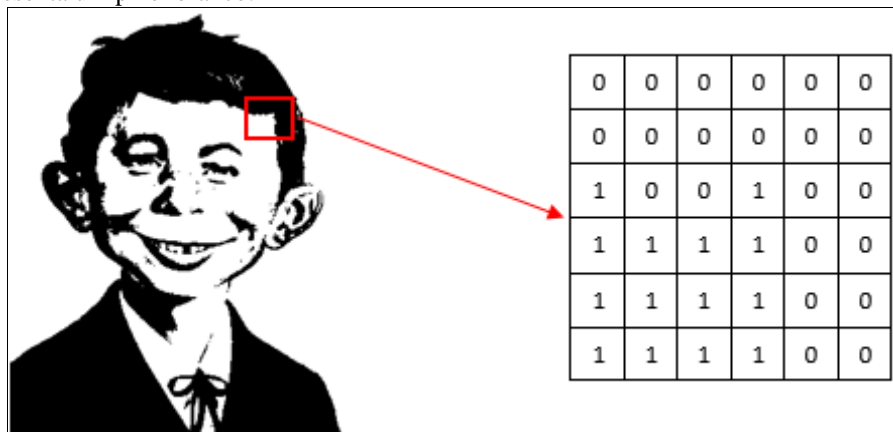
Figura 27 - Representação da resolução de imagens digitais. A imagem apresenta melhor resolução quando dividida em um número maior de pixel.



Fonte: o autor, 2016.

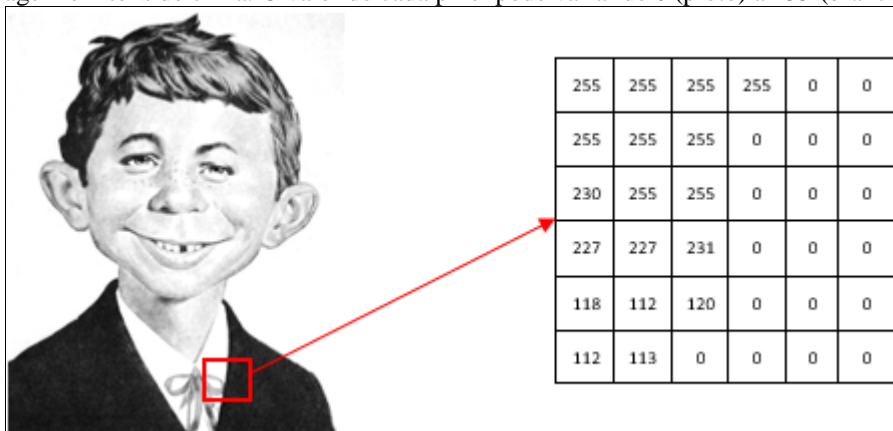
Da mesma forma, a projeção das Figuras 28 e 29 possibilitou mostrar como um computador “entende” e desenha uma imagem na tela.

Figura 28 - Representação da imagem em uma matriz de dígitos binários. O dígito 0 representa um pixel preto e o dígito 1 representa um pixel branco.



Fonte: o autor, 2016.

Figura 29 - Imagem em tons de cinza. O valor de cada pixel pode variar de 0 (preto) a 255 (branco).



Fonte: o autor, 2016.

Ainda neste encontro, os alunos foram convidados a preencher um relatório de atividade experimental<sup>14</sup> para que resgatassem a atividade experimental da FO e, com isto, pudesse ser fomentada uma busca e uma compreensão mais aprofundada das observações das FO obtidas com diferentes dispositivos, incluindo o processo de digitalização e representação digital de sinais.

### 4.3 Resultados

No desenvolvimento deste trabalho, há um resultado que já está apresentado. É o que se refere à qualidade do aparato experimental para realizar a visualização da forma de onda da corrente alternada. Uma comparação das formas de onda das correntes reais com as obtidas pelo aparato proposto, utilizando um osciloscópio, já foi destacada no capítulo Descrição do produto educacional 3. Além disto, também está discutida no artigo *Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos* (DIONISIO; SPALDING, 2017). Está claro nestes textos que a qualidade técnica do aparato é adequada para a visualização da forma de onda e não como um instrumento de medição. Os resultados que serão apresentados neste capítulo se referem à aplicação produto educacional de acordo com a proposta de uso descrita na sequência didática.

No segundo semestre de 2016, como parte da sequência didática descrita anteriormente, foram elaborados dois instrumentos para avaliação dos resultados da aplicação do produto educacional: memória de aula e relatórios das atividades práticas. Participaram deste estudo alunos de uma escola pública estadual do Rio Grande do Sul, na cidade de Carazinho. Ao todo foram 49 estudantes, jovens entre 17 e 18 anos, do terceiro ano do ensino médio divididos em duas diferentes turmas. As turmas apresentaram comportamentos distintos perante a proposta de trabalho. Ambas as turmas demonstraram envolvimento com a atividade. Entretanto, uma delas foi mais participativa, questionando mais e direcionando o trabalho, enquanto que a outra se mostrou mais passiva, aguardando a condução da atividade pelo professor.

#### 4.3.1 Memórias de aula

A memória de aula se apresenta como uma estratégia de aprendizagem eficiente, possibilitando desenvolver diversas competências em quem a escreve. Segundo Dembo

---

<sup>14</sup> O Apêndice A apresenta o relatório submetido aos alunos.

(1994, apud BORUCHOVITCH, 1999, p. 531), estratégias cognitivas como esta “auxiliam os estudantes a operar diretamente com a informação”, sendo que “o uso desse tipo de estratégia reflete na forma do estudante organizar, armazenar e elaborar as informações”. Desta forma, analisemos os textos produzidos pelos estudantes.

Esta análise baseou-se na classificação dos textos em três categorias, conforme o artigo *Programa de ensino de corrente alternada ancorado nos três momentos pedagógicos*, de Dionisio e Spalding (2016), no Caderno de Física da UEFS. Partindo da leitura dos textos, fez-se uma análise qualitativa de forma a averiguar a apropriação, assim como, a aquisição de novos conhecimentos.

As três categorias de textos foram:

- a) Produção: textos cujo conteúdo fora elaborado com vocabulário próprio do aluno e fazendo uso correto de termos e conceitos do eletromagnetismo;
- b) Apontamentos: textos sem estrutura organizada, elaborados a partir de apontamentos feitos em aula ou com reprodução de falas dos colegas e do professor;
- c) Reprodução: textos cujo conteúdo é reprodução de fragmentos de livros ou páginas da internet.

Além da categorização por tipo de texto (produção, apontamentos e reprodução) mostrada na Tabela 2, fez-se um levantamento das ocorrências de determinados aspectos e conteúdos presentes neles. Diferente daquela categorização que visa mostrar o comprometimento dos estudantes com a atividade – mas não apenas isto, pois a capacidade de redigir texto próprio também revela o grau de compreensão do autor sobre o conteúdo escrito – entende-se que constar na escrita certos conteúdos e relação deles com o problema mostra a evolução cognitiva dos alunos autores. Este é justo o terceiro momento pedagógico, o qual trata da aplicação do conhecimento. Estes aspectos, que serão chamados neste trabalho de indicadores cognitivos, e o número de ocorrências estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 2 - Número de trabalhos por categoria textual.

CATEGORIA TEXTUAL	NÚM. DE TRABALHOS
Produção	29
Apontamentos	6
Reprodução	14

Fonte: o autor, 2017.



Tabela 3 - Relação dos aspectos e conteúdos esperados e número de trabalhos em que foram citados, explicados e/ou relacionados com o problema da geração e transporte de energia elétrica. Apenas os 29 trabalhos classificados como produção foram contabilizados.

INDICADORES COGNITIVOS	CITA	EXPLICA	RELACIONA
Corrente alternada e contínua	13	7	5
Produção de campo magnético (Experimento de Öersted)	13	9	5
Produção de corrente elétrica (Fluxo magnético e indução magnética)	18	12	11
Efeito Joule e resistência elétrica	10	9	8
Transformador de tensão	23	10	11

Fonte: o autor, 2017.

Após a categorização dos textos e levantamento dos indicadores cognitivos, fazem-se agora algumas considerações.

Em relação ao tipo de texto produzido pelos alunos, nota-se, de acordo com a Tabela 2, o entendimento deles com a finalidade da atividade proposta. Na apresentação da proposta de trabalho aos alunos, foi esclarecida a importância de redigirem um texto próprio, mesmo que apresentassem alguma dificuldade nisso. A finalidade principal da atividade era para que os alunos verificassem a compreensão dos fenômenos estudados e não a de obter um texto correto, como é normal numa avaliação tradicional. Isto está de acordo com Teixeira e Alliprandini (2013): “a prática da escrita se mostra uma estratégia cognitiva de aprendizagem”. Acredita-se, desta forma, que o fato de o aluno ser capaz de reunir e organizar informações e colocá-las no papel com vocabulário próprio é um sinal de apropriação do conhecimento. Ainda assim, alguns alunos revelaram ter buscado leituras sobre o assunto na *internet* a fim de ajudar na escrita, e outros se reuniram em grupos de discussão para então redigirem seus textos.

Por outro lado, o levantamento dos indicadores cognitivos demonstra um baixo rendimento em relação à expectativa anterior à aplicação da proposta. Apesar dos termos, leis e princípios físicos serem citados nos textos, em poucos deles houve a relação com a situação-problema. Frisa-se que para a contagem de ocorrência dos indicadores cognitivos, consideraram-se apenas as citações explícitas dos elementos no texto. Destacam-se dois indicadores, que, de certa forma, são os mais importantes no contexto: o fluxo magnético e a indução magnética, que diz respeito à produção de energia elétrica; e os transformadores de tensão, ambos bastante relacionados à distância percorrida pela energia até o consumidor.

Por outro lado, itens como o Efeito Joule, Experimento de Öersted e os tipos de corrente elétrica (CA ou CC) mostraram-se secundários na produção dos alunos. Esperava-se, por exemplo, que ao citar o transformador elevador de tensão, os alunos indicassem o motivo, que no caso se relaciona com a menor perda de energia por calor na transmissão, ou que seu funcionamento só é possível usando corrente alternada. Em vez disso, grande parte apenas mencionou o dispositivo sem aprofundar-se nas razões de seu uso.

No trecho, “[...] a corrente elétrica vai para um transformador que fica na chamada subestação, o mesmo eleva a voltagem da corrente elétrica para que ela seja levada a boas distâncias sem perder tanta energia e só funciona com corrente alternada (grifo do professor)”<sup>15</sup>, apesar da redação apresentar erros conceituais, a aluna autora mostra a função do transformador como parte importante da rede de transmissão, além de associar seu funcionamento à corrente elétrica alternada. Entretanto, ela tem dificuldades em relacionar o aumento da tensão com a diminuição da corrente elétrica, sendo que é este o motivo da menor perda de energia por Efeito Joule. Além disso, a passagem citada evidenciou uma confusão bastante comum entre os estudantes observada nas falas deles durante as aulas: a diferença entre tensão elétrica e corrente elétrica.

Visto que a proposta de trabalho tem objetivo introdutório aos fenômenos eletromagnéticos contextualizada pela situação-problema da produção, transporte e distribuição de energia elétrica, pode-se considerar os resultados apresentados na Tabela 3 adequados, uma vez que os participantes não foram selecionados e que compõem um grupo com áreas de interesse escolar diversificado.

#### *4.3.2 Relatório de atividade experimental*

Os relatórios (APÊNDICE A) foram respondidos em grupos de dois ou três alunos, totalizando 29 trabalhos, podendo haver trocas de informações entre os grupos, com ressalva para que essas tivessem objetivo apenas de auxiliar na compreensão das questões e assim cada grupo elaborar suas próprias respostas. A análise dos relatórios foi realizada focada no conteúdo presente neles.

A avaliação da primeira questão, cujo objetivo foi retomar o procedimento experimental, demonstrou o entendimento dos alunos em relação à forma do sinal e tipos de corrente, assim como os conceitos de período e frequência. A forma que os alunos usaram para o cálculo do período e da frequência dividiu-se em:

- i)* identificar um ciclo completo e medir o intervalo de tempo utilizando o eixo de referência da imagem para obter o período e, posteriormente, calcular a frequência;
- ii)* calcular ou a frequência ou o período por proporção entre o tempo de dois ou mais ciclos, conforme grifados nas figuras, para depois utilizar a relação  $f=1/T$  para obter a outra grandeza.

---

<sup>15</sup> Todas as citações de textos dos alunos foram transcritas literalmente, mantendo grafia, pontuação e concordância.

No caso (i) obtiveram valores aproximados, uma vez que as imagens não permitem uma leitura precisa dos valores no eixo temporal, contudo o fizeram conceitualmente de forma correta.

As questões 2, 3 e 4 do relatório reforçam a atividade experimental realizada com o uso do Audacity. Nelas, são cobrados elementos como a produção da energia elétrica e alteração da forma de onda pelos dispositivos, discutidos durante a realização do experimento.

A questão de número dois indaga aos alunos se as frequências dos sinais de corrente elétrica calculadas anteriormente são iguais e o que as determina. Dezoito grupos responderam que a frequência, assim como o período são iguais, mesmo havendo diferenças numéricas nos cálculos, pois, de acordo com as respostas deles, a frequência da corrente elétrica é determinada pela geradora de energia. Este resultado sugere o entendimento do processo de geração de energia. O restante, onze grupos, atribuíram às lâmpadas a determinação da frequência. Destes, seis afirmaram que a lâmpada eletrônica tem frequência diferente das outras duas incandescentes, entretanto, sem perceberem que esta diferença foi devida à forma imprecisa de cálculo mencionada anteriormente.

De acordo com o resultado da questão três, os alunos puderam identificar tipos diferentes de lâmpadas pela forma de onda produzida por cada uma delas. Apenas quatro grupos não o fizeram corretamente. Mas esta questão teve um objetivo maior, o de fazer os alunos lembrar que dispositivos diferentes podem produzir formas de onda diferentes, uma vez que estas diferenças, razões e consequências seriam retomadas nas questões posteriores.

A questão de número quatro faz a referência ao comportamento observado na demonstração experimental em relação à amplitude da onda quando a lâmpada é trocada por outra de mesmo tipo, no caso incandescente, mas de potência diferente. A maioria dos grupos relacionou corretamente a amplitude de onda com a potência elétrica das lâmpadas. Cinco grupos não mencionaram explicitamente o termo “amplitude” e usaram termos como “tamanho da onda”, “altura da onda” e “tamanho do pico” para se referir à amplitude. Destacam-se ainda, algumas respostas que incluíram a informação da frequência ser a mesma, porém com amplitudes diferentes, demonstrando terem ido mais a fundo na compreensão do estudo sobre corrente alternada.

As questões de cinco a oito retomam, de forma a introduzir o funcionamento de sistemas digitais, a prática experimental realizada com a placa Arduino e a planilha Excel para decomposição de sinais de corrente elétrica. Nestas questões os alunos são desafiados a interpretar os gráficos das FO e das componentes harmônicas dos três aparelhos demonstrados em aula: lâmpada incandescente, lâmpada eletrônica e ferro de passar roupas.

Quando questionados sobre o significado das componentes harmônicas, seis grupos limitaram-se ao significado dos gráficos de barras informando que cada barra indica uma frequência com sua respectiva amplitude. Mas, oito grupos, além disto, relacionaram a presença de mais componentes ou a amplitude delas com a FO produzida por cada aparelho. Do restante, dez grupos, deram respostas variadas que apesar de não estarem incorretas, não demonstraram nelas o entendimento do conteúdo.

Os grupos de alunos também relacionaram as FO apresentadas nas figuras com os dispositivos que as pudessem produzir, assim podendo demonstrar entender não só que cada equipamento ligado à rede elétrica produz uma FO própria, mas também que aparelhos diferentes produzem FO semelhantes devido a sua arquitetura de fabricação. Assim, aparelhos cujo princípio de funcionamento é o aquecimento de um resistor, produzem possivelmente uma FO senoidal, como no caso da lâmpada incandescente e do ebullidor, enquanto que aqueles que usam fontes chaveadas no lugar de transformadores eletromagnéticos, como carregador de celular e lâmpadas eletrônicas, produzem uma FO característica de fontes chaveadas com picos de carga e descarga de elementos indutores.

Posteriormente, os grupos deram as suas interpretações sobre a decomposição dos sinais analógicos. Doze grupos relacionaram a amplitude de cada frequência representada pelas barras no gráfico com a deformação da onda senoidal. Exemplos de respostas deste tipo foram: (i) “Porque elas têm amplitudes e frequências maiores em relação às outras” ou (ii) “Conforme resultado da visão dos componentes harmônicos e da divisão dos componentes vai variar a estrutura da onda”. Outros oito grupos elaboraram mais suas respostas, demonstrando maior entendimento, a exemplo de: “[...] certos dispositivos contêm componentes eletrônicos os quais podem interferir nas ondas captadas, assim gerando ondas formadas por conjuntos de ondas”.

Em complemento a esta explicação, os estudantes também escreveram sobre vantagens na digitalização de um sinal analógico. Muitos, apesar de conceitualmente errado, mencionaram a “qualidade da frequência” relacionando especificamente com a qualidade de imagens. Nestes casos, fizeram referência ao oitavo encontro que versou sobre formação de imagens digitais. Por outro lado, encontraram-se respostas bastante específicas como: (i) “A digitalização de sinais permite a manipulação, exclusão e adição das ondas adjacentes presentes em uma onda principal qual fora digitalizada, podendo torna-la mais limpa”; (ii) “A digitalização separou as frequências em grupos, o que antes não acontecia, existiam infinitas frequências livres [...] Isso melhorou a captação e qualidade do sinal”; (iii) “A imagem é melhor, porque ocorre a reconstrução do sinal”; (iv) “Com a separação das ondas de acordo

com a frequência é possível identificar melhor o sinal, por exemplo, em uma TV digital, a imagem fica melhor pois pode se identificar qual frequência está dando erro, perdendo sinal e consertá-la”.

Os resultados apresentados, a partir da análise realizada neste capítulo, demonstraram despertar nos estudantes um potencial de aprendizagem por hora suficiente de acordo com a proposta didática. O ensinamento dos fenômenos eletromagnéticos a partir da problematização da produção e distribuição de energia elétrica com auxílio de simuladores se mostra uma alternativa ao trabalho tradicionalmente feito. Da mesma forma, a experimentação utilizando o programa de áudio Audacity e o experimento de visualização da FO dinamiza o espaço de aprendizagem, validando neste estudo preliminar o seu uso na educação básica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Novas abordagens de conteúdo, estratégias e metodologias têm sido necessárias no ensino de ciências. As pesquisas em ensino de física, em particular, tomaram corpo nas duas últimas décadas com a abertura de novos cursos de mestrado profissional e, com isto, a realização de eventos e surgimento de periódicos especializados nesta área. Esta mudança acompanha tendências mundiais na reformulação do currículo escolar. No Brasil, a Base Nacional Comum Curricular, atualmente na segunda fase de estudos, ampara estas mudanças no que diz respeito não só aos conteúdos mínimos, mas também em relação à problematização e relação destes conteúdos com o cotidiano dos alunos e tecnologias ao alcance deles.

Assim, o estudo trazido neste trabalho corrobora em duas frentes com a atual fase que o ensino de ciências se encontra: o uso de tecnologias digitais como instrumentos de ensino e aprendizagem e o uso de metodologias ativas como facilitadora da aprendizagem.

Foi apresentado aqui como produto educacional um experimento assistido por computador. Este experimento faz uso da placa Arduino, que vem se popularizando cada vez mais entre alunos e professores de educação básica. Apesar destes ainda terem dificuldades de uso e acesso, principalmente em escolas públicas, existem muitas propostas de inclusão da ferramenta no ensino de física (AMORIN; DIAS; SOARES, 2015, BARBETA; MARZZULLI, 2000, CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011, CAVALCANTE; BONIZZIA; GOMES, 2008, SOUZA *et al*, 2011, ROSA *et al*, 2016). Além disso, foi proposto o uso do produto educacional desenvolvido de forma contextualizada para o ensino dos fundamentos do eletromagnetismo, incluindo o processo de produção de energia. O mesmo experimento também serviu de motivação para um estudo introdutório às tecnologias digitais. Neste ponto, a sequência didática sugerida acrescenta um novo conteúdo ao currículo, dando significação à palavra “digital”. O estudo de dispositivos digitais não foi o objetivo do trabalho, entretanto dada a avaliação qualitativa das intervenções orais dos estudantes durante as atividades, fico convencido de que o sinal digital de televisão, as câmeras fotográficas digitais, a digitalização de imagens por um *scanner*, entre outros exemplos presentes no cotidiano dos estudantes puderam ser mais bem compreendidos. Percebi, também, um envolvimento dos estudantes na abordagem deste tema, de forma que sugiro explorar o assunto em um trabalho futuro.

Nesta pesquisa também foi abordado o uso de mídias e ferramentas computacionais no auxílio ao ensino, tais como vídeos, animações e simuladores. Estes recursos integrados aos métodos tradicionais de ensino trazem um novo escopo às aulas, tornando-as mais atrativas e

dinâmicas, propiciando maior interação entre aluno e professor. Esta prática transforma a tradicional aula expositiva em expositiva-dialogada, na qual o professor expõe o conteúdo de forma contextualizada escutando e partindo das concepções prévias dos alunos. Isto permite a participação ativa do aluno, dando espaço para ele interpretar, questionar e discutir. Segundo Coimbra:

essa estratégia de ensinagem, caracteriza-se pela compreensão de que o ensino e a aprendizagem formam uma unidade dialética no processo, caracterizada pelo papel mediador do educador e pela ação do estudante, mediante tarefas contínuas e integradas dos sujeitos do processo. Nesse sentido, educandos e conteúdos ficam mediados pela ação do educador que mobiliza as ações necessárias para que os educandos desenvolvam seus processos de mobilização, construção e elaboração da síntese do conhecimento (2016).

Neste caso, a avaliação da aprendizagem se dá focada na participação do aluno através do diálogo ou na produção de materiais como textos, esquemas ou mapas conceituais, por exemplo. Nesta pesquisa a produção de um texto foi a escolha como instrumento complementar de avaliação.

Outro aspecto a se destacar no uso de ferramentas computacionais, conforme Abegg (2013) é o processo de adaptação do professor e dos estudantes às novas ferramentas. É preciso readequar o tempo de aula e espaço de aprendizagem (KENSKI, 1998 apud ABEGG, 2014, p. 34), compreender como empregar estes recursos para a prática de ensino (GUERREIRO, 2010 idem) e modificar os padrões comportamentais no ambiente de ensino (ALVES, 2003 ibid p. 35).

Durante o desenvolvimento da atividade foi possível observar todos estes aspectos. A aplicação do produto foi realizada em duas diferentes turmas de comportamentos distintos perante a proposta de trabalho. Houve maior participação de uma delas, o que implicou em um replanejamento da atividade, tanto em relação ao tempo como no aprofundamento do conteúdo. O estudo dos dispositivos digitais não estava previsto no planejamento inicial, porém, o momento se demonstrou propício e o conteúdo necessário para responder a algumas questões levantadas pelos alunos. A mudança de comportamento apontado por Alves (idem) foi constatada na demora dos alunos em perceber que o desenvolvimento do trabalho dependia deles, de suas indagações, de suas dúvidas, de suas observações e da formulação de suas hipóteses. Tal protagonismo foi surgindo à medida que a atividade foi sendo desenvolvida. Da mesma forma que para mim, o professor, tive que regular a ansiedade de dar as respostas em vez de provocar as dúvidas para obter hipóteses, como preconiza Delizoicov (apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 623). Além disto, após este trabalho, sinto-me

mais seguro de que recursos tecnológicos não apenas enriquecem o ambiente escolar, mas também favorecem a aprendizagem, e que a inclusão deles deve estar integrada à proposta pedagógica da instituição.

Sendo assim, acreditamos que a proposta experimental apresentada neste trabalho, somada a outras já existentes, possa contribuir para a qualificação do ensino de física, tanto na educação básica como na técnica, motivar professores a produzir materiais e incluir a tecnologia em suas práticas de ensino, e incentivar os estudantes ao estudo das áreas de tecnologia.



## REFERÊNCIAS

- ABEGG, Ilse; RAMOS, Diego B. Investigação de ferramentas e métodos de ensino de circuitos de corrente alternada para Curso Introdutório de Eletrotécnica. *Revista Dynamis*. FURB, Blumenau, v. 19, n. 1, p. 30-42, 2013.
- AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando Logo e a porta de jogos do PC. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, Dez. 2001.
- AMORIM, Helio Salim do; DIAS, Marco Adriano; SOARES, Vitorvani. Sensores digitais de temperatura com tecnologia *one-wire*: Um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4310-1-4310-9, Dez. 2015.
- ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. *Física na Escola*, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.
- BARBETA, Vagner B.; MARZZULLI, Cláudia R. Experimento didático para determinação da velocidade de propagação do som no ar, assistido por computador. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 447-455, Dez. 2000.
- BARDIN, Laurence. *A análise de conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. 3 ed. Lisboa: Edições 70, 2004.
- BEHAR, Patrícia A.; PASSERINO, Liliana; BERNARDI, Maira. Modelos pedagógicos para Educação a Distância: pressupostos teóricos para a construção de objetos de aprendizagem. *Novas Tecnologias na Educação*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, Dez. 2007.
- BORUCHOVITCH, Evely. Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: considerações para a prática educacional. *Psicol. Reflex. Crit.*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 361-376, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996*. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm)>. Acesso em: 14 fev. 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/#/site/inicio>>. Acesso em: 14 fev. 2017.
- CAREGNATO, Rita C. A.; MUTTI, Regina. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. *Texto e Contexto Enferm.*, Florianópolis, v. 15, n. 4, p. 679-684, dez. 2006.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; BONIZZIA, Amanda; GOMES, Leandro Cesar Pereira. Aquisição de dados em laboratórios de física: um método simples, fácil e de baixo custo para experimentos em mecânica. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2501.1-2501.6, 2008.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano; MOLISANI, Elio. Física com Arduino para iniciantes. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 4503, Dez. 2011.

- COIMBRA, Camila Lima. A aula expositiva dialogada em uma perspectiva freireana. In: III CONGRESSO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E XIII CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, 3, 2016, Águas de Lindóia, *Anais*. São Paulo.
- DIAS, Viviane B.; PITOLLI, Alexandra M. S.; PRUDÊNCIO, Christiana A. V.; OLIVEIRA, Mário César A. O Diário de Bordo como ferramenta de reflexão durante o Estágio Curricular Supervisionado do curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz – Bahia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, 2013, Águas de Lindóia, *Atas*. São Paulo.
- DIONISIO, Guilherme; SPALDING, Luiz Eduardo Schardong. Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 39, n. 1, e1501, 2017.
- DIONISIO, Guilherme; SPALDING, Luiz Eduardo Schardong. Programa de ensino de corrente alternada ancorado nos três momentos pedagógicos. *Caderno de Física da UEFS*, v. 14, n. 2, 2302.1-15, jul.-dez. 2016.
- ERTHAL, João Paulo C.; GASPAR, Alberto. Atividades experimentais de demonstração para o ensino de corrente alternada ao nível do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 345-359, dez. 2006.
- FIGUEIRA, Jalves S.; VEIT, Eliane A. Usando o Excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de Física. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203-211, 2004.
- MACÊDO, Josué A. de; DICKMAN, Adriana G.; ANDRADE, Isabela S. F. de. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. Especial 1, p. 562-613, set. 2012.
- MEHL, E. L. M. Fontes Chaveadas (UFPR). Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/FontesChaveadas.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.
- MONTEIRO, I. C. C; MONTEIRO, M.A.A; GASPAR, A. Atividade experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4, 2003, Baurú, *Atas*. São Paulo.
- MAGNO, Wictor C. et al. Realizando experimentos didáticos com o sistema de som de um PC. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 117-123, 2004.
- PACCA, J. L. A. et al. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 151-167, ago. 2003.
- PIERI, Helena da Glória; DIONISIO, Guilherme; CAPORAL, Ricardo Goulart. Qualidades fisiológicas do som: potencialidades da aplicação de softwares de áudio no ensino de acústica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 5, 2016, Ponta Grossa, *Anais*. Paraná.
- PINUDO, Fabíola da S.; GOMES, Sandra Lúcia R. A democratização da informação na internet: um estudo sobre a ferramenta Google. *Biblionline*, João Pessoa, v. 5, n. 1. 2009.

SOUZA, Anderson R. de et al. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 01-05, Mar. 2011.

SOUZA, Isabel Maria A., SOUZA; Luciana Virgília, A. O uso da tecnologia como facilitadora da aprendizagem do aluno na escola. *Rev. Fórum Identidades*, Sergipe, v. 8, p. 127-142. 2010.

ROSA, Cleci Terezinha W. da; ROSA, Álvaro B. da; TRENTIN, Marco Antônio; GIACOMELLI, Alison Cristian. Experimento de condução térmica com e sem uso de sensores e Arduino. *Cad. Bras. de Ens. de Fís.*, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 292-305. 2016.

TEIXEIRA, Andrea Regina; ALLIPRANDINI, Paula Mariza Zedu. Intervenção no uso de estratégias de aprendizagem diante de dificuldades de aprendizagem. *Psicol. Esc. Educ. Maringá*, v. 17, n. 2, p. 279-288, Dez. 2013.

YOUNG, Hugh D., FREEDMAN, Roger A.. *Física III*. São Paulo: Addison Wesley, 2009. 426 p.

**APÊNDICE A - Relatório de atividade experimental submetido aos alunos****E.E.E.M. CÔNEGO JOÃO BATISTA SORG****Relatório de atividade experimental**

1. Lâmpadas de diferentes tipos (incandescente e eletrônica) e potências foram ligadas à tomada 220V da sala de aula. Observe a forma de onda produzida pela corrente elétrica e determine para cada uma delas:
  - a) se a corrente é contínua ou alternada.
  - b) o tipo de lâmpada (escreva a resposta na legenda das Figuras).
  - c) o período da onda.
  - d) a frequência da corrente elétrica.

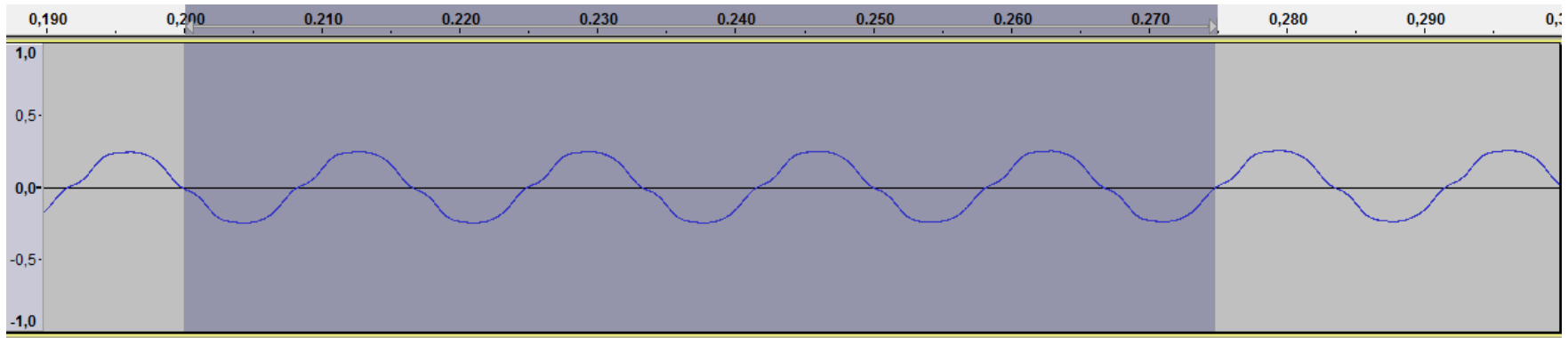


Figura 1: Forma de onda produzida por uma lâmpada \_\_\_\_\_. Os tempos estão em segundos.

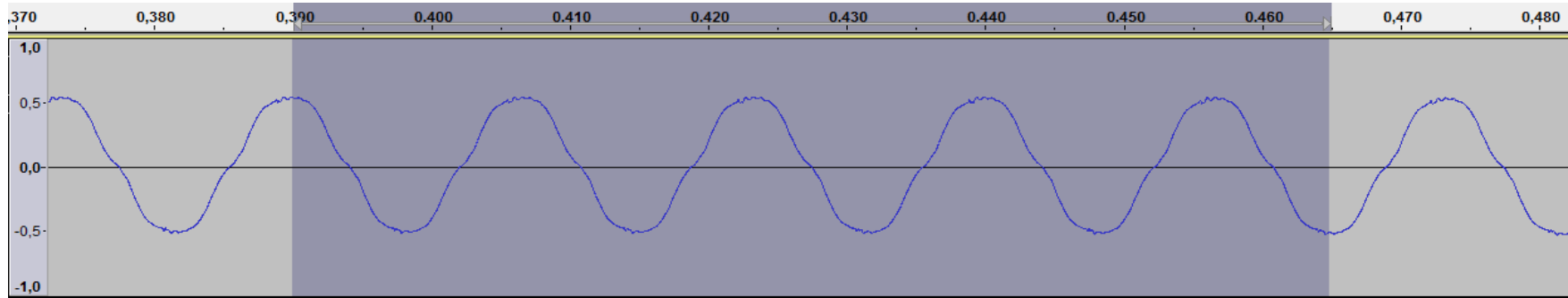


Figura 2: Forma de onda produzida por uma lâmpada \_\_\_\_\_. Os tempos estão em segundos.

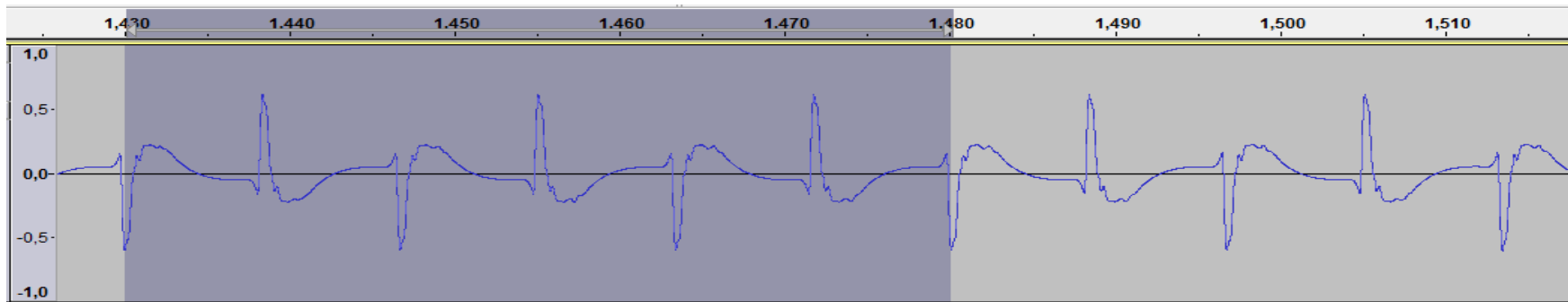


Figura 3: Forma de onda produzida por uma lâmpada \_\_\_\_\_. Os tempos estão em segundos.

2. As frequências das 3 lâmpadas são iguais? Seus períodos são iguais? A frequência é determinada pelo tipo de lâmpada ou pela companhia fornecedora de energia?

3. Quais destas lâmpadas são feitas com filamento de tungstênio e quais são lâmpadas eletrônicas fluorescentes?

4. A Figura 4 faz a comparação entre a forma de onda da corrente elétrica de duas lâmpadas utilizadas no experimento e ambas foram ligadas em 220 Volts. De acordo com a figura, qual das lâmpadas tem maior potência? Justifique.

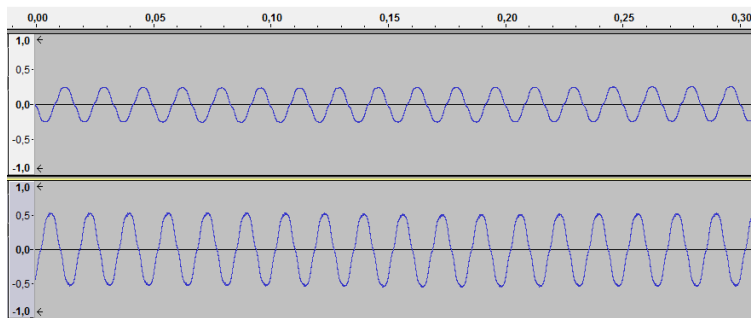


Figura 4: Comparação entre a forma de onda de duas lâmpadas de potências diferentes.

5. Os componentes harmônicos de uma forma de onda mostram quais frequências tem suas amplitudes maiores em relação às outras. No seu entender, o que representa cada barra mostrada no gráfico de barras das componentes harmônicas?

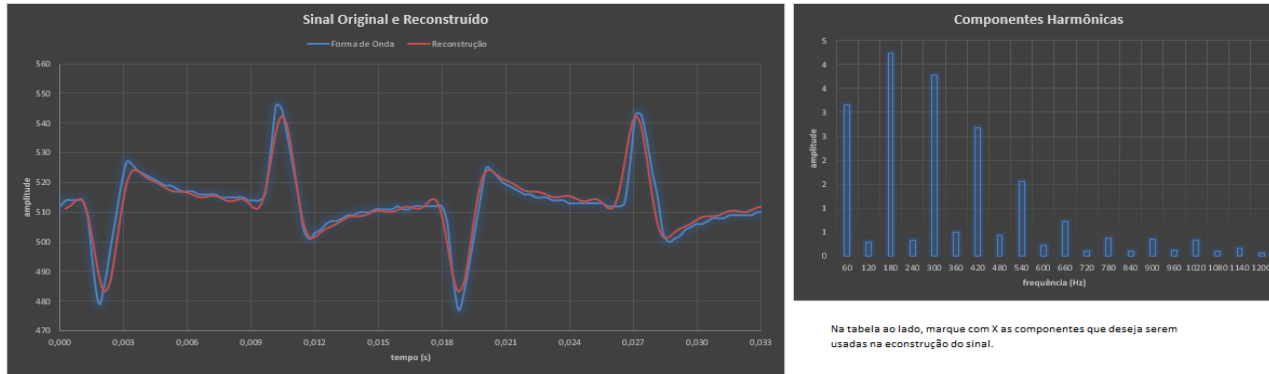


Figura 5

6. Complete com o número da figura que melhor representa os dispositivos relacionados abaixo:

- ( ) lâmpada eletrônica
- ( ) lâmpada incandescente
- ( ) ferro de passar
- ( ) carregador de celular
- ( ) fonte de notebook
- ( ) ebulidor (rabo quente)
- ( ) sinal de TV digital

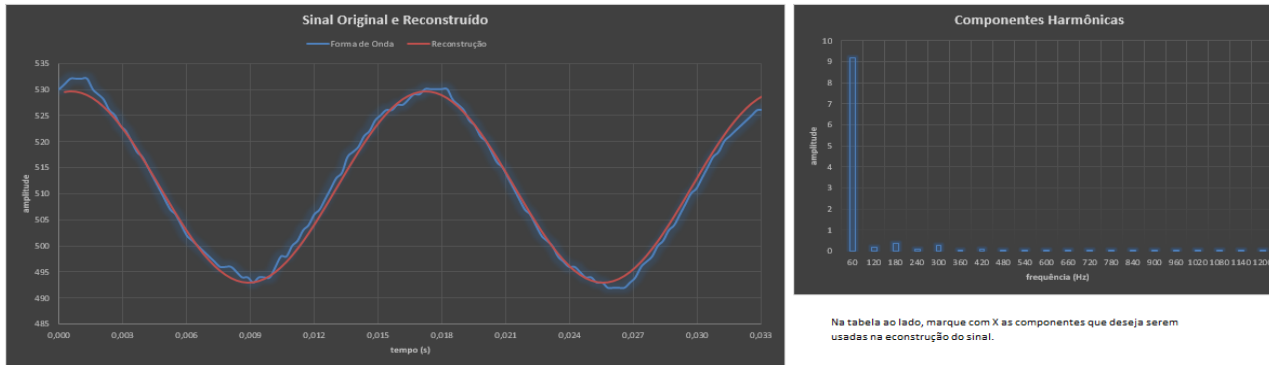


Figura 6

7. Explique porque da diferença das formas de onda de cada dispositivo com base nos componentes harmônicos mostrados nos gráficos.

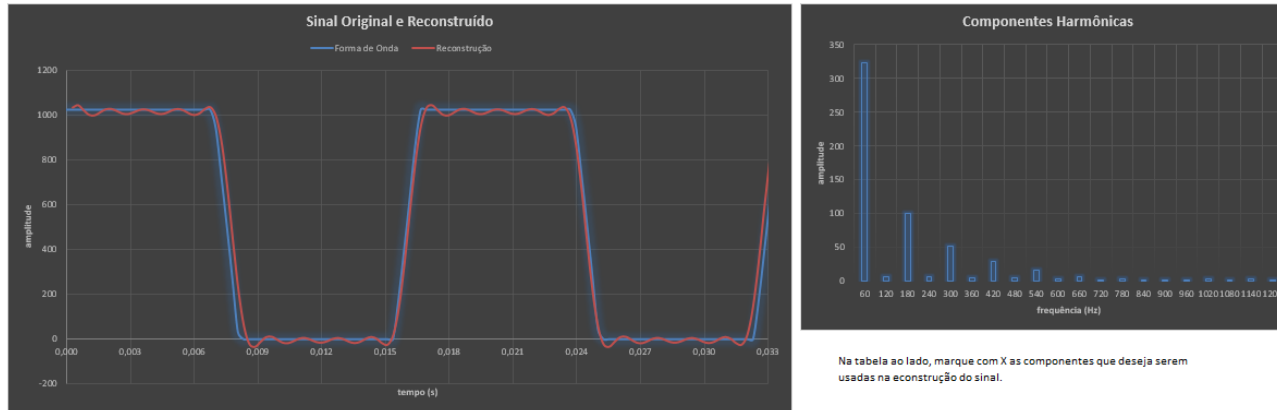


Figura 7

8. Comente algumas vantagens da digitalização de sinais.



## **PRODUTO EDUCACIONAL**

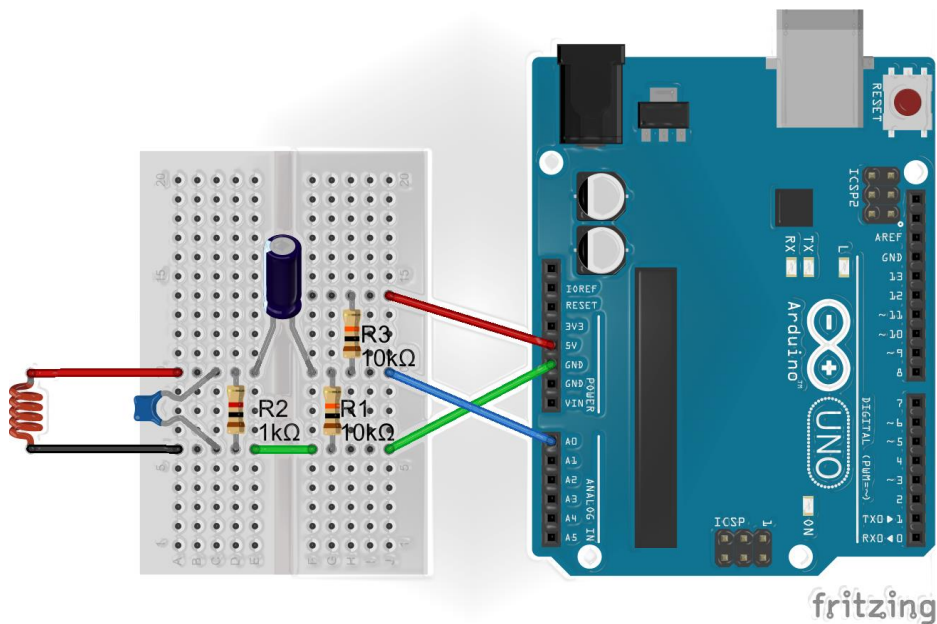
O Produto Educacional encontra-se disponível no endereço:

[http://ppgecm.upf.br/images/pdf/ProdutosDeDissertacoes/Guilherme\\_PRODUTO.pdf](http://ppgecm.upf.br/images/pdf/ProdutosDeDissertacoes/Guilherme_PRODUTO.pdf)



## CARTILHA DE ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada de eletrodomésticos.



Guilherme Dionisio

Orient. Luiz Eduardo S. Spalding

Passo Fundo, 2017

guilherme.dionisio@bol.com.br

spalding@upf.br

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. TOROIDE (SENSOR DE CORRENTE) .....	3
3. MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL.....	3
3.1 Material.....	3
3.2 Procedimento.....	4
4. CAPTURA COM AUDACITY.....	4
4.1 Montagem do cabo para microfone .....	4
4.1.1 Materiais.....	4
4.1.2 Montagem .....	4
4.2 Como usar o Audacity.....	5
4.2.1 Visualizando a forma de onda com o Audacity.....	6
5. CAPTURA COM ARDUINO .....	6
5.1 Material.....	6
5.2 Montagem do circuito condicionador de sinais para uso do Arduino .....	7
5.3 Código de aquisição do Arduino .....	7
5.4 Tutorial Arduino.....	8
5.4.1 O ambiente de programação do Arduino.....	8
5.4.2 Fazendo a aquisição de dados com o Arduino .....	8
5.4.3 Desenhando a curva no Excel.....	9
6. APLICATIVO PARA AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS E ANÁLISE DO SINAL DIGITAL.....	10
6.1 O aplicativo ColetaCA.....	10
6.1.1 Utilização do aplicativo .....	11
7. REFERÊNCIAS.....	11
ANEXO 1 .....	12
Linguagem de programação Python.....	12
Instalação do Python(x,y) .....	12
Código Python para leitura e cálculo da DFT .....	13
Análise com Excel .....	14

8. ANEXO 2.....	15
8.1 Sugestão de uma sequência didática .....	15
8.1.1 Módulo 1: Energia e meio ambiente.....	15
8.1.2 Módulo 2: Caminho da energia elétrica .....	16
8.1.3 Módulo 3: Gerador eletromagnético .....	16
8.1.4 Módulo 4: Atividade experimental .....	17
8.1.5 Módulo 5: Compreendendo os dispositivos digitais .....	17
8.1.6 Sugestão de avaliação.....	18

# 1. INTRODUÇÃO

Este livreto apresenta a montagem do equipamento experimental para estudo de corrente elétrica alternada (CA) a partir da visualização da forma do sinal da corrente em equipamentos elétricos domésticos de baixa potência, que neste texto será chamado de forma de onda (FO).

Apresentam-se três maneiras distintas de aplicar o experimento para contemplar professores e alunos com diversos níveis de conhecimento em experimentos assistidos por computador, Arduino e programação de computadores. Esta tríade também se refere ao aprofundamento que se deseja dar ao conhecimento resgatado e adquirido com a prática, levando-se em consideração o nível de escolaridade (educação básica ou superior) do aluno com o qual se fará o trabalho.

- O uso do programa de áudio Audacity é indicado àqueles sem prática em programação Arduino, que não possuem conhecimento em eletrônica ou que não desejam executar um experimento mais elaborado.
- Para os entusiastas da placa Arduino, apresenta-se uma aplicação que possibilita a aquisição de dados e, dessa forma, a manipulação destes dados com uma planilha de cálculo (no caso o Excel).
- Aos que possuem conhecimento em programação de computadores (ou têm interesse em aprender), apresenta-se uma proposta de uso da linguagem Python integrada ao uso do Arduino e do Excel. Neste caso, um sinal elétrico é decomposto em seus harmônicos sendo possível uma análise mais detalhada da CA em equipamentos domésticos.

No ANEXO 2 deste livreto, apresenta-se uma sugestão de uma sequência didática para o uso contextualizado do aparato experimental aqui apresentado (DIONISIO & SPALDING, 2016).

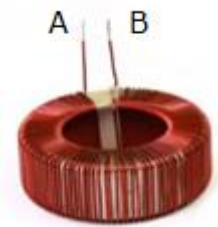
Video <https://youtu.be/Kjq4a9tbSM0>

Apresentação do produto educacional: *aparato experimental, funcionamento, recursos e realização de testes.*

# 2. TOROIDE (SENSOR DE CORRENTE)

O Toroide utilizado nestas medições é fabricado pela empresa Toroid de São José dos Pinhais, PR, Brasil (<http://www.toroid.com.br>). Ele é feito de material ferromagnético e tem o número de referência de fabricação 8559.

Também pode ser referenciado pelo seu tamanho combinado com a sua relação de correntes entre primário e secundário (20/0,04 A). Isto significa que o enrolamento do secundário (ligado aos terminais A e B da figura) foi dimensionado para conduzir uma corrente de 0,04 A no seu enrolamento quando pelo condutor que passa pelo furo (orifício central) do toroide circular uma corrente de 20 A. Este toroide também recebe, na mesma empresa uma outra referência, 100/0,2 A.



# 3. MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

## 3.1 Material

- tábuas de madeira de 25x5cm (aproximadamente);
- 1 x interruptor;
- 1 x tomada externa;
- 1 x conector múltiplo (tipo *sindal*) de 2 polos;
- 1 x plugue de tomada macho (“flecha”);
- cabo elétrico paralelo de 1 mm<sup>2</sup> para extensão;
- parafusos para fixação das peças;



Figura 1: Conector múltiplo encontrado em lojas de ferragens.

## 3.2 Procedimento

Fazer uma extensão conectando uma das extremidades do cabo paralelo ao plugue de tomada macho. Descapar a outra extremidade (este lado será conectado ao sindal). Guardar uma parte do fio para o restante das ligações, de acordo com a Figura 2.

Montado, o aparato ficará assim:

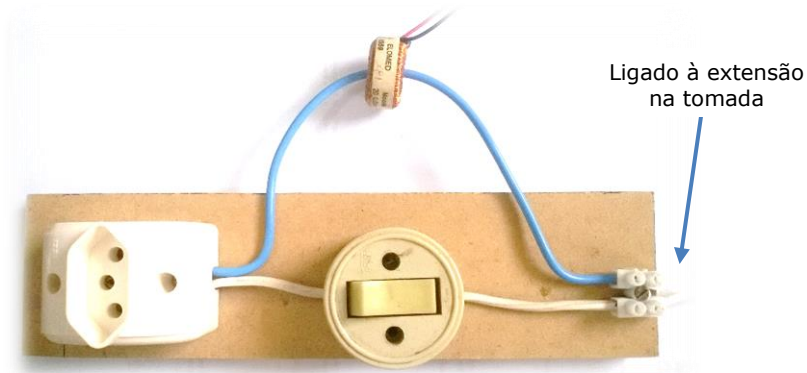


Figura 2: Circuito de leitura das tensões analógicas com o toroide.

## 4. CAPTURA COM AUDACITY

### 4.1 Montagem do cabo para microfone

#### 4.1.1 Materiais

- Cabo manga 2 vias (ou mais) AWG26 (usado em instalação de alarmes, câmeras de monitoramento, etc);

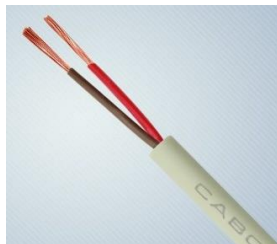


Figura 3: Cabo manga de 2 vias.

- conector P2 4 polos (fone/microfone);



Figura 4: Conector P2 de 4 polos.

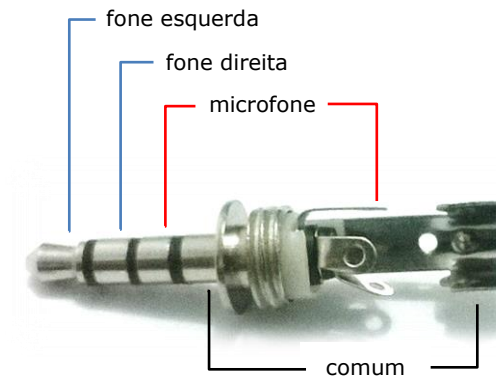


Figura 5: Estrutura do conector P2 de 4 polos.

- Tubo termo-retrátil (espaguete) 1,5mm (opcional para fazer o acabamento do cabo);

#### 4.1.2 Montagem

- Retirar a capa externa e descascar os fios internos das duas pontas do cabo.
- Em uma das pontas, soldar os fios nos pinos do microfone e comum do conector conforme indicações da Figura 5.
- Fechar o conector com a capa.
- Na outra extremidade fazer o acabamento com o tubo termo-retrátil deixando pontas livres para contato (realce da Figura 6).

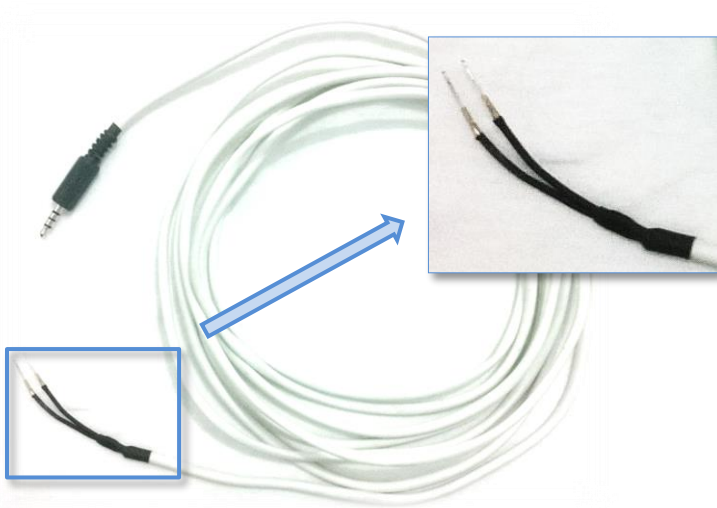


Figura 6: Cabo para ligar o toroide à entrada de microfone do computador.

As pontes do cabo de microfone são colocadas nos pontos A e B da Figura 7. Para usar o Audacity, não é necessário a placa do Arduino, apenas o circuito condicionador de sinal. É importante que exista um capacitor (no caso da Figura 7 é um de  $47 \mu\text{F}$ ) entre a entrada do microfone e o toroide para que a bateria do microfone que está dentro da placa de som do computador não se descarregue na bobina do toroide.

O circuito que condiciona o sinal, mostrado na Figura 7, pode ter outros valores nas grandezas dos componentes, conforme for o circuito da placa de som do computador e até mesmo, com alguma variação das características do toroide. Estes valores de componentes proporcionaram um resultado satisfatório para visualizar as formas de onda (FO) das correntes elétricas produzidas pelas lâmpadas escolhidas pela equipe. Outras placas de som podem necessitar de outros valores de componentes para uma melhor aproximação da forma de onda observada no Audacity com a forma de onda observada no osciloscópio. Um osciloscópio digital foi utilizado para comparar estas FO, mas estes resultados não são apresentados neste trabalho.

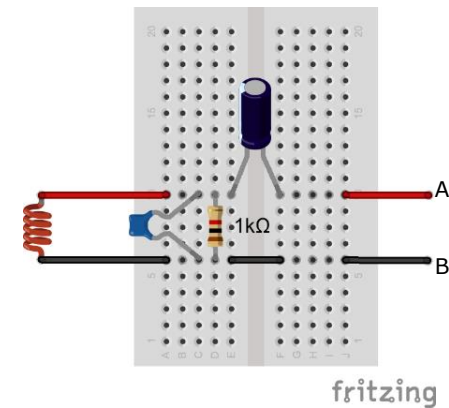


Figura 7: Circuito condicionador de sinal para uso com o cabo de microfone e Audacity.

## 4.2 Como usar o Audacity

O Audacity pode ser baixado no site oficial <http://www.audacityteam.org> nas versões para Windows, Linux e Mac. Abaixo estão descritas as principais funções usadas neste experimento.

Ao iniciar o programa, a tela inicial aparecerá:

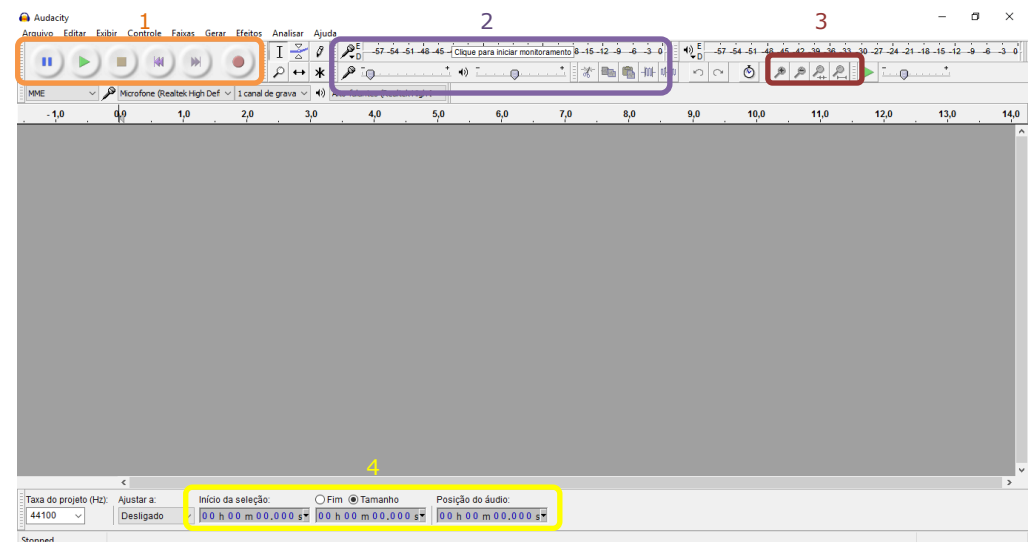


Figura 8: Tela inicial do Audacity mostrando as principais funções utilizadas no experimento.

No recorte 1 (Figura 9), estão os comandos de controle de áudio, incluindo o botão de gravação e reprodução de áudio.



Figura 9: Botões de controle de gravação e reprodução de áudio.

No recorte 2 (Figura 10), em (a) tem-se o controle da intensidade de entrada do sinal. Ajuste a intensidade, inicialmente, em um valor bem próximo do mínimo. Caso o sinal capturado apareça distorcido, pode-se controlar sua intensidade para um nível mais adequado; e em (b) tem-se as opções de copiar e cortar seleções da gravação.

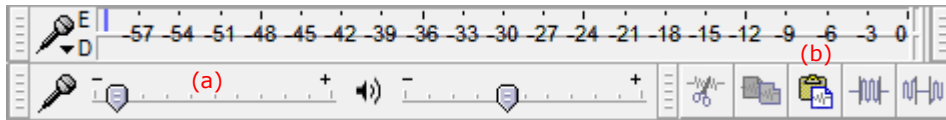


Figura 10: Recorte da tela do Audacity.

No recorte 3 mostrado na Figura 8, aparecem as opções de *zoom*. Pode-se aproximar ou afastar a visualização de um trecho selecionado. Enquanto que, no recorte 4, aparecem as informações de tempo.

#### 4.2.1 Visualizando a forma de onda com o Audacity

Siga os passos abaixo para realizar o experimento.

- Ligue uma lâmpada incandescente à tomada do aparato (Figura 2).
- Conecte o cabo de microfone (Figura 6) aos terminais do toroide do aparato (Figura 2) e o plugue à entrada do microfone do computador.
- Inicie o programa Audacity;
- Inicie uma gravação;
- Ligue o interruptor por alguns segundos;
- Pare a gravação;
- Aumente o *zoom* até visualizar a forma de onda;
- Selecione uma (ou mais) onda(s);

- Meça o período da onda selecionando a opção “Tamanho” que aparece no recorte 4 da Figura 8.

**OBS:** Ligue na tomada outros tipos de lâmpadas (eletrônica e LED) ou aparelhos eletroeletrônicos (carregador de celular, fonte de *notebook*, ...) e siga os mesmos passos. Assim, é possível comparar a forma de onda produzida por cada um deles.

**ATENÇÃO:** O limite de tensão tolerável da entrada de microfone da placa de som é 245mV. Desta forma, aparelhos de potência elevada (maior do que 60W) ligados em tensão 220V poderão danificar a placa.

Vídeo <https://youtu.be/aQ981eITx94>

Este vídeo demonstra o uso do Audacity para visualização e análise da forma de onda da CA por uma lâmpada incandescente de 15W.

## 5. CAPTURA COM ARDUINO

A placa Arduino fará a conversão das tensões analógicas no toroide em seus equivalentes digitais. Para isto, é preciso a montagem de um circuito condicionador de sinais para conectar o toroide à placa.

### 5.1 Material

- 1 x matriz de contatos (*protoboard*);
- 2 x resistores de 10 k $\Omega$ ;
- 1 x resistor de 1 k $\Omega$ ;
- 1 capacitor de 10 nF;
- 1 capacitor de 4,7  $\mu$ F;
- fios para contato.

## 5.2 Montagem do circuito condicionador de sinais para uso do Arduino

Usando a *protoboard*, monte o circuito conforme o esquema:

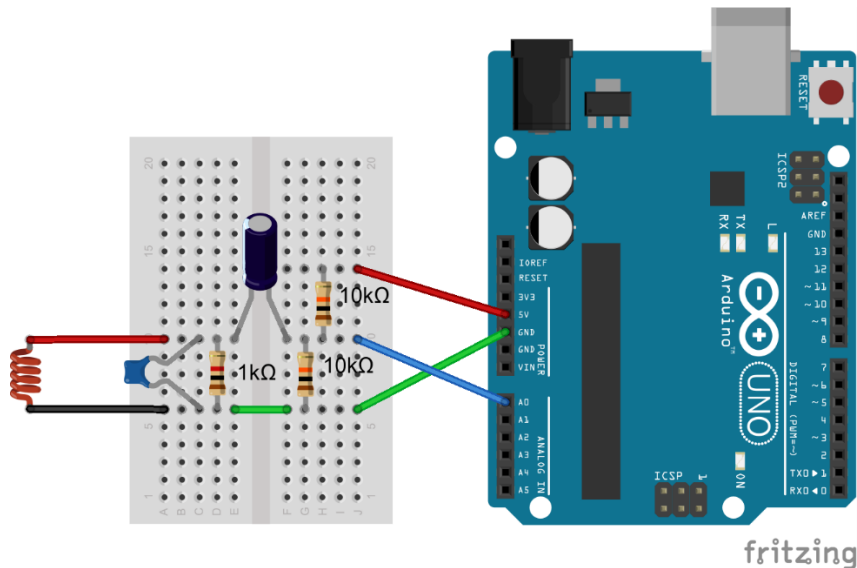


Figura 11: Esquema de montagem do circuito condicionador com o Arduino.

## 5.3 Código de aquisição do Arduino

- Abrir a IDE do Arduino e carregar o código abaixo (também disponível para download no link <https://goo.gl/uJ5IR2>):

```

1  #define AMOSTRAS 128 //define o número de dados coletados
2  int DADO[AMOSTRAS]; //cria o vetor DADO
3  int sensorValue;
4
5  void setup() {
6    Serial.begin(9600);
7  }
8
9  void loop() {
10   //lê a porta A0 a cada 16,7ms e armazena numa lista
11   for (int i=0; i<AMOSTRAS; i++) {
12     sensorValue = analogRead(A0); //lê o dado da porta analógica
13     DADO[i] = sensorValue; //armazena o valor
14     delayMicroseconds(148); //espera 148 microsegundos
15   }
16   //escreve os dados na porta serial
17   for (int i=0; i<AMOSTRAS; i++) {
18     Serial.println(DADO[i]);
19     delay(20);
20   }
21
22   while(1) { }; //interrompe a execução do programa
23 }

```

Código escrito pelos autores.

O programa apresentado é responsável pela aquisição das tensões instantâneas, conversão destas tensões em seus equivalentes digitais e transmissão destes dados para o computador.

O código apresentado acima começa com a declaração variáveis e inicialização da comunicação serial (linhas 1 a 7). Depois, faz a leitura da porta analógica A0 (linha 12), armazena o valor numa matriz DADO[i] (linha 13) e posteriormente escreve estes dados na porta serial (linha 17).

A frequência da rede elétrica é 60 Hz e para se obter uma FO da tensão sobre o dispositivo ligado à tomada da Figura 2 é preciso fazer coincidir 64 leituras no período de  $1/60 \text{ s} = 16,67 \text{ ms}$ . Sendo assim, o intervalo entre cada medida deverá ser de  $260 \mu\text{s}$ . Como o tempo de execução das funções de leitura (linha 12) e de armazenamento do valor lido (linha 13) consome cerca de  $112 \mu\text{s}$ , é preciso incluir um atraso de  $148 \mu\text{s}$  entre leituras (linha 14) (DIONISIO & SPALDING, 2017). Nos experimentos foi realizada a captura de dois ciclos completos, ou seja, 128 amostras (linha 1).



## 5.4 Tutorial Arduino

Caso ainda não tenha a IDE Arduino instalada, baixe a versão mais atual em <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> e instale no seu computador.

### 5.4.1 O ambiente de programação do Arduino

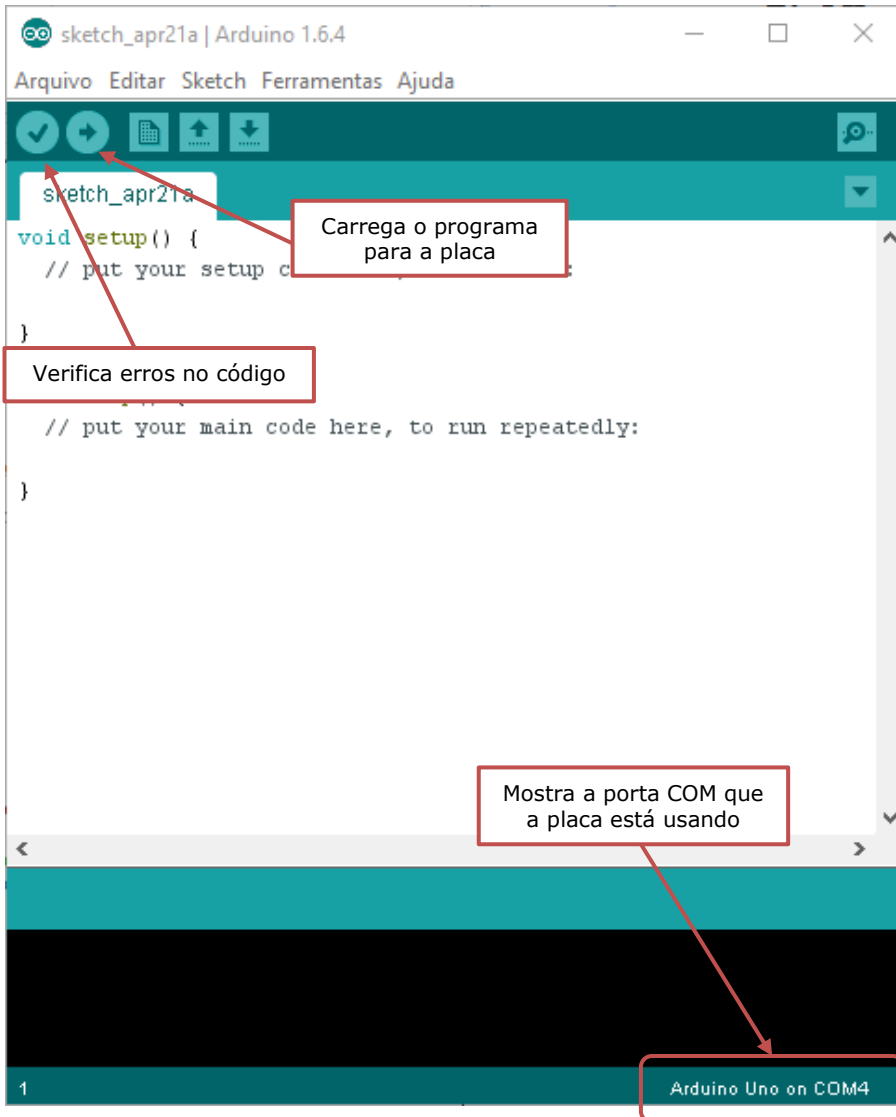


Figura 12: Tela inicial da IDE Arduino.

Caso, ao carregar o código para a placa, o ambiente informe erro, verifique se a porta COM em que seu Arduino está conectado e o modelo da placa estão corretamente selecionados. A alteração dessas configurações é feita no menu Ferramentas.

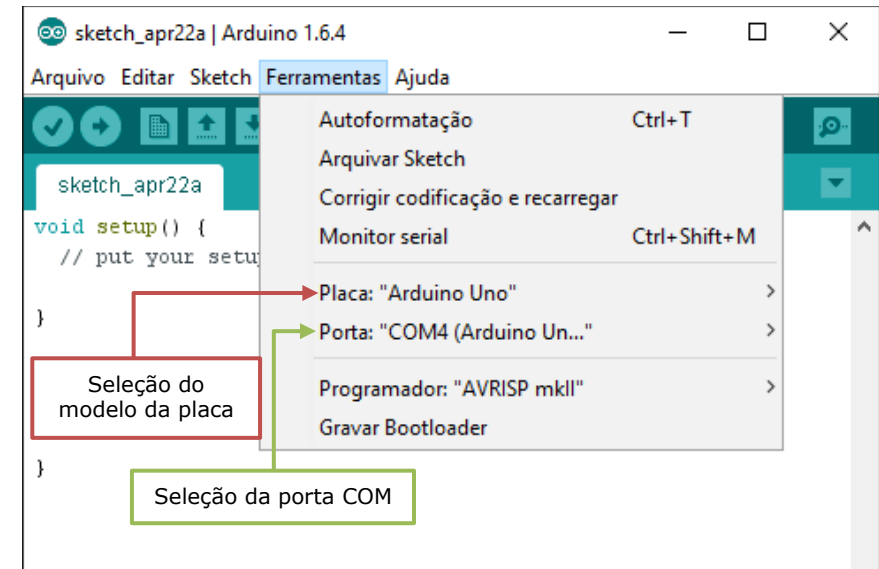


Figura 13: No menu Ferramentas são feitas as configurações do modelo da placa Arduino e da porta de comunicação a qual ele se conectou.

### 5.4.2 Fazendo a aquisição de dados com o Arduino

Após carregar o programa para a placa, abre-se o Monitor serial (Ferramentas -> Monitor serial ou pelas teclas de atalho **Ctrl + Shift + M**).

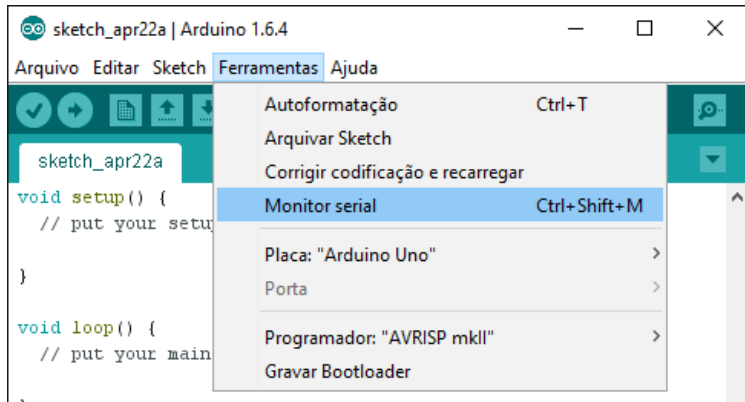


Figura 14: O Monitor serial apresenta os dados escritos pelo Arduino na porta serial do computador.

Ao iniciar o Monitor serial, a placa iniciará o programa e escreverá os valores na tela. Estes dados podem ser selecionados e copiados para uma planilha eletrônica (MS-Excel, LibreOffice Calc, ...) para o traçado da forma de onda da corrente elétrica.

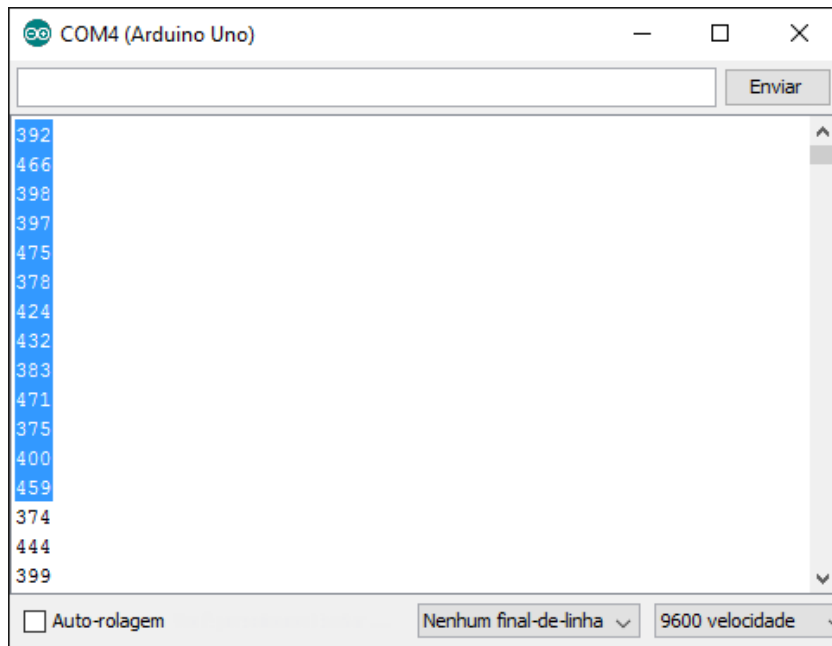


Figura 15: Monitor serial do Arduino. Os dados são selecionados com o *mouse* e copiados para a área de transferência.

**DICA:** Para copiar estes dados para a área de transferência e posteriormente inseridos numa planilha use as teclas de atalho **Ctrl + C**.

### 5.4.3 Desenhando a curva no Excel

Nesta seção mostra-se como utilizar uma planilha de cálculo para visualização da forma de onda a partir dos dados lidos pelo Arduino. A importação dos dados é feita manualmente, conforme mostrada na seção 5.4.2.

Através do link <https://goo.gl/d6cHA0>, pode-se baixar o arquivo **VisualizaSinal.xlsx** que contém a planilha mostrada na Figura 16 pronta para ser usada ou alterada. A planilha também contém exemplos com dados e gráficos para lâmpadas incandescentes e eletrônica.

Caso queira-se montar a planilha, descreve-se a seguir como fazê-la:

- No Excel (ou outra planilha eletrônica), cria-se uma tabela com três colunas: amostra, tempo (s) e valor serial.
- A coluna “amostra” deve ser numerada de 0 a 127 (totalizando 128 amostras fornecidas pelo Arduino).
- Na coluna “tempo (s)” calcula-se o instante em que ocorre cada uma das 128 amostras. O programa está escrito para fazer 64 medidas por ciclo. Isto é, se a frequência da CA for  $f = 60\text{Hz}$ , então o período será  $T = 1/60\text{Hz}$ , e o intervalo de tempo entre medidas,  $\Delta t = T/64$ . A fórmula para este cálculo na planilha é mostrada em destaque na Figura 15;
- Na coluna “valor serial” serão inseridos os dados fornecidos pelo *Monitor Serial* da IDE Arduino, conforme as indicações da Figura 15.
- No menu “Inserir”, desenha-se um gráfico do tipo “Dispersão com Linhas Suaves”, selecionando as colunas “tempo (s)” e “valor serial”.

The screenshot shows the Excel interface with the following data in the spreadsheet:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	amostra	tempo (s)	valor serial					
2	0	0,0000000	511					
3	1	0,0002604	509					
4	2	0,0005208	508					
5	3	0,0007813	506					
6	4	0,0010417	505					
7	5	0,0013021	504					
8	6	0,0015625	502					

The formula bar shows the formula:  $= (1/60) * A2 / 64$

Figura 16: Planilha do Excel para visualização da forma de onda.

Vídeo <https://youtu.be/5nwog9sm9zk>

Este vídeo mostra como montar e inserir os dados na tabela. Na sequência, apresenta os resultados para uma lâmpada incandescente de 15W e uma eletrônica de 9W

## 6. APLICATIVO PARA AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS E ANÁLISE DO SINAL DIGITAL

### 6.1 O aplicativo ColetaCA

De forma alternativa à descrita no capítulo anterior, utiliza-se uma planilha Excel com uma aplicação macro que automatiza o sistema de aquisição das tensões digitais e visualização da forma de onda da corrente elétrica. Além destas funções, a aplicação também calcula a Transformada Discreta de Fourier que possibilita decompor o sinal nos seus harmônicos proporcionando a análise mais completa dele. Os detalhes deste procedimento são descritos no ANEXO 1.

O aplicativo **ColetaCA**, disponível para *download* gratuito em <https://goo.gl/Fgnj8e>, foi desenvolvido para ser utilizado com circuito condicionador de sinais (seção 5.2) e o programa Arduino (seção 5.3). O uso do aplicativo permite que seja feita a leitura das tensões digitais, decomposição do sinal e representação gráfica da onda original e da reconstrução a partir dos harmônicos de forma ágil com o clique de um só botão. Além disto, a planilha permite que se escolham as componentes utilizadas para a reconstrução do sinal (Figura 17).

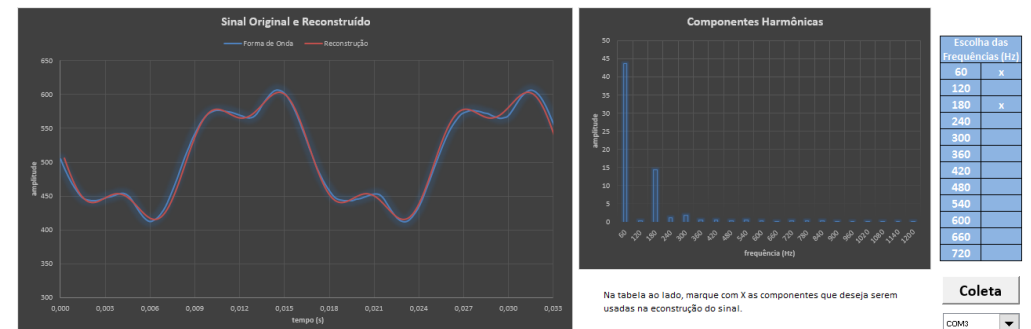


Figura 17: Recorte da tela da planilha Reconstrucao.xlsx. O gráfico à esquerda mostra a curva original e a reconstrução do sinal. O gráfico à direita mostra as componentes harmônicas do sinal. Na tabela, marca-se quais das componentes utilizar para a reconstrução.

**OBS:** O uso do aplicativo ColetaCA substitui o método de visualização da FO descrito nas seções 5.4.2 e 5.4.3.

### 6.1.1 Utilização do aplicativo

- Baixar o arquivo ColetaCA.rar;
- Descompactar na raiz do sistema (drive C:);
- Abrir a pasta de trabalho Reconstrução.xlsx;
- Selecionar a porta COM que o Arduino está utilizando;
- Clicar no botão COLETA para iniciar a leitura e importação dos dados.

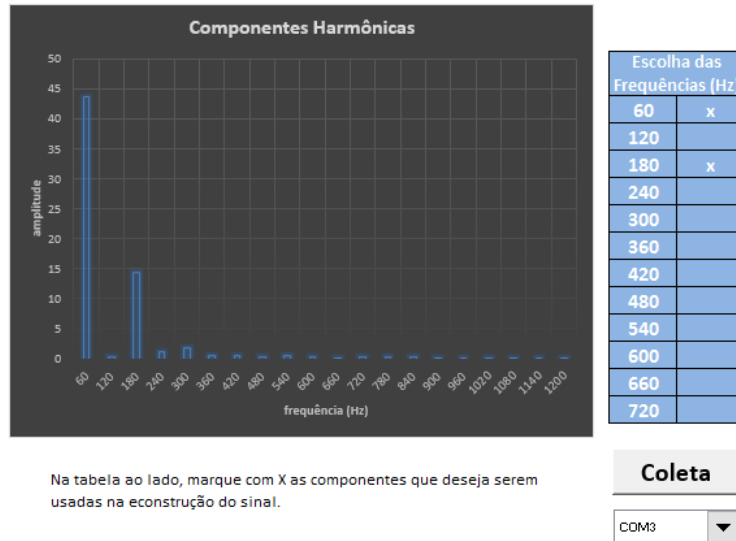


Figura 18: Recorte da tela da planilha de aquisição do aplicativo ColetaCA. Em destaque, a tabela de harmônicos, o menu de seleção da porta serial e o botão de coleta de dados.

Vídeo <https://youtu.be/IZOJ0N8i8vY>

Este vídeo mostra a utilização do aplicativo ColetaCA na análise do sinal elétrico de lâmpadas incandescente e eletrônica e de um ventilador.

## 7. REFERÊNCIAS

DIONISIO, Guilherme; SPALDING, Luiz Eduardo Schardong. Programa de ensino de corrente alternada ancorado nos três momentos pedagógicos. **Caderno de Física da UEFS**, v. 14, n. 2, 2302.1-15, jul.-dez. 2016.

DIONISIO, Guilherme; SPALDING, Luiz Eduardo S. Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 39, p. e1501, 2017.

Página da distribuição Python(x,y). Disponível em: <https://python-xy.github.io>. Acesso em: 28 set. 2016.

Página da distribuição SciPy. Documentação e download. Disponível em: <https://www.scipy.org/>. Acesso em 28 set. 2016.

Página do programa Audacity. Disponível em: <http://www.audacityteam.org>. Acesso em 28 set. 2016.

Página do projeto Arduino. Disponível em: <https://www.arduino.cc>. Acesso em 28 set. 2016.

# ANEXO 1

Este texto é destinado aos aficionados pela programação de computadores. Apresentamos o uso da linguagem de programação Python e o código de leitura dos dados capturados pelo Arduino utilizado no desenvolvimento do aplicativo ColetaCA, seguido de um exemplo de utilização. Dessa forma, incentiva-se o desenvolvimento de novas aplicações baseadas neste trabalho.

## Linguagem de programação Python

O Python é uma linguagem de programação interpretada que prioriza a legibilidade do código. Seu uso é livre comercialmente e vem gradativamente ganhando espaço entre programadores na medida que são desenvolvidas bibliotecas para usos mais específicos, como bibliotecas gráficas e de computação científica, podendo eficientemente substituir programas comerciais como Matlab e Mathematica. Além disso, o Python é desenvolvido para plataformas Windows e Linux e um mesmo código roda nas duas plataformas sem necessidade de adaptações, um ponto positivo sobre outras linguagens.

## Instalação do Python(x,y)

Uma maneira fácil de instalar a linguagem Python com todas as funcionalidades para trabalhar com computação científica é através algum pacote de instalação disponível em <https://www.scipy.org/>. Neste tutorial é usado o Python(x,y) encontrado para *download* no link <http://python-xy.github.io/downloads.html>. Segundo o site oficial do projeto, “sua finalidade é ajudar programadores científicos que usam linguagens interpretadas (como MATLAB ou IDL) ou linguagens compiladas (C/C++ ou Fortran) a mudar para o Python.” (<http://python-xy.github.io/>).

Após baixar o arquivo de instalação, basta seguir os passos de instalação indicados pelo instalador. Uma vez instalado, o usuário conta com a linguagem Python 2.7, com as bibliotecas de computação científica e gráfica instaladas, com a IDE de programação Spyder, além de outras funcionalidades que não serão exploradas nesse tutorial.

Dando início ao Python(x,y), abrirá a tela (Figura 19) onde é possível iniciar o Spyder IDE (Figura 20) que será usado neste tutorial para programação e execução do código.

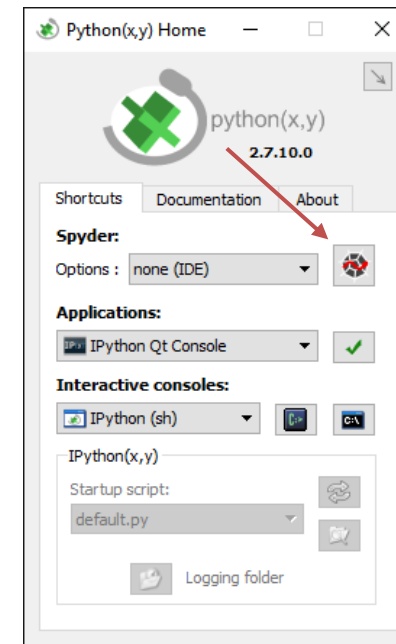


Figura 19: Console Python(x,y). No ícone apontado, dá-se início ao Spider, uma interface de desenvolvimento para Python.

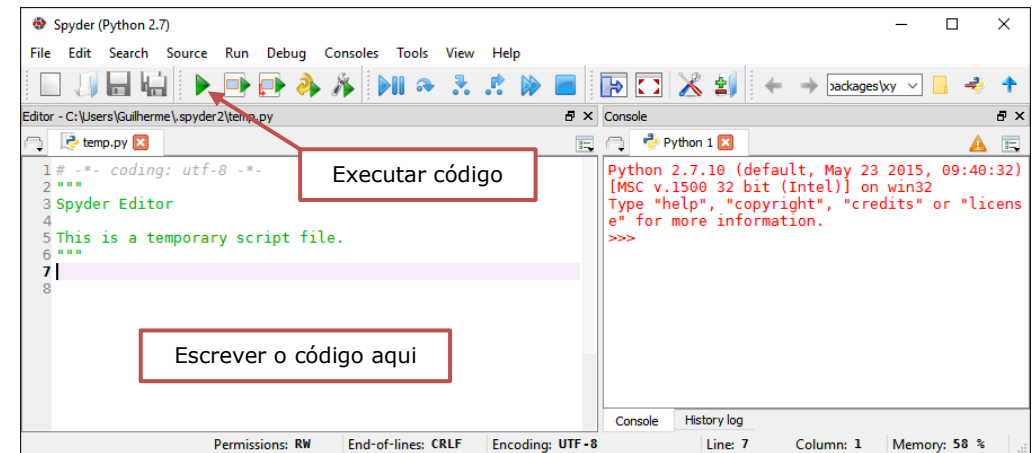


Figura 20: Tela do Spyder IDE.

## Código Python para leitura e cálculo da DFT

O código abaixo deve ser copiado no campo de código do Spyder. O arquivo **Corrente\_Alternada\_DFT.py** está disponível para download em <https://goo.gl/rfjJWc> e depois de salvo no computador pode ser aberto diretamente pelo Spyder no menu File → Open.

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  import serial, csv
3  from numpy import arange, fft, angle
4  import matplotlib.pyplot as plt
5
6  # Comunicação Serial / Alterar a porta COM para a mesma do Arduino
7  ARDUINO = serial.Serial("COM4", baudrate=9600, timeout=0.00001)
8  AMOSTRAS = 128
9  dado = []
10 for i in range (0, AMOSTRAS):
11     VALOR_SERIAL = ARDUINO.readline()
12     dado.append(int(VALOR_SERIAL))
13 ARDUINO.close()
14
15 # Definição de parâmetros
16 n_ondas = 2           # escolhe o núm. de ondas capturadas
17 n = n_ondas*64       # 64 dados capturados para cada onda
18 T = n_ondas*1.0/60   # período em função do núm. de ondas
19 dt = T/n             # intervalo entre medidas
20 t = dt*arange(0, n) # gera vetor com os instantes
21
22 # Cálculo da transformada de Fourier
23 Fk = fft.fft(dado)/(n) # coeficientes de Fourier normalizados
24 nu = fft.fftfreq(n, dt) # frequências naturais
25 delta = angle(Fk)     # ângulo de fase de cada componente
26
27 # Salvando dados no arquivo dado.csv
28 ARQUIVO = open('dado.csv', "wb")
29 writer = csv.writer(ARQUIVO, delimiter='\t', quotechar='',
30                    quoting=csv.QUOTE_ALL)
31
32 for i in range (0,AMOSTRAS):
33     writer.writerow([dado[i], nu[i], abs(Fk[i]), delta[i]])
34 ARQUIVO.close()
35
36 # Escreve os dados na tela
37 print nu

```

```

37 print abs(Fk)
38 print angle(Fk)
39
40 # Gráficos
41 plt.subplot(2, 1, 1) # gráfico dados x tempo
42 plt.xlim(0.001, T) # define limites do eixo x
43 plt.ylim(400, 600) # define valores do eixo y
44 plt.plot(t,dado, 'k-')
45 plt.xlabel('tempo(s)')
46 plt.ylabel('amplitude')
47 #-----
48
49 plt.subplot(2, 1, 2) # gráfico amplitude x harmônicas
50 plt.xlim(0, 1200) # mostra as harmônicas de 0 a 1200 Hz
51 plt.ylim(0, 50) # define limites do eixo y (amplitudes)
52 plt.bar(nu, abs(Fk),
53         width=2,
54         align='center',
55         alpha=0.4,
56         color='b',
57         label='Frequencia'
58         )
59 plt.xlabel('freq. (Hz)')
60 plt.ylabel('|A(freq.)|')
61
62 plt.show() # mostra os gráficos

```

Código escrito pelos autores.

Após copiar o código ou abrir o arquivo disponibilizado para download, deve-se executá-lo pelo atalho ► Run File (F5).

Após a execução do programa um arquivo com nome **dado.csv** é gerado na mesma pasta em que está salvo. Este arquivo contém os dados necessários para traçado da curva e análise do sinal pelas componentes harmônicas.

**ATENÇÃO:** Na linha 7 do código, deve-se alterar a porta serial para aquela usada pelo Arduino. No exemplo, a porta usada é a COM4.

# Análise com Excel

O arquivo **ReconstrucaoSinal.xlsx**, disponível em <https://goo.gl/gVAItP>, está preparado para receber os dados do arquivo **dado.csv** gerado pelo Python e apresentar uma análise de forma dinâmica.

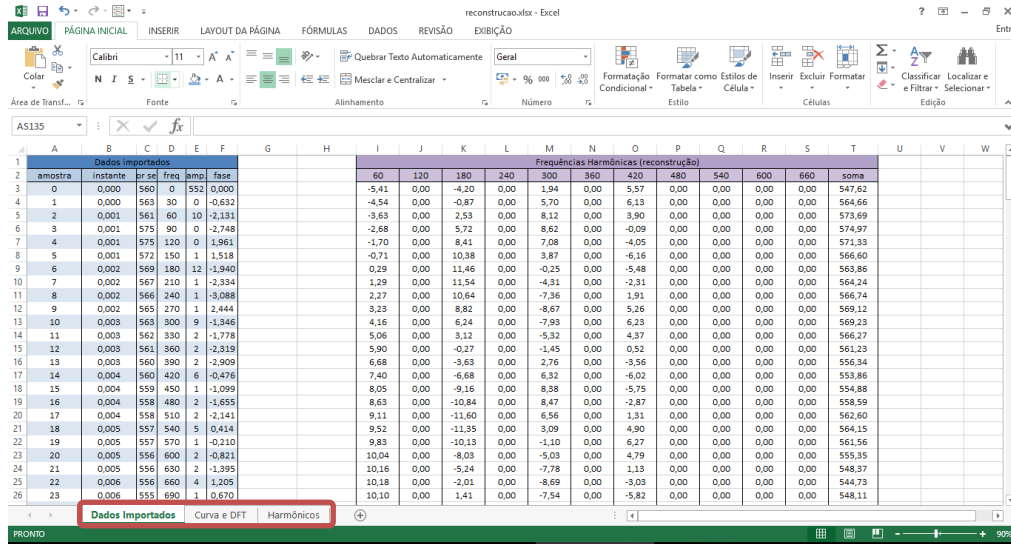


Figura 21 - Tela do arquivo ReconstrucaoSinal.xls para análise do sinal obtido com o programa ColetaCA.py. O arquivo possui três planilhas: Dados Importados, Curva e DFT e Hormônicos.

O arquivo possui três planilhas:

- **Dados Importados:** nesta planilha são importados os dados do arquivo **dado.csv** e calculado os pontos para o traçado da curva dos nove primeiros harmônicos;

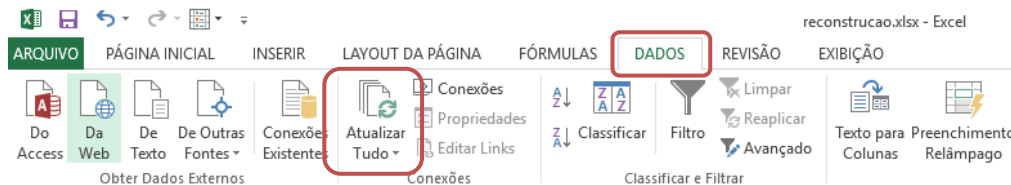


Figura 22 - Importação de dados na planilha.

- **Curva e DFT:** apresenta a curva original e a reconstrução a partir da soma dos harmônicos escolhidos;

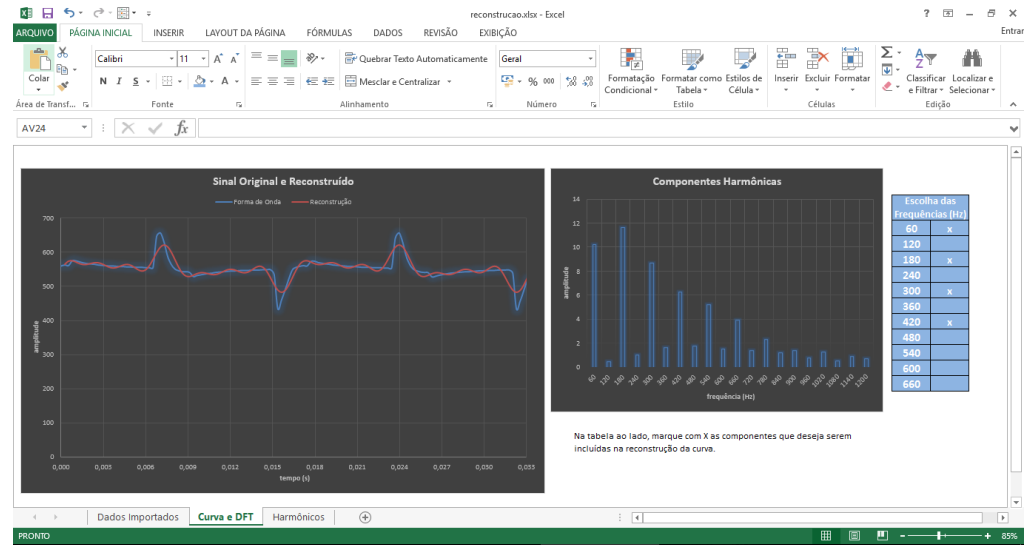


Figura 23 - Planilha do Excel com a reconstrução da curva.

- **Harmônicos:** apresenta graficamente os onze primeiros harmônicos.

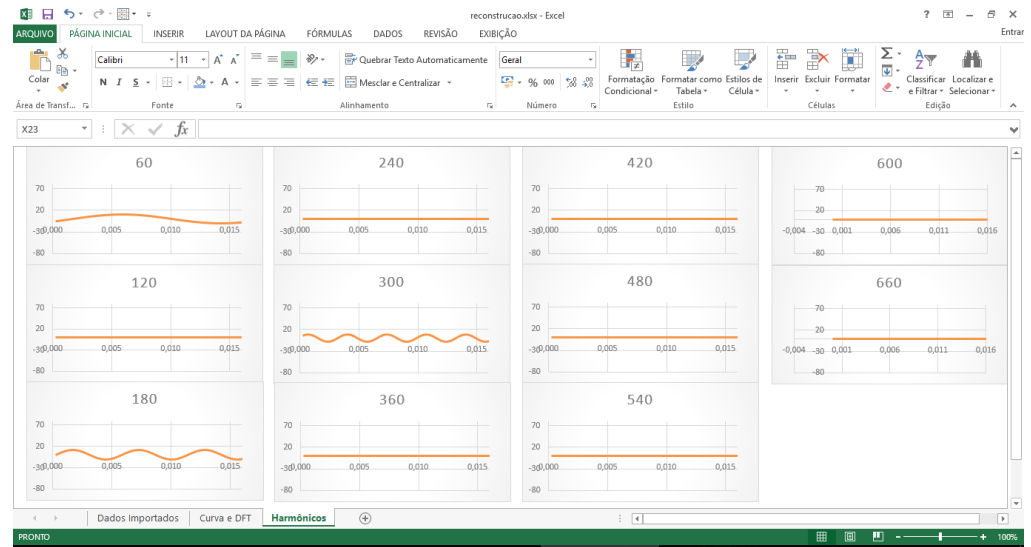


Figura 24 - Planilha do Excel mostrando os onze primeiros harmônicos do sinal.

Vídeo <https://youtu.be/P6FYFT03dTo>

Este vídeo demonstra a importação de dados e uso da planilha reconstrução.xlsx.

## 8. ANEXO 2

### 8.1 Sugestão de uma sequência didática

Para aplicação do experimento de visualização da corrente elétrica alternada (CA) no ensino médio, sugerimos a sequência didática, cujas atividades estão distribuídas conforme o Quadro 1. Tal distribuição foi pensada de forma a serem trabalhados os pré-requisitos ao estudo da CA; introdução aos conceitos de eletromagnetismo essenciais à compreensão do aparato e dos resultados da experimentação; e apresentação de elementos da tecnologia digital exemplificando algumas aplicações.

Quadro 1 - Distribuição das atividades.

Módulo 1	Energia e meio ambiente	Matriz energética brasileira, meios de geração de energia (hidrelétrica, eólica, termoelétrica, nuclear, solar), impactos ambientais.
Módulo 2	Caminho da energia elétrica	Geradores, linhas de transmissão, subestações, AC x DC. Apresentação de vídeos.
Módulo 3	Gerador eletromagnético	Princípios do eletromagnetismo com simuladores PHET: campo magnético, polos magnéticos, lei de Ampère e lei de Faraday.
Módulo 4	Atividade experimental	Aplicação do experimento de visualização da forma de onda; Implicações da mudança da FO na rede; Discussão dos resultados.
Módulo 5	Compreendendo os dispositivos digitais	Conversão analógico digital; Sistema binário; Análise de sinais digitais; Vantagens do uso (som, imagem, transmissão de dados).

#### 8.1.1 Módulo 1: Energia e meio ambiente

Parte-se do tema central “produção, transmissão e distribuição de energia”, abordando matriz energética brasileira e fazendo um levantamento das fontes de energia utilizadas, custos e capacidades de produção. A Figura 25 e a Figura 26 são mostradas aos alunos e servem como base de discussão e levantamento de hipóteses em relação à produção de energia elétrica e ao uso de fontes de energia renovável.

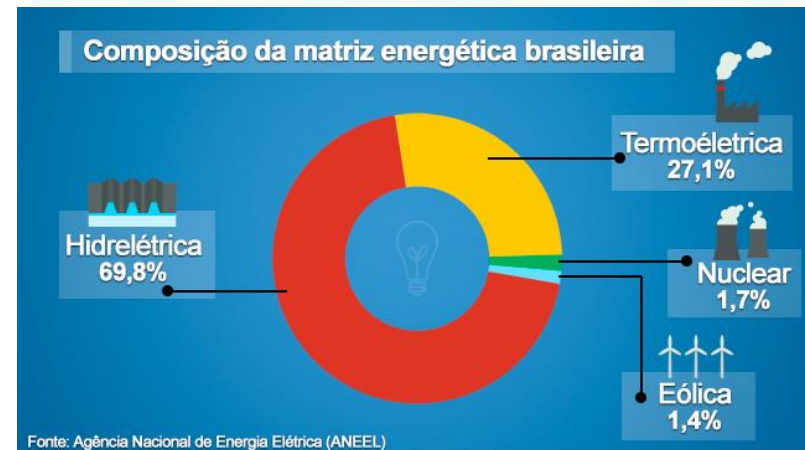


Figura 25 - Matriz energética brasileira para produção de energia elétrica. Fonte: Clima tempo, 2015.



Figura 26 - Sistema de bandeiras tarifárias adotadas em 2015. Fonte: ReclameAqui, 2015.



Para promover a discussão, o professor pode fazer uso de vídeos disponíveis no *youtube*, tais como:

- Como funciona uma usina hidrelétrica? Disponível em: <<https://youtu.be/iYPMZamqSH4?list=PLADEA8lzWEJOUyopcBZ-HwgO8vbf9gAKo>>
- Como funciona a energia solar fotovoltaica. Vídeo documentário. Disponível em: <<https://youtu.be/6ODHCBO2Xwk?list=PLADEA8lzWEJOUyopcBZ-HwgO8vbf9gAKo>>

O primeiro vídeo trata da produção de energia hidrelétrica e o funcionamento da usina, e o segundo, sobre a substituição de energias não renováveis pela energia solar fotovoltaica. Estes vídeos são sugeridos por apresentar visões diferentes sobre o impacto ambiental da instalação de diferentes usinas de geração de energia. Assim, a apresentação destes vídeos tem o intuito de contrapor opiniões e estimular a participação dos alunos.

### 8.1.2 Módulo 2: Caminho da energia elétrica

Neste módulo são abordadas as questões do transporte e distribuição de energia elétrica (Figura 27). Estas questões fundamentam-se nos princípios do eletromagnetismo, os quais o produto educacional apresentado neste trabalho se propõe ensinar, como: corrente elétrica contínua (CC) e alternada (CA), campo magnético gerado por corrente elétrica e indução eletromagnética. Deve-se destacar o papel dos transformadores de tensão presentes nas linhas de transmissão. Além destes tópicos, também deve-se questionar aos alunos quanto ao tipo de corrente elétrica (CA ou CC) que é usado no sistema de distribuição de energia.

Como objeto norteador desta investigação faz-se uso de um fragmento do documentário “Nikola Testa, o gênio da eletricidade” ([https://www.youtube.com/watch?v=RNacGtEi\\_NY](https://www.youtube.com/watch?v=RNacGtEi_NY)). Neste vídeo é mostrada a diferença entre os dois tipos de corrente elétrica, assim como, a escolha do ponto de vista funcional, no final do século XIX, pelo sistema de corrente alternada de Nikola Tesla em vez do sistema de corrente contínua de Thomas Edson.

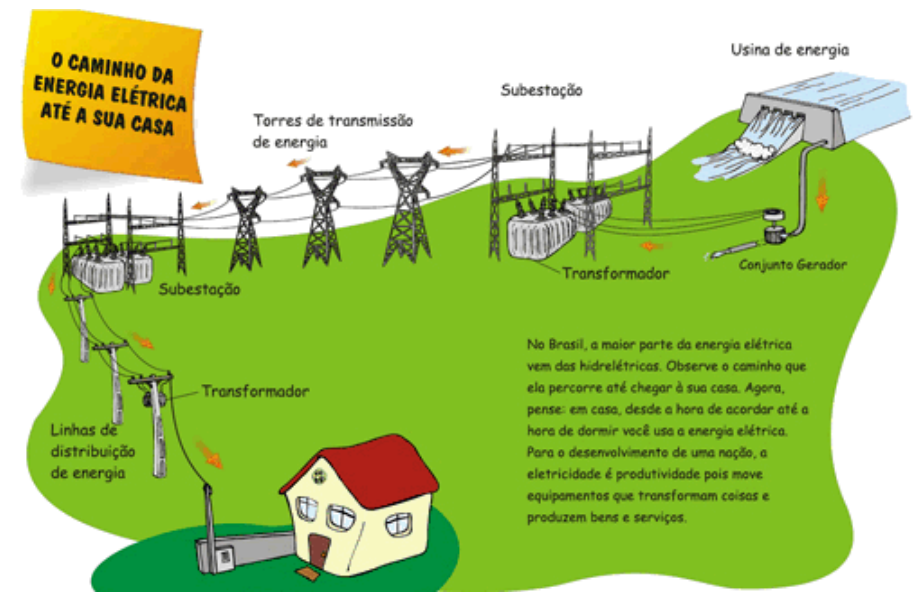


Figura 27 - Ilustração mostrando o caminho percorrido pela energia elétrica desde a sua geração até o seu uso. A ilustração é utilizada para apresentar os transformadores de tensão elétrica e justificar o uso da corrente alternada nos sistemas de distribuição. Fonte: [http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/energia\\_eletrica\\_sem\\_riscos\\_01/\\$FILE/01\\_caminho\\_energia.gif](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/arquivos/energia_eletrica_sem_riscos_01/$FILE/01_caminho_energia.gif).

### 8.1.3 Módulo 3: Gerador eletromagnético

Esta aula é destinada à realização de experimentos virtuais para o estudo dos conceitos de eletromagnetismo necessários à compreensão do gerador eletromagnético. Utiliza-se o simulador *PhET* “Laboratório de eletromagnetismo de Faraday” ([https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday)).

Este pacote reúne cinco simuladores brevemente descritos a seguir:

1. Ímã em barra: mostra o campo magnético gerado por um ímã em forma de barra. Uma bússola pode ser deslocada em torno do ímã para verificação da direção e sentido do campo em cada ponto.
2. Solenoide: um ímã pode ser deslocado próximo a um solenoide ligado a uma lâmpada mostrando a indução eletromagnética. Permite visualizar uma representação do movimento dos elétrons livres no interior do condutor.
3. Eletroímã: um solenoide ligado a uma fonte de tensão elétrica ajustável para o estudo do campo magnético produzido por corrente elétrica CA ou CC.

4. Transformador: formado por dois solenoides, um ligado a uma fonte e outro a uma lâmpada. Pode-se deslocar cada sistema em relação ao outro para indução de corrente elétrica.

5. Gerador: sistema formado por um solenoide ligado a uma lâmpada, um ímã preso a uma roda d'água e uma torneira com controle de vazão. O fluxo d'água faz girar a roda (e o ímã) induzindo corrente elétrica no solenoide.

Os simuladores devem ser utilizados como meios auxiliares à apresentação de conceitos e leis, tendo como premissa a observação do fenômeno. Assim, a cada fenômeno simulado antecede-se indagações aos alunos coletando informações, suas ideias e concepções prévias.

O simulador “Ímã em barra” é utilizado como revisão sobre magnetismo e campo magnético. Com o simulador “Solenóide” demonstramos o fenômeno de indução eletromagnética. O simulador traz a opção de representar o movimento de elétrons livres no condutor. Com isso, demonstra-se que tanto o surgimento como o sentido da corrente induzida têm dependência com a variação do fluxo magnético sobre o solenoide, conforme a lei de Faraday. Com este simulador também se demonstra a origem da corrente alternada em geradores de energia. E, então, como o simulador “Gerador”, explica-se o funcionamento de um gerador eletromagnético como aplicação do princípio da indução eletromagnética.

O experimento de Ørsted também pode ser reproduzido com o simulador “Eletroímã” e, com ele, a Lei de Ampère apresentada aos alunos. Este simulador permite alterar o valor da tensão aplicada pela fonte, mudar sua polaridade ou trocá-la por uma fonte de tensão alternada. Assim, reforçamos a diferença entre as correntes CA e CC.

Abordamos, também, o princípio de funcionamento dos transformadores de tensão, equipamento presente nas redes de transmissão de energia elétrica apresentados no módulo “Caminho da energia elétrica”.

#### 8.1.4 Módulo 4: Atividade experimental

Neste módulo é realizada a atividade experimental para visualização da forma de onda da corrente elétrica utilizando o aparato descrito neste livreto. Este aparato foi concebido para ser uma proposta de inserção de um novo conteúdo no ensino médio: o conhecimento de que a forma de onda da corrente elétrica é diferente para cada equipamento elétrico, neste caso, os eletrodomésticos. Acreditamos que isto ajuda também a entender melhor a diferença entre os conceitos de tensão elétrica e corrente elétrica. A intenção é mostrar que a tensão é oferecida pelas concessionárias de energia elétrica com a forma de onda senoidal e a corrente é uma consequência a qual equipamento esta tensão é aplicada. Ao mesmo tempo em que o aparato se apresenta

para esta finalidade, ele consolida alguns conceitos de eletromagnetismo e abre caminho para a discussão das tecnologias digitais. Um deles é a diferenciação entre sistemas analógicos de digitais, assim como vantagens da digitalização de sinais, no caso exemplificado pela decomposição do sinal da corrente elétrica em uma série de senóides.

Iniciamos a atividade, apresentando aos alunos o aparato experimental dando ênfase ao toróide. É por meio dele que fazemos a relação entre a corrente alternada e o fenômeno de indução. Nesta etapa podemos usar a visualização pelo Audacity da corrente elétrica de três diferentes lâmpadas, duas incandescentes de diferentes potências (15W e 60W, por exemplo) e eletrônica (fluorescente compacta). Com estes testes analisa-se a forma e amplitude das ondas, diferenciando as lâmpadas pelo seu tipo e potência nominal.

Podemos aprofundar a discussão utilizando outros dispositivos como fontes chaveadas (carregador de celular, fonte de *notebook*, etc.), ventilador e outros eletrodomésticos fazendo uso da planilha Excel integrada ao Arduino. Com a aplicação desenvolvida para decomposição do sinal elétrico em seus harmônicos pensa-se introduzir noções sobre digitalização de sinais. Para contextualização, podemos citar os recursos de manipulação de imagem presentes em aparelhos celulares como controle de brilho e contraste e a possibilidade de tornar uma fotografia colorida em preto e branco ou deixá-la com um aspecto de envelhecida (efeito sépia), por serem de uso comum a muitos dos estudantes. Estes recursos são utilizados como exemplo de vantagens que o processo de digitalização traz. Desta forma, esta exemplificação é a ponte para o próximo módulo que trata da compreensão do funcionamento dos dispositivos digitais.

#### 8.1.5 Módulo 5: Compreendendo os dispositivos digitais

Inicialmente mostramos que as imagens são divididas em *pixel*. Um *pixel* pode ser definido como a menor unidade de imagem digital. Com auxílio da Figura 28, fazemos a discussão quanto à qualidade de imagens em função de sua resolução.



Figura 28 - Representação da resolução de imagens digitais. A imagem apresenta melhor resolução quando dividida em um número maior de pixel. Fonte: o autor, 2016.

Da mesma forma, a projeção da Figura 29 e da Figura 30 possibilita mostrar como um computador “entende” e desenha uma imagem na tela.

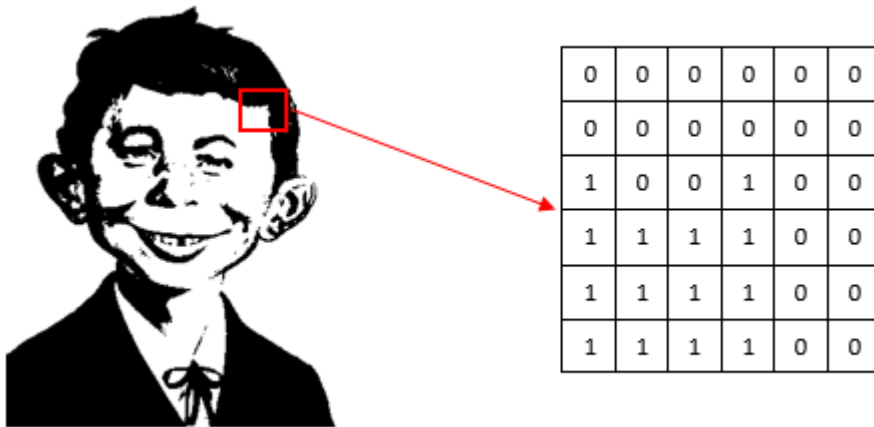


Figura 29 - Representação da imagem em uma matriz de dígitos binários. O dígito 0 representa um pixel preto e o dígito 1 representa um pixel branco. Fonte: o autor, 2016.

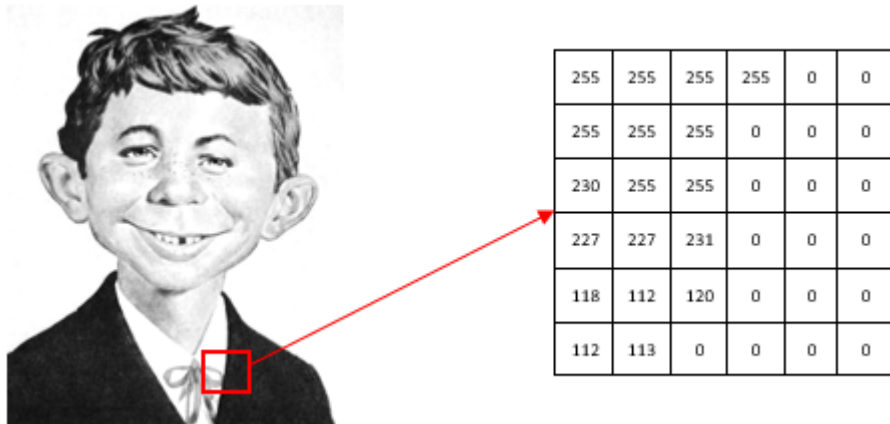


Figura 30 - Imagem em tons de cinza. O valor de cada pixel pode variar de 0 (preto) a 255 (branco). Fonte: o autor, 2016.

### 8.1.6 Sugestão de avaliação

Como atividade de retenção de conhecimento sugere-se solicitar aos alunos que redijam uma memória de aula. Nela, eles devem desenvolver um texto curto de vinte a trinta linhas. O texto produzido pelos alunos tem o objetivo de explicar o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica abordado nas aulas anteriores

com a linguagem científica. Os textos, com redação simples, podem ser utilizados por outros estudantes do ensino médio para facilitar o estudo do conteúdo, pois são textos didáticos escrito por alunos para alunos. Espera-se que no texto os alunos utilizem conceitos e termos como tensão, corrente e resistência elétrica, indução eletromagnética, campo e fluxo magnético, transformador e fonte de tensão. A produção deste texto possibilita verificar se os alunos adquiriram algum conhecimento sobre os fenômenos eletromagnéticos.