

Sérgio Silveira

**DESENVOLVIMENTO DE UM KIT EXPERIMENTAL COM
ARDUINO PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO
ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Centro de Araranguá, no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Mauricio Girardi

Araranguá
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silveira, Sérgio

Desenvolvimento De Um Kit Experimental Com Arduino Para O
Ensino De Física Moderna No Ensino Médio / Sérgio Silveira;
orientador, Mauricio Girardi - Araranguá, SC, 2016.
275 p.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal de
Santa Catarina, Campus Araranguá. Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Física.

Inclui referências

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3. Física Moderna. 4.
Efeito Fotoelétrico. 5. Arduino. I. Girardi, Mauricio. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Física. III. Título.

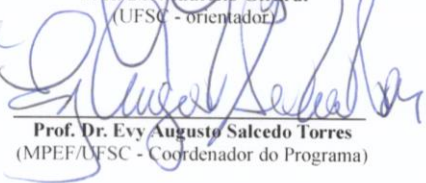
Desenvolvimento de um Kit Experimental com Arduino para o Ensino de Física Moderna no Ensino Médio

Sérgio Silveira

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal de Santa Catarina, Polo Araranguá.

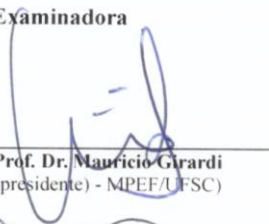


Prof. Dr. Mauricio Girardi
(UFSC - orientador)

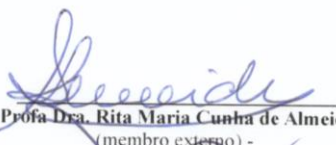


Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres
(MPEF/UFSC - Coordenador do Programa)

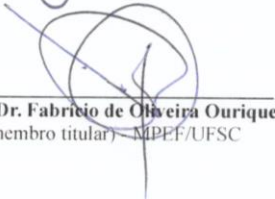
Banca Examinadora



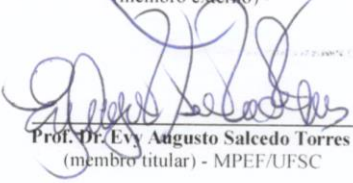
Prof. Dr. Mauricio Girardi
(presidente) - MPEF/UFSC



Profa. Dra. Rita Maria Cunha de Almeida
(membro externo) -



Prof. Dr. Fabricio de Oliveira Ourique
(membro titular) - MPEF/UFSC



Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres
(membro titular) - MPEF/UFSC

*À minha família e amigos, em especial
à minha esposa Nívea Bernadete Moro
Silveira e às minhas filhas Luiza e
Letícia Moro Silveira pela paciência e
compreensão nos momentos em que
estive ausente me dedicando a este
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha vida.

À UFSC / Centro de Araranguá e à SBF pelo programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

À todos professores do MNPEF da UFSC / Centro de Araranguá, representados na pessoa do coordenador Evy Augusto Salcedo Torres, pela confiança e dedicação à primeira turma do mestrado profissional em Ensino de Física.

Ao meu orientador Mauricio Girardi pela oportunidade de compartilhar comigo seus conhecimentos, fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos os funcionários da universidade, pelo carinho e atenção.

À todos os colegas da turma 2014 do MNPEF pela convivência durante esta etapa de nossas vidas. Em especial à Alexandre Martins Cristovão (Praia Grande) e Fábio Domingui.

RESUMO

A Física Moderna, consolidada na primeira metade do século vinte, ainda apresenta-se como um desafio à compreensão da grande maioria dos indivíduos. Mesmo após mais de um século da produção dos artigos seminais de Einstein, a introdução da Física Moderna no Ensino Médio continua incipiente. Paralelamente à esta realidade, vemos o desenvolvimento tecnológico originado a partir deste conhecimento invadindo a vida das pessoas e inserindo-se nas mais variadas atividades humanas. Inúmeras iniciativas tem sido desenvolvidas no intuito de introduzir conceitos de Física Moderna no ensino de Física. Algumas dessas tentativas tem feito uso de simulações computacionais, outras utilizam-se de pacotes experimentais comerciais em experimentos didáticos porém, tais pacotes estão fora do alcance da maioria das escolas públicas devido ao custo elevado. Visando contornar esta situação e demonstrar a realidade da Física Moderna, buscou-se integrar às simulações, um pacote experimental real, de baixo custo, criado para demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico e as propriedades elétricas do plasma. Optou-se pelo uso do microcontrolador Arduino na construção do kit experimental pela facilidade de aquisição aliada à disponibilidade de referências e a ferramenta de desenvolvimento apresentar-se na forma de software livre. O microcontrolador é extremamente versátil e pode facilmente ser reutilizado em outros experimentos de física, diferente de kits comerciais, altamente especializados, que somente servem ao experimento a que foram projetados. Através de uma proposta inovadora e interativa de *hardware* e *software* foi possível demonstrar o efeito fotoelétrico e as propriedades elétricas do plasmas aos alunos de uma turma de terceiro ano do ensino médio com boa receptividade.

Palavras-chave: Ensino de Física, inovação, Física Moderna, efeito fotoelétrico, plasma, Arduino e Ensino Médio.

ABSTRACT

Modern Physics, which was consolidated in the first half of the twentieth century, still presents itself as a challenge to the understanding of most people. Even after more than a century since the production of the seminal articles of Einstein, the introduction of Modern Physics in high school is still in its infancy. Parallel to this reality, we see the technological development originated from this knowledge invading people's lives and being inserted in various human activities. Numerous initiatives have been developed in order to introduce concepts of Modern Physics in physics class. Some of these attempts have made use of computer simulations, others ones used commercial experimental packages in didactic experiments. However, such packages are out of reach of most public schools because of their high cost. In order to avoid this situation and to demonstrate the reality of Modern Physics, it was sought to integrate the simulations, a real experimental package, with low cost and designed to qualitatively demonstrate the photoelectric effect and the electrical properties of the plasma. We have chosen the Arduino microcontroller in the construction of the experimental kit because it is easy to acquire, it has a high availability of references and the development tool is a free software. The microcontroller is extremely versatile and can easily be reused in other physics experiments, differently from others highly specialized commercial kits, which only serve the experiments for which they were designed. Through an innovative and interactive proposal of hardware and software it was possible to demonstrate the photoelectric effect and the electrical properties of plasmas to students in a class of third year high school with good receptivity.

Keywords: Physics education, Innovation; Modern physics; Photoelectric effect; Plasma; Arduino and High School.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Versões de Arduino Uno. | 26 |
| Figura 2 - Kit FOTODUINO..... | 36 |
| Figura 3 - Kit de lâmpada UV utilizada no esterilizador..... | 36 |
| Figura 4- Interface gráfica do kit FOTODUINO. | 37 |
| Figura 5 - Lado cobreado da placa FOTODUINO..... | 39 |
| Figura 6 - Componentes e jumpers (linhas vermelhas) na placa FOTODUINO Nano..... | 39 |
| Figura 7- Fachada da EEMTS..... | 42 |
| Figura 8- Pátio interno da EEMTS..... | 42 |
| Figura 9 - Início da aula com a apresentação de slides. | 44 |
| Figura 10 - Aula expositiva acerca do Efeito Fotoelétrico..... | 44 |
| Figura 11- Turma do terceiro ano do ensino médio, totalizando 36 alunos. | 45 |
| Figura 12 - Grupos de alunos realizando experimento do efeito fotoelétrico e do plasma com o kit FOTODUINO..... | 48 |
| Figura 13- Grupo realizando as simulações em JAVA do efeito fotoelétrico no laboratório de informática..... | 50 |
| Figura 14 - Efeito fotoelétrico - Gráfico de desempenho dos alunos. ... | 59 |
| Figura 15- Simulação Efeito Fotoelétrico - Gráfico de desempenho dos alunos..... | 61 |
| Figura 16 - Plasma - Gráfico de desempenho dos alunos..... | 62 |

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 21 |
| 2.1. CONTEXTO HISTÓRICO | 21 |
| 2.2. EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA | 22 |
| 2.3. AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS | 24 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 29 |
| 4. PROPOSTA METODOLÓGICA | 33 |
| 5. PRODUTO EDUCACIONAL | 35 |
| 5.1. O KIT FOTODUINO | 35 |
| 5.2. INTERFACE GRÁFICA..... | 37 |
| 5.3. A PROPOSTA DIDÁTICA..... | 38 |
| 5.4. GUIAS DOS ALUNOS..... | 38 |
| 5.5. ARQUIVOS CAD | 38 |
| 5.6. POSSIBILIDADES DE USO..... | 40 |
| 6. APLICAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA..... | 41 |
| 6.1. A ESCOLA E A TURMA DO PROJETO | 41 |
| 6.2. RELATO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA | 43 |
| 6.2.1. <i>Primeiro Dia (01/06):</i> | 43 |
| 6.2.2. <i>Segundo Dia (07/06):</i> | 46 |
| 6.2.3. <i>Terceiro Dia (08/06):</i> | 47 |
| 6.2.4. <i>Quarto Dia (15/06):</i> | 49 |
| 6.2.5. <i>Quinto Dia (22/06):</i> | 50 |
| 7. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA | 51 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |
| APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA | 71 |
| APÊNDICE B - QUESTIONÁRIOS PRESENTES NOS GUIAS DOS ALUNOS..... | 75 |
| APÊNDICE C - TABULAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ALUNOS | 87 |

APÊNDICE D - O PRODUTO EDUCACIONAL 89

1. INTRODUÇÃO

Mesmo após 110 anos da produção dos artigos de Einstein que revolucionaram a Física no início do século XX e, de certa forma, deram início à Física Moderna e Contemporânea (FMC), a introdução de seus conceitos no Ensino Médio (EM), continua incipiente. Poucos são os livros didáticos de EM que dão destaque ao tema, ficando, na maioria dos casos, relegado aos capítulos finais do livro do terceiro ano ou a pequenas inserções nos livros de primeiro e segundo anos. Essa mesma realidade já era relatada por Terrazan, quando este cita que os livros de física utilizados no Brasil ainda se baseavam nos “manuais estrangeiros de ensino de física utilizados no século passado” (TERRAZAN, 1992) - neste caso, o século XIX. Tais manuais limitavam-se à divisão clássica da Física em Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo. Nos dias atuais é possível encontrar, com frequência, tópicos superficiais de FMC em livros destinados ao ensino da Física.

A FMC foi consolidada no período entre o final do século XIX e a primeira metade do século XX, período este que foi palco de uma revolução que mudou a forma de interpretar o mundo físico. Foram então estabelecidas as bases teóricas da Relatividade e da Física Quântica. Assim que se tornou mais fundamentado, tal conhecimento começou a ser transposto aos diferentes níveis de ensino, obtendo maior inserção nos níveis universitários.

As discussões sobre a introdução de tópicos de FMC no EM atravessaram a virada do século. Surgiram então inúmeros trabalhos sugerindo a introdução de conteúdos pontuais e específicos no currículo médio. Destaca-se aqui o artigo de Terrazan que descreve duas preocupações dos pesquisadores da época: uma diz respeito à própria agregação destes conteúdos no currículo do EM, e a outra frisava a necessidade destes conteúdos serem “apresentados sob um ponto de vista mais moderno” (TERRAZAN, 1992). Para isso, o autor, aponta *caminhos* que levam em conta a Física enquanto construção humana, a precariedade das instituições, da formação e do ensino e a terminalidade do EM. Enquanto construção humana, o autor sugere reflexões sobre o nível de aprofundamento no tratamento matemático e na apresentação em relação às teorias clássicas, indicando a possível inserção da FMC na discussão dos limites da Física Clássica (FC). A situação precária em termos de formação de profissionais e alunos em relação à Física não mudou ou se agravou da última década do século XX para esta segunda década do

século XXI. O conhecimento do problema remete à importante contribuição que a pesquisa científica tem a proporcionar a estes profissionais carentes de formação e informação. Quanto à terminalidade do EM, devemos ter em mente que, possivelmente, a maioria dos educandos que frequentam os bancos escolares optam por formações humanas que excluem o cálculo, tamanho a frustração ou aversão a estas disciplinas. Sendo assim, esta é a única oportunidade de conhecer esta temática.

A reformulação do currículo do EM proposta naquele período tornou-se realidade a medida que a Física Moderna (FM) passa a figurar com mais expressão nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático - PNLD - como sugere estudo recente de Domingui, Maximiano e Cardoso (2012). Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) buscaram saber a opinião dos profissionais diretamente interessados, os professores, sobre a inserção da FM no EM. A maioria dos docentes entrevistados, segundo os autores, concordam com a importância da inserção de tópicos de FM no EM, todavia poucos os inserem em seus currículos tais tópicos. Recentemente, a discussão sobre a Base Nacional Curricular Comum (BNCC) trouxe o assunto novamente ao centro das discussões ao propor que o terceiro ano do ensino médio fosse dedicado exclusivamente ao ensino da FMC enquanto os tópicos de FC seriam desenvolvidos durante os dois primeiros anos. Sendo aprovado, tal documento tornará obrigatório a inserção destes tópicos demandando um esforço ainda maior por parte de educadores e pesquisadores para propor formas eficazes de transposição didática dos conteúdos referentes a esta unidade de conhecimento. Paralelo a isso temos o Projeto do Governo Federal do Ensino Médio Inovador (PROEMI) que visa incentivar a adoção de práticas inovadoras com foco na iniciação científica e tecnológica como propostas para o futuro do EM no Brasil.

Tal realidade justificou e motivou o desenvolvimento da pesquisa presente neste relato, cujo objetivo geral é produzir e testar um pacote experimental de baixo custo e código aberto, que demonstre qualitativamente o efeito fotoelétrico e as propriedades elétricas do plasma. Para tanto foi necessário estabelecer os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver o pacote tecnológico com uso da plataforma Arduino e componentes eletrônicos de baixo custo, acessíveis aos profissionais do Ensino Médio.
- Desenvolver o software livre necessário ao controle e execução do experimento.

- Produzir e disponibilizar o material de apoio necessário à adoção desta proposta pelos interessados.
- Utilizar o experimento no laboratório de física como elemento motivador e facilitador da aprendizagem por meio da interatividade com o objeto de estudo.
- Verificar se a proposta experimental apresenta as características desejadas de inovação e interatividade através da análise das respostas dadas aos questionários avaliativos.

Assim, o texto desta dissertação inicia com uma revisão de literatura, no capítulo 2, onde apresentaremos sucintamente aspectos relevantes do contexto da descoberta do efeito fotoelétrico e a teoria quântica do fenômeno, da experimentação no ensino de Física e, em especial, de FM, a aquisição automática de dados em experimentos didáticos, plataformas e softwares disponíveis para isso e a escolha deste trabalho. O capítulo 3 traz o referencial teórico histórico-cultural de Vigostsky, Leontiev e Lúria que orientou o projeto relatado aqui. No capítulo 4 descreve-se o produto educacional elaborado durante o mestrado profissional. A aplicação da proposta didática é relatada no capítulo 5 enquanto o capítulo 6 apresenta considerações sobre a avaliação da proposta realizada pelos alunos que participaram do projeto. Por fim, no capítulo 7 apresenta-se as últimas considerações relevantes deste trabalho. Apêndices e anexos encerram o trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo apresentaremos uma revisão sucinta dos fatos históricos por julgarmos importante para o entendimento da relevância científica do tema deste trabalho. Consta também, deste capítulo, uma breve discussão sobre a experimentação no ensino de física e a aquisição automática de dados visto tratar-se de um trabalho experimental que envolve o uso de tecnologias como auxílio no ensino de FM no EM.

2.1. CONTEXTO HISTÓRICO

Intensos campos elétricos podem produzir a ionização de gases atmosféricos rompendo, assim sua rigidez dielétrica tornando-os condutores de corrente elétrica. Esse fenômeno, conhecido desde a antiguidade, assombrou o homem primitivo que o atribuiu à ira de suas divindades entre outras interpretações. O fenômeno é responsável pelas descargas elétricas atmosféricas e está presente na produção de luz em lâmpadas fluorescentes ligada à ionização dos gases em seu interior. Diversas teorias tentaram explicar a origem de tais descargas porém, uma explicação consistente só foi dada pelas leis do eletromagnetismo de Maxwell em 1861.

A primeira¹ observação do efeito fotoelétrico, segundo Young e Freedman (2009), é relatada por Hertz em 1887 quando tentava confirmar a existência das ondas eletromagnéticas previstas pela teoria de Maxwell. Hertz verificou a existências das ondas eletromagnéticas e contribuiu para a consolidação do eletromagnetismo. A explicação do efeito fotoelétrico, observado por ele, levou ao surgimento da Física Quântica que, junto com a relatividade marcou o fim da FC enquanto teoria geral (TOLEDO PIZA, 2007).

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por superfícies metálicas devido à incidência de radiação eletromagnética cuja frequência mínima varia de acordo com o material de que é composto a superfície metálica. Observações deste efeito demonstram que ele não depende da intensidade da radiação incidente mas, somente de sua frequência (ou comprimento de onda). A explicação deste efeito desafiou o ferramental teórico da FC e motivou o surgimento da FM no início do século XX.

¹ A prioridade da observação deste efeito é atribuída, por alguns autores (WIKIPÉDIA – efeito fotoelétrico), a Becquerel em 1839. O autor do artigo cita fontes confiáveis como autores de livros didáticos nacionais (Barros) e internacionais (Sears) porém estas não foram verificadas.

Coube à Einstein, em 1905, a explicação do fenômeno e à Millikan sua comprovação experimental. Millikan não concordava com a solução sugerida por Einstein e realizou seus experimentos durante 10 anos no intuito de refutá-la. Os resultados que obteve confirmaram as previsões teóricas e o forçaram a mudar de opinião em 1915. A confirmação experimental deu à Einstein o prêmio Nobel de Física em 1921 (MOREIRA, 2005).

A explicação do efeito fotoelétrico juntamente com outras descobertas realizadas entre o final do século XIX e início do século XX marcaram a transição entre a FC e a recente FM (MOREIRA, 2005). Ironicamente, os experimentos de Hertz, que confirmaram as previsões de Maxwell para o eletromagnetismo, ponto culminante da FC, também determinaram seu fim. Por ser extremamente relevante historicamente e pelas aplicações práticas dele decorrentes, o efeito fotoelétrico foi o tema central da pesquisa aqui relatada.

2.2. EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

O uso de experimentos no ensino de ciências é amplamente defendido entre os professores e pesquisadores na área educacional. Araújo e Adib (2003) analisaram e categorizaram 106 artigos referentes ao uso de experimentos no ensino de física publicados entre 1992 e 2001 em dois periódicos de circulação nacional, Revista Brasileira de Ensino de Física, publicada pela Sociedade Brasileira de Física - SBF e Caderno Brasileiro de ensino de Física, publicação da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Os autores citam que atividades experimentais, como estratégia de ensino de Física, tem sido apontada por professores e alunos como uma forma mais eficiente de contornar as dificuldades de aprendizagem e de ensino de Física. Destaca-se que neste trabalho os autores identificaram apenas sete artigos na área de FM. Nas palavras dos autores:

“Merece destaque ainda o pequeno número de trabalhos sobre conceitos de Física Moderna, pois embora este tema não seja normalmente abordado no ensino médio, o que pode ser justificado em grande parte pelas deficiências formativas dos professores, a sua inclusão nos programas curriculares certamente constituiria uma excelente maneira de possibilitar que os estudantes compreendam diversos fenômenos e situações observadas em seu dia a dia, uma vez que o

emprego de equipamentos e tecnologias modernas normalmente foram possibilitados pela aplicação de conhecimentos relacionados com estes tópicos, como efeito fotoelétrico, laser, entre outros”. (ARAÚJO e ADIB, 2003)

Não há motivos para pensarmos que esta realidade tenha mudado muito nos últimos anos. Se levarmos em conta que apenas uma fração destes trabalhos versa sobre o efeito fotoelétrico, percebemos a carência de referências nesta área da Física Moderna e Contemporânea.

Em um estudo mais amplo, em escala de tempo, Pena e Ribeiro Filho (2009), analisam os principais obstáculos à inserção da experimentação no ensino de Física apontadas por professores e pesquisadores em artigos publicados em periódicos nacionais entre 1971 e 2006. Os autores identificaram, em seus resultados, indicações que sugerem que os principais obstáculos encontram-se na falta ou carência de pesquisa, corroborando os resultados apontados por Araújo e Adib. O despreparo do professor e as condições de trabalho também foram citados.

Vale ressaltar que o trabalho aqui apresentado não pretende suprir a carência histórica de referências mas, contribuir minimamente com um material de pesquisa para os profissionais que se aventurem por este caminho.

Séré, Coelho e Nunes (2003) traçam um perfil do papel da experimentação no ensino de Física nos seus mais diversos enfoques citando “*exemplos práticos relacionados com a lei de Snell-Descartes*” e sugerindo “*diferentes abordagens no ensino experimental desta lei*”. Para isso os autores concebem a “*experimentação como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre o mundo dos objetos, o mundo dos conceitos, leis e teorias e o das linguagens simbólicas*”. Além disso, os autores também destacam que “*Através dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria*”. E também “[...] *para obter uma medida e também para fabricar os instrumentos de medida é preciso muita teoria*”. Para eles,

“[...] a experimentação pode ser descrita considerando-se três polos: o referencial empírico; os conceitos, leis e teorias; e as diferentes linguagens e simbolismos utilizados em física. As atividades experimentais têm o papel de permitir o

estabelecimento de relações entre esses três polos". (SÉRÉ, COELHO e NUNES, 2003)

Assim propõe-se o uso da experimentação como apoio e suporte ao ato de ensinar um tópico de Física Moderna para alunos do terceiro ano do Ensino Médio.

Todavia, a adoção de tais práticas esbarra, muitas vezes, na falta de materiais nos laboratórios das escolas públicas, obstáculos já identificados por Pena e Ribeiro Filho (2009). Na maioria das escolas, estaduais principalmente, verifica-se a existência de espaços destinados aos laboratórios didáticos, mas geralmente equipados apenas com os itens mais básicos destinados à experimentos de FC, Química e Biologia. Equipamentos mais elaborados ou destinados à experimentação em FM (aquela com impacto mais profundo nos avanços tecnológicos do último século) são inexistentes. A aquisição destes equipamentos demanda investimentos elevados, que nem sempre são aprovados pelos gestores da educação. Por outro lado todas as escolas têm computadores em laboratórios de informática que são utilizados, na maioria dos casos, apenas para pesquisas bibliográficas na internet, sendo assim subutilizados. Muitos destes computadores poderiam ser alocados para o uso no laboratório de física, em simulações ou experimentos com coleta automática de dados.

2.3. AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

Muitos trabalhos demonstram que é possível a integração entre o computador e a atividade didática experimental. As primeiras delas utilizavam o computador no controle do experimento através de interfaces conectadas com a porta paralela (FAGUNDES, 1995) ou porta de jogos (AGUIAR, 2001). Haag, Araújo e Veit (2005) citam motivos para o uso da aquisição automática de dados como *“enriquecer as experiências de aprendizagem”* ou *“permitir a realização de experimentos que envolvam medições de tempo em frações de segundos e a coleta manual é impossível”* entre outros. Neste trabalho os autores também elencam uma série de propostas e sugestões de uso das interfaces disponíveis nos computadores da época. Essas interfaces ligam diretamente sensores ao computador afim de controlá-los. Tais interfaces, no entanto, tornaram-se obsoletas. As propostas mais atuais² tem dado preferência ao uso da porta

² Cavalcante, Tavolaro e Molisani - 2011; Souza et all - 2011, Rodrigues e Cunha - 2014, etc.

serial (USB) conectada à kits experimentais controlados por microcontroladores que manipulam os sensores e se comunicam com o computador. Aqui o computador passa a enviar comandos e receber dados do microcontrolador. Os dados recebidos são tratados e exibidos, em tempo real, em interfaces gráficas que também servem de instrumento de interatividade da pessoa com o experimento pois, é nelas que controlamos quais comandos serão enviados ao microcontrolador.

Atualmente existem inúmeras plataformas de desenvolvimento baseadas em microcontroladores, tais como Galileo da Intel, os PICs da Microchip e o mais popular entre os usuários, o Atmega 328P, que compõe a plataforma Arduino Uno desenvolvida na Itália em 2005. Tais plataformas são usadas na automação de diversos projetos e são apropriadas à coleta automática de dados e ao controle de experimentos didáticos.

Em particular, a plataforma Arduino apresenta baixíssimo custo (\$2,5 dólares por unidade), programação relativamente fácil, versatilidade e grande quantidade de informações disponíveis na rede mundial, seja na página oficial³, seja em fóruns, com os mais variados temas, espalhados pelo mundo portanto é indicada ao uso em projetos como o deste trabalho.

A plataforma de desenvolvimento Arduino foi criada na Itália com o objetivo de servir de suporte à pequenos projetos de automação, principalmente para pessoas com pouco conhecimento em programação, consiste de um microcontrolador Atmega 328 e demais periféricos de alimentação e comunicação, além de portas que podem ser ligadas à sensores e circuitos externos.

³ <<https://www.arduino.cc/>>.

Figura 1 - Versões de Arduino Uno⁴.



Outra vantagem desta plataforma é a possibilidade de comunicação com o computador possibilitando-se interagir e manipular o experimento além de exibir os resultados em tempo real. Devido a essa grande versatilidade optou-se por utilizar este microcontrolador no desenvolvimento do pacote tecnológico sendo ele responsável por todo processamento de sinais interfaceamento e controle.

Desde as primeiras iniciativas de aquisição automática de dados, já havia a necessidade de softwares especiais para o controle, a comunicação com as interfaces e a criação das aplicações gráficas. Softwares de captura de dados escritos em linguagens como o *Basic* (FAGUNDES, 1995) e o *Logo* (AGUIAR, 2001), foram sendo substituídos por versões mais modernas e capazes de capturar dados e gerar interfaces gráficas, como aplicativos escritos no *Processing* (CAVALCANTE, TAVOLARO e MOLISANI, 2011) e em *Python* (FETZNER FILHO, 2015) por exemplo. Devido à versatilidade, ampla bibliografia disponível, variedade de fóruns e apresentar a possibilidade de criar aplicativos executáveis para várias plataformas, o *Processing* foi escolhido para o projeto aqui relatado. Essas características foram

⁴ Fonte: <<https://www.arduino.cc/>>.

determinantes na escolha deste software para o desenvolvimento da interface gráfica.

O *software* deve ser baixado e instalado em um computador para o desenvolvimento do aplicativo que depois pode ser copiado para os demais computadores. Para isso deve-se fazer o *download* no sítio do desenvolvedor⁵ e instalar seguindo as instruções. Para o aplicativo do presente relato isso não é necessário pois, este já se encontra pronto para *download* juntamente com o restante do material do projeto⁶.

⁵ <<https://processing.org/download/?processing>>.

⁶ O material produzido no projeto deste relato encontra-se disponível em pasta compartilhada no sítio <mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho que resultou na presente dissertação foi elaborado tendo como parâmetros documentos oficiais que orientam a educação básica no estado de Santa Catarina (Proposta Curricular de Santa Catarina). Segundo tais documentos, a educação básica de Santa Catarina tem como marco a teoria histórico - cultural de Vygotsky, Leontiev e Lúria (SANTA CATARINA, 2014). Nesta, o conhecimento é produzido nas interações sociais entre os sujeitos envolvidos no processo e entre esses e os objetos de estudo, através da mediação de signos como a linguagem, por exemplo.

Para Libâneo (2004) um dos princípios na teoria de Vygotsky é de que “[...] a aprendizagem é uma articulação de processos externos e internos, visando a internalização de signos culturais pelo indivíduo, o que gera uma qualidade auto reguladora às ações e ao comportamento dos indivíduos”. Nas palavras de Santos e Gasparin (2012) “*Instrumentos e signos são, portanto, os elementos básicos responsáveis pela mediação, cuja utilização caracteriza o funcionamento dos processos psicológicos superiores*”. E ainda para Libâneo

“[...] a atividade sócio-histórica e coletiva dos indivíduos na formação das funções mentais superiores, portanto o caráter de mediação cultural do processo do conhecimento e, ao mesmo tempo, a atividade individual de aprendizagem pela qual o indivíduo se apropria da experiência sociocultural como ser ativo. Todavia, considerando-se que os saberes e instrumentos cognitivos se constituem nas relações intersubjetivas, sua apropriação implica a interação com os outros já portadores desses saberes e instrumentos”. (LIBÂNEO, 2004)

Dessa forma, Libâneo reforça o caráter individual e coletivo da aprendizagem. Individual na apropriação da cultura e coletivo na necessidade de interação/mediação com outras pessoas. Ou, como afirma Santos e Gasparin “[...] a aprendizagem acontece ao longo de um processo de apropriação e transformação de conhecimentos, na relação com os outros, através de uma atividade mediada, na interação social. [...]” (SANTOS e GASPARI, 2012)

Leontiev aprofunda os estudos de Vygotsky e incorpora às ideias deste o conceito de atividade. “*Na concepção histórico-cultural, a atividade é um conceito chave, explicativo do processo de mediação. A*

atividade mediatiza a relação entre o homem e a realidade objetiva". (LIBÂNEO, 2004). Segundo eles, o homem, em contato com objetos e fenômenos em seu meio "*transforma-os, transformando também a si mesmo*". E complementam

"No cerne da teoria da atividade está a concepção marxista da natureza histórico social do ser humano explicada nas seguintes premissas: 1) a atividade representa a ação humana que mediatiza a relação entre o homem, sujeito da atividade, e os objetos da realidade, dando a configuração da natureza humana; 2) o desenvolvimento da atividade psíquica, isto é, dos processos psicológicos superiores, tem sua origem nas relações sociais do indivíduo em seu contexto social e cultural". (LIBÂNEO, 2006)

Davydov, da terceira geração de psicólogos da escola de Vygotsky, desenvolve seus estudos na criação de uma teoria de ensino chamada ensino desenvolvimental.

"[...] Para ele, a tarefa da escola contemporânea consiste em ensinar os alunos a orientarem-se independentemente na informação científica e em qualquer outra, ensiná-los a pensar, mediante um ensino que impulse o desenvolvimento mental". (DAVYDOV, 1988, apud LIBÂNEO, 2006)

Libâneo e Freitas (2006) apontam três contribuições em destaque na teorização proposta por Davydov. Sendo a "*Integração entre os conteúdos científicos e o desenvolvimento dos processos de pensamento*", a "*Necessária correspondência entre a análise de conteúdo e os motivos dos alunos no processo de ensino e de aprendizagem*" e "*Fundamentação teórica dos professores no conteúdo da disciplina e também na sua didática*". Tendo em mente essas contribuições conclui-se que

"A sistematização didática proposta por Davydov visa que a atividade de ensino do professor, conectada à atividade de aprendizagem do aluno, propicie a aquisição do pensamento teórico - científico e, por consequência, a ampliação do desenvolvimento mental dos alunos". (LIBÂNEO, 2006)

Visando contemplar essas dimensões, propõe-se um trabalho em grupo com foco na interação mútua dos integrantes com um kit experimental especialmente desenvolvido para essa finalidade. Acredita-se que o trabalho em grupo favoreça essa interação e a troca de signos entre os membros do grupo e entre estes e o professor. A manipulação de instrumentos, representados pelo kit experimental, computador e a própria linguagem servem de suporte ao desenvolvimento das atividades em busca de uma interiorização dos conceitos científicos abordados.

Embora siga esses pressupostos teóricos, acredita-se que a presente proposta possa ser desenvolvida, com algumas adaptações, sob a óptica de outras teorias. A mediação e a interatividade do produto tecnológico potencialmente significativo associada à predisposição dos educandos em aprender e uma gama de conceitos prévios favoráveis pode gerar modificações nas estruturas conceituais como propõe a teoria da aprendizagem significativa, por exemplo. Outros profissionais podem explorar possíveis formas de uso para o kit de acordo com suas concepções.

Tendo em mente o referencial teórico, elaborou-se uma proposta metodológica visando contemplar os objetivos propostos no projeto.

4. PROPOSTA METODOLÓGICA

A discussão do Efeito Fotoelétrico e da geração de Plasma no terceiro ano do Ensino Médio é proposta como representativa dos limites das teorias clássicas (TERRAZAN, 1992) e da diferença entre a interpretação clássica e quântica. O desenvolvimento destas teorias durante a primeira metade do século XX demonstra bem o período de transformações que a humanidade viveu nesta época. Para que isso seja possível, é necessário o domínio de alguns conhecimentos. Assim, sugere-se que este conteúdo seja tratado juntamente com aqueles referentes à corrente elétrica e a lei de Ohm. Conceitos de força, campo e potencial elétrico já devem ter sido apresentados, fazendo parte do conjunto conceitual do aluno que deve conhecer sua representação simbólica. Pressupõe-se também que conceitos de mecânica ondulatória como frequência, comprimento de onda e energia da radiação assim como espectro eletromagnético já sejam familiares aos educandos. Caso isso não ocorra, faz-se necessário a apresentação prévia destes conteúdos. Para isso sugere-se uma ou duas aulas de revisão.

A inserção do efeito fotoelétrico e do plasma neste ponto é justificada pelo fato dos livros-texto, em geral, darem muita ênfase à corrente elétrica em condutores sólidos em que os portadores de carga elétrica são, exclusivamente, elétrons livres. Com o uso do kit experimental FOTODUINO é possível ampliar o conceito de corrente elétrica incorporando, também a este, a corrente em gases, formada por íons e elétrons livres - caso do plasma - ou elétrons em gases não ionizados - caso do efeito fotoelétrico. Isto pode facilitar a compreensão de alguns conceitos em eletromagnetismo.

Como referencial teórico-metodológico, propõe-se uma aproximação com os momentos pedagógicos de Delizoikov e Angoti (1991 apud GOULART, 2008), a proposta metodológica sugerida, baseia-se na interação dos educandos com o objeto de estudo através da realização de experimentos reais com o kit FOTODUINO, via interface gráfica e virtuais, através do uso de simulações computacionais. Propõe-se uma problematização inicial, através de revisão de conceitos importantes para facilitar o entendimento dos fenômenos observados. Nessa revisão, contextualiza-se os conceitos abordados, mencionando desde situações cotidianas onde esses fenômenos são observados, acontecimentos históricos relevantes e produtos tecnológicos desenvolvidos a partir desse conhecimento. Para essa revisão, sugere-se uma aula expositiva e dialogada oportunizando a participação ativa dos educandos. Em um segundo momento, organiza-se o conhecimento

através da realização das simulações e dos experimentos no laboratório de informática e de Física. Por fim, aplica-se o conhecimento através da resolução dos problemas propostos.

5. PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional FOTODUINO⁷ resultante do trabalho aqui relatado consiste de um guia de montagem e utilização, programas para o Arduino e aplicativo gráfico, guias para os alunos, uma proposta de sequência didática, uma apresentação para a aula expositiva e arquivos *cad* para a confecção das placas necessárias à montagem do kit experimental. Esta dissertação e todo material produzido neste trabalho encontra-se disponível, para livre download, na forma de pasta compartilhada⁸. O kit produzido foi testado em uma escola da rede estadual de ensino de Santa Catarina.

No guia do professor estão explicitados, na primeira seção, o detalhamento da montagem do kit experimental, na segunda seção, os *softwares* utilizados, os possíveis ajustes e a solução de problemas. A terceira seção contempla a proposta didática e os guias para a realização dos experimentos aparecem como apêndices juntamente com outras informações adicionais. Abaixo descreve-se os demais componentes do material produzido, bem como possibilidades de uso futuro deste produto.

5.1. O KIT FOTODUINO

O kit experimental FOTODUINO apresentado na figura abaixo consiste em um conjunto de lâmpadas, grade e placa e um dispositivo eletrônico de comunicação e controle desenvolvido com base na plataforma de desenvolvimento Arduino, tem como objetivo demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico e as propriedades elétricas do plasma.

⁷ Apêndice D.

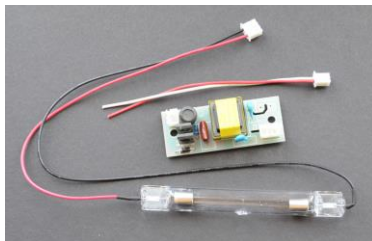
⁸ Disponível em: < <http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/> >.

Figura 2 - Kit FOTODUINO.



O kit das lâmpadas foi montado com leds comuns integrados em uma caixa metálica. A luz ultravioleta necessária ao experimento com o efeito foto elétrico foi produzida por uma pequena lâmpada UV utilizada em esterilizadores de escovas dentais. A figura abaixo mostra o detalhe desse circuito.

Figura 3 - Kit de lâmpada UV utilizada no esterilizador⁹.



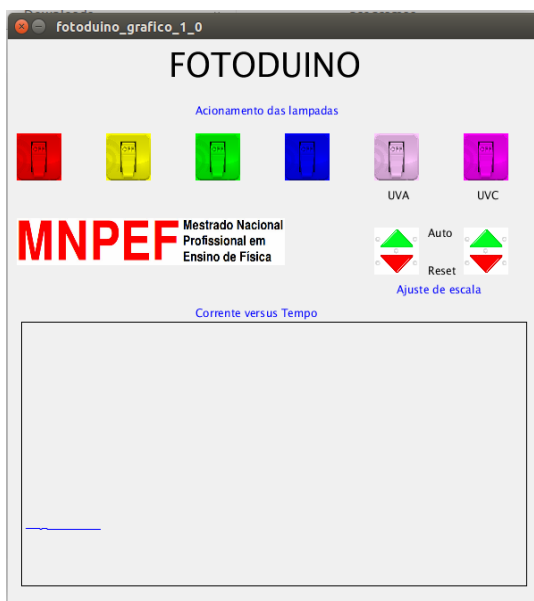
⁹ Fonte: <<http://www.rexim.com/pages/ccfl/mccuv.html>>.

O dispositivo eletrônico de controle montado em uma caixa metálica, consiste de pico amperímetro, uma fonte de alta tensão e um circuito de acionamento para as lâmpadas, todos controlados por um Arduino que também tem como função a comunicação com o microcomputador.

5.2. INTERFACE GRÁFICA

Os dados enviados ao computador são exibidos em uma interface gráfica gerada por um aplicativo criado a partir de um código escrito no *software Processing*. A mesma interface oferece interatividade ao captar ações do *mouse* e convertê-las em comandos enviados ao Arduino. A interface do aplicativo aparece na imagem abaixo.

Figura 4- Interface gráfica do kit FOTODUINO.



Os interruptores coloridos comandam lâmpadas utilizadas durante o experimento com o efeito fotoelétrico e não são utilizados no experimento com o plasma. Os botões “Auto” e “Reset” atuam sobre a escala de exibição dos dados. Esses são apresentados graficamente, em tempo real, através da movimentação da linha azul. Quando uma corrente

elétrica é medida pelo pico amperímetro, esta aparece na forma de subida da linha.

5.3. A PROPOSTA DIDÁTICA

A proposta didática constante do guia do professor baseia-se na teoria histórico cultural de Vigostsky e da atividade de Leontiev. Nesta, o conhecimento é produzido nas interações sociais entre os sujeitos envolvidos no processo e entre esses e os objetos de estudo, através da mediação de signos. Propõe-se um trabalho em grupo, sob orientação do professor, onde inicialmente se expõe os conteúdos/procedimentos que serão estudados/trabalhados em uma aula expositiva - dialogada, após se realizam os experimentos no laboratório e, por fim se avalia o trabalho por meio de questionário ou relatório, a critério do profissional, a ser resolvido em grupo. Atividades em grupo favorecem as interações sociais e possibilitam a mediação sugerida pela teoria.

5.4. GUIAS DOS ALUNOS

Além do kit experimental e da interface gráfica, também foram produzidos guias no intuito de orientar os alunos durante a realização dos experimentos.

Cada guia possui descrições detalhadas do preparo e manipulação do kit bem como da interface gráfica para cada experimento. Assim, os guias podem ser utilizados individualmente, caso o professor opte por realizar apenas um dos experimentos.

Além das orientações relativas à realização dos experimentos, os guias contém, em apêndice, uma seleção de questões relacionadas com os fenômenos observados. Entre as questões, há tabelas a serem preenchidas durante a realização do experimento, sugere-se que o professor atente os alunos para este fato.

5.5. ARQUIVOS CAD

Os protótipos desenvolvidos para os testes foram montados em placas padrão já perfuradas. Porém houve a preocupação de elaborar placas próprias para o projeto. Tais placas, criadas com o programa *Eagle*, podem ser confeccionadas com o auxílio de fresadoras CNC ou com métodos mais tradicionais de corrosão de placas de circuito impresso¹⁰.

¹⁰ Com o uso de soluções de percloroeto.

Os arquivos cad *Eagle* encontram-se disponíveis para download juntamente com os demais arquivos do projeto na pasta compartilhada FOTODUINO¹¹.

Há duas versões de placas sendo, uma para montagem com Arduino Uno (modular) e outra com Arduino Nano, esta última em placa única. A figura abaixo mostra o detalhe da placa para Arduino Nano com os *jumpers* a serem colocados na parte superior da placa. Nos arquivos é possível encontrar a transferência dos componentes, sempre útil na montagem.

Figura 5 - Lado cobreado da placa FOTODUINO.

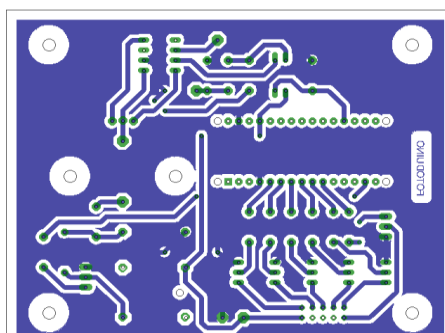
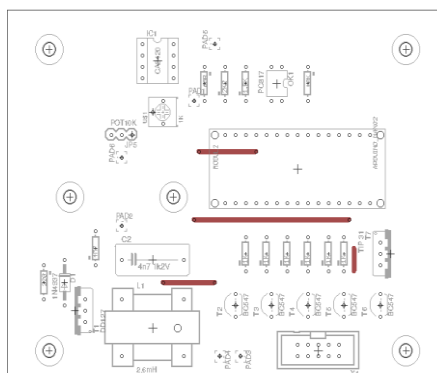


Figura 6 - Componentes e jumpers (linhas vermelhas) na placa FOTODUINO Nano.



¹¹ Disponível em <<http://mnpef.arangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes>>.

5.6. POSSIBILIDADES DE USO

O kit FOTODUINO foi concebido inicialmente para ser utilizado em experimentos de análise qualitativa do efeito fotoelétrico e das propriedades elétricas do plasma. Porém, outras aplicações também são possíveis embora não tenham sido testadas neste projeto. O equipamento pode servir à demonstrações envolvendo eletrostática, já que apresenta grande sensibilidade às variações do campo, quando a fonte AT apresenta-se desligada.

A interface gráfica é extremamente versátil e pode ser adaptada com facilidade para controlar uma grande variedade de experimentos didáticos com o uso do Arduino pois, monitora os dados numéricos enviados pela serial e retorna comandos. Com poucas modificações pode-se alterar o título e as funções dos botões para que sirvam a outros tipos de experimentos em que se pretenda exibir graficamente, em tempo real, a evolução temporal de uma grandeza.

O Código que roda no Arduino apresenta baixa complexidade, a exceção do filtro de 60Hz que pode ser dispensado em experimentos com sinais digitais por exemplo. Com algumas modificações, os comandos vindos da serial podem ser interpretados para ligar ou desligar motores diversos, leds ou solenoides, atuar sobre sensores, etc.

Sendo uma plataforma de desenvolvimento com *software* e *hardware* livres, as possibilidades de uso deste kit tecnológico só dependem do nível de conhecimento e disposição dos profissionais que dela se ocuparem.

6. APLICAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA

O capítulo que segue, apresenta a efetivação da proposta didática que foi objetivo deste projeto de pesquisa, para isso, descreve-se o ambiente em que o trabalho foi realizado, apresenta-se também um relato do desenvolvimento das atividades propostas com os alunos.

6.1. A ESCOLA E A TURMA DO PROJETO

A proposta didática foi efetivada na Escola de Educação Básica Timbé do Sul, na cidade de Timbé do Sul, município do extremo sul de Santa Catarina. A referida escola atua há mais de sessenta anos e atende os filhos dos pouco mais de cinco mil habitantes da cidade de Timbé nos níveis fundamental e médio. A idade e a falta de manutenção do antigo prédio fez com que este se deteriorasse e uma reforma fosse urgente. Todavia, optou-se por construir novas instalações com recursos oriundos do governo federal.

A escola, inaugurada a menos de seis meses, na época deste relato, conta com uma estrutura dotada de amplas salas de aula, quatro laboratórios didáticos, dois laboratórios de informática, sendo um deles também utilizado como sala de aula, biblioteca com dois ambientes, salas destinadas ao administrativo e aos professores, teatro, cozinhas, refeitório e ginásio de esportes. Embora seja um prédio novo, esta escola apresenta ainda alguns problemas estruturais devido a recente inauguração e alguns detalhes inacabados. Alguns laboratórios carecem criticamente de equipamentos básicos. Os computadores da sala de informática, por exemplo, ainda são da escola antiga, sucateados e ultrapassados, o cabeamento de internet, embora novo apresenta instabilidades de funcionamento. O laboratório de Física possui apenas as bancadas e os bancos, além de alguns poucos equipamentos trazidos da outra escola. Há dois equipamentos multimídia sendo um fixo na sala de vídeo compartilhada com o laboratório de línguas. A apresentação da proposta aos alunos e a aula sobre os tópicos da proposta didática foram realizadas nesta sala. As imagens abaixo mostram a fachada e o pátio interno da nova escola.

Figura 7- Fachada da EEMTS¹².



Figura 8- Pátio interno da EEMTS.



As aulas são distribuídas em cinco períodos de quarenta e cinco minutos com um intervalo de quinze minutos entre o terceiro e o quarto período. As aulas de Física da turma do projeto consistem de dois períodos semanais e são ministradas as quartas-feiras no segundo e quarto períodos.

A turma escolhida para a aplicação da proposta didática foi o terceiro ano matutino do ensino médio onde, tradicionalmente se inserem

¹² Sigla de Escola de Ensino Médio Timbé do Sul. Apesar do nome, a escola também abriga o Ensino Fundamental.

tópicos de física moderna. A turma possui trinta e seis alunos, sendo majoritariamente feminina (vinte e duas meninas), do total, vinte e seis alunos aceitaram participar do projeto e autorizaram o uso da imagem e dados. Assim, embora todos tenham participado das atividades, somente foram utilizados dados e imagens daqueles que o autorizaram. O motivo da escolha da turma deveu-se à opção de inserir os tópicos de física moderna (efeito fotoelétrico e plasma), no contexto do eletromagnetismo como exemplo dos limites da FC e como exemplo de outros tipos de corrente elétrica que não elétrons livres em condutores sólidos, tradicionalmente utilizado nos livros didáticos deste nível de ensino. O primeiro contato deu-se em 18 de Maio, quinze dias antes do início das atividades, com a apresentação do projeto e encaminhamento das autorizações para os pais. Embora este tenha sido o primeiro contato do projeto, a turma não era desconhecida do professor visto que o mesmo trabalha na escola a muitos anos.

6.2. RELATO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA

A efetivação da proposta didática dar-se-ia inicialmente em quatro aulas, períodos de quarenta e cinco minutos, durante a primeira quinzena do mês de Junho de 2016. Os dois primeiros períodos foram destinados à aula expositiva com apresentação da proposta e tópicos a serem observados nos experimentos além de uma revisão de conceitos relevantes, o terceiro período seria reservado à realização das simulações e experimentos e o quarto período ao fechamento e resolução dos questionários. Porém, durante o teste observou-se que mais tempo seria necessário para que todos pudessem realizar as atividades propostas. Fatores como o interesse e a interação dos alunos envolveram mais tempo que o previsto inicialmente nas aulas teóricas, a disponibilidade do laboratório de informática e o tempo que os grupos envolveram na realização das simulações e experimentos também fez com que as atividades se estendessem além do previsto. Outro fator importante deveu-se ao teste ter sido realizado com apenas dois kits o que fez com que os grupos precisassem aguardar sua vez de usar o equipamento.

O relato a seguir detalha os acontecimentos e as observações do professor durante o teste dos kits e da proposta didática.

6.2.1. Primeiro Dia (01/06):

A aplicação da proposta didática teve início no dia primeiro de Junho com o deslocamento do alunos para a sala do laboratório de línguas

que dispõe de equipamentos de multimídia necessário às primeiras aulas do projeto.

Figura 9 - Início da aula com a apresentação de slides.



Com a acomodação dos alunos e instalação do equipamento teve início a apresentação da proposta de estudo com a distribuição dos roteiros experimentais para todos os alunos, explicações sobre a natureza do trabalho e a disciplina de estágio do mestrado. Após isso iniciou-se a aula expondo-se a natureza eletromagnética da luz. Para isso fez-se inicialmente uma revisão sobre mecânica ondulatória, conceitos de comprimento de onda, período, velocidade de propagação e frequência foram discutidos com explicações e uso do quadro presente na sala. Um grupo de alunos relatou que havia apresentado um trabalho sobre o tema no segundo ano, mas pouco lembravam sobre isso.

Figura 10 - Aula expositiva acerca do Efeito Fotoelétrico.



A aula prosseguiu com a apresentação de algumas imagens ilustrando um modelo de onda eletromagnética com oscilações perpendiculares dos campos elétrico e magnético onde foi lembrado das recentes aulas envolvendo o campo elétrico e fenômenos cotidianos explicados pelo seu comportamento ondulatório tais como: a separação da luz branca em suas componentes por um prisma e a mistura aditiva das cores. Os alunos foram lembrados do experimento feito anteriormente com o disco de Newton, ilustrando o comportamento ondulatório da luz. Apresentou-se imagens da separação da luz por um CD e por membranas delgadas como uma bolha de sabão o que despertou bastante interesse no alunos da turma.

Figura 11- Turma do terceiro ano do ensino médio, totalizando 36 alunos.



A primeira aula terminou com a apresentação do espectro eletromagnético e discussão sobre as diversas frequências da radiação eletromagnética e seus usos ou aplicações, foram citados as ondas de rádio e televisão, as micro-ondas onde rapidamente se discutiu o funcionamento do forno que utiliza frequência nessa faixa em seu funcionamento, da radiação infravermelha responsável pela irradiação térmica. Discutiu-se que nosso corpo é um emissor de radiação térmica e usou-se as transmissões de eventos esportivos como exemplo, onde uma câmera converte as frequências invisíveis do espectro térmico em radiações na faixa do visível e mostra em cores as partes quentes do corpo dos atletas, um aluno citou o exemplo das transmissões de fórmula 1.

Após o intervalo teve início a segunda aula de Física daquele dia, com a retomada da discussão sobre as radiações eletromagnéticas falando sobre a faixa do visível. Comentou-se sobre o porquê do olho humano ser sensível a essa pequena janela do espectro eletromagnético,

argumentando-se que essa faixa penetra mais facilmente na atmosfera e chega à superfície com mais intensidade. Essa evidência da teoria da evolução deu um tom de interdisciplinaridade ao trabalho, os organismos que possuíam estruturas sensíveis a essa faixa do espectro obtiveram vantagens evolucionárias sobre organismos que tinham “olhos” sensíveis à outras faixas do espectro. Foi citada a dependência da energia com a frequência e concluiu-se essa análise com as radiações acima da faixa visível, ultravioleta, raios x e raios gama.

Seguindo com a aula passou-se ao comportamento corpuscular da luz e aos limites da Física Clássica. Citou-se o experimento de Hertz, ponto culminante e fim da física clássica como teoria geral. Nele, Hertz detecta as ondas eletromagnéticas previstas pelas equações de Maxwell ao mesmo tempo que observa a existência do efeito fotoelétrico, cuja explicação necessitou de uma teoria revolucionária: a ideia de que a radiação apresentava-se na forma de pacotes - fótons - cuja energia era quantizada. Foram também citados outros fenômenos, como o efeito Compton e os experimentos de fenda dupla para um feixe de elétrons. Nesta parte da aula houve uma menor participação dos alunos, provavelmente pela grande quantidade de informações expostas em pouco tempo. Em outro momento de interdisciplinaridade, tratou-se da dependência da frequência/comprimento de onda da radiação para ocorrência de fenômenos aparentemente comuns como a fotossíntese.

A aula continuou com descrição do efeito fotoelétrico, de suas aplicações tecnológicas e características gerais, da equação de Einstein comprovada experimentalmente por Millikan, a função trabalho de alguns materiais e da possibilidade de realização de experimentos virtuais - simulações - e reais - experimentos físicos. Citou-se as vantagens e desvantagens básicas de cada um e mostrou-se a interface de uma simulação Java para o efeito fotoelétrico e um aparato real para a determinação da constante de Planck.

Por fim, o professor apresentou algumas imagens de plasma ionizado, assim como suas principais características e o comportamento deste em presença de um campo elétrico. E o primeiro dia teve fim com o professor sugerindo aos alunos que formassem grupos de até três integrantes para a realização dos experimentos na próxima aula e enfatizando a importância do estudo dos roteiros durante a semana.

6.2.2. Segundo Dia (07/06):

Com o andamento das atividades ficou claro que, a sequência didática proposta, necessitava de mais tempo que o previsto. Havia muitas

questões que poderiam ter sido discutidas durante as primeiras aulas mas que foram postergadas devido ao pouco tempo das mesmas. Assim, para que os alunos não se sentissem desorientados durante a realização dos experimentos, o professor os reuniu no dia anterior por um período adicional, gentilmente cedido por um colega, e mostrou o ambiente do laboratório em que seriam realizados os experimentos e, principalmente os equipamentos e acessórios. Como havia sido combinado no primeiro dia, os alunos haviam formado grupos de três a quatro pessoas, sendo assim entregue uma tabela ao líder da sala para o preenchimento do nome dos integrantes de cada grupo. A mesma foi devolvida no dia seguinte, antes do início das atividades. Ficou combinado que se reuniriam no laboratório de física no dia seguinte para iniciarem os trabalhos.

6.2.3. Terceiro Dia (08/06):

No terceiro dia a turma reuniu-se no laboratório de Física conforme o combinado e, com a presença do orientador, o professor deu início às atividades. Após uma breve conversa do orientador com a turma onde este enfatizou a importância do experimento para o estágio e a oportunidade que os alunos estavam tendo, prosseguiu-se com a separação dos grupos em duas equipes, uma ficando no laboratório de física e outra seguindo ao laboratório de informática. O objetivo dessa divisão foi otimizar o tempo já que número de kits era limitado (dois kits: 1 para o efeito fotoelétrico e outro para o plasma). Assim, enquanto alguns grupos faziam os experimentos, outros faziam as simulações no computador.

A equipe que seguiu para o laboratório de informática ocupou-se das poucas (seis) máquinas disponíveis para a realização do experimento virtual. O número de computadores disponíveis foi suficiente para atender aos grupos. Ao iniciar as simulações, diversas dúvidas surgiram de modo que o professor teve de se revezar entre atender a sala de informática e o laboratório de física. Houve necessidade de auxílio em diversos momentos, dúvidas que, em primeira análise seriam solucionadas com uma leitura atenta dos guias.

Dois grupos ficaram no laboratório de física para desenvolver a atividade prática com os kits. Um dos equipamentos foi destinado à realização do experimento com o efeito fotoelétrico e o outro com o experimento do plasma. Assim que terminaram, as equipes trocaram de posição. Durante a realização destas práticas pelos primeiros grupos, pôde-se identificar de imediato algumas melhorias que seriam necessárias à montagem dos kits tais como, a mudança da distância entre as placas no experimento do plasma, que dificultou a colocação do fósforo acesso

entre elas, alteração no comprimento do cabo das lâmpadas que dificultou o posicionamento da caixa de lâmpadas dentro da caixa de vidro, sendo necessário torcê-lo. Tais melhorias serão propostas e corrigidas oportunamente. Os alunos também queixaram-se do número insuficiente de kits e de dificuldades em acionar as lâmpadas via interface gráfica.

Figura 12 - Grupos de alunos realizando experimento do efeito fotoelétrico e do plasma com o kit FOTODUINO.



Durante a realização da atividade prática, foi possível observar que o tempo necessário à sua realização seria maior que o esperado. Algumas dúvidas quanto à montagem e operação surgiram, possivelmente devido à pouca ou nenhuma leitura antecipada dos roteiros. Perguntas envolvendo procedimentos que eram descritos no roteiro também apareceram. Outros questionamentos necessitaram da intervenção do professor no ajuste da sensibilidade do aparato fotoelétrico ou na correta posição das placas no experimento do plasma, desconforto com a manipulação das chaves de acionamento das lâmpadas entre outros que motivaram várias assistências por parte do professor. Devido a isso, poucos grupos puderam completar a realização dos experimentos no primeiro período do dia. Ao final deste período, ficou combinado que após o intervalo, os alunos retornariam aos laboratórios para a continuação dos experimentos.

A dependência da presença do professor junto aos grupos demonstrada durante a realização tanto das simulações quanto dos experimentos reais, leva a crer que é desaconselhável separar a turma em

dois laboratórios distintos mesmo com o auxílio de profissionais dos laboratórios.

No retorno todavia, o laboratório de informática já estava reservado à outra turma. Assim, o planejamento das atividades teve de ser alterado, de forma que, enquanto dois grupos realizavam os experimentos na bancada, os outros grupos resolviam os questionários dos roteiros experimentais. Quando um grupo terminava o experimento, fazia-se o rodízio com outro grupo.

Ao final do segundo período deste dia, o resultado foi de que os grupos ainda não haviam conseguido completar todos os experimentos. Para finalizar a parte prática com a respectiva avaliação, foi acrescentado mais um dia com dois períodos à sequência didática. Tal acréscimo provavelmente não teria sido necessário caso fossem disponibilizados mais kits para que um número maior de grupos pudesse realizar os experimentos simultaneamente. Outra observação importante neste primeiro dia de laboratório para os alunos foi de que a presença constante do professor na orientação das atividades é extremamente necessária, sendo provavelmente mais interessante se todos realizassem a simulação juntos e em seguida, também reunidos, o experimento real.

6.2.4. Quarto Dia (15/06):

Para evitar o conflito de horário do último dia, neste os alunos foram no primeiro período para a sala de informática para que todos pudessem terminar a simulação. Porém, alguns já haviam completado a simulação no dia anterior foram ao laboratório de Física para encaminhar seus experimentos. No primeiro período todos terminaram a simulação sem mais problemas. Dúvidas que surgiam em um ou outro grupo eram resolvidas com o auxílio de colegas que já haviam tido os mesmos problemas. Neste dia havia um número maior de computadores disponíveis de modo que não houve dificuldade em encerrar as simulações neste período.

Figura 13- Grupo realizando as simulações em JAVA do efeito fotoelétrico no laboratório de informática.



No segundo período todos foram levados ao laboratório de Física. Enquanto alguns resolviam as questões propostas nos roteiros, dois grupos por vez faziam os experimentos. Neste dia os últimos grupos puderam realizar seus experimentos. Observou-se que a necessidade de atenção do professor foi diminuindo a medida que mais grupos realizavam seus experimentos, por vezes os próprios colegas resolviam as dúvidas sem que houvesse a intervenção do professor.

6.2.5. Quinto Dia (22/06):

Neste dia o grupo reuniu-se na sala de aula por um período de quarenta e cinco minutos para encerrar a avaliação da atividade prática. Este encerramento foi feito em sala e com os alunos reunidos nos grupo pois, esta era a proposta inicial, de acordo com o referencial adotado e também por que os alunos queixaram-se que as anotações feitas no laboratório não estavam no roteiro de todos os membros do grupo.

Finalmente os alunos avaliaram individualmente todo estágio através do questionário específico a este fim. Como encerramento o professor agradeceu a participação de todos.

7. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA

A efetivação da proposta didática foi avaliada pelos alunos participantes (26 que autorizaram o uso das informações) por meio de um questionário (apêndice A) elaborado para que os mesmos pudessem expressar suas opiniões acerca do processo. Para isso foram elaboradas questões versando sobre o roteiro experimental (questões de 1 a 5), sobre as orientações prestadas pelo professor (questões de 6 a 9), sobre o experimento (questões de 10 a 18) e sobre os objetivos do trabalho (questões 19 a 22). A seguir apresentamos a síntese das respostas dadas ao questionário. Além destas, todos os alunos da turma (36 no total) responderam os questionários presentes nos guias. Tais questionários visam avaliar a compreensão dos conteúdos trabalhados durante o estágio. Essa última avaliação fez parte da nota atribuída aos alunos da turma no segundo bimestre do corrente ano. O desempenho nestes questionários será apresentado mais adiante. No apêndice C temos a tabulação de todos os questionários presentes nos guias.

O primeiro bloco de questões do questionário de avaliação do estágio, tratou do roteiro experimental distribuído pelo professor antes da realização dos experimentos.

A primeira questão foca na clareza da linguagem apresentada pelo material constante dos guias dos alunos. A resposta consistia de sim ou não acompanhada de possível justificativa. Para a totalidade dos alunos, o material era claro, visto que foi esta a alternativa assinalada por todos. Essa percepção é encontrada nas respostas de alguns alunos como:

Não
: O material estava completo, bem detalhado

ou

Não
: Foi bem detalhado com imagens.

e ainda

Não
: Não a linguagem está de fácil compreensão

É possível que alguns poucos alunos tenham confundido os roteiros com o próprio kit FOTODUINO devido ao termo “material distribuído” presente na questão já que em algumas repostas surgiram argumentos associando o material com o ato de manusear o equipamento. Isso pode ser visto nas afirmações:

Não
justificativa: Não, ele deixou bem explicado de como se manuseava

E também

Não
: Não são materiais fáceis e que sabemos manusear.

É também possível que os alunos em questão estivessem relacionando o material impresso com o kit experimental que manipulariam depois.

Os argumentos usados pelos alunos reforçam nossa concepção inicial de que o kit produzido deveria ser intuitivo e de fácil manipulação. Acreditamos que tais objetivos tenham sido atingidos.

A segunda questão refere-se a qualidade das informações presentes nos guias. Pergunta-se se as informações e elementos foram suficientes para a realização dos experimentos. Da mesma forma que na questão anterior, todos consideraram as informações suficientes, como é possível observar em:

Conseguimos realizar os experimentos, pois o material estava completo.

ou em

Sim Não
justificativa: *pois nosso grupo conseguiu atingir um bom entendimento.*

e ainda

Sim Não
justificativa: *Pois com o material disponibilizado foi possível realizar o experimento sem problemas.*

Já a terceira questão é mais específica em relação à montagem do aparato experimental e se pergunta se o material distribuído possibilitou a sua montagem. Também aqui, a totalidade dos alunos participantes do projeto respondeu positivamente. As imagens presentes nos roteiros foram destacadas como importantes para a compreensão do processo de montagem por mais de um aluno, como podemos verificar em seus comentários:

Não
Pois conseguimos montar o experimento utilizando as imagens do material.

Embora a pergunta estivesse relacionada ao material, a participação do professor também foi mencionada.

Sim Não
justificativa: *Pois além do professor ter explicado de como nós devemos que usar os experimentos, o material distribuído mostrava passo a passo de como se montar.*

Sim Não
 justificativa: Estou feliz pois estava no roteiro e o professor explicou também

A citação da participação do professor demonstra a importância dada pelos alunos às orientações recebidas do docente. Tal manifestação sugere a necessidade da atenção constante do professor aos grupos que estão manipulando o kit.

A quarta pergunta versava sobre a necessidade de outras informações para montagem do experimento. Embora a totalidade dos alunos tenha respondido sim à questão anterior, um número significativo (16) deles também respondeu “sim” a esta pergunta, mencionando a participação do professor como fonte de outras informações. Argumentos como:

Não
 justificativa: algumas orientações foram dadas diretamente pelo professor Sérgio.
 justificativa: sem necessidade do professor porque o aparelho não ligava.
 Sim Não
 justificativa: porque se não nós poderíamos inverter a grade, por exemplo, do experimento fotolítico

Nesta última faz-se referência a um dos grupos que montou as placas invertidas mesmo com a imagem da posição correta no roteiro.

Dos grupos que responderam “não” a esta questão, destacam-se argumentos semelhantes aos usados pelo grupo que respondeu sim

Sim Não
 justificativa: porque se não nós poderíamos inverter a grade
 Sim Não
 justificativa: As instruções e explicações do professor foram claras o sup. ciente.

Essa semelhança e as observações colhidas durante a realização do experimento permitem concluir que o material precisa de revisões e que os alunos precisam ter o compromisso da leitura prévia do texto. Da forma como foram colocados, os argumentos do “não”, nos permite interpretar

que os grupos que manifestaram esta opinião, talvez interpretaram equivocadamente a pergunta.

As ilustrações foram questionadas na pergunta cinco e, como era de se esperar pelos argumentos da questão três, todos os alunos concordaram que as ilustrações facilitaram o entendimento da montagem do experimento, como podemos ver nos comentários abaixo.

Sim Não
justificativa: Pois nos ajudou a ter uma noção de como montar e o que era mais importante para nós observar.

Sim Não
justificativa: Muito, pois com ilustrações facilitam qualquer montagem de objetos.

A partir da questão seis, os alunos avaliaram se as orientações intervenções do professor foram fundamentais ao bom andamento da atividade experimental.

De acordo com a totalidade dos alunos, o professor atendeu a todos, quando solicitado (questão seis) e foi claro em suas intervenções (questão sete) como citam:

Sim Não
justificativa: uma explicação bem ampla e clara

Sim Não
justificativa: Pois realizamos os experimentos sem que houvesse dificuldade.

A influência das explicações no entendimento do roteiro foi questionada na pergunta oito. Para vinte e cinco alunos a resposta foi “sim” e um dos alunos não respondeu a essa questão. Destaca-se aqui os comentários de alguns alunos:

Sim Não (Não)
justificativa: pois não obedece o roteiro em cada etapa

Sim Não
justificativa: Pois se ele não tivesse explicado e mostrado slide antes, não teríamos entendido nada.

9. As orientações do professor facilitaram o entendimento do experimento? sim conseguimos fazer.

Sim Não
justificativa: explicou perfeitamente.

O mesmo questionamento anterior foi feito, na questão nove, em relação ao próprio experimento. Para a totalidade dos alunos, novamente, o trabalho do professor foi importante no entendimento do experimento. Como já citado, acredita-se que a participação do professor é fundamental ao bom andamento das atividades e essa percepção não é só desses pesquisadores, mas também dos alunos, conforme suas manifestações. O que se observou durante a atividade foi que, ao final, os últimos grupos buscavam informações não só com o professor, mas também com os colegas que já haviam realizado seus experimentos. Esse comportamento é condizente com o referencial teórico adotado pois, no início, o professor é o único que conhece o experimento e, portanto a interação dos alunos ocorre principalmente com o professor. A medida que mais alunos familiarizam-se com o experimento, a interação deixa de ser polarizada no professor.

A partir da questão 10, é pedida a opinião dos alunos em relação ao experimento. Para todos, o experimento foi de fácil realização (questão 10) embora alguns problemas tenham sido relatados na questão 11, os mais citados foram a própria montagem (3 vezes), como pode ser visto abaixo:

a montagem, "pois tinham espelhos certos e a lampada tinha que ficar parada".

A extinção constante da chama, no experimento do plasma, devido à proximidade excessiva das placas (3 vezes),

a fogo ficou aceso quando estava no meio das duas placas

a interferência eletromagnética (duas vezes):

as oscilações que interferem um pouco no experimento.

a interferência confundida com radioatividade por um participante

Muito radioatividade no local, fazendo com que o experimento oscilasse.

e, as teorias envolvidas na interpretação dos resultados (uma vez),

11. Quais as dificuldades encontradas na realização do experimento:

Acredito que as dificuldades maiores ao menos para nós não foi montar o experimento nem observá-lo, foi mais difícil a parte das teorias, onde mesmo de forma clara, nosso grupo se confundiu um pouco.

para os demais participantes não houve problemas a relatar:

Nenhuma, pois havia um roteiro bem explicativo e um professor ajudando.

Esses relatos serão fundamentais para o aprimoramento do produto final pois mostram suas fragilidades e nos permitem buscar solução dos possíveis erros. Destes, alguns são de fácil solução. A extinção da chama resolve-se com um maior afastamento das placas e proteção contra correntes de ar. Um novo cabo, mais curto, para a conexão com as lâmpadas facilitará o seu posicionamento. Acrescentar imagens do kit inteiro montado nos guias do alunos facilitariam ainda mais a montagem dando uma visão ampla, ou ainda montar-se um kit exclusivo para que os alunos possam visualizar e comparar com o que estão montando. Grande parte da interferência eletromagnética é produzida pela rede elétrica. O simples afastamento dos cabos elétricos reduz em muito essa interferência. A dificuldade teórica relatada é inerente à própria teoria quântica, que mesmo tratada superficialmente e qualitativamente, não é uma teoria “simples”.

Na questão doze perguntou-se a respeito da participação dos membros dos grupos ao se questionar se o aluno havia interagido com o experimento e os motivos da não interação. Todos alegaram ter interagido com os experimento o que vem corroborar a opinião prévia dos pesquisadores a respeito da capacidade interativa do kit experimental. Complementando essa questão, perguntou-se, na questão treze, se o experimento foi intuitivo e auto explicativo. Devido aos problemas citados em questões anteriores, esperava-se que nesta questão houvesse críticas a estes quesitos. Porém os alunos foram unânimes em declarar que o experimento era intuitivo e auto explicativo. Essa unanimidade leva os pesquisadores a questionar o grau de reflexão que os alunos tiveram durante a avaliação do processo.

Quando perguntados sobre o uso do computador no experimento e se este tornou o experimento mais atrativo, vinte e quatro alunos afirmaram que sim, dois discordaram argumentando que o experimento já era atrativo o suficiente, como pode ser visto no seguinte comentário:

17. Você usou o computador em algum momento do experimento?

() Sim (x) Não Se não, por que: pois por si só já é bastante atrativo.

ou neste

17. Você usou o computador em algum momento do experimento?

() Sim (x) Não Se não, por que: pois para mim o experimento do plasma foi mais interessante.

Estes comentários demonstram que os alunos não diferenciaram a possibilidade de realização do experimento sem o computador (interface gráfica).

Todos os alunos concordam que o significado do gráfico (questão quinze) presente na interface gráfica ficou evidente e que os experimentos estavam relacionados com os fenômenos estudados (questão dezesseis).

A questão dezessete pediu aos alunos que apresentem sugestões para a melhoria dos experimentos ou interface gráfica. Apenas quatro alunos realmente apresentaram sugestões conforme pedia a questão. Tais sugestões versam sobre o número escasso de equipamentos e a interferência eletromagnética que dificultou parcialmente os trabalhos. Abaixo apresenta-se algumas dessas declarações:

17. Você tem sugestões para melhorar o experimento ?

Mais computadores e aparelhos para a realização do experimento.

Não, só mais baterias para toda a turma assim todas faziam em ~~horas~~ poucas aulas, mais rápido.

O experimento está muito bom, só devia haver algo que não desse tanta interferência.

Muitos alunos usaram o espaço da questão para elogiar o trabalho:

O experimento ficou excelente, mas precisa mudar mais, o meio experimental muito bem feito e de fácil entendimento, o professor sempre explicou antes do experimento e foi feita atenção de todos, e o experimento foi um sucesso.

Não, no meu ponto de vista o experimento está completo, funcionou como o esperado e atendeu nossas expectativas.

Um aluno não respondeu a questão dezoito referente ao funcionamento do kit. Para os demais tudo funcionou como esperado.

Para todos os alunos, os objetivos eram claros (questão dezenove) e foram atingidos (questão vinte). Devido a essas respostas, ninguém respondeu as questões vinte e um e vinte e dois sobre objetivos não atingidos. Abaixo seguem algumas manifestações referentes à questão dezenove:

Sim Não

justificativa: *custo experimental muito bem explicado e fácil de entender.*

20 Com a realização do experimento e resolução do anexo A os objetivos propostos foram

Sim Não

justificativa: *Por o professor nos apresentar os materiais utilizados, nos tirando dúvidas.*

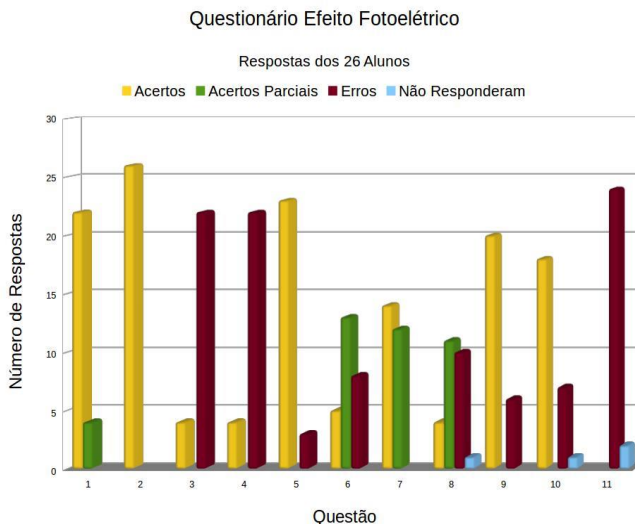
O material estava completo, bem detalhado.

O questionário de avaliação da proposta didática foi complementado pelos questionários presentes nos guias (apêndice B) cujo objetivo era avaliar a apropriação dos conceitos trabalhados. Abaixo descreveremos os resultados apresentados pelos alunos nestes questionários.

O desempenho dos estudantes foi tabulado¹³ e os resultados são apresentados nos gráficos abaixo (figuras 14 a 16). O questionário do experimento com efeito fotoelétrico apresentou maior número de questões (11) em relação à simulação (7) e ao experimento do plasma (5) pois foi o foco principal da pesquisa. A seguir apresentamos a síntese do desempenho dos alunos nestes questionários, alguns questionários encontram-se no anexo A.

¹³ A tabela com o número de acertos encontra-se no Apêndice C.

Figura 14 - Efeito fotoelétrico - Gráfico de desempenho dos alunos.

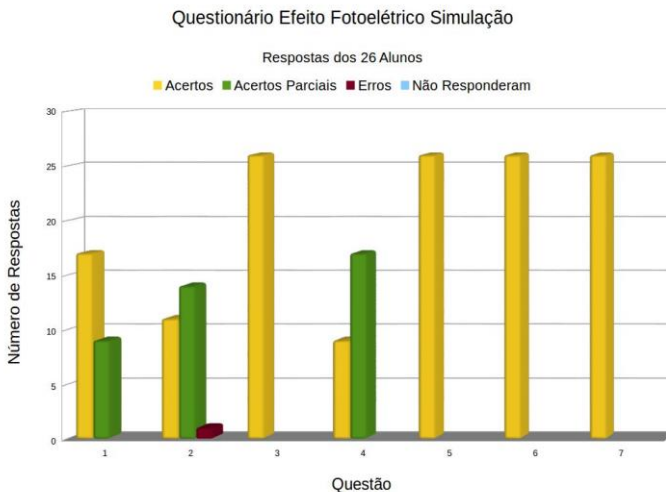


Analisando-se os resultados expressos no gráfico da figura 14, observa-se um elevado índice de acertos nas questões 1 e 2 cuja resolução estava diretamente associada à observação do comportamento do experimento. A questão 1 constou de uma tabela a ser completada a partir dos resultados experimentais e da consulta dos subsídios teóricos anexados ao guia do aluno. Todos os alunos observaram corretamente o comportamento de onda da linha do gráfico que indicava a corrente fotoelétrica, apenas alguns alunos apresentaram dificuldade em associar corretamente a cor da luz ao respectivo comprimento de onda. Na questão 2, 100% dos alunos identificaram corretamente o acendimento da luz ultravioleta - UVC - como responsável pelo surgimento do efeito fotoelétrico. Na questão 3, muitos alunos identificaram a presença dos elétrons livres na corrente fotoelétrica porém, equivocaram-se no sentido desta assinalando a primeira opção, sugerindo que os elétrons se moveriam da grade para a placa. Podemos interpretar que este erro deveu-se a falta de atenção na leitura das afirmativas, visto que no experimento virtual o sentido da corrente fotoelétrica é evidenciado. Como o trabalho foi realizado em grupo, o erro propagou-se entre os alunos. A questão 4 também desafiou a compreensão dos alunos na associação da energia cinética dos fotoelétrons com o comprimento de onda da luz incidente. O bom índice de acerto na questão 5 pode ser interpretado como decorrente

do conjunto do trabalho, visto que não é possível, até o momento, variar a intensidade luminosa no experimento real e observar suas consequências. Provavelmente a resposta foi obtida da exposição inicial ou da observação do experimento virtual. A questão 6 consistiu de resposta objetiva, sim ou não, acompanhada de justificativa. Os acertos parciais deveram-se, principalmente, ao acerto na resposta objetiva e erro na justificativa do porquê de o efeito não ser observado. A justificativa também motivou os acertos parciais na questão 7 visto que, os alunos não associaram o material da placa à função trabalho ou ao comprimento de onda mínimo para o surgimento do fenômeno e sim à fala do professor, durante a aula, sobre as dificuldades de se montar as placas em materiais como o ferro, sódio ou potássio. A questão 8 envolveu cálculos matemáticos e verificou-se de maneira recorrente que os alunos obtém corretamente as informações, selecionam a equação necessária à resolução do problema e erram no desenvolvimento do cálculo matemático. As questões 9, 10 e 11 versavam sobre o tema e foram obtidas dos formulários de vestibular da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) e UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), as questões 9 e 10 foram consideradas, pelos pesquisadores, de média complexidade e o desempenho dos alunos foi bom, já a questão 11, envolvia a interpretação de um gráfico e cálculos de razoável complexidade e, cuja resposta deveria ser a soma das alternativas corretas. Na correção dessa questão não se considerou acertos parciais, o que fez com que os alunos não obtivessem êxito.

De um modo geral percebemos que, em questões que envolviam a observação direta do comportamento do experimento, os alunos obtiveram bons resultados. Este fato demonstra o potencial significativo e a clareza na apresentação dos resultados pelo kit experimental. O desempenho dos alunos foi similar nos demais questionários como veremos a seguir.

Figura 15- Simulação Efeito Fotoelétrico - Gráfico de desempenho dos alunos.

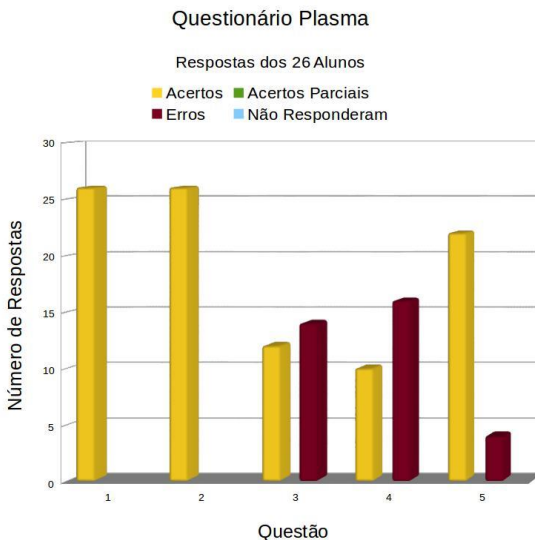


Os alunos também apresentaram um bom desempenho na resolução das questões sugeridas no guia da simulação. Algumas delas podem ser utilizadas também no experimento real. A questão 1 consistia de uma tabela, semelhante à tabela da primeira questão do guia do experimento real. Aqui, mesmo com a indicação do comprimento de onda associado à cor da luz, houve um grande número de erros neste quesito. Um grupo de 5 alunos, estranhamente, não detectou a medição da corrente nesta questão. Provavelmente, este fato está relacionado com a representação numérica da corrente nesta simulação, embora a presença dos elétrons fosse visível. Na questão 2, muitos alunos argumentaram que o efeito não aparecia com a inversão da polaridade pois os elétrons eram ejetados mas não eram visíveis (provavelmente o termo seria detectados) Outros confundiram elétrons com fótons ou prótons na sua justificativa, embora esta estivesse correta. Todos os alunos acertaram as questões 3, 5, 6 e 7. Destaca-se que na questão 5 muitos associaram o comprimento de onda com a intensidade do efeito e só um grupo de 4 pessoas associou o efeito a um comprimento de onda mínimo. Embora tenha havido confusão na questão 2, na questão 6 todos responderam que as partículas ejetadas eram elétrons. E, na questão 7, os alunos argumentaram que as partículas retornam com a mudança da polaridade das placas pois são atraídas pela placa positiva, manifestando assim conceitos da lei de Coulomb. Na questão 4 muitos associaram, corretamente, o comprimento

de onda com o número de elétrons ejetados porém o questionamento não era esse. O resultado pode ser interpretado como decorrente de dificuldades de interpretação ou clareza insuficiente na pergunta.

Por último apresentamos, abaixo, as respostas no experimento do plasma.

Figura 16 - Plasma - Gráfico de desempenho dos alunos.



A questão 1 envolveu a observação direta do comportamento da linha do gráfico e, os alunos não apresentaram dificuldade em identificar a subida da linha e associá-la à presença do plasma entre as placas. A composição do plasma estava presente nos subsídios teóricos anexos aos guias de modo que os alunos identificaram corretamente a afirmativa a ser assinalada na questão 2. Para muitos, o material da combustão interfere no fenômeno, e provavelmente desconhecem que o material mais comum é carbono. Na questão 4, o tipo de ligações químicas dos gases confundiu os alunos em suas respostas e na questão 5 alguns alunos esqueceram-se das respostas dadas à questão 2 e erraram a composição da corrente elétrica formada pelo plasma.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do tema de pesquisa deste trabalho foi motivada pela necessidade de o professor pesquisador em aprimorar o ensino de Física Moderna em suas aulas de Física. A oportunidade oferecida pelo mestrado profissional foi determinante na busca por soluções que resultassem na inserção do tema e da experimentação nas aulas deste professor.

O desenvolvimento do kit experimental utilizado na implementação da proposta didática, ora relatada, produzida no curso do Mestrado Profissional em Ensino de Física possibilitou ao professor pesquisador desenvolver habilidades que capacitarão o profissional a diversificar suas possibilidades de atuação pedagógica, com o uso de tecnologias e a produção própria de materiais didático-experimentais, principalmente em situações de poucos recursos laboratoriais como a escola pública.

A opção pela disponibilização do material sob a forma de *software* e *hardware* livres baseia-se na convicção dos pesquisadores de que a educação científica no Brasil tem muito a melhorar e que iniciativas inovadoras são o caminho para isto, e devem ser compartilhadas com os demais profissionais. Essa convicção torna-se evidente na escolha, para o projeto, da plataforma de desenvolvimento Arduino cuja filosofia é o livre compartilhamento de informações e experiências. Oportunamente, reitera-se aqui que, todo material produzido neste trabalho se encontra disponível para *download* no sitio <<http://mnpf.arangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>>.

A aplicação do material produzido demonstrou que a implementação de propostas experimentais em aulas de ciências é bem recebida pelos alunos. Propostas que agreguem a isto o uso de recursos tecnológicos interativos semelhante às tecnologias com que os jovens convivem são prontamente acolhidas. Tais iniciativas favorecem o protagonismo dos sujeitos envolvidos no processo de ensino aprendizagem com a sua própria educação. Acreditamos que este protagonismo possa influenciar na formação dos jovens e contribuir para a melhoria das condições da educação, em especial de nível médio.

A recepção positiva demonstrada pelas atitudes observadas e respostas dadas e o bom desempenho na resolução dos problemas propostos, mesmo o tema sendo novo para os alunos, nos dá indicações de que o trabalho foi bem sucedido e motiva-nos a continuar com o desenvolvimento deste produto e ampliar sua utilização em outras turmas deste nível de ensino. A análise das manifestações registradas nos questionários possibilitou a correção dos erros encontrados e a

manifestação futura dos profissionais que fizerem uso deste material contribuirá ainda mais para a evolução deste produto.

Para concluir, acreditamos ter logrado êxito nos objetivos propostos para este projeto. O kit foi desenvolvido e testado com sucesso, o aplicativo mostrou-se atrativo e simples, embora algumas melhorias ainda sejam necessárias na interface e as informações exibidas no gráfico foram julgadas compreensíveis pelos alunos. Acredita-se também que a proposta tenha um alto grau de aplicabilidade no Ensino Médio. Por fim espera-se motivar outros professores à investir tempo no desenvolvimento de seus próprios kits FOTODUINO.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F.: **Aquisição de dados usando Logo e a porta de jogos do PC**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 4, p. 371 - 380, 2001. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_371.pdf>. Acesso em julho de 2016

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ADIB, Maria Lúcia Vital dos Santos: **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, 2003

BRASIL. **Lei n. 9.394**, de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União. Brasília: Gráfica do Senado, ano CXXXIV, n. 248, 23 de Dezembro de 1996, pp. 27833-27841.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**: MEC, SEB, DICEI, 2013. 562p.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, e: **Física com Arduino para iniciantes**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/334503.pdf>>. Acesso em julho de 2016.

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: **Física Moderna Experimental e Aplicada**. Livraria da Física, São Paulo. 2004 disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ> Acesso em 05/2016

GOULART, Paulo Ricardo Alcântara: **Eletrônica e cidadania: uma abordagem CTS para o Ensino Médio**. Porto Alegre, 2008 Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000652238&loc=2008&l=a340f60727484eeb>>. Acesso em maio de 2016

DOMINGUINI, Lucas; MAXIMIANO, Joema Rzatky; CARDOSO, Leonel: **Novas abordagens do conteúdo Física Moderna no Ensino Médio público do Brasil**, IX ANPED Sul – Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, Caxias do Sul, 2012. Disponível em:

<<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/653/534>>. Acesso em maio de 2016

EINSTEIN, Albert (1905): **On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light** Tradução para o inglês: TER HAAR, D. in *The Old Quantum Theory*. Disponível em: <http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf>. Acesso em fevereiro de 2016

FAGUNDES, Dione; SARTORI, Josimar; CATUNDA, T.; NUNES, L. A. O.: **Usando a Porta Paralela do Micro PC, Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, 1995. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol17a22.pdf>> Acesso em julho de 2016.

FOWLER, Michael: **The Photoelectric Effect** University of Virginia notas de aula. Disponível em <<http://bit.ly/29HVIMd>>. Acesso em março de 2015

FETZNER FILHO, Gilberto: **Experimentos de baixo custo para o ensino de Física em Nível Médio usando a placa Arduino-Uno**, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/127987>>. Acesso em 01/2016.

HAAG, Rafael; ARAÚJO, Ives Solano; VEIT e Eliane Ângela: **Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de Física?** Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005

LIBÂNEO, José Carlos: **A didática e a aprendizagem do pensar e do aprender: a Teoria Histórico-cultural da Atividade e a contribuição de Vasili Davydov**, Revista Brasileira de Educação, nº 27, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n27/n27a01.pdf>> acesso em 07/2016

LIBÂNEO, José Carlos e FREITAS, Raquel A. M. da M.: **Vygotsky, Leontiev, Davydov – Três Aportes Teóricos para a Teoria Histórico-Cultural e suas Contribuições para a Didática**. Disponível em: <<http://bit.ly/2a5K5dm>>. Acesso em 07/2016

MOREIRA, ildeu de Castro: **1905, Um Ano Miraculoso**. Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda e GERBASSI, Reuber Scofano: **Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007

PENA, Fábio Luís Alves e RIBEIRO FILHO Aurino: **Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física**: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Vol. 9, No 1, 2009

RODRIGUES, Rafael Frank de e CUNHA, Silvio Luiz Souza: **Arduino para Físicos: Uma ferramenta prática para aquisição de dados automáticos**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2014. 34 p.; il. Textos de apoio ao professor de física / Marco Antônio Moreira, Eliane Ângela Veit, ISSN 1807-2763; v. 25, n.4

SANTA CATARINA, Governo do Estado, Secretaria de Educação. **Proposta Curricular de Santa Catarina: formação integral na educação básica**. Florianópolis: 2014, 192p. Disponível em: <http://propostacurricular.sed.sc.gov.br/site/Proposta_Curricular_final.pdf> acesso em maio de 2016.

SANTOS, Nilva de Oliveira Brito dos e GASPARIN, João Luiz: **O Trabalho Educativo: Contribuições da Teoria Histórico Cultural e da Pedagogia Histórico Crítica**. IX ANPED Sul – Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, Caxias do Sul, 2012 disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/pape/r/viewFile/619/83>>. Acesso em 07/2016

SANTOS, C. A. dos: **Efeito Fotoelétrico**. Universidade federal do Rio Grande do Sul, Disponível Em: <<http://www.if.ufrgs.br/einstein/feitofotoeletricoindex.html>>, acesso em março de 2016.

SÉRÉ, Marie-Geneviève; COELHO, Suzana Maria e NUNES, António Dias: **O Papel da Experimentação no Ensino da Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: 30-42, abr. 2003

SOUZA, Anderson R. de; PAIXÃO, Alexander C.; UZÊDA, Diego D.; DIAS, Marcos A.; DUARTE, Sérgio e AMORIM, Helio S. de: **A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1702, 2011

STUEWER, Roger H.: **Einstein's Revolutionary Light-Quantum Hypothesis**. Artigo apresentado na HQ-1 Conferência sobre a História da Física Quântica no Instituto Max Planck para a História da Ciência, Berlin, Alemanha, Julho 5, 2007 Disponível em: <http://bit.ly/29TCR0P>. Acesso em 02/2016

TERRAZAN, E. A: **A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992. Disponível em: <http://bit.ly/29NaJLv>. Acesso em 25/11/2015

TOLEDO PIZA, A. F. R. de: **Mecânica Quântica, Uma Nova Imagem do Mundo**. Física Hoje, Uma Aventura Pela Natureza: Dos Átomos ao Universo. Ivan dos Santos Oliveira e Cássio Leite Vieira, Rio de Janeiro - RJ: Instituto Ciência Hoje, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2007, p. 155-170

VIEIRA, Renata de Almeida. **Implicações Pedagógicas da Abordagem Histórico Cultural: Aproximações**. IX Congresso Nacional de Educação, 2009. Disponível em: http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2009/anais/pdf/2951_1662.pdf>. Acesso em julho de 2016

YOUNG, Hugh D.: **Física IV: ótica e Física Moderna** / Young e Freedman, 12 ed., São Paulo, Addison Wesley, 2009

APÊNDICES

APÊNDICE A -**Questionário de Avaliação da Proposta Didática**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA - MNPEF
MESTRANDO: SÉRGIO SILVEIRA
ORIENTADOR: MAURÍCIO GIRARDI

PESQUISA DE OPINIÃO

Escola: _____ **Turma:** _____

Data: _____

Com base nos materiais que você recebeu e nos experimentos realizados, responda as questões abaixo com suas percepções em relação ao que se pede.

Do roteiro experimental distribuído pelo professor:

1. Na sua opinião, o material distribuído pelo professor apresenta uma linguagem clara, fácil de entender?

Sim Não

Justificativa: _____

2. Você considera que o material disponibilizou informações e elementos suficientes para a realização do experimento?

Sim Não

Justificativa: _____

3. Com o material distribuído foi possível montar o aparato experimental?

Sim Não

Justificativa: _____

4. Além da leitura do material, foram necessárias outras orientações para que a montagem do aparelho fosse possível?

Sim Não

Justificativa: _____

5. As ilustrações facilitaram o entendimento da montagem e realização do experimento?

Sim Não

Justificativa: _____

Das orientações do professor:

6. O professor atendeu seus chamados quando foi solicitado?

Sim Não

7. Na sua opinião, a explanação do professor apresentou uma linguagem clara, fácil de entender?

Sim Não

Justificativa: _____

8. As orientações do professor facilitaram o entendimento do roteiro experimental?

Sim Não

Justificativa: _____

9. As orientações do professor facilitaram o entendimento do experimento?

Sim Não

Justificativa: _____

Do experimento:

10. O experimento proposto foi de fácil realização?

Sim Não

11. Quais as dificuldades encontradas na realização do experimento?

12. No seu grupo, você interagiu com o experimento?

Sim Não Se não, por que: _____

13. O experimento é intuitivo e auto explicativo?

Sim Não Se não, por que: _____

14. O uso do computador ou *tablet* tornou o experimento mais atrativo?

Sim Não Se não, por que: _____

15. A interface apresenta um gráfico que evolui no tempo. O significado do gráfico ficou evidente?

Sim Não Se não, por que: _____

16. O experimento tem clara relação com os temas estudados (plasma e efeito fotoelétrico)?

Sim Não Se não, por que: _____

17. Você tem sugestões para melhorar o experimento?

18. O experimento funcionou de maneira adequada? Ou seja, funcionou como descrito no roteiro experimental?

Sim Não Se não, por que: _____

Dos objetivos:

19. Na sua opinião, os objetivos do experimento eram claros, fáceis de entender?

Sim Não

Justificativa: _____

20. Com a realização do experimento e resolução do anexo A, os objetivos propostos foram atingidos?

Sim Não

21. Caso a resposta da questão anterior tenha sido não, qual dos objetivos propostos você julga não ter sido atingido?

22. Na sua opinião, qual o motivo do objetivo não ter sido atingido?

APÊNDICE B -

Questionários Presentes nos Guias dos Alunos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
 MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
 FÍSICA - MNPEF
 MESTRANDO: SÉRGIO SILVEIRA
 ORIENTADOR: MAURÍCIO GIRARDI

EFEITO FOTOELÉTRICO ROTEIRO EXPERIMENTAL Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____
 Data: _____ Grupo: _____
 Escola: _____

Com base no material que você recebeu e no experimento realizado, responda as questões abaixo. Quando for o caso, assinale com X a única alternativa correta.

- Utilizando a figura 7 estime o comprimento de onda (λ) das lâmpadas utilizadas. Marque com um X o que ocorre com a linha do gráfico quando cada lâmpada é acesa.

| Lâmpada | λ (nm) | Linha sobe | Linha desce | Linha inalterada |
|----------|----------------|------------|-------------|------------------|
| Vermelha | | | | |
| Amarela | | | | |
| Verde | | | | |
| Azul | | | | |
| UVA | | | | |
| UVC | | | | |

2. Da mesma forma que no experimento com o plasma, a elevação da linha do gráfico indica a circulação de corrente entre placa e grade. Sendo assim, ao acender a lâmpada _____ houve a circulação de corrente no experimento.
3. Por que, somente quando a lâmpada UVC foi acionada, houve a circulação de corrente elétrica no experimento?
- () Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da grade para a placa;
 - () Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da grade para a placa;
 - () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque somente naquela situação o plasma é formado por íons livres que se movem entre a placa grade.
4. A corrente elétrica é formada por elétrons que são ejetados da superfície metálica. De que depende a energia com que os elétrons são emitidos (ejetados)?
- () Da diferença de potencial entre a grade e a placa;
 - () Da distância que separa a grade e a placa;
 - () Da intensidade da luz incidente;
 - () Do comprimento de onda da luz incidente;
 - () Da velocidade da luz incidente;

5. O que ocorre no efeito fotoelétrico se aumentarmos apenas a intensidade da luz incidente na superfície metálica?
- () Nada acontece;
 - () O efeito desaparece;
 - () Se já houver corrente, ela aumenta ou seja, o número de elétrons emitidos aumenta;
 - () Se já houver corrente, ela diminui ou seja, o número de elétrons emitidos diminui;
 - () Se não houver corrente, ela surge.

6. Com a inversão da polaridade da placa e grade o efeito é observado? Por que?

7. Com base no resultado experimental e na tabela 1 (texto), determine qual o material poderia estar presente na placa. Justifique.

8. Ainda orientando - se pela tabela 1, Calcule o comprimento de onda mínimo para que haja fotoemissão se a placa fosse de Césio. Em qual faixa do espectro se localiza o comprimento calculado?

9. (UDESC 2010) Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I - A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II - A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III - Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

10. (UDESC 2008) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.
2. quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.
3. a energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

I - Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.

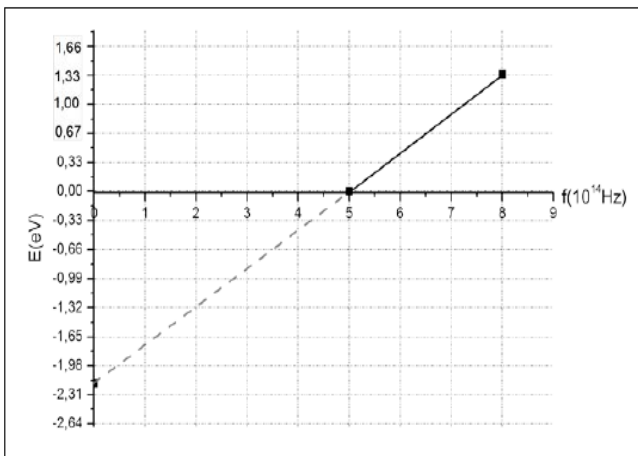
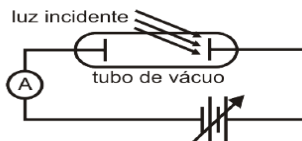
II - Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.

III - O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente a afirmativa I é verdadeira.

11. (UFSC - 2013 - 2) Em um experimento semelhante aos realizados por Hertz, esquematizado na figura abaixo, um estudante de física obteve o seguinte gráfico para a energia cinética (E) máxima dos elétrons ejetados de uma amostra de potássio em função da frequência (f) da luz incidente.



Com base nas características do fenômeno observado e no gráfico, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- (01). O valor da constante de Planck obtida a partir do gráfico é de aproximadamente $4,43 \times 10^{-15}$ eVs.
- (02). A função trabalho do potássio é maior que 2,17 eV.
- (04). Para frequências menores que $5,0 \times 10^{14}$ Hz, os elétrons não são ejetados do potássio.
- (08). O potencial de corte para uma luz incidente de $6,0 \times 10^{14}$ Hz é de aproximadamente 0,44 eV.

(16). Materiais que possuam curvas de E (em eV) em função de f (em Hz) paralelas e à direita da apresentada no gráfico possuem função trabalho maior que a do potássio.

(32). A energia cinética máxima dos elétrons emitidos na frequência de $6,5 \times 10^{14}$ Hz pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade da luz incidente.

Soma: _____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
 MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
 FÍSICA - MNPEF
 MESTRANDO: SÉRGIO SILVEIRA
 ORIENTADOR: MAURÍCIO GIRARDI

EFEITO FOTOELÉTRICO
ROTEIRO EXPERIMENTAL SIMULAÇÃO
Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

- Utilizando a simulação complete a tabela com o comprimento de onda (λ) da luz incidente (para isso tome como referência o meio da região onde a cor aparece) e a corrente medida em cada comprimento de onda para a intensidade luminosa de 100%.

| LUZ | λ (nm) | Corrente (+8V) | Corrente (-8V) |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| IR | | | |
| Vermelha | | | |
| Amarela | | | |
| Verde | | | |
| Azul | | | |
| UVA | | | |
| UVC | | | |

2. Com a inversão da polaridade das placas o efeito será observado? Por quê?

3. A intensidade luminosa influencia na intensidade de corrente? Como?

4. Qual a relação entre a energia cinética do elétron ejetado e o comprimento de onda da luz incidente?

5. O comprimento de onda influencia no aparecimento do efeito?

6. O que são as partículas que emergem da placa?

7. Por que, com a inversão da polaridade das placas, as partículas tendem a voltar?



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
 MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
 FÍSICA - MNPEF
 MESTRANDO: SÉRGIO SILVEIRA
 ORIENTADOR: MAURÍCIO GIRARDI

PLASMA
ROTEIRO EXPERIMENTAL
Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Com base no material que você recebeu e no experimento realizado, responda as questões abaixo. Quando for o caso, assinale com X a única alternativa correta.

1. O que ocorre com a linha do gráfico quando a chama do fósforo é colocada entre as placas?
 - () Nada acontece
 - () A linha sobe;
 - () A linha desce.

2. O comportamento da linha do gráfico indica que há o surgimento de uma corrente elétrica entre a placa e a grade do amperímetro. Por que isso acontece?
 - () Porque somente surgem elétrons livres que se movem da grade para a placa;
 - () Porque somente surgem elétrons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque somente surgem prótons livres que se movem da grade para a placa;

- () Porque somente surgem prótons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque o plasma é formado por íons e elétrons livres que se movem entre a placa e a grade.
3. O material em combustão influencia no surgimento da corrente que surge? Se fosse possível utilizar um isqueiro a gás, ou outra chama qualquer, em lugar do fósforo, o comportamento seria o mesmo?
- () O material não influencia. Desde que haja íons livres entre a placa e a grade, haverá corrente elétrica, o comportamento será o mesmo;
 - () Sim, o material de combustão influencia. Desde que haja íons livres entre a placa e a grade, haverá corrente elétrica com comportamento diferente.
 - () Sim, materiais diferentes formam íons diferentes e alguns íons livres não conduzem corrente elétrica;
 - () Não, materiais diferentes formam íons diferentes e alguns íons livres não conduzem corrente elétrica;
4. Por que não medimos corrente quando não há chama entre as placas?
- () Porque sem a chama há elétrons livres;
 - () Porque sem a chama não há íons livres;
 - () Porque sem a chama os íons livres permanecem presos às ligações iônicas dos gases;
 - () Porque a placa e a grade não são aquecidas pela chama.
5. De que é formada a corrente elétrica verificada neste experimento?
- () Somente de elétrons livres;
 - () Somente de prótons livres;
 - () Somente de moléculas polarizadas;
 - () De íons e elétrons livres;

APÊNDICE C -

Tabulação do desempenho dos Alunos

| <i>Escola de Educação Básica Timbé do Sul</i> | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| <i>3º ano matutino – 2016</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Sérgio Silveira</i> | <i>Questionários Estágio Física</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>efeito fotoelétrico</i> | | | | | | | | | | | |
| Numero de: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Acertos | 22 | 26 | 4 | 4 | 23 | 5 | 14 | 4 | 20 | 18 | 0 | |
| Acertos Parciais | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 12 | 11 | 0 | 0 | 0 | |
| Erros | 0 | 0 | 22 | 22 | 3 | 8 | 0 | 10 | 6 | 7 | 24 | |
| Não Responderam | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Simulação</i> | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | |
| Acertos | 17 | 11 | 26 | 9 | 26 | 26 | 26 | | | | | |
| Acertos Parciais | 9 | 14 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| Erros | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| Não Responderam | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Plasma</i> | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | |
| Acertos | 26 | 26 | 12 | 10 | 22 | | | | | | | |
| Acertos Parciais | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Erros | 0 | 0 | 14 | 16 | 4 | | | | | | | |
| Não Responderam | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |

APÊNDICE D -

O Produto Educacional



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO
DE FÍSICA
POLO ARARANGUÁ

FOTODUINO: Um kit experimental com Arduino para o estudo do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio

Guia de Montagem, Utilização e Aplicação



Araranguá, 2016

APRESENTAÇÃO

Prezado Professor,

O presente guia tem o intuito de orientá-lo na montagem e uso do kit experimental **FOTODUINO** para o estudo qualitativo do Efeito Fotoelétrico e das propriedades elétricas do Plasma. Para isso, apresentamos na primeira parte deste guia, no capítulo um, uma pequena introdução com alguns aspectos relevantes deste trabalho e suas aplicações no Ensino Médio. Em um segundo momento, nos capítulos dois, três, quatro e cinco temos a montagem instalação, testes e solução de problemas. Sendo que, no capítulo dois, apresenta-se o detalhamento dos componentes utilizados bem como diagramas e um roteiro para a montagem do aparelho; no capítulo três, trata-se da instalação dos *softwares* necessários ao controle do aparelho e à criação da interface gráfica, neste os *softwares* também são detalhados em um breve manual; no capítulo quatro, tem-se um guia para os testes e possíveis ajustes; e, no capítulo cinco, um guia de solução de problemas. A terceira parte, capítulo seis, detalha aspectos referentes à sequência didática sugerida. Por fim elencamos uma lista de referências. Nos apêndices encontramos, no apêndice A, os diagramas esquemáticos completos, no apêndice B, os *softwares*, O apêndice C trás os guias utilizados no teste do aparato com uma turma de terceiro ano do Ensino Médio, um detalhamento das respostas esperadas aos questionários sugeridos nos roteiros com alguns comentários que julgamos pertinentes e, no apêndice D, as imagens da apresentação utilizada na aula expositiva. Temos também um anexo com o *datasheet* do circuito integrado CA3420 que serviu de base para a criação do picoamperímetro, parte central do projeto FOTODUINO. Todo material produzido neste projeto, incluindo

este guia estão disponíveis para *download* e encontram-se em <<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>>.

Lembramos que esta é uma primeira versão e que, certamente, contém imperfeições que escaparam ao nosso olhar. Sendo assim contamos com a contribuição do leitor enviando sugestões ao seguinte endereço: prof.kabral@gmail.com.

Bom Trabalho!

Araranguá, 2016
Sérgio Silveira
Maurício Girardi

SUMÁRIO:

APRESENTAÇÃO

INTRODUÇÃO

GUIA DE MONTAGEM DO KIT EXPERIMENTAL

 Considerações Iniciais

 Ferramentas

 Material

 Componentes Essenciais

 Unidade de controle, processamento e interface
 analógico-digital

 Componentes Ativos e Passivos

 Componentes Diversos

 Diagramas Esquemáticos

 Amperímetro

 Fonte AT

 Controle das lâmpadas

 Interface de controle e comunicação com o computador

 Caixa Metálica

INSTALAÇÃO DOS SOFTWARES

 Programação do Arduino

 FOTODUINO_control_1_0.ino

 Programação do Aplicativo

 FOTODUINO_grafico_1_0.pde

 Interface Gráfica

TESTES E AJUSTES DO KIT FOTODUINO

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

 Problemas de ordem eletrônica

 Problemas de software

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

REFERÊNCIA:

APÊNDICES

 Apêndice A: Diagramas Esquemáticos

 Apêndice B: Códigos dos Programas

 Apêndice C: Roteiros Experimentais

Apêndice D: Apresentação
ANEXOS
Anexo A: *Datasheet* CA3420

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia moderna está cada vez mais disponível na forma de aparelhos eletrônicos baratos e acessíveis à um número maior de pessoas. Em particular, os jovens fazem hoje uso constante destes aparatos tecnológicos (celulares, *tablets*, computadores, etc.) que lhes dão acesso a uma quantidade gigantesca de informações disponibilizadas pela internet, democraticamente disponível a todos.

Percebemos que os estudantes do Ensino Médio, predominantemente adolescentes e jovens, inseridos em nossa sociedade digital, são muito diferentes dos jovens que frequentavam a escola no passado. Para estes, a escola era praticamente a única fonte de informação e conhecimento. Para o jovem de hoje, a escola, ao contrário, parece distante do seu objetivo de formar e informar.

Por força disto, o Ensino Médio passa por um período de transformações que pretendem contornar a onda de desinteresse e baixo desempenho dos alunos, evasão, reprovação, violência, etc. Propostas como o projeto de Ensino Médio Inovador (PROEMI) e o de reforma curricular do Ensino Médio, expressa nas novas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCNEB), que sugerem uma Base Nacional Curricular Comum (BNCC), fazem parte destas transformações, tanto curriculares, quanto estruturais.

A escola e o professor não podem mais ensinar apenas da forma tradicional. Como sugere a DCNEB, “*O desenvolvimento científico e tecnológico acelerado impõe à escola um novo posicionamento de vivência e convivência com os conhecimentos capaz de acompanhar a sua produção acelerada.*” (BRASIL, 2013). O uso de novas tecnologias tem sido apontado como essencial nesse processo de modernização da escola. Iniciativas inovadoras são estimuladas pelos documentos oficiais, que enfatizam a necessidade de práticas diferenciadas para este jovem do século XXI.

“A apropriação de conhecimentos científicos se efetiva por práticas experimentais, com contextualização que relacione os conhecimentos com a vida, em oposição a metodologias pouco ou nada ativas e sem significado para os estudantes” (BRASIL, 2013).

Todavia, a adoção de tais práticas esbarra, muitas vezes, na falta de materiais nos laboratórios das escolas públicas. Na maioria delas, estaduais principalmente, verifica-se a existência de espaços destinados aos laboratórios didáticos, mas geralmente equipados apenas com os itens mais básicos, destinados à experimentos de física clássica, química e biologia. Equipamentos mais elaborados ou destinados à experimentação em física moderna (aquela com impacto mais profundo nos avanços tecnológicos do último século) são inexistentes principalmente nas escolas estaduais. A aquisição destes equipamentos demanda investimentos elevados, que nem sempre são aprovados pelos gestores da educação. Por outro lado todas as escolas tem computadores em laboratórios de informática que são utilizados, na maioria dos casos, apenas para pesquisas bibliográficas na internet, sendo assim subutilizados. Muitos destes computadores poderiam ser alocados para o uso no laboratório de física, em simulações ou experimentos com coleta automática de dados. Existem iniciativas demonstrando que é possível a integração entre o computador e a atividade didática experimental. As primeiras delas utilizavam o computador no controle do experimento através de interfaces conectadas com a porta paralela (FAGUNDES, *et al.*, 1995) ou porta de jogos (AGUIAR E LAUDARES, 2001). Essas interfaces ligavam diretamente sensores ao computador, este controlando-as diretamente. As propostas mais atuais (CAVALCANTE *et al.*, 2011; GUAITOLINI JUNIOR *et al.*, 2014; RODRIGUES E CUNHA, 2014, etc.) tem dado preferência ao uso da porta serial (USB) conectada à kits experimentais controlados

por microcontroladores que manipulam os sensores e se comunicam com o computador.

Atualmente existem inúmeras plataformas de desenvolvimento baseadas em microcontroladores, tais como Galileo da Intel, os PICs da Microchip e o mais popular entre os usuários, o Atmega 328P, que compõe a plataforma Arduino Uno desenvolvida na Itália em 2005. Tais plataformas são usadas na automação em diversos projetos e são apropriadas à coleta automática de dados e ao controle de experimentos didáticos.

Em particular, a plataforma Arduino apresenta baixíssimo custo (\$2,5 dólares por unidade), versatilidade e grande quantidade de informações disponíveis na rede mundial, seja na página oficial (<https://www.arduino.cc/>), seja em fórum, com os mais variados temas, espalhados pelo mundo.

Assim, o projeto deste guia vem em resposta à necessidade de equipar os laboratórios de física para a experimentação em física moderna que, ao mesmo tempo, motive os alunos através de interfaces interativas. Para isso propõem-se uma abordagem diferenciada do tradicional com um experimento de baixo custo, acessível à maioria dos profissionais e escolas da rede Pública. Um experimento interativo que faz uso de uma plataforma de desenvolvimento aliada a uma interface gráfica familiar aos estudantes do Ensino Médio, integrado com as modernas tecnologias, em que os próprios alunos manipulam o objeto de aprendizagem.

O presente manual visa orientar os professores de física na montagem e utilização do kit experimental FOTODUINO para o estudo qualitativo do Efeito Fotoelétrico e das propriedades elétricas do Plasma, bem como apresentar uma sequência didática possível para o uso deste experimento no Ensino Médio.

2. GUIA DE MONTAGEM DO KIT EXPERIMENTAL

2.1. Considerações Iniciais

Para a montagem do aparato experimental são necessárias, do professor ou técnico de laboratório, habilidades mínimas com ferramentas de bancada (ferro de solda, furadeira e chaves em geral), na identificação de componentes eletrônicos, na soldagem em placas de circuito impresso e na confecção da caixa metálica que abrigará e blindará o aparato.

Essa primeira consideração não tem como objetivo desencorajar professores que não disponham de muito conhecimento em eletrônica, mas apenas alertá-los para que leiam atentamente este manual e treinem o uso das ferramentas. Procuramos elaborar as orientações da maneira mais clara e objetiva possível para que qualquer professor de física possa segui-las e obter êxito.

Nas figuras abaixo mostramos o kit pronto com alguns detalhes no intuito de motivá-lo neste empreendimento.



Figura 1 - Kit FOTODUINO.



Figura 2 - Conexões e controles.

2.2. Ferramentas

A montagem do kit experimental requer as seguintes ferramentas:

- Ferro de solda
- Multímetro digital
- Alicates de corte
- Furadeira
- Chaves de fenda e/ou Philips

2.3. Material

Os seguintes componentes e materiais são necessários a montagem do kit:

- 1 circuito integrado CA3420;
- 1 resistor: 10 GΩ (alternativamente podem ser utilizados 10 resistores de 1 GΩ ou 10 diodos 1N4148 em série como descrito no texto a seguir);

- 1 esterilizador UV para escova dental ou 1 kit de lâmpada UV;
- 1 Arduino Uno R3 ou 1 Arduino Nano;
- 1 diodo 1N4148, 1N4935 ou 1N4937 ou similar de alta tensão e transição rápida;
- Leds (preferencialmente de alto brilho) nas cores vermelho, amarelo, verde, azul e, se possível UVA (1 ou 2 de cada cor);
- 1 acoplador óptico 817 ou similar de fontes chaveadas;
- 5 transistores: 2N2222, BC548, BC547, ou outro similar NPN de uso geral;
- 1 transistor TIP 31, TIP 122 ou outro similar NPN de potência;
- 1 transistor: MPSA44, 1300x, DD127 ou similar, de chaveamento rápido para alta tensão, encontrado em lâmpadas fluorescentes compactas ou em reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes normais;
- Resistores de $\frac{1}{4}$ W e valores diversos (1 de 68R, 1 de 220R, 6 de 1k, 1 de 1k5, 1 de 2k2, 1 de 10k, 1 de 1M, 1 de 4M7 e 1 de 10M);
- 1 potenciômetro de 10 k e 1 trimpot de 1 k;
- 1 capacitor cerâmico de 10 pF;
- 1 capacitor de poliéster de 4,7 a 10 nF e 1,2 kV;
- 1 indutor de 2 a 15 mH para testes com a fonte AT (encontrado em fluorescentes compactas);
- 2 soquetes para CI de oito pinos;
- 1 conector fêmea de 10 pinos e 1 conector macho utilizado em placas de computador para conexão da USB frontal;
- Placas de alumínio e de zinco ou ferro galvanizado;
- 1 tela ou placa perfurada de alumínio ou ferro;

- 1 caixa metálica de leitor de DVDs (ou outra caixa metálica de tamanho equivalente);
- 1 caixa metálica redonda que acomode as lâmpadas;
- 3 conectores e 3 pinos banana de cores diferentes;
- 1 conector fêmea USB (pode ser de uma impressora descartada);
- Fios diversos para conexões de preferência coloridos;
- 1 placa padrão para montagem de protótipos dependendo do tamanho, mais de uma por kit;
- 1 fonte simétrica de 1,5 V (adaptação de um porta pilhas para 2 pilhas pequenas);
- Caixa de vidro ou acrílico, necessária para proteção da radiação UV;
- Cabos USB do tipo B de impressora.

Na figura abaixo, mostramos uma imagem geral de alguns dos componentes utilizados no projeto. Em seguida descreveremos cada um deles mais detalhadamente.



Figura 3 - Alguns componentes e materiais.

2.3.1. Componentes Essenciais

Dos itens da lista acima, os componentes eletrônicos como o amplificador operacional CA 3420, cujo *datasheet* pode ser encontrado no site do fabricante: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/ca34/ca3420.pdf>, e o resistor de 10 G Ω somente são encontrados em sites internacionais de venda de componentes eletrônicos. Ao final deste guia temos uma lista de sítios na internet que disponibilizam tais componentes (oriundos geralmente China). Na figura abaixo vemos a imagem destes dois componentes fundamentais da montagem



Figura 4 - Amplificador CA3420 e resistor 10 G Ω .

Na impossibilidade da aquisição do resistor de 10 G Ω , pode ser testada uma associação em série de 10 resistores de 1 G Ω ou ainda 10 diodos 1N4148 (ligados com a polaridade invertida). O uso dos diodos torna a resposta do amperímetro mais lenta devido à capacitância intrínseca do componente. Caso se opte por utilizar este componente, no apêndice A apresentamos um diagrama esquemático (figura 107) da montagem dos diodos.

Outro item essencial é a fonte de luz ultravioleta (UVC). Para a sua geração optou-se por uma lâmpada com bulbo de cristal de cátodo frio retirado de um esterilizador de escova dental, comprado facilmente via internet, com alimentação de 3 V e baixa potência emitida. Na figura abaixo temos um modelo de esterilizador que pode ser utilizado para a retirada da lâmpada ultravioleta e do circuito inversor.



Figura 5 - Esterilizador UV e kit retirado.

Também é possível a compra do kit com a lâmpada ultravioleta que pode ser encontrado em sites de produtos importados.

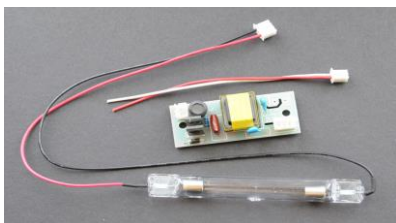


Figura 6 - kit de lâmpada UV utilizada no esterilizador.

Fonte: <http://www.rexim.com/pages/ccfl/mccuv.html>

As lâmpadas utilizadas nestes esterilizadores apresentam baixa emissão, com intensidade de 5 mW/cm^2 na faixa de UV, o que garante alguma segurança, desde que tomados devidos cuidados. Apresentam também alta tensão de trabalho, acima de 300 V dependendo do tamanho do bulbo. São fabricadas a partir de um bulbo de quartzo, de cátodo frio como as fluorescentes normais, com vapor de mercúrio a baixa pressão. Isto faz com que emitam principalmente na faixa dos 254 nm com um pequeno pico em 185 nm conforme espectro de emissão relativa em função do

comprimento de onda representado na figura abaixo. O uso de quartzo no lugar do vidro garante a passagem da radiação UV.

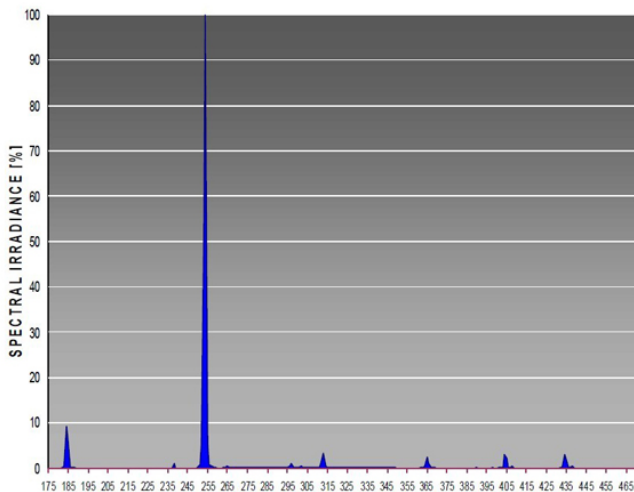


Figura 7 - Espectro de emissão relativa de uma lâmpada UV.

Fonte: <http://www.rexim.com/pages/ccfl/mccuv.html>

Radiações eletromagnéticas de alta frequência são potencialmente nocivas à saúde humana. Assim, como forma de proteção aos alunos que manipularão o equipamento, sugere-se o uso de uma caixa (aquário) de vidro ou acrílico sobre o experimento. A figura abaixo mostra a caixa, comprada em uma loja de decoração, utilizada durante o teste do equipamento. O acrílico é uma opção mais segura em caso de queda, visto que será manipulado por adolescentes.



Figura 8 - Caixa de proteção com 16 cm de aresta.

2.3.2. Unidade de controle, processamento e interface analógico-digital

A plataforma Arduino é responsável por todo processamento de sinais entre o computador e o amperímetro assim como o comando das lâmpadas. Pode-se usar dois tipos mais simples e baratos, o Arduino Uno e o Nano, vistos abaixo.

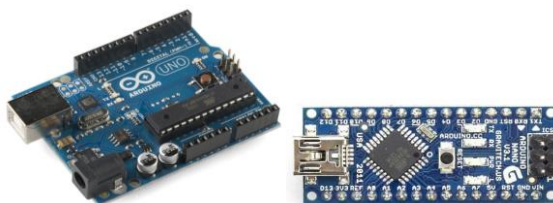


Figura 9 - Arduino Uno e Nano.

Fonte: <https://www.arduino.cc/>

Ambos possuem as mesmas funções e mesma pinagem em uma configuração diferente. Nas figuras abaixo vemos a configuração dos pinos do Arduino Uno utilizado nos protótipos.

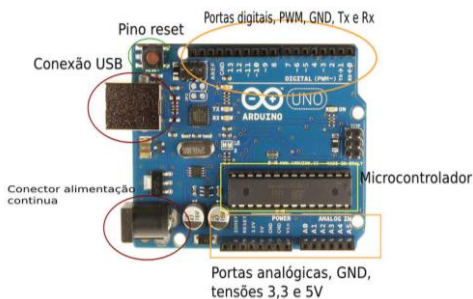


Figura 10 - Pinagem Arduino Uno.

Fonte: http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Arduino_-_Visão_Geral

Os sinais analógicos provenientes do amperímetro são recebidos pela entrada analógica A0 e convertidos em sinais

digitais pelo conversor AD presente no processador. Estes sinais são enviados ao computador via USB e convertidos em informações exibidas em tempo real pela interface gráfica. A figura abaixo detalha as entradas analógicas.



Entradas Analógicas

Figura 11 - Entradas analógicas Arduino Uno

Fonte: <http://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>

Os comandos recebidos pela interface gráfica são enviados pelo software para o Arduino também via conexão USB e interpretados por ele. Esses sinais digitais são encaminhados aos pinos digitais 2 a 7 que acionam as lâmpadas através de transistores de chaveamento. Abaixo vemos os pinos digitais em detalhe.



Figura 12 - Entradas analógicas Arduino Uno

Fonte: <http://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>

Os pinos digitais 3, 5, 6, 9, 10 e 11 marcados com um til (~) podem ser configurados como saída de PWM, pulso digital de largura variável que é interpretado em alguns circuitos como um sinal analógico. Neste projeto o pino 11 é configurado para gerar o PWM que comanda a fonte de alta tensão.

O Arduino Uno oferece pinos de saída de corrente contínua com tensão de +3,3V e +5V que pode alimentar pequenos componentes. A corrente é limitada mas suficiente, em alguns casos.

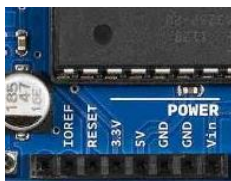


Figura 13 - Detalhe dos pinos de alimentação Arduino Uno.

Fonte: <http://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>

Com isto descrevemos os componentes que consideramos essenciais a montagem. A seguir descreveremos os componentes ativos e passivos, componentes eletrônicos de uso geral cuja aquisição é mais simples e podem ser obtidos em sucatas com facilidade.

2.3.3. Componentes Ativos e Passivos

Os componentes mais comuns tais como os diodos, transistores de chaveamento e controle das lâmpadas (chamados componentes ativos), resistores, capacitores, indutores (chamados componentes passivos) e conectores são encontrados facilmente em lojas de componentes eletrônicos nacionais. Para alguns desses sugere-se uma busca em equipamentos eletrônicos descartados, tomando cuidado apenas de verificar se os componentes em questão estão em boas condições. A caixa metálica da montagem, por exemplo, foi obtida a partir de um *drive* de DVD antigo facilmente encontrado nos depósitos de lojas de equipamentos de informática ou em computadores antigos encostados mesmo nas escolas.

Nas figuras que seguem apresentamos o aspecto geral e a forma de identificação dos componentes ativos e passivos usados no projeto.

Dos componentes ativos fazem parte o amplificador operacional (AmpOp) 3420, já descrito acima, os diodos, leds, o acoplador óptico e os transistores que descreveremos a seguir.

Os diodos podem ser encontrados em reatores de lâmpadas fluorescentes queimadas. Nas figuras vemos os diodos e a forma de identificação de seus terminais, marcada no seu corpo. Estes são componentes polarizados, assim como os capacitores eletrolíticos e não devem ter seus terminais invertidos na montagem. A inversão da polaridade dos componentes polarizados é sempre uma possível causa do não funcionamento do equipamento e de sua queima.

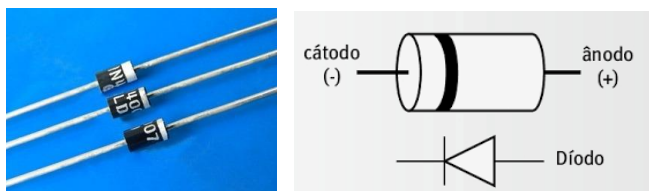


Figura 14 - Diodos retificadores 1N4007 de uso geral.

Diodos são geralmente identificados por um código alfanumérico escrito em seu corpo.

Os leds (diodos emissores de luz) empregados na fonte de luz, também são polarizados, como todo diodo. Abaixo vemos o aspecto mais comum e a identificação de seus terminais.

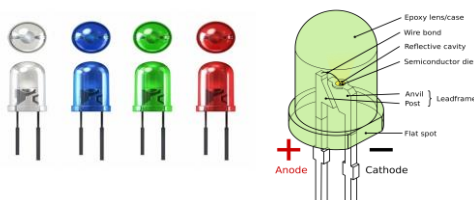


Figura 15 - Leds.

Leds RGB, que emitem três cores primárias, também podem ser utilizados.

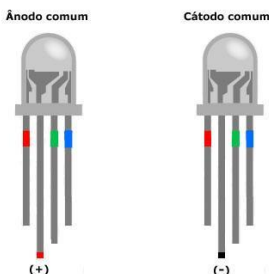


Figura 16 - Leds RGB.

O acoplador óptico (*optocoupler*), é um circuito integrado que agrega dois componentes, um led e um fototransistor em um único encapsulamento. No presente projeto foi utilizado um opto 817 (datasheet pode ser encontrado no endereço <http://www.farnell.com/datasheets/73758.pdf> ou em <http://www.everlight.com/file/ProductFile/EL817.pdf>) retirado de uma fonte chaveada usada mas, é possível utilizar outros *optos* similares.

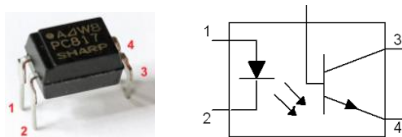


Figura 17 - Acoplador óptico.

Existem acopladores ópticos com mais de quatro pinos que também podem ser usados no projeto. Sugere-se verificar os respectivos *datasheets* para identificar características e pinagem.

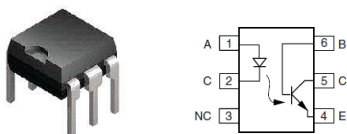


Figura 18 - Acoplador óptico de seis pinos.

O acionamento das lâmpadas é feito através de chaveamento com transistores, neste projeto utilizamos dois tipos, o BC547 ou similar, *datasheet* disponível em: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf>, e TIP 31, *datasheet*: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/TI/TIP31C.pdf>, ou TIP122, <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/TI/TIP122.pdf>. Na figura 15 temos a identificação dos pinos dos transistores e a sua marcação.

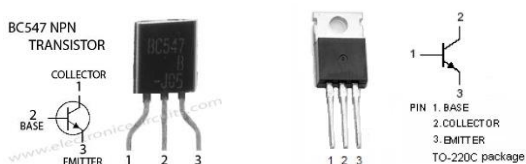


Figura 19 - Identificação dos pinos dos Transistores BC547 e TIP 31.

Os componentes passivos são descritos abaixo e deles fazem parte os resistores, capacitores e indutor.



Resistor

Capacitores

Indutores

Figura 20 - Componentes passivos.

Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/>

Os resistores são identificados através de um código de cores marcado em faixas no seu corpo, as figuras abaixo apresentam o aspecto e a interpretação deste código.

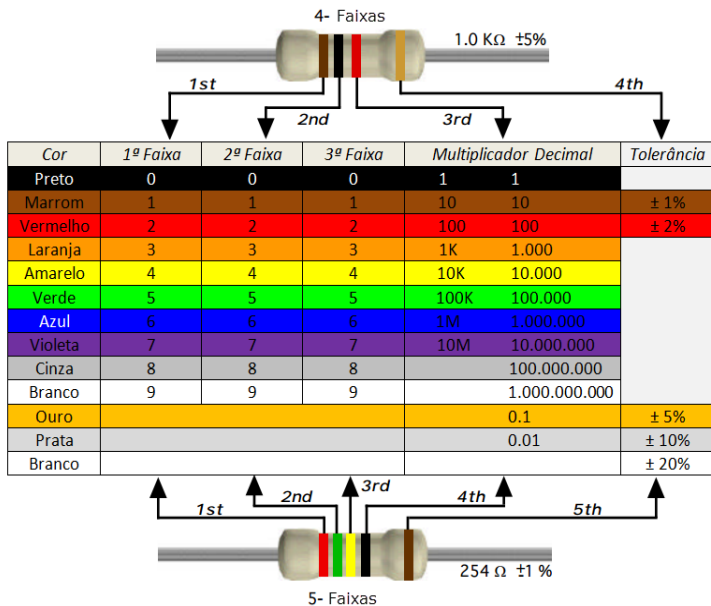


Figura 21 - Código de cores de resistores.

Fonte: <http://blog.render.com.br/wp-content/uploads/2014/06/Resistores-01.png>

Um resistor em especial é chamado resistor variável que pode ser um potenciômetro ou um *trimpot*. Tanto potenciômetros quanto *trimpots* tem várias formas diferentes, a título de ilustração, vemos abaixo a imagem de um dos tipos destes componentes, a esquerda um potenciômetro semelhante ao usado na montagem e a direita um *trimpot*.



Figura 22 - Potenciômetro e *trimpot*.

Há vários tipos de capacitores e fazemos uso de três deles: o capacitor eletrolítico (em uma opção de fonte de alimentação para o amperímetro), capacitor cerâmico (no amperímetro) e capacitor de poliéster (na fonte de alta tensão). Todos trazem suas características marcadas em algarismos em seus corpos como mostram as figuras abaixo.

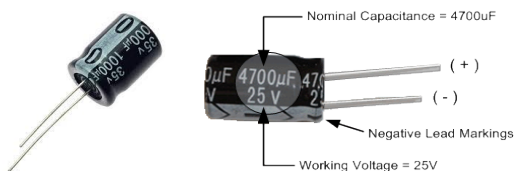


Figura 23 - Capacitor eletrolítico.

Fonte: http://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap_3.html

Obs: É importante lembrar que capacitores eletrolíticos são polarizados e não devem ser montados com seus terminais invertidos.

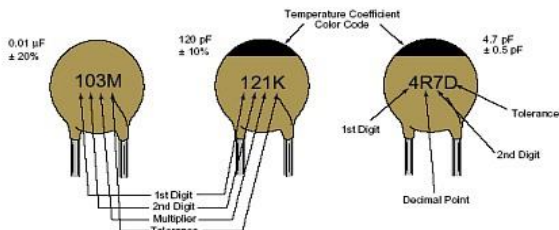


Figura 24 - Código para capacitores cerâmicos

Fonte: <http://www.py2bbs.qsl.br/capacitores.php>



Figura 25 - Capacitores cerâmicos de 10 pF e 50 V usados no projeto.

Fonte: <http://www.huinfinito.com.br/capacitor-ceramico/29-capacitor-ceramico-10pf-50v.html>



Figura 26 - Capacitores de poliéster.

O indutor utilizado na fonte de alta tensão foi obtido de uma lâmpada fluorescente chinesa de sucata. Abaixo vemos o aspecto de alguns deles.

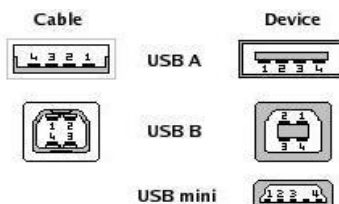


Figura 27 - Indutores retirados de sucata. A direita, indutor de 2,6 mH.

2.3.4. Componentes Diversos

Dos componentes diversos temos a conexão e os cabos USB, as placas de circuito impresso, os soquetes para os circuitos integrados, as caixas metálicas para a montagem e as lâmpadas, os pinos e conectores do tipo banana, a grade e a placa da fotocélula.

A conexão com o computador é feita via cabo USB. A imagem a seguir serve de orientação na preparação dos cabos e montagem da placa do equipamento e mostra a pinagem dessas conexões que aqui, conectam a interface de controle com o computador.



| Pin | Signal | Color | Description |
|-----|--------|-------|-------------|
| 1 | VCC | Red | +5V |
| 2 | D- | White | Data - |
| 3 | D+ | Green | Data + |
| 4 | GND | Black | Ground |

Figura 28 - Pinagem e cor do cabeamento USB.

Fonte: <http://baudaeletronica.blogspot.com.br/2012/03/pinagem-usb.html>

O cabo USB foi reutilizado de uma impressora antiga e a figura abaixo detalha o aspecto das suas conexões.



Figura 29 - Cabo USB de impressora.

Toda a alimentação das lâmpadas e do Arduino provém da conexão USB que apresenta capacidade de fornecimento de corrente limitada. Para contornar este inconveniente, que pode interferir nas leituras do amperímetro, recomenda-se a construção de um cabo USB com duas conexões paralelas, sendo que a segunda possui apenas os cabos de alimentação ligados. Essa solução praticamente dobra a capacidade de corrente fornecida ao dispositivo. A figura abaixo mostra um cabo destes vendido comercialmente, todavia, o mesmo pode ser feito com dois cabos emendados, tomando-se o cuidado de ligar somente os fios de alimentação do segundo cabo.



Figura 30 - Cabo USB duplo.

Para a presente montagem utilizamos uma conexão USB do tipo B, comum em impressoras. Neste caso, o conector foi obtido de uma placa de impressora de sucata (figuras 31 e 32). Conectores deste tipo também podem ser adquiridos novos.

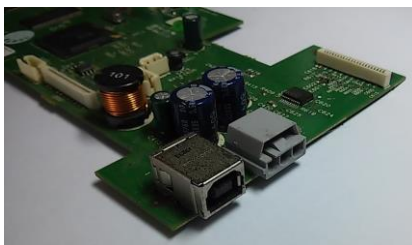


Figura 31 - Conector USB em placa de impressora.

A identificação correta dos pinos da conexão é fundamental para o perfeito funcionamento do aparato. Abaixo temos a numeração dos pinos nestes conectores.



Figura 32 - Número dos pinos do conector USB.

Toda montagem eletrônica necessita de um suporte físico. Neste projeto fez-se uso de placas padronizadas, já perfuradas, para montagem de circuitos eletrônicos, obtidas em sites de venda de componentes eletrônicos. A figura 33 mostra dois tipos destas placas.

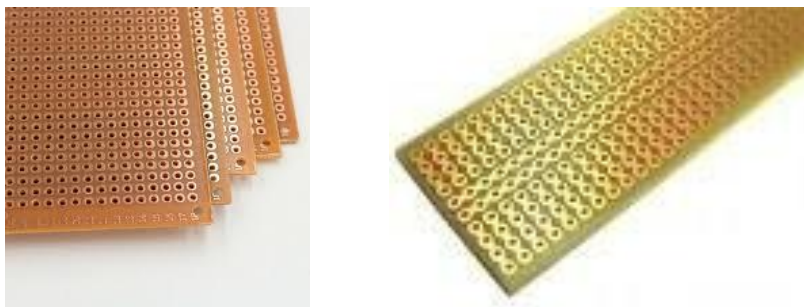


Figura 33 - Placas *pcbs* padrão.

Dependendo do tipo utilizado, a montagem poderá ter um aspecto diferente.

Na figura 34 temos os conectores banana fêmea e pinos banana usados nas ligações das placas e grade ao amperímetro.



Figura 34 - Pinos banana macho e fêmea

Na figura 35 os soquetes para o circuito integrado e acoplador óptico. O uso dos soquetes facilita a substituição em caso de dano acidental.



Figura 35 - Soquetes para CI.

A conexão com as lâmpadas é feita através de um conector que pode ser facilmente encontrado em placas mãe de computadores *desktop*. Trata-se do conector para o cabo de ligação com a USB frontal. Na figura 36 vemos os dois conectores. Ambos são utilizados e para isso deve-se dessoldar os pinos e retirá-lo com cuidado. O cabo de ligação pode ser usado com os próprios fios. O pino ausente é um bom referencial de encaixe para que não haja inversão de polaridade.

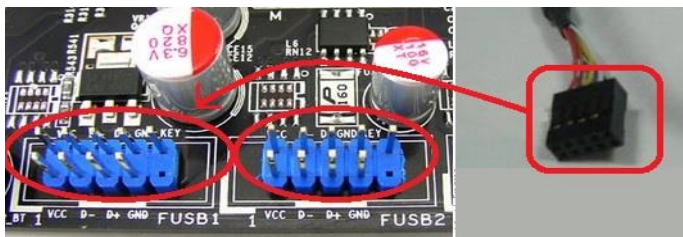


Figura 36 - Soquetes e cabo USB frontal em placa mãe.

<http://www.socialbits.com.br/informatica/sobre-informatica/placa-mae/desvendando-a-placa-mae-parte-4/>

A caixa metálica tem dupla função no projeto, sustentando e blindando o equipamento eletrônico. Para este fim utilizou-se uma caixa de drive de CDs ou DVDs retirados de sucata (figura abaixo).



Figura 37 - Drive de CD-ROM utilizado para montagem.

Caixas de drives mais modernas apresentam ondulações que dificultam a montagem, por isso optou-se por caixas mais antigas e com perfil mais liso.

O circuito das lâmpadas é outra parte importante do projeto e também necessita de uma caixa metálica para blindagem (evitando interferências na leitura do amperímetro). Para esta adaptou-se uma caixa redonda de balas que serviu perfeitamente. Na figura abaixo vemos o conjunto com a tampa já perfurada e um pino banana para o encaixe no suporte da caixa do amperímetro.



Figura 38 - Caixa metálica das lâmpadas

Para nossa montagem confeccionamos também uma grade, retirada de uma fonte ATX e uma placa feita de uma chapa de ferro

galvanizada com zinco. Para a conexão foram montados pinos banana aparafusados.



Figura 39 - Fonte ATX doadora da grade.



Figura 40 - Grade e placa.

Por fim, recomendamos uma leitura nos *datasheets* de todos os componentes utilizados e disponíveis nos sites dos fabricantes.

2.4. Diagramas Esquemáticos

Uma vez providenciado todo material a montagem do aparato pode ser iniciada com o estudo dos diagramas esquemáticos do circuito. As figuras a seguir mostram os diagramas de blocos do aparato experimental. Temos o esquema de montagem para demonstração do efeito fotoelétrico e o esquema do experimento montado para demonstração das propriedades elétricas do plasma.

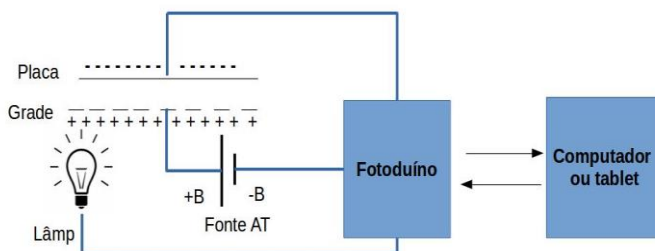


Figura 41 - Esquema de blocos do kit experimental do efeito fotoelétrico.

Neste caso, como pode ser observado, não há necessidade da utilização do kit com as lâmpadas e a grade pode ser substituída por outra placa, como vemos no esquema abaixo.

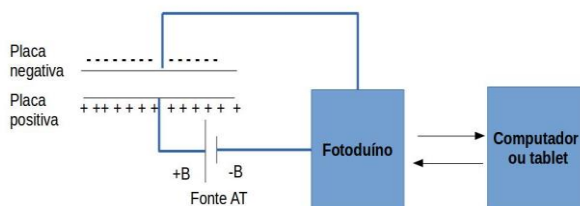


Figura 42 - Esquema de blocos do kit experimental do plasma.

O kit FOTODUINO aqui apresentado é composto de 5 blocos principais:

- 1) O amperímetro;
- 2) Fonte de alta tensão AT;
- 3) O circuito de acionamento das lâmpadas de diferentes cores;
- 4) A interface com o computador, que inclui a placa de Arduino;
- 5) O conjunto de placa e grade, juntamente com a caixa para acondicionar o circuito.

Um esquema mais detalhado da disposição interna do equipamento com as partes principais, periféricos e conexões entre elas é mostrado abaixo.

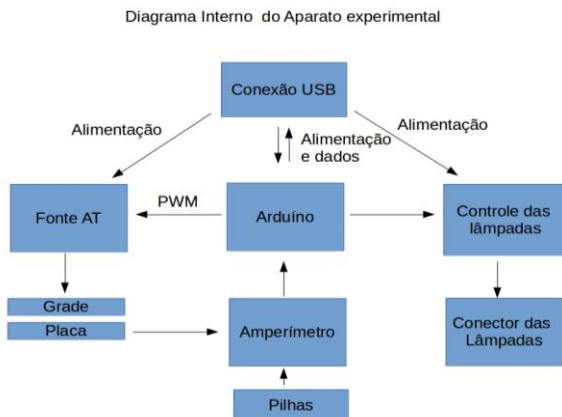


Figura 43 - Esquema interno de blocos do kit experimental.

O Arduino comunica-se, via cabo USB, com o computador enviando as leituras do amperímetro e recebendo os comandos da interface gráfica. Os comandos recebidos são transmitido ao bloco de comando das lâmpadas e ao bloco da fonte AT.

A seguir temos o detalhamento da montagem de cada um dos blocos (montagem em módulos) que compõe o kit experimental com os respectivos diagramas e orientações, sendo que o esquemático completo está disponível no apêndice A enquanto os arquivos *eagle* encontram-se em <<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>>.

Opcionalmente, temos uma versão em placa única para impressão e corrosão com percloroeto de ferro ou corte em CNC (Apêndice A). A montagem das placas eletrônicas foi descrita nos itens que seguem por uma questão de continuidade do texto mas, nada impede que o professor prepare primeiro a caixa metálica, descrita mais abaixo, e somente depois retorne para a montagem das placas.

2.5. Amperímetro

O diagrama esquemático do circuito do amperímetro foi obtido de uma adaptação da proposta existente no próprio *datasheet* do circuito integrado CA3420 (anexo A). O circuito adaptado com o acoplador óptico é representado na figura abaixo. Nela temos o resistor de 1 M que é ligado à placa metálica do experimento, através de um conector para pino banana e ao amplificador operacional CA3420, via resistor de 10 M cuja função é proteger o amplificador da alta tensão. O amplificador atua com alto ganho de corrente e entrega um sinal ao acoplador óptico PC817 (ou similar) que faz o isolamento e protege a entrada analógica A0 do Arduino enquanto R7 funciona como um resistor *pull down* mantendo o nível baixo de A0. Quando uma leitura do amperímetro faz circular corrente no led do acoplador, ele ilumina o transistor do 817 e o faz conduzir, elevando a tensão na entrada do Arduino que oscila entre 0 e 5 volts. Assim, o amperímetro mede variações de corrente que são convertidas em variações de tensão medidas pela porta analógica A0 do Arduino.

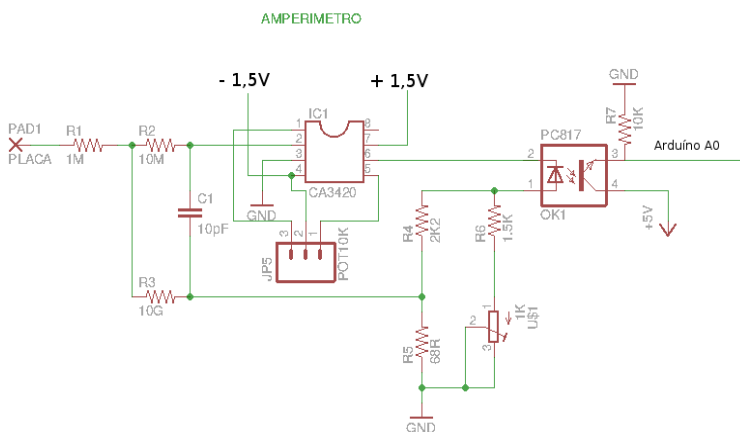


Figura 44 - Diagrama elétrico do amperímetro.



Destaca-se aqui as ligações de R1, R2 e R3 assim como de C1 que devem ser flutuantes (aéreos) para evitar interferência de resistências parasitas visto que R3 apresenta um valor extremamente alto. As demais ligações podem ser feitas em placas padrão.

Sugere-se a utilização de soquetes para o amplificador operacional e acoplador óptico. O uso de soquetes facilita a substituição em caso de dano acidental. POT10K é um potenciômetro de 10 k Ω cuja função é ajustar a tensão de *offset*, enquanto o trimpot de 1 k Ω faz o ajuste fino. Recomenda-se deixar ambos em meia volta.

Na figura abaixo vê-se um desenho em placa padrão das ligações dos componentes do amperímetro, pode-se observar que alguns componentes, de montagem aérea, não estão presentes pois não são montados na placa.

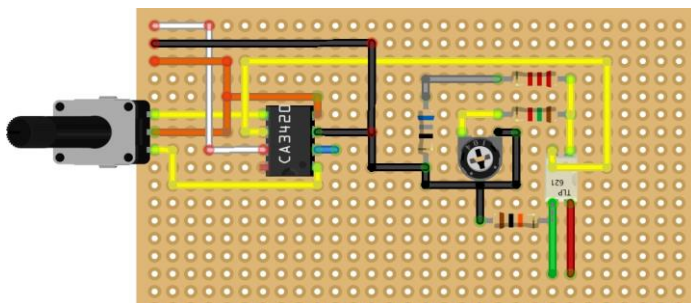


Figura 45 - Detalhe da montagem do amperímetro em placa padrão.

Observando a figura acima identificamos o fio preto, que deve ser ligado ao aterramento da fonte simétrica, o fio laranja que deve ser ligado ao -1,5 V e o fio branco, ligado ao +1,5 V. O fio vermelho deve ser ligado à tensão de +5 V que pode vir do Arduino ou da USB. A saída de sinal para a porta analógica A0 é feita pelo fio verde. Os fios amarelos representam as demais ligações.

Os componentes de montagem aérea ou flutuante são conectados ao pino 2 do CA3420 (conexão representada pelo fio azul), na ligação entre os resistores de 68 e 2200 Ω (fio cinza) e

no conector para pino banana da placa da fotocélula. Os detalhes dessa ligação são vistos nas figuras abaixo.

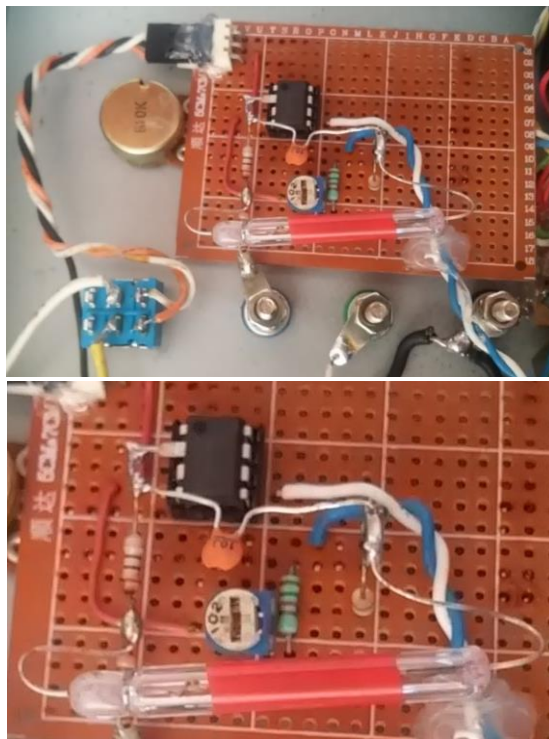


Figura 46 - Detalhe da montagem dos componentes aéreos

Nas imagens acima, a disposição dos componentes é um pouco diferente daquela representada na figura, visto que é de uma das primeiras versões montadas. Nelas podemos ver os resistores de $10\text{ M}\Omega$ e o capacitor de 10 pF soldados ao pino 2 do CI, que foi entortado antes do encaixe no soquete. O resistor de $10\text{ G}\Omega$ ligado ao capacitor e aos resistores de 68 e $2200\ \Omega$, em uma extremidade, e ao resistor de $10\text{ M}\Omega$, na outra. Oculto atrás do resistor de $10\text{ G}\Omega$ encontra-se o resistor de $1\text{ M}\Omega$ ligado aos resistores de $10\text{ G}\Omega$ e $10\text{ M}\Omega$ e ao conector da placa. Vemos também a alimentação do amperímetro, através dos fios laranja (-

1,5 V) e branco (+1,5 V), que passam pela chave interruptora dupla devido à fonte simétrica e o fio preto é ligado diretamente ao aterramento.

A tensão de 5 V conectada ao acoplador óptico provém da USB enquanto as tensões de + e - 1,5 V são conseguidas facilmente com o uso de duas pilhas em série e uma derivação central entre as duas, como se pode ver no esquema da figura a seguir.

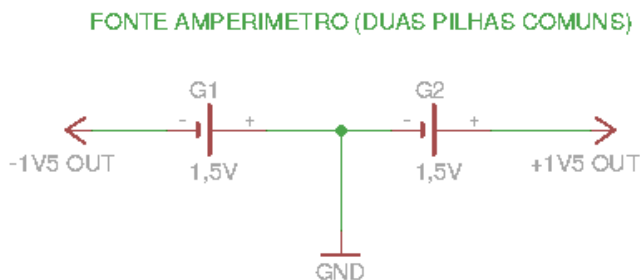


Figura 47 -Fonte simétrica 1,5V

A derivação central é feita soldando-se um fio na mola do negativo de uma das pilhas ou na ligação entre uma e outra, como é visto no fio preto da figura.



Figura 48 - Fonte simétrica 1,5V com duas pilhas.

O uso de pilhas em montagens eletrônicas nem sempre é cômodo. As pilhas se desgastam, eventualmente vazam e

contaminam o equipamento e apresentam problemas com o descarte. Opcionalmente podemos excluir as pilhas, para a fonte simétrica, utilizando um circuito regulador associado a um inversor de polaridade. A figura abaixo apresenta o diagrama esquemático desta opção. A tensão positiva de 5 V da USB é convertida em 1,5 V pelo regulador LM317 e entregue ao inversor ICL7660 que converte a tensão positiva de 1,5 V em tensão negativa.

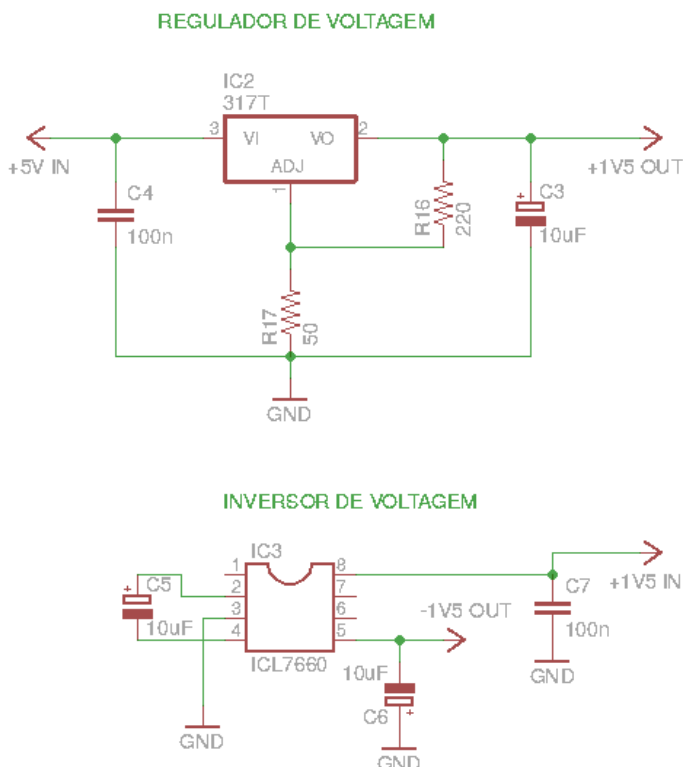


Figura 49 -Versão opcional da fonte simétrica

2.6. Fonte AT

A fonte de alta tensão (AT) está representada no esquema abaixo. Nela vemos que o terminal PWM IN é ligado ao pino digital 11 do Arduino e recebe o pulso de PWM responsável pela indução de alta tensão no indutor L1 que recebe 5 V da conexão USB. A saída de alta tensão AT OUT é ligada à grade através de um conector para pino banana.

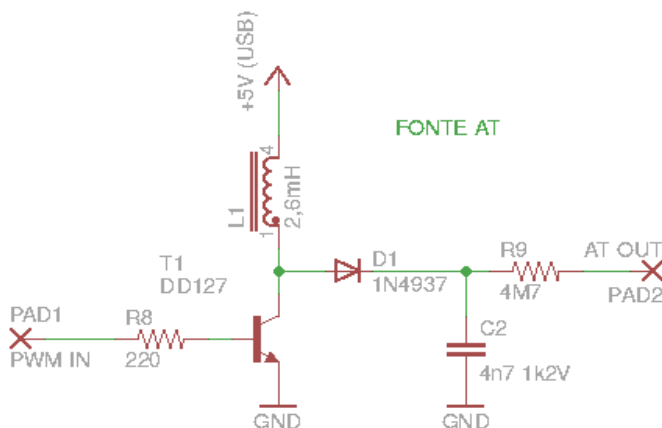


Figura 50 - Esquema da fonte de alta tensão.

O Arduino possui quatro pinos digitais, descritos no capítulo anterior, que podem ser configurados para gerar uma onda quadrada, cuja largura (tempo) em nível alto pode ser alterada. A configuração dos pinos digitais, com função PWM, pode ser feita através do comando *analogWrite()* no laço principal do programa que roda no Arduino, mas deixa este muito lento. Em nosso projeto optou-se por uma configuração direta nos registradores, que geram o PWM, que será descrita no capítulo dos softwares. A figura abaixo mostra o aspecto deste sinal cujo tempo em nível alto pode ser configurado para intervalos de 0 a 100% do tempo.

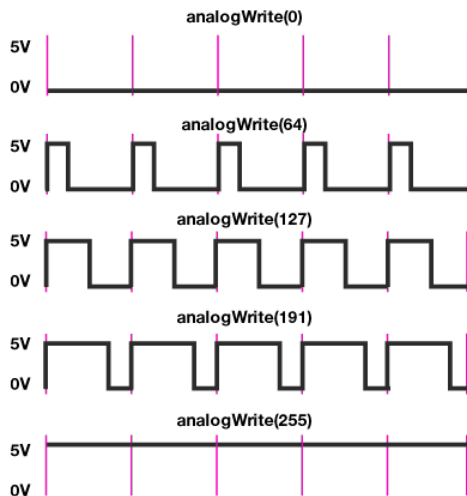


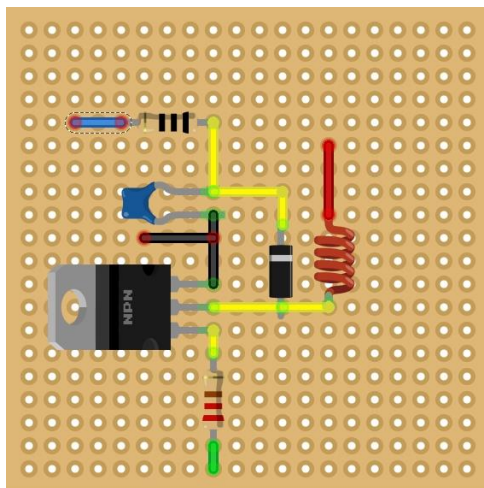
Figura 51 - Sinal de PWM gerado pelo Arduino.

O sinal de PWM comanda o transistor de chaveamento através do resistor de $220\ \Omega$ alterando seu estado entre o corte e a condução. Durante a condução o transistor liga o indutor ao terra, fazendo com que haja circulação de corrente por ele. Durante o corte o indutor carrega o capacitor com a alta tensão induzida pela abrupta variação de fluxo magnético mantendo a corrente no indutor mesmo após o corte no transistor. A alta tensão é retificada pelo diodo e entregue à grade da fotocélula através do resistor de $4,7\ M\Omega$ de proteção contra curto circuito e possíveis choques elétricos.

Tanto o transistor quanto o diodo podem ser substituídos por similares desde que sejam de alta velocidade. Nos testes realizados o transistor de chaveamento 13007, por exemplo, foi montado com sucesso. Como já citado, esses transistores são comuns em sucatas de fluorescentes compactas, principalmente de origem chinesa. O diodo pode ser encontrado em quantidade em placas de reatores eletrônicos de lâmpadas fluorescentes tubulares. O indutor também foi aproveitado de uma sucata de lâmpada compacta.

Convém observar que o reaproveitamento de peças usadas requer algum cuidado quanto ao seu estado. Caso sua montagem não funcione inicialmente desconfie dos componentes e, se possível substitua-os por outros.

O esquema das ligações pode ser visto abaixo. O aspecto real dos componentes pode ser diferente do representado aqui.



fritzing

Figura 52 - Esquema de ligações da fonte AT.

Novamente o fio preto indica a ligação à terra e o fio vermelho, a ligação ao +5 V, preferencialmente vindo da conexão USB ou de fonte externa. O fio verde é ligado ao pino digital 11 do Arduino e recebe o pulso de PWM para a geração da alta tensão que é ligada à grade pelo fio azul.

Abaixo temos o aspecto real de uma das montagens vista pelo lado dos componentes e pelo lado das soldas. Note que não temos ainda os fios de entrada de PWM, do Arduino, e saída de alta tensão. A alimentação e o aterramento já estão ligados à conexão USB ao lado.

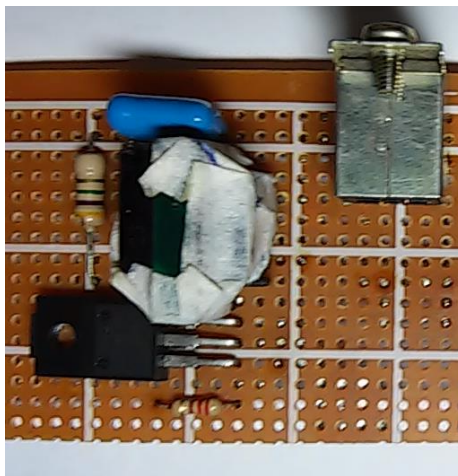


Figura 53 - Montagem da fonte AT vista do lado dos componentes.

Na imagem acima o diodo não aparece pois foi encoberto pelo indutor.



Figura 54 - Montagem da fonte AT vista do lado das soldas.

A vista inferior demonstra que não é necessária grande habilidade para montagem da circuito. A ligação feita pela parte de baixo da placa, com fios sólidos, pode ser substituída por fios

isolados ligados pela parte de cima. Isso possivelmente torna mais fácil as ligações.

2.7. Controle das lâmpadas

As saídas digitais do Arduino tem capacidade de fornecimento de corrente limitada a 40 mA, isso é suficiente para acionar um ou dois *leds* mas pode sobrecarregar o microcontrolador e queimar suas saídas. Para contornar esta limitação, aumentando a corrente controlada, utilizam-se transistores de chaveamento para o controle das lâmpadas.

A figura a seguir mostra detalhes do circuito de controle das lâmpadas.

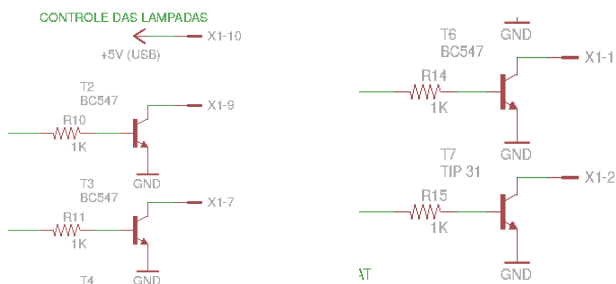


Figura 55 - Controle das lâmpadas.

Nela vemos pequenos módulos independentes com um transistor e um resistor ligado à sua base e aos pinos digitais 2 a 7 do Arduino que formam a unidade de controle de cada lâmpada. Os emissores vão ligados ao aterramento e os coletores são ligados às lâmpadas através do conector descrito mais abaixo. Para o comando dos leds, podemos utilizar transistores comuns BC547, 548 ou similar. Porém a corrente da lâmpada UV supera a capacidade destes transistores por isso, utilizamos um TIP 31, TIP 120 ou 122, cuja potência é superior. Vemos também o detalhe da ligação de +5 V vindo da conexão USB. Os coletores dos transistores assim como o +B são ligados ao conector das

lâmpadas. Vale lembrar que transistores são componentes polarizados e que sua inversão pode danificá-los e, com certeza, impede o funcionamento do circuito.

Os *leds* e o circuito da lâmpada UV utilizados para a iluminação do experimento também são polarizados e sua montagem requer cuidado, o esquema e o detalhamento das ligações na caixa das lâmpadas serão explicitados mais adiante. A ligação da caixa de lâmpadas com o circuito acionador é feita através de cabo montado para isso. O próprio cabo de ligação da conexão USB frontal descrito anteriormente pode servir para esse fim desde que seus fios sejam devidamente identificados afim de evitar ligações indevidas.

A figura abaixo mostra as ligações do controle das lâmpadas, novamente fios pretos indicam a ligação com o aterramento. Os fios coloridos ligados aos resistores provém dos pinos digitais do Arduino, as cores indicam a lâmpada controlada. Os fios que partem dos coletores dos transistores, também coloridos, são ligados aos fios negativos dos leds e do circuito da lâmpada UV através do conector USB de 10 pinos descrito anteriormente.

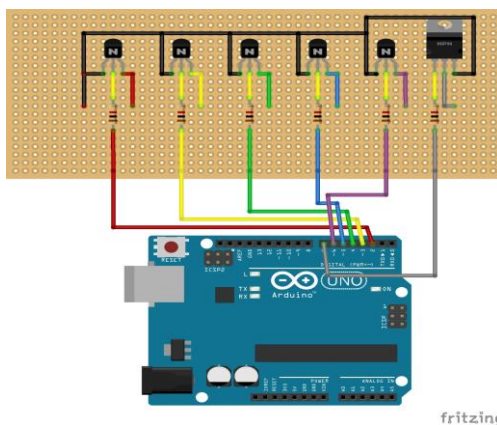


Figura 56 - Ligações do controle das lâmpadas.

Os resistores são conectados aos pinos digitais 2 a 7 do Arduino e comandam as lâmpadas com as respectivas cores, sendo, da esquerda para a direita, fio vermelho no pino digital 2, amarelo no pino 3, verde no pino 4, azul no pino 5, lilás, representando a luz UVA, no pino 6 e cinza, representando a luz UVC, no pino digital 7. Essa correspondência também está expressa no programa a ser instalado no Arduino.

Abaixo vemos como ficou o aspecto real da montagem na mesma placa em que montamos a conexão USB e a fonte AT. Note que os transistores BC548 foram montados invertidos de maneira que os terminais do emissor e coletor estão trocados em relação à imagem de cima.

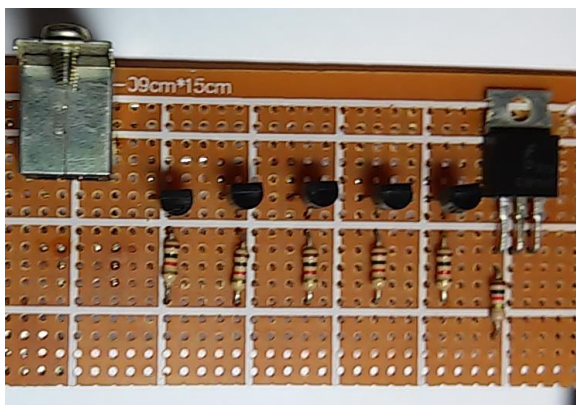


Figura 57 - Controle das lâmpadas visto do lado dos componentes.



Figura 58 - Controle das lâmpadas visto do lado das soldas.

Essa disposição é somente uma das possibilidades de montagem e foi utilizada em uma montagem usando Arduino Uno. Outras disposições também podem ser testadas.

2.8. Interface de controle e comunicação com o computador

A interface de controle e comunicação é formada pela placa de controle já descrita, a conexão USB, cabos e pelo Arduino. Abaixo vemos uma versão da montagem da placa de controle com a conexão USB em uma placa padrão juntamente com o comando das lâmpadas à esquerda e a fonte AT à direita.

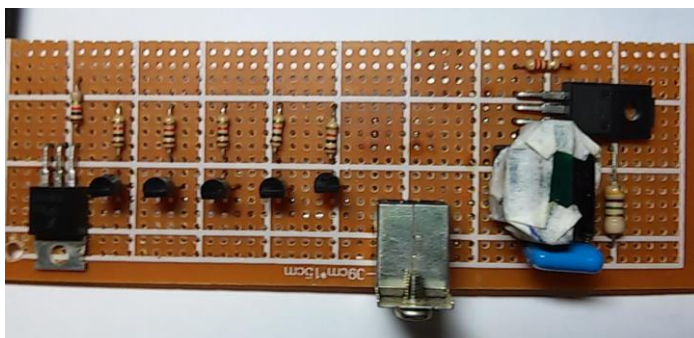


Figura 59 - Vista superior da placa de controle e fonte AT com conector USB.

A conexão USB com a placa Arduino é montada cortando-se um cabo USB de impressora e soldando-o à conexão da placa de controle. Esse procedimento será descrito mais à frente.

Na ligação da placa de controle com a placa do Arduino podemos utilizar *shields* ou escudos (placas destinadas à se encaixarem no Arduino). Nas figuras abaixo vemos alguns modelos comerciais.

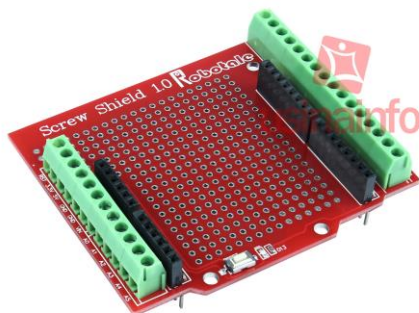


Figura 60 - Protoshield.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/>

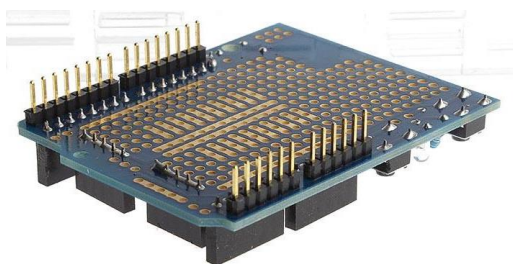


Figura 61 - Vista inferior com pinos de encaixe no Arduino.

Fonte: <https://img.fasttechcdn.com/400/4009300/4009300-4.jpg>

Para esse projeto optou-se por construir uma *shield* com uma placa padrão virada com o cobre para cima e pinos retirados de placas eletrônicas usadas.

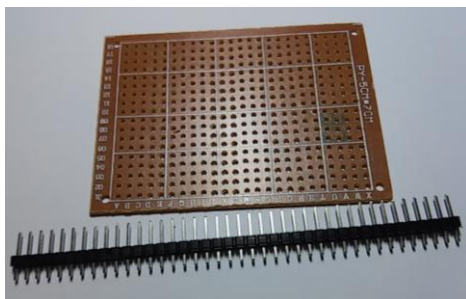


Figura 62 - Placa padrão e pinos usados na construção da *Shield*.

Na figura abaixo vemos o resultado com a placa já encaixada no Arduino aguardando a soldagem dos fios de ligação.

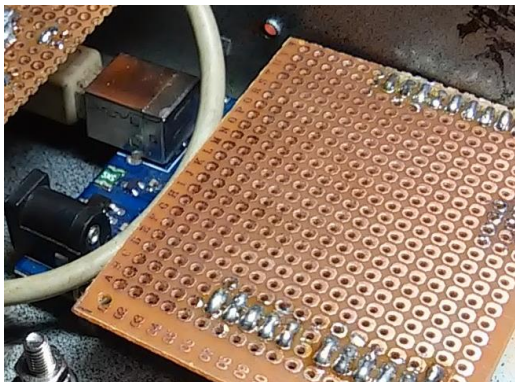


Figura 63 - Detalhe da *Shield* montada para o projeto.

2.9. Caixa Metálica

Com a caixa desmontada, procedemos com a furação, remoção, com lixa, da pintura antiga e aplicação da nova cor. Para a furação recomenda-se primeiro marcar o local dos furos. O uso de luvas e óculos de proteção é recomendado.

Nas figuras a seguir vemos uma caixa metálica, já furada, antes e depois da pintura e com o esquema de furação.



Figura 64 - Preparação da caixa de montagem.

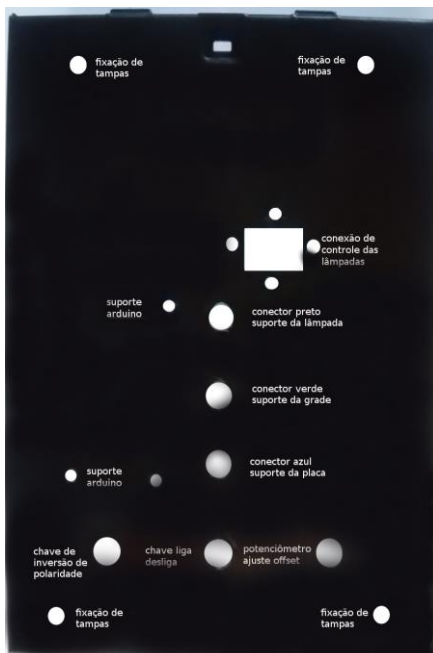


Figura 65 - Esquema de furação da caixa de montagem

O fechamento das laterais abertas (frente e fundo do *drive*) da caixa metálica pode ser feito com chapas metálicas de outros *drives* ou com outras chapas. No protótipo testado usou-se um pedaço da caixa metálica da mesma impressora que cedeu a conexão USB, aproveitando-se os furos de fixação da conexão e da placa de controle. Para a fixação dessas chapas na caixa foram usadas cantoneiras em L, comuns em lojas de ferragem ou decoração.



Figura 66 - Detalhe da chapa tirada da impressora que cedeu a USB

Os conectores para pinos tipo banana, chave e potenciômetro utilizados nos protótipos necessitaram de furos de 8 mm enquanto os furos para fixação do Arduino Uno foram de 3 mm. Nas imagens abaixo temos o aspecto da montagem já com os conectores. Recomenda-se o uso de cores diferentes para estes conectores a fim de facilitar a identificação por parte dos alunos.

Os conectores são inseridos na caixa pela parte de cima de modo que a parte plástica com um ressalto entre no furo isolando a parte metálica, do parafuso, da parte metálica da caixa que é ligada ao aterramento.



Figura 67 - Esquerda: conectores para pinos banana. Direita: Conectores montados na caixa.

Com os conectores montados, o próximo item a ser fixado na caixa é o Arduino. A placa possui furos destinados à sua fixação e, para isso utilizamos parafusos espaçadores retirados de placas mãe de *desktops* descartados mas, nada impede que se utilize parafusos específicos a esse fim. Na imagem abaixo vemos o Arduino já fixado na caixa.



Figura 68 - Arduino fixado à caixa.

A seguir monta-se o conector das lâmpadas, utilizando-se uma placa padrão e cabos coloridos para identificar os pinos nos quais as lâmpadas serão acionadas.

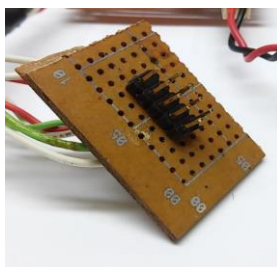


Figura 69 - Conector soldado à placa padrão.

Abaixo vemos o conector já instalado. A cola quente fixa os fios e protege contra descolamentos ou quebras devido à flexões durante a montagem.



Figura 70 - Soquetes USB para as lâmpadas em uma placa padrão já na caixa da montagem.

Faz-se então a soldagem do fio preto ao conector banana fêmea (conector preto) da caixa das lâmpadas, ao negativo do Arduino e ao aterramento na caixa metálica (detalhe abaixo).



Figura 71 - Detalhe da ligação ao aterramento na caixa metálica.

Com o Arduino, a placa de controle e o soquete de conexão das lâmpadas fixados podemos soldar os fios do controle das lâmpadas e o cabo USB. Nas figuras abaixo detalhamos essa montagem.

A conexão entre computador e Arduino é feita pelo cabo USB, para isso devemos fazer uma ligação entre o conector USB da placa de controle e a porta USB do Arduino. A figura abaixo mostra o cabo utilizado para este fim já conectado ao Arduino e aguardando a soldagem.

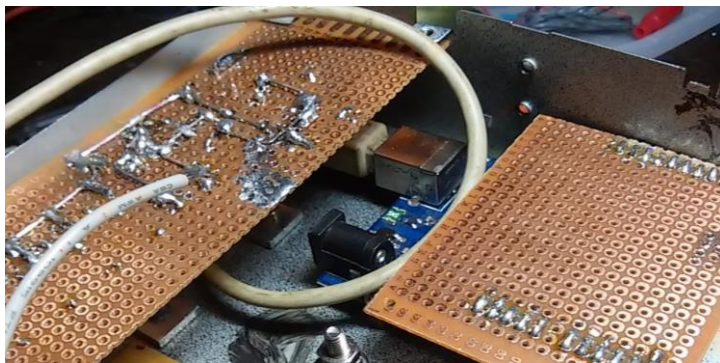


Figura 72 -Detalhe do cabo USB já cortado e conectado ao Arduino.

Para a soldagem do cabo na conexão USB da placa de controle deve-se retirar um pedaço da capa externa de modo que sobre entre dois a três centímetros dos fios coloridos. Em seguida deve-se desencapar 0,5 cm dos fios e recobrir o cobre com estanho. Este procedimento facilita a soldagem final e evita soldas frias e fios sem contato que são responsáveis problemas de conexão com a interface. Na figura abaixo, os fios mais finos pertencem ao cabo USB. Para a soldagem destes fios segue-se a ordem das cores e o número dos pinos da conexão apresentada anteriormente na descrição.

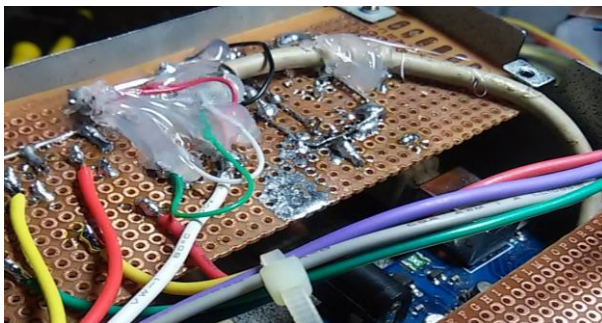


Figura 73 - Detalhe do cabo USB soldado na placa de controle cabos fixados e protegidos com cola quente.

O fio branco, mais grosso na figura acima leva tensão de +5 V da USB para as lâmpadas e é ligado junto ao fio vermelho do cabo USB. Os fios são razoavelmente frágeis e assim, o uso da cola quente fixa o cabo e o protege de possíveis quebras devido à movimentação.

A ligação do conector das lâmpadas com a placa de controle e desta com a *shield* e os pinos digitais do Arduino é facilitada com o uso de fios coloridos que indiquem a cor da luz acionada.

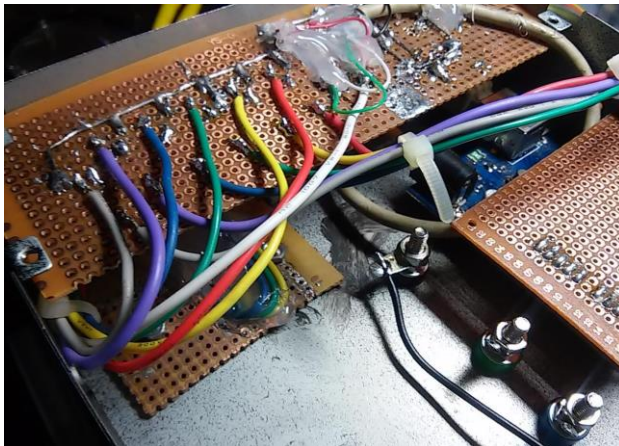


Figura 74 - Posicionamento dos fios coloridos utilizados na identificação das conexões das lâmpadas vistos do lado das soldas.

As correntes envolvidas são de baixa intensidade, portanto pode-se utilizar fios de diâmetros menores que os apresentados na figura. Estes foram reaproveitados de uma fonte ATX sucateada.

Na figura abaixo vemos detalhes da ligação da *shield* e da fonte de alta tensão.

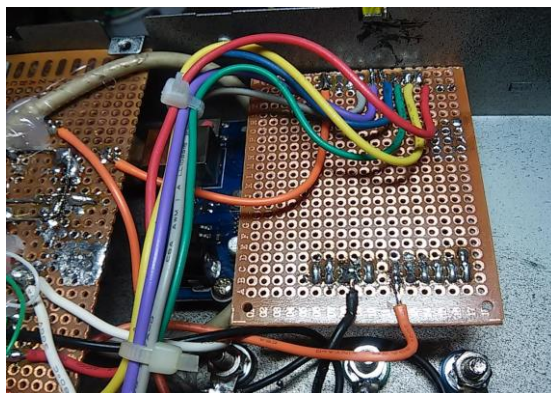


Figura 75 - Placa de ligação dos fios com o Arduino.

Focando nossa atenção na *shield*, na parte inferior da figura 75, vemos o fio laranja ligado ao pino A0 e ao lado, o fio preto ligado ao aterramento. Na parte de cima da imagem, o fio laranja, foi usado na conexão do pino 11 com a fonte AT de onde sai a alta tensão também com um fio laranja à esquerda, para o conector da grade da fotocélula (conector verde). Os fios coloridos ligam os respectivos pinos digitais aos resistores de grade da placa de controle.

O amperímetro é montado com a placa suspensa apenas pelos fios de ligação e pelo potenciômetro que garante uma boa fixação. Abaixo vemos em detalhe esta ligação.

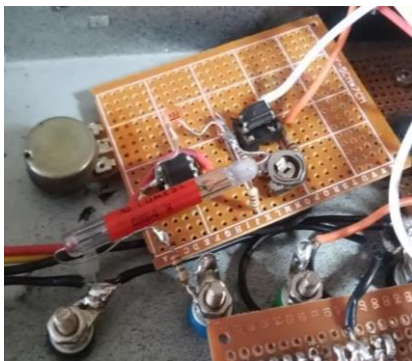


Figura 76 - Fixação da placa do amperímetro.

Os componentes aéreos são montados após a fixação da placa, como visto na figura a seguir.

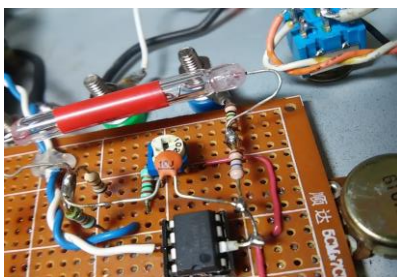


Figura 77 - Montagem dos componentes aéreos.

Sugere-se montar o acoplador óptico na mesma placa do amperímetro. Isto facilita a montagem e diminui a interferência na leitura do Arduino.

A última parte a ser montada dentro da caixa é a chave e a fonte simétrica, já descrita anteriormente. Para a chave devemos usar uma seletora de dois polos e duas posições já que devemos interromper as tensões de + e - 1,5 V ao mesmo tempo. As figuras abaixo mostra um modelo de chave.



Figura 78 - Chave liga - desliga de dois polos.

Uma outra chave seletora dupla pode ainda ser utilizada para inverter a polaridade da alta tensão entre a placa e a grade. Este é uma opção para se evitar mudar a posição entre placa e grade manualmente.

Com a colocação das chaves e fixação do porta pilhas encerramos a montagem da caixa principal do kit. Resta montar a caixa e cabo das lâmpadas e o cabo USB. Embora tenhamos empregado a proposta a seguir, outras montagens com disposições diferentes podem ser testadas, como por exemplo, o uso de um Arduino Nano em uma placa única em lugar de módulos e Arduino Uno, o que torna o circuito mais compacto. No apêndice A apresentamos o modelo de placa desenhado para este fim.

A figura abaixo detalha a conexão dos leds e do acionador da lâmpada UV com o cabo. O resistor de 220 Ω ligado entre a fonte de 5 V e os *leds*, limita a corrente nos *leds* evitando sua queima. Para a ligação do circuito de acionamento da lâmpada UV esse resistor não é necessário.

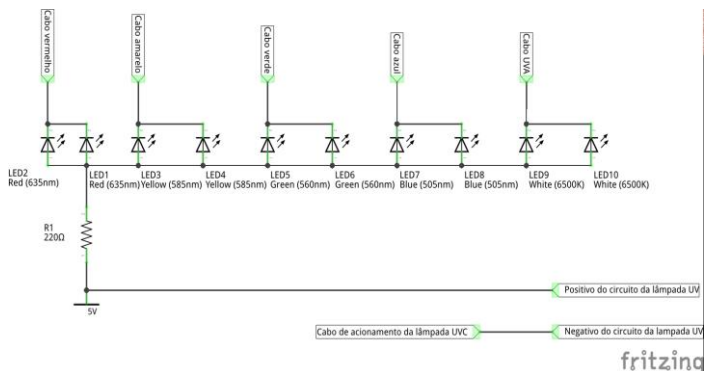


Figura 79 - Diagrama de ligações dos leds e da lâmpada UVC.
Os leds 9 e 10 são leds UVA e não brancos.

A caixa das lâmpadas é produzida com uma lata redonda ou de outro formato que seja suficientemente grande para acomodar o circuito acionador da lâmpada UV, a própria lâmpada e os *leds*. A caixa deve ser metálica e ligada ao aterramento. Nesta montagem isso é feito através do pino banana de fixação da caixa. As imagens abaixo mostram o aspecto da caixa e das lâmpadas.

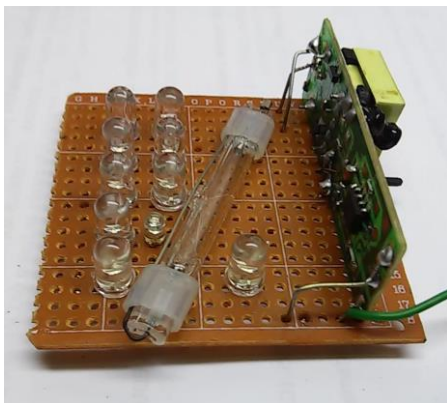


Figura 80 - Placa das lâmpadas

Originalmente o bulbo da lâmpada UV vem soldado diretamente à placa do circuito de acionamento da lâmpada (reator). Para facilitar a montagem e o direcionamento da luz

produzida, deve-se montar o bulbo na placa dos *leds* e o ligamos ao circuito através dos fios vistos no alto da figura acima.

Utilizam-se dois *leds* para cada cor e seus terminais serviram como ligação na parte traseira da placa.



Figura 81 - Caixa das lâmpadas.

A folha de alumínio favorece a reflexão aumentando a intensidade de luz dirigida para frente e um isolante no fundo da caixa evita o contato do circuito com caixa metálica.

Com o fim da montagem o próximo passo é instalar os softwares no Arduino e no computador que controlará o experimento.

3. INSTALAÇÃO DOS SOFTWARES

Após a montagem do amperímetro é necessário instalar o *software* no Arduino utilizado e, também a programação da interface gráfica para isso é preciso instalar alguns *softwares* no computador que se utilizará para a programação do Arduino e no computador que rodará a interface gráfica (que pode ser o mesmo). A seguir apresentamos esses *softwares* bem como endereços para *download* e detalhes de sua instalação e configuração. Faz-se oportuno citar que, embora sejam utilizadas linguagens de programação sofisticadas, o professor que decidir utilizar este kit não precisa dominá-las já que os programas serão disponibilizados livremente juntamente com este material e um guia de solução de problemas.

3.1. Programação do Arduino

A programação do microcontrolador Arduino é feita através de uma interface gráfica chamada *Arduino Software* (IDE) que pode ser baixada no endereço <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Há versões para ambientes Windows, Mac e Linux. No site também encontra-se diversos tutoriais de instalação além de um fórum onde pode-se tirar dúvidas relacionadas à programação ou dificuldades com projetos. Além da página oficial inúmeros outros fóruns auxiliam na solução de problemas envolvendo projetos com Arduino.

Após a instalação, o IDE apresenta um aspecto parecido com o apresentado abaixo, que pode depender da versão do software e do ambiente (Windows, Mac ou Linux). A figura mostra as principais funções e comandos da janela do IDE.

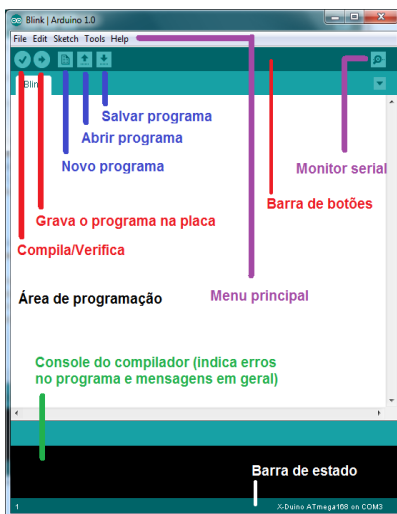


Figura 82 - Interface gráfica Arduino IDE.

Fonte: <http://projetoardroid.blogspot.com.br/p/arduino.html>

Com o IDE instalado e aberto deve-se selecionar o modelo de Arduino usado. Para isso seleciona-se na interface o menu (traduzido para língua portuguesa): ferramentas → placa → Arduino Uno (modelo usado neste projeto). A figura abaixo mostra esse procedimento em uma interface em inglês.

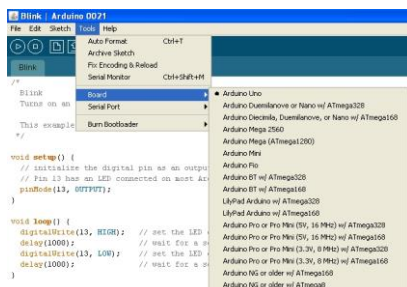


Figura 83 - Seleção do modelo de Arduino.

Fonte: <http://www.hobbytronics.co.uk/arduino-installation>

Após selecionar o modelo basta copiar o código FOTODUINO_control_1_0.ino (apêndice B) utilizado neste projeto

e colar no ambiente de programação salvando-o em seguida. A figura abaixo mostra o aspecto da interface com o código do projeto já pronto.



```

1 testesemresistor_1_arduino | Arduino 2.11.0.34ff92-4
2 Arduino Editor: Seleção Ferramentas Ajuda
3 testesemresistor_1_arduino
4
5 //Partes: Monte o programa fonte
6 //ref: http://www.semiconductors.com/intel/products/68690/bt-48690-hz-filter-works/
7 //base de dados em: http://www.arduino.cc/en/Reference/Interrupts
8
9 int LEDS = 10; //total de
10 volatile int ledwrite=0; //flag for new read, variables changed in an interrupt handler should
11 volatile int led; //value to store data from reading 5
12
13 int bit4=40, bit3=120, bit2=200, bit1=320, bit0=440, bit4=560, bit3=680, bit2=800, bit1=920, bit0=1040; //frequ
14
15 int bit=0; //this will hold the actual value of the filtered signal
16 float amp=0; //this will be an average version of the filtered signal
17 int mySerial=0; //this will be an average version of the filtered amplitude for sending over serial
18
19 void setup() { //set up interrupts for 5000; done by Chris Bart
20 }
21
22 void loop() { //set up interrupts for 5000; done by Chris Bart
23 }
  
```

Figura 84 - Interface com o programa do projeto ainda com nome provisório.

Com o código salvo podemos carregá-lo no Arduino através do botão carregar (*upload*). Durante o carregamento o IDE compila o código e busca por erros de sintaxe. Se nenhum erro for encontrado, a compilação gera o software que será carregado no Arduino.



Caso você tente carregar um código no Arduino sem que o amperímetro esteja conectado ao computador surgirá uma mensagem de erro. Se for o caso conecte e tente novamente. Também poderá surgir mensagens de erro se a placa ou a porta serial selecionada não forem corretas. Verifique o modelo de placa selecionada e a porta, se necessário tente outra porta.

Se tudo ocorrer adequadamente, aparecerá uma mensagem com o tamanho do arquivo e outros detalhes no console do compilador. A imagem abaixo mostra o botão de carregamento e as mensagens que indicam o fim do carregamento.

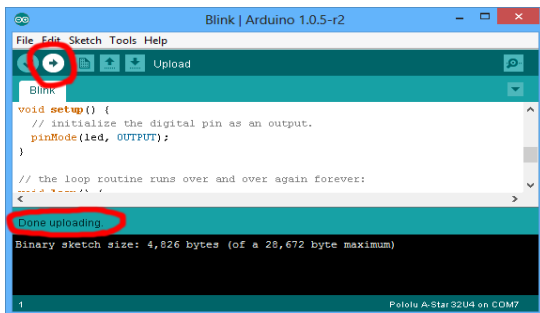


Figura 85 - Mensagens de carregamento do IDE.
 Fonte: <https://www.pololu.com/docs/0J61/6.2>

Alternativamente é possível fazer a programação com aplicativos online. Um destes, chamado *Codebender* (<https://codebender.cc/home>), roda em navegadores de internet sem a necessidade de instalação no computador. Ao acessar o site você será orientado a cadastrar-se, depois selecionar a placa, que já deve estar conectada, depois disso é só usar as ferramentas do site para carregar o programa no Arduino. A figura abaixo mostra o aspecto da interface gráfica do *Codebender* rodando no navegador Chrome em um computador com Ubuntu Linux.



Figura 86 - Interface da página do *Codebender*.

3.2.FOTODUINO_control_1_0.ino

O código FOTODUINO_control_1_0.ino. ao ser compilado e carregado no microcontrolador, pelo Arduino IDE é responsável por todo processamento de sinais no Arduino, comando das lâmpadas, da fonte AT e comunicação com o computador. Diferentemente de um programa típico de computador, o código no Arduino roda em um *loop* contínuo, onde o programa principal e as sub-rotinas são executadas repetidamente, permitindo que funcione dinamicamente.

O programa compilado roda no microcontrolador Atmega328 do Arduino e é composto por vários blocos de comandos que descreveremos a seguir (No apêndice B o código aparece com comentários ao lado das linhas de comando). O diagrama da figura abaixo mostra a função de cada um dos blocos do código. No primeiro bloco de *Título e comentários iniciais* (que são desconsiderados pelo compilador) temos informações sobre a versão e indicações sobre a compilação. No segundo bloco, *Definição de variáveis*, temos a declaração de variáveis utilizadas pelo programa. Em seguida, no bloco *Função principal*, que roda apenas uma vez na inicialização do microcontrolador, e ainda uma interrupção para a leitura da porta analógica A0 que recebe o sinal do amperímetro e o laço principal que roda enquanto o Arduino estiver ligado.



Figura 87 - Diagrama de blocos do código do Arduino.

Na função principal temos a configuração da comunicação serial. Neste caso, tanto o código do Arduino quanto o código do *Processing* devem ter a comunicação serial configurada, com a mesma taxa de transferência (115200). A configuração do pino de PWM e dos pinos de controle da lâmpadas como saídas digitais (no caso dos pinos das lâmpadas) também é realizada aqui, juntamente com os registradores responsáveis pelo controle do pulso PWM (para maiores informações sobre esses registradores e sua configuração acesse <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SecretsOfArduinoPWM>). Por último são configurados os registradores que controlam o filtro de 60 Hz.

Após a *Função principal* temos um pequeno bloco de comandos com uma função (*ISR(TIMER1_COMPA_vect)*) responsável pela interrupção do código e leitura do pino A0 ligado ao amperímetro. A leitura é armazenada na variável “*val*” definida anteriormente e a variável “*isNewVal*” é definida como verdadeira

(valor = 1) indicando ao programa que uma nova leitura foi realizada para que seu valor seja tratado pelo filtro de 60 Hz e encaminhado à porta serial para o envio ao computador.

No laço principal, vemos o bloco do filtro de 60 Hz (obtido de <https://sensoreverywhere.wordpress.com/2012/01/10/60-hz-filter-works/>), que remove o sinal das fontes de alimentação provenientes das redes elétricas no entorno que são uma importante fonte de interferência. Após a filtragem, o sinal é encaminhado, pelo comando *Serial.println()*, ao computador pela porta serial. Ao mesmo tempo, o Arduino monitora a porta serial pelo comando *Serial.available()*, aguardando comandos para ligar ou desligar as lâmpadas proveniente da interface de controle.

3.3. Programação do Aplicativo

O *Processing* (<https://processing.org/>) é um ambiente de programação gráfica que permite a criação de aplicativos para diversas plataformas. Essa versatilidade foi determinante na escolha deste software para o desenvolvimento da interface gráfica deste projeto. O *software* deve ser baixado e instalado em todos os computadores que serão utilizados no experimento, para isso deve-se fazer o *download* (<https://processing.org/download/?processing>) e instalar seguindo as instruções do *site*.

A figura abaixo mostra o aspecto da interface gráfica do ambiente de desenvolvimento IDE Processing. Pequenas diferenças podem ocorrer devido a diferentes versões. Perceba a semelhança ao IDE Arduino.

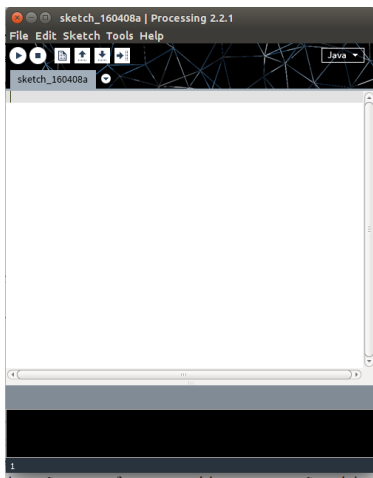


Figura 88 - Interface gráfica IDE Processing.

No detalhe abaixo temos o *menu* e os botões com as principais funções, da esquerda para a direita, *rodar* (*run*), *parar* (*stop*), *novo* (*new*), *abrir* (*open*), *salvar* (*save*) e *exportar aplicativo* (*export application*).



Figura 89 - menu e botões do *Processing*.

Comando *rodar*: gera um executável e inicia o aplicativo do código presente na janela de programação. Comando *parar*: interrompe a execução do aplicativo aberto. Comando *novo*: abre uma nova janela de programação em branco. Comando *abrir*: lista os programas salvos para abertura no janela de programação. Comando *salvar*: salva o código atual. Comando *exportar aplicativo*: gera um aplicativo executável para uso posterior.

Com o *Processing* aberto copie e cole o código FOTODUINO_grafico_1_0.pde (apêndice B) na janela de programação. Se o amperímetro já estiver conectado ao

computador, pode-se clicar no botão rodar para verificar o funcionamento do aplicativo.



Caso você tente rodar o código do aplicativo sem que o amperímetro ou um Arduino esteja conectado ao computador surgirá uma mensagem de erro ou o programa não rodará. Se for o caso conecte o amperímetro ou um Arduino com o programa FOTODUINO_control_1_x.ino gravado e tente novamente.

Outros possíveis erros serão tratados no capítulo resolução de problemas. Se tudo estiver correto a janela do aplicativo abrirá na tela.

Um recurso interessante no *Processing* é a possibilidade de exportação do aplicativo pronto, com o código na janela de programação. Para isto basta clicar no ícone *exportar aplicativo* e a janela para escolha do sistema operacional irá aparecer.

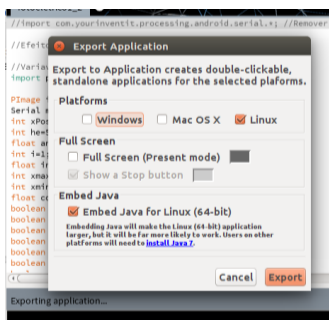


Figura 90 - Exportação de aplicativo para um sistema Linux de 64 bits.

Selecione a plataforma de seu computador (Windows, Mac ou Linux, 32 ou 64bits) e clique em exportar. O *Processing* criará o aplicativo em uma pasta chamada *application*. É importante lembrar que, tanto o IDE do Arduino, quanto o *Processing* salvam seus arquivos em uma pasta chamada *sketchbook*. Lá se encontram a pasta do programa FOTODUINO_grafico_1_0 salvo pelo *Processing* e o aplicativo exportado.

Nos arquivos disponibilizados neste projeto, é possível fazer o *download* (no sitio (<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>) dos programas, sendo que o aplicativo gráfico já se encontra compilado na pasta *application* para Windows e Linux nas versões de 32 e 64 bits. Copie toda a pasta *fotoduino_grafico*, cole no local de sua preferência e inicie o aplicativo a partir dali. Na compilação disponibilizada foi selecionada a porta número [32] de modo que, se não funcionar, é possível que seja necessário trocar o número da porta, excluir as pastas *application* e recompilar com o comando exportar aplicativo.

3.4.FOTODUINO_grafico_1_0.pde

O código FOTODUINO_grafico_1_0.pde (apêndice B) é composto principalmente pelos blocos de definição das variáveis, função principal (*setup*), a função desenhar (*draw*) os itens da janela, o monitoramento do *mouse* (*mousePressed*), ação do *mouse* (*mouseAction*) e a função de leitura da porta serial (*serialEvent*). O diagrama abaixo mostra a estrutura geral do código.



Figura 91 - Diagrama de blocos do código do aplicativo.

De início temos a implementação da comunicação serial, a criação de objetos da janela gráfica e a declaração das variáveis e serem utilizadas pelo programa.

Na função principal temos a criação da janela do aplicativo, o carregamento das imagens e a configuração da porta serial para a comunicação com o Arduino presente no amperímetro.



Merece especial atenção a configuração da porta serial na linha de comando: `myPort = new Serial(this, Serial.list())[32], 115200`; O número entre colchetes refere-se à porta serial e pode variar conforme o Arduino usado. Um Arduino Uno R2 original testados usou a porta [0], Placas Uno e Nano genéricas, compradas na china, usaram a porta [32]

A função *draw* produz o gráfico que exibe a corrente medida pelo amperímetro e chama a função *linhas* que posiciona textos e imagens na janela gráfica. A função *mousePressed* monitora a ação do *mouse* por meio função *mouseAction* que controla todos os comandos atribuídos ao acionamento do *mouse* para todos os itens presentes na interface gráfica.

3.5.Interface Gráfica

A janela da interface gráfica é exibida na figura abaixo. Ela está dividida em três partes: Os botões de acionamento das lâmpadas, os botões de ajuste de escala do gráfico e a região do gráfico da corrente no amperímetro em função do tempo. A corrente é exibida dinamicamente gerando-se uma curva em escala arbitrária que permite visualizar (qualitativamente) o aumento e a diminuição da corrente entre a placa e a grade.

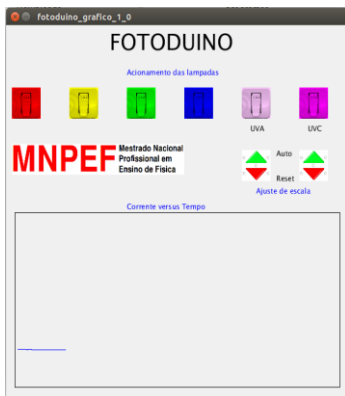


Figura 92 - Janela do aplicativo na versão 1_0

Cada lâmpada é representada na interface por um botão na respectiva cor. Todos os botões encontram-se inicialmente na posição *OFF*, e com um clique do *mouse*, o botão inverte para a posição *ON* e um comando é enviado para que o Arduino ligue a respectiva lâmpada. A lâmpada permanece ligada até que se dê um clique na região sobre a palavra *ON*.



Figura 93 - Botões de acionamento das lâmpadas

A escala utilizada pela interface gráfica faz com que, as vezes, a linha azul que representa a corrente saia fora dos limites da área do gráfico. Para ajustar a escala utilizamos os botões de ajuste de escala.



Figura 94 - Botões de ajuste de escala

A linha azul inicia na região inferior da área do gráfico e com um clique sobre a palavra *auto*, a linha azul posiciona-se no meio do gráfico, que corresponde ao zero da corrente e a faixa de valores de leitura é reescalada a fim de exibir pequenas flutuações de corrente. Um clique sobre a palavra *reset* traz a linha de volta à parte inferior da área do gráfico e retorna à escala máxima. Clicando sobre as setas verde ou vermelha altera-se a sensibilidade (diminuindo a escala de leitura) e a altura da linha do gráfico fazendo-se um ajuste fino. No capítulo seguinte apresentaremos mais detalhes acerca dos ajustes de escala.

4. TESTES E AJUSTES DO KIT FOTODUINO

Com o amperímetro montado, os programas carregados e rodando, é necessário realizar uma série de teste e ajuste para o correto funcionamento do kit FOTODUINO.



Sempre é prudente conectar ou desconectar qualquer placa ou caixa de lâmpadas no kit com o amperímetro desligado e o cabo USB desconectado para evitar danos aos componentes eletrônicos devido a descargas eletrostáticas.

O primeiro indicativo de funcionamento pode ser percebido logo que se conecta o amperímetro no computador, com o cabo USB, ouve-se um zumbido característico do indutor da fonte de alta tensão. Este zumbido é perceptível mas deve ser não muito elevado. Se você ouvi-lo, provavelmente a fonte de alta tensão está oscilando e gerando a tensão necessária ao perfeito funcionamento do amperímetro. Para ter certeza de que está tudo correto, faça um teste (**Cuidado com choques elétricos**) com um voltímetro entre o aterramento (ponta negativa) e o catodo do diodo retificador da fonte (ponta positiva). O catodo é o terminal ligado ao resistor de 4,7 M Ω , na figura abaixo detalhamos essa conexão.



Figura 95 - Detalhe do ponto de medição de alta tensão.

Abaixo detalhamos o catodo do diodo no diagrama esquemático facilitando a identificação de terminal. O fio preto é

ligado ao aterramento e serve de conexão para o terra do multímetro.

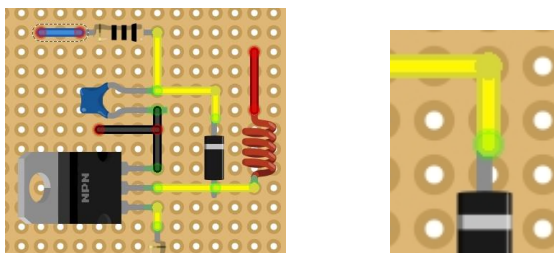


Figura 96 - Detalhe do catodo do diodo (ponto de medição de AT)

Pode ser necessário testar mais de um indutor ou transistor de chaveamento antes da montagem final. Para isso recomenda-se a montagem em *protoboard* que facilita a troca dos componentes. A figura abaixo mostra um teste feito com um Arduino Nano e um multímetro digital na escala de 1000V. Neste teste conseguiu-se tensões próximas a 300V o que é suficiente para o experimento desejado.

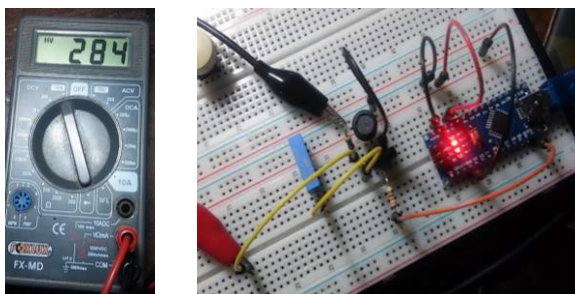


Figura 97 - teste de uma fonte AT em *protoboard*.

Nesse teste é possível alterar os parâmetro de configuração do pulso PWM de modo a conseguir modificar, aumentando ou diminuindo, a tensão de saída. Para isso altera-se os número associados às variáveis OCR2A e OCR2B na parte do código representada abaixo.

```

// configuracao pwm
TCCR2A = _BV(COM2A1) | _BV(COM2B1) | _BV(WGM21)
| _BV(WGM20);
TCCR2B = _BV(CS22);
OCR2A = 180; //variaveis de configuracao de pwm altere
para modificar a tensao
OCR2B = 50;

```

Substituindo os valores 180 e 50 por outros valores e recarregando o código no Arduino pode-se gerar configurações mais eficientes. Para mais informações acerca da configuração das portas PWM do Arduino Uno verifique o sítio <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SecretsOfArduinoPWM> .

Com a fonte AT funcionando, podemos verificar a leitura do amperímetro. Para isso desconecte o cabo USB e certifique-se que a chave do amperímetro está na posição desligado. Inicialmente conecte a grade e a placa nos respectivos conectores e reconecte o amperímetro na USB, ligando-o. Inicie o aplicativo e aguarde a estabilização do sinal e clique no auto ajuste. A linha no gráfico deve ficar aproximadamente constante. Em seguida insira um fósforo aceso entre a grade e a placa. A presença dos íons e a diferença de potencial entre as placas deve elevar da linha do gráfico indicando há corrente entre a grade e a placa. Se isso ocorrer o amperímetro e a fonte estão funcionando corretamente.

A figura abaixo mostra o comportamento da linha com a colocação do fósforo e posterior retirada, percebe-se que a presença do plasma é detectada com facilidade (guia no apêndice C). As pequenas oscilações à esquerda e à direita da figura são oscilações do campo eletrostático em volta das placas e interferências eletromagnéticas.

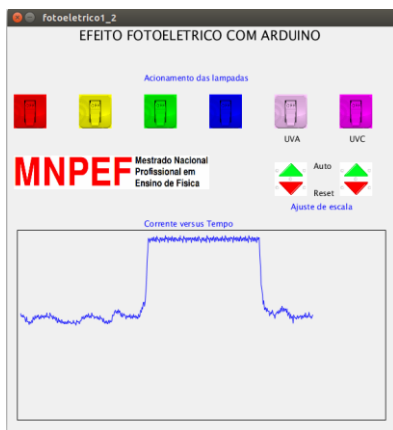


Figura 98 - Comportamento da curva no experimento com plasma.

O teste do plasma demonstra o funcionamento da fonte AT, do amperímetro, do Arduino e de parte da interface gráfica. Para testar o funcionamento das lâmpadas realiza-se o teste com o roteiro do efeito fotoelétrico (apêndice C) descrito a seguir.



Obs: A umidade é crítica em experimentos com eletricidade. Aqui em especial promove fugas de corrente que comprometem as medidas e induzem o operador a pensar que o aparelho não funciona. Para evitar problemas sugere-se o uso de um secador de cabelos ou soprador térmico em todas as partes, principalmente o amperímetro, antes do uso.

Como último teste, desligue e desconecte tudo que possa estar ligado, monte a caixa das lâmpadas no suporte e conecte o cabo de alimentação das lâmpadas, retire e lixe a placa e a grade para limpar as impurezas deixadas pelo plasma, monte-as novamente, reconecte o cabo USB, religue o amperímetro e reinicie o aplicativo. Ligue e desligue cada uma das lâmpadas observando seu funcionamento.

Com o amperímetro testado e funcionando é recomendável que o professor realize os experimentos antes dos alunos para ter certeza que tudo funcionará bem. Para isso e, a título de

orientação, apresentamos os resultados típicos dos experimentos propostos. As imagens a seguir mostram o aspecto da curva obtida em um experimento com o plasma ionizado (apêndice C), na primeira, sem o ajuste automático de escala e, na segunda, com o ajuste automático. O ajuste automático de escala é feito com um clique na palavra auto e produz um *zoom* na curva do gráfico, como efeito colateral temos o aumento do efeito da interferência, pequenas oscilações. A primeira imagem mostra apenas o momento em que o fósforo aceso é colocado entre as placas (observado na subida da curva). Na segunda temos a subida e a descida, momento em que se põe e depois se tira o fósforo ou a chama se apaga.



Figura 99 - Subida da curva obtida em um experimento com plasma ionizado, sem o ajuste automático, momento em que o fósforo é inserido.



Figura 100 - Comportamento da curva no mesmo experimento, com o ajuste automático, no momento em que o fósforo é inserido e depois retirado.

No experimento com o efeito fotoelétrico o comportamento da curva é semelhante, elevando-se no momento em que se acende e, descendo, no momento que se apaga a lâmpada UVC. Nas demais lâmpadas não se espera nenhuma alteração além das flutuações causadas pelas fontes de interferência. A figura acima mostra bem essas pequenas flutuações.

Caso algum problema seja detectado durante os testes, elencamos algumas possibilidades de solução no capítulo seguinte. Confiantes em seu sucesso, se tudo estiver funcionando perfeitamente é possível adiantar-se para a sequência didática mais abaixo.

5. SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Alguns problemas podem contribuir para o mal funcionamento do kit FOTODUINO. Eles são ligados à parte eletrônica, de software ou relacionados ao uso indevido do equipamento. Dessa forma serão elencados abaixo os problemas mais comuns com suas respectivas soluções de acordo com a categoria. Caso o problema não esteja referenciado aqui, entre em contato (prof.kabral@gmail.com) para mais informações.

5.1.Problemas de ordem eletrônica

Durante a montagem do kit, erros de ligação, inversão de polaridade de componentes ou soldas frias são bastante comuns e muitas vezes difíceis de localizar.

Assim, antes de soldar qualquer componente, verifique com cuidado sua polaridade e os pontos de ligação. Verifique também a limpeza dos pontos de soldagem e o aquecimento do soldador. Camadas de óxidos ou gordura deixada pela manipulação das placa produzem isolamentos e mal contato nas soldas.

Outros problemas e soluções são listados a seguir.

| Problema | Causa provável | Solução |
|---|---|---|
| Linha do gráfico sem variação (linha horizontal). | Amperímetro inoperante: desligado, pilhas descarregadas (fonte simétrica com pilhas), defeito na chave ou falha na montagem, componentes com defeito. | Tente ligar o Amperímetro, troque as pilhas. Procure também por contatos isolados, curto circuito nas soldas ou defeito na chave. Verifique o acoplador óptico e o CA3420. Verifique se o cabo de sinal está ligado à porta AO do Arduino e se há 5 V na entrada do acoplador óptico. |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Sensibilidade exagerada às variações do campo.</p> | <p>Alta tensão ausente devido a fonte AT inoperante, mau contato ou ausência do pulso de PWM. Proximidade com fontes de interferência, carregadores, lâmpadas fluorescentes, cabos elétricos, etc.</p> | <p>Teste o funcionamento da fonte AT e verifique todas as ligações associadas à fonte, incluindo o pino 11 do Arduino. Afaste todas possíveis fontes de interferência eletromagnética.</p> |
| <p>Leds acendem com cores trocadas.</p> | <p>Montagem errada do conector das lâmpadas ou encaixe da <i>shield</i> nos pinos errados.</p> | <p>Verifique e corrija as ligações do conector e a posição da <i>shield</i> no Arduino.</p> |
| <p>Alguns leds acendem e outros não.</p> | <p>Polaridade invertida, led queimado, transistor de acionamento com defeito, cabos rompidos ou com erro de montagem, solda fria ou dos fios nos pinos errados da <i>shield</i></p> | <p>Verifique todas as ligações, polaridades e presença de tensões nos leds. Verificar quais acendem e quais não acende dá uma boa ideia do problema. Se todos os leds de uma cor não acendem é provável que seja um problema no transistor ou nos fios de ligação. Se apenas um não acende é provável que seja polaridade invertida ou led queimado.</p> |
| <p>Nenhum led acende.</p> | <p>Ausência da tensão de 5 V, da ligação ao aterramento do emissor dos transistores ou ligação errada do conector das lâmpadas. Transistores montados com polaridade invertida. Conector desconectado.</p> | <p>Verifique todas as ligações e tensões associadas ao circuito dos leds.</p> |
| <p>Lâmpada UVC não acende.</p> | <p>Polaridade invertida, transistor de acionamento com</p> | <p>Verifique todas as ligações, polaridade da placa e presença de</p> |

| | | |
|---|---|---|
| | defeito, cabos rompidos ou com erro de montagem. | tensões. E substitua o transistor se necessário. |
| Linha oscila para baixo e volta a subir quando liga qualquer lâmpada, principalmente a UVC. | Queda de tensão na USB devido ao excesso de consumo de corrente. | Substitua o cabo USB por um duplo como descrito nos capítulos anteriores. |
| Linha do gráfico com pequena ou nenhuma variação ao ligar a luz UVC | Placa de zinco oxidada ou com resíduos. Umidade nos circuitos internos | Faça o polimento da placa de zinco e da grade com esponja de aço. Utilizar secador ou soprador para secar os componentes internos. |
| Sem leitura no amperímetro. | Placa e grade invertidas. | Trocar a posição. |
| Leitura sempre alta no amperímetro. | Placa e grade em contato. Acoplador óptico em curto. | Separar grade e placa. Verifique o acoplador. |

5.2. Problemas de software

Neste ponto presume-se que o leitor já tenha instalado com sucesso o software Arduino IDE e o *Processing* e portanto não trataremos de problemas com a instalação destas ferramentas. Caso haja problemas com este *software*, sugere-se uma leitura das páginas dos desenvolvedores do software Arduino (<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>) e do *Processing* (<https://processing.org/tutorials/gettingstarted/>).

Os programas disponibilizados neste guia já foram testados em vários ambientes e não devem apresentar problemas.

Entretanto, é possível que surjam incompatibilidades principalmente se a placa de Arduino não for original.

O compilador do Arduino verifica o código antes do carregamento e, qualquer inconsistência de sintaxe retorna uma mensagem de erro.

O aplicativo FOTODUINO precisa da conexão serial ativa para iniciar. Se você conseguiu alguma vez rodar o aplicativo e depois o mesmo parou de funcionar, é possível que o problema esteja na comunicação serial. Abaixo elencamos alguns outros problemas relacionados aos *softwares*.

| Problema | Causa provável | Solução |
|---|--|---|
| <p>IDE Arduino não carrega o código na placa.</p> | <p>Perda de conexão com a porta serial. Erro na cópia do código.</p> | <p>Verifique se o cabo está conectado ao Arduino e se a porta selecionada no menu <i>ferramentas</i> -> <i>Porta Serial</i> é a correta. A placa possui leds que indicam alimentação (led fixo) e comunicação serial (led piscante). Se os leds estiverem acesos provavelmente está OK. Se o item <i>Porta Serial</i> no menu <i>ferramentas</i> estiver apagado, não há comunicação. Verifique então o cabo e teste em outra placa Arduino. Se o código for copiado de forma indevida (falta de caracteres) o compilador pode emitir uma mensagem de erro e parar sem carregar o código na placa. Verifique a</p> |

| | | |
|------------------------|---|---|
| | | mensagem retornada e procure por erros no código. Uma busca da mensagem de erro no <i>google</i> pode auxiliar no problema. |
| Aplicativo não roda. | Computador sem o programa para rodar aplicativos em java (Java Runtime Environment - JRE). | Instale o programa java runtime (http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jre8-downloads-2133155.html), caso seu computador não possua. |
| Aplicativo não inicia. | Sem comunicação serial. Porta serial definida com o número errado. Mudança no endereço do aplicativo. | Verifique o cabo USB, inclusive as ligações internas do FOTODUINO. Verifique o número da porta definido no código que gerou o aplicativo, lembrando que Arduino originais e genéricos usam números de porta serial diferentes. Se o problema for o número da porta, o aplicativo deve ser gerado novamente com outro número antes de utilizado. Copiar o aplicativo e colar em outra pasta faz com que ele não inicie mais, mesmo que seja colado apenas um atalho.. O aplicativo deve ser rodado do local em que foi gerado ou toda pasta deve ser copiada para o novo |

| | | |
|-------------------|------------------------------|--|
| | | local. |
| Aplicativo trava. | Perda de comunicação serial. | Verifique a conexão do cabo USB e reinicie o aplicativo. |

6. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A presente proposta de sequência didática para as atividades com o kit FOTODUINO foi elaborada tendo como parâmetros documentos oficiais que orientam a educação básica no estado de Santa Catarina (Proposta Curricular de Santa Catarina). Segundo tais documentos, a educação básica de Santa Catarina tem como marco a teoria histórico - cultural (SANTA CATARINA, 2014). Nesta, o conhecimento é produzido nas interações sociais entre os sujeitos envolvidos no processo e entre esses e os objetos de estudo, através da mediação de signos como a linguagem, por exemplo.

Visando contemplar essas dimensões, propõe-se um trabalho em grupo com foco na interação mútua dos integrantes com um aparato tecnológico especialmente desenvolvido para essa finalidade. Embora siga esses pressupostos teóricos, acredita-se que a presente proposta possa ser desenvolvida sob a óptica de outras teorias. A mediação e a interatividade do produto tecnológico potencialmente significativo associada à predisposição dos educandos em aprender e uma gama de conceitos prévios favoráveis pode gerar modificações nas estruturas conceituais como propõe a teoria da aprendizagem significativa, por exemplo. Outros profissionais podem explorar possíveis formas de uso para o kit de acordo com suas concepções.

A discussão do Efeito Fotoelétrico e da geração de Plasma no terceiro ano do Ensino Médio é proposta como representativa dos limites das teorias clássicas (TERRAZAN, 1992) e da diferença entre a interpretação clássica e quântica. Para que isso seja possível são necessários alguns conhecimentos prévios, e assim sugere-se que este conteúdo seja tratado juntamente com aqueles referentes à corrente elétrica e a lei de Ohm. Assim, conceitos de força, campo e potencial elétrico já foram apresentados e já devem, fazer parte do conjunto conceitual do aluno que já deve conhecer sua representação simbólica.

Pressupõe-se também que conceitos de mecânica ondulatória como frequência, comprimento de onda e energia da radiação assim como espectro eletromagnético já sejam familiares aos educandos. Caso isso não ocorra faz-se necessário a apresentação prévia destes conteúdos estruturantes. Para isso sugere-se uma ou duas aulas de revisão para apresentar o conteúdo àqueles que nunca os viram e relembrar àqueles que já os conhecem.

A inserção do efeito fotoelétrico e do plasma neste ponto é justificada pelo fato dos livros texto, em geral, darem muita ênfase à corrente elétrica em condutores sólidos em que os portadores de carga elétrica são, exclusivamente, elétrons livres. Com o uso deste experimento é possível ampliar o conceito de corrente elétrica incorporando, também a este, a corrente em gases, formada por íons e elétrons livres - caso do plasma - ou elétrons em gases não ionizados - caso do efeito fotoelétrico. Isto pode facilitar a compreensão de alguns conceitos em eletromagnetismo.

Como referencial teórico metodológico, propõe-se uma aproximação com os momentos pedagógicos de Delizoikov e Angoti (1991 apud GOULART, 2008). A proposta metodológica sugerida baseia-se na interação dos educandos com o objeto de estudo através da realização de experimentos reais, com o kit FOTODUINO via interface gráfica, e virtuais, através do uso de simulações computacionais. Propõe-se uma revisão/exposição inicial de conceitos importantes para facilitar o entendimento dos fenômenos observados. Nessa revisão é possível contextualizar os conceitos abordados, mencionando desde situações cotidianas onde esses fenômenos são observados, acontecimentos históricos relevantes e produtos tecnológicos desenvolvidos a partir desse conhecimento. Para essa revisão sugere-se uma aula expositiva e dialogada oportunizando a participação mais ativa dos educandos.

Um experimento virtual com um simulador¹⁴, desenvolvido pela universidade do Colorado, software que reproduz o experimento real, visando conhecer a previsão teórica e enfatizando que o resultado observado no simulador baseia-se exclusivamente na previsão teórica. O uso do simulador justifica-se para que os alunos possam visualizar as partículas ejetadas e a interação destas com o campo elétrico entre as placas, principalmente quando da inversão de polaridade, onde há ocorrência do efeito mas não há medição de corrente. Embora o software apresente uma série de ferramentas, como a apresentação de gráficos e outras informações, optou-se por simular apenas o efeito como será observado no experimento físico, como é possível verificar nos guias. Simuladores são uma importante ferramenta no processo de ensino - aprendizagem pois permitem que se faça uso da experimentação mesmo em escolas com poucos recursos, necessita-se apenas de computadores para sua utilização. Por fim, realização das práticas experimentais com o kit FOTODUINO para a observação dos mesmos efeitos demonstrando assim sua realidade física e oportunizando a comparação entre o virtual e o real, tal comparação pode propiciar uma importante discussão sobre os limites dos modelos científicos, realizando os experimentos em grupo cria-se um ambiente propício a essas interações.

A efetivação dessa proposta foi prevista inicialmente para quatro períodos. Todavia, pode ser necessário mais tempo, dependendo das especificidades da escola, dos alunos e mesmo da quantidade de kits disponíveis. A proposta de sequência didática foi testada com a utilização de apenas dois kits FOTODUINO, e com alta participação dos alunos nas aulas expositivas envolveu um total de oito períodos de 45 minutos.

Lembramos aqui que o kit FOTODUINO assim como todo material disponibilizado é livre para a utilização e modificação, podendo ser adaptados à realidade da escola e da metodologia de

¹⁴ Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric

ensino. Os guias serão disponibilizados em arquivos editáveis para *download* (no sitio <http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>) e, dependendo das condições podem ser impressos total ou parcialmente. Os subsídios teóricos, presentes nos guias por exemplo, podem ser substituídos por uma pesquisa bibliográfica por parte dos alunos.

A proposta original deste projeto é detalhada, por aula, abaixo.

1º aula:

Dentro do contexto citado anteriormente de inserir o tema efeito fotoelétrico juntamente com a eletrodinâmica, acredita-se que os alunos já saibam os conceitos de campo elétrico, diferença de potencial e corrente elétrica. Assim, sugere-se que se inicie com uma revisão de conceitos relacionados a luz e ao espectro eletromagnético. Juntamente com o material disponibilizado neste projeto (<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>) encontra-se uma apresentação elaborada para esse fim, a mesma pode ser visualizada no apêndice D. Deve-se explicitar os conceitos de energia da radiação, comprimento de onda, frequência que são fundamentais ao entendimento dos conceitos subjacentes ao experimento proposto. Como forma de contextualização, e para motivar os alunos à manifestarem suas opiniões, pode se citar produtos tecnológicos de uso dos adolescentes como celulares e computadores, aspectos como a frequência com que se comunicam os aparelhos, a intensidade de irradiação produzida e suas relações com a saúde, as redes sem fio utilizadas, a origem histórica desses aparelhos e tecnologias. As emissoras de rádio das proximidades ou de preferência dos jovens podem servir de exemplo também. Citar a relação entre a radiação eletromagnética e a produção de energia, pelas plantas através da fotossíntese cria outra boa oportunidade para a participação dos alunos na aula. Com isso é possível que um período de 45 minutos seja suficiente.

Se o professor optar por realizar o experimento com o a geração de plasma, esta aula deve elencar também o conteúdo referente a esse tema (disponível na apresentação). O fogo acompanha a humanidade desde os tempos mais remotos e ainda desperta o interesse das pessoas, portanto deve servir de contextualização para as discussões dessa aula. Aspectos como a dependência do ser humano em relação ao fogo, fonte de luz e calor (energia) até nos dias atuais devem ser apresentados e discutidos. Essas discussões podem servir de “ponte” para a apresentação de conceitos relacionados ao plasma, como a origem da emissão de energia pelo plasma ionizado. Outras fontes de plasma ionizado também são contemplados na apresentação. É provável, e ocorreu durante o teste, que a aula deva se estender por outro período para que todos os temas seja abordados.

2º aula:

Provavelmente esta aula terá início com a continuação das discussões da aula anterior, como já dito, o espaço de um período não será suficiente para que todos os aspectos relacionados à radiação eletromagnética e ao plasma sejam apresentados e discutidos. Assim, assegurados os conhecimentos prévios necessários à mínima compreensão dos fenômenos envolvidos no experimento, inicia-se, ou provavelmente continua-se, a segunda aula com um questionamento básico: “Sabe-se que intensos campos eletromagnéticos provocam a circulação de corrente elétrica por um gás ionizando-o e produzindo luz, como no caso da lâmpada fluorescente ou uma descarga atmosférica. Pode um gás já ionizado fazer com que haja circulação de eletricidade entre duas placas onde o campo não é tão intenso? E a simples incidência de luz sobre a superfície metálica de uma das placas pode iniciar a circulação de corrente elétrica sem a necessidade do plasma ionizado?”

Como contextualização pode-se citar equipamentos tecnológicos comuns no cotidiano como leitores de DVDs, mouse

ópticos, células fotoelétricas e fotovoltaicas, sensores de passagem e de controles remotos de TVs e aparelhos de som que tem seu funcionamento vinculado à interação de alguma forma de radiação eletromagnética com os materiais dos sensores, a fotossíntese dependente da luz na ativação da clorofila. Provavelmente surgirão comentários entre os alunos sobre o tema e suas explicações pessoais, este momento é importante para despertar o interesse sobre estas questões. Cabe ao professor orientar a discussão sem dar as respostas neste momento.

Após as discussões, o professor sugere a formação de grupos de, 3 a 4 alunos para a realização do experimento, esse número limitado favorece a participação de todos. Grupos muito numerosos facilitam a exclusão de alunos menos ativos que, muitas vezes ficam apenas olhando. Após reunião dos grupos, distribui os roteiros experimentais (guia do aluno). Após os grupos familiarizem-se com o conteúdo dos guias (preferencialmente distribuídos em número de um por aluno), faz-se a apresentação dos subsídios teórico presentes no material (caso o professor opte por distribuí-los juntamente com os guias).

Nessa aula o professor pode apresentar as partes que compõe os kits e que os alunos manipularão nas aulas seguintes.

3º aula

Neste momento os grupos são divididos de acordo com o número de kits e dirigem-se ao laboratório de Física/Ciências (ou sala com bancadas) e laboratório de informática para a realização dos experimentos e das simulações propostos nos guias do aluno (Apêndice C). A condução da visita ao laboratório para a realização do experimento deve ser feita de acordo com as condições locais, em pequenos grupos para que todos possam fazer uso do kit caso haja poucos equipamentos, turmas numerosas ou espaços reduzidos ou todos juntos caso seja possível.

Em escolas que possuam técnicos de laboratório para auxiliar o professor é possível dividir os grupos em duas turmas de maneira que metade dos grupos siga ao laboratório de Física e metade ao de informática. O professor se reveza entre os dois ambientes e o tempo pode ser otimizado. Caso o número de kits seja limitado, apenas vão ao laboratório de física grupos suficientes para o número de kits disponíveis.

O professor pode sugerir que cada grupo repita várias vezes os experimentos e a simulação para que todos os membros do grupo possam interagir com o equipamento. Dependendo das circunstâncias, poucos kits, é possível estender o tempo de realização dos experimentos por mais aulas. Na impossibilidade de realização dos experimentos pelos alunos devido a ausência de espaço apropriado, de laboratório de informática funcional ou computadores disponíveis ao uso do aplicativo, o professor pode realizar os experimentos e simulações em sala de aula de forma demonstrativa.

4º aula

Retornando à sala de aula ou ainda no laboratório, o professor inicia a discussão dos resultados obtidos pelos grupos e questiona os integrantes sobre a coerência dos resultados com suas expectativas. Após essa discussão, o professor solicita aos grupos a resolução dos questionários do anexo do guia. Essa resolução pode ser individual ou no grupo, na sala ou em casa.

Como encerramento desta atividade propõe-se a devolução dos questionários aos grupos para uma discussão geral e fechamento do tema. A avaliação individual dos alunos pode ser feita através das observações do professor em cada etapa do processo ou por meio de instrumentos tradicionais a critério do profissional.

Opcionalmente o professor pode pedir que os alunos encerrem a atividade prática entregando um relatório. Este instrumento de avaliação é recomendável mas não foi utilizado no

teste do aparato. O professor que optar por este instrumento de avaliação deve elencar os critérios avaliados e a forma como os alunos devem confeccionar o relatório. Nos testes optou-se por avaliar apenas através de questionários. Nos guias presentes no apêndice C apresentamos as respostas esperadas às perguntas elencadas acompanhadas de comentários que julgamos pertinentes.

7. REFERÊNCIA:

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F.: **Aquisição de Dados Usando LOGO E A Porta De Jogos Do PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 4, p. 371 - 380, 2001

Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_371.pdf .

Acesso em: 07/16

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília : MEC / SEF, 1998.

_____. **PCN+ Ensino Médio; Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Secretaria de Educação Média e tecnológica – Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. 144p.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**: MEC, SEB, DICEI, 2013. 562p.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C.e MOLISANI, E. **Física com Arduino para iniciantes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4503 (2011). Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/334503.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2016.

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: **Física Moderna Experimental e Aplicada**. Livraria da Física, São Paulo. 2004 disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ> Acesso em 05/2016

EINSTEIN, Albert(1905) : **On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light** Tradução para o inglês: TER HAAR, D. in **The Old Quantum Theory**. Disponível em: http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf. Acesso em 02/02/2016

FAGUNDES, Dione; SARTORI, Josimar; CATUNDA, T.; NUNES, L. A. O.: **Usando a Porta Paralela do Micro PC**. Revista Brasileira

de Ensino de Física, v. 17, n. 2, 1995. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol17a22.pdf> . Acesso em: 5 jul. 2016.

FOWLER, Michael **The Photoelectric Effect** University of Virginia notas de aula. Disponível em <http://bit.ly/29HVIMd>. Acesso em 27/03/2015

GALVÃO, Ricardo M.O.: **Introdução à Física de Plasma e suas Aplicações Tecnológicas**. VI Escola do CBPF, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Disponível em: <http://bit.ly/29C2i2q>. Acesso em 02/2016.

GOULART, Paulo Ricardo Alcântara: **Eletrônica e cidadania: uma abordagem CTS para o Ensino Médio**. Porto Alegre, 2008 Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000652238&loc=2008&l=a340f60727484eeb> . Acesso em: 05/2016

LIMA, Carlos R A: **Efeito Fotoelétrico** (roteiro experimental) in Tópicos de Laboratório de Física Moderna, p. 23; 2 de Maio de 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>. Acesso em 02/02/2016

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. 1 ed.; São Paulo: Scipione, 2012. 3 v.

MIT, Department of physics: **The Photoelectric Effect**. Roteiro experimental. 25/08/2013. Disp. em: <http://web.mit.edu/8.13/www/JLEperiments/JLExp005.pdf>. Acesso em 01/02/2016

PENTEADO, Paulo Cesar M. **Física – ciência e tecnologia**; v. 1 – Mecânica; v. 2 – Termologia, óptica, ondas; v. 3 – Eletromagnetismo e Física Moderna. 1 ed.; São Paulo: Moderna, 2005

RODRIGUES, Rafael Frank de; CUNHA, Silvio Luiz Souza: **Arduino para Físicos: Uma ferramenta prática para aquisição de dados automáticos**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2014. 34 p.; il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 25 , n.4

SANTA CATARINA, Secretaria de Estado da Educação e Desporto. **Proposta Curricular**. Florianópolis: COGEN, 1998.

_____, Secretaria de Estado da Educação e Desporto. **Proposta Curricular de Santa Catarina: Formação Integral na Educação Básica**. Florianópolis, 2014. Disponível em <http://bit.ly/29Na8tn>. Acesso em 06/2016

SANTOS, C. A. dos; **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, acesso em 03/2016. disponível em <http://www.if.ufrgs.br/einstein/feitofotoeletricoindex.html>,

STUEWER, Roger H.: **Einstein's Revolutionary Light-Quantum Hypothesis**. Artigo apresentado na HQ-1 Conferência sobre a História da Física Quântica no Instituto Max Planck para a História da Ciência, Berlin, Alemanha, Julho 5, 2007 Disponível em: <http://bit.ly/29TCR0P>. Acesso em 02/2016

TEIXEIRA, Rejane M. Ribeiro, **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Experimento Virtual, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01101/foto.html> , acesso em 27/03/2015.

TERRAZAN, E. A. **A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física . Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992. Disponível em: <http://bit.ly/29NaJLv>. Acesso em 25/11/2015

University of California, Irvine Environmental Health & Safety Office Radiation Safety Division, **ULTRAVIOLET LAMP SAFETY FACTSHEET**, Disponível em: <http://bit.ly/2a6DCQ8>. Acesso em 06/2016

VIANNA, Luiz Bruno: **Plasma**. Disponível em:

<http://www.infoescola.com/fisica/plasma/>. Acesso em: 02/2016.

APÊNDICES

Apêndice A
Diagramas Esquemáticos

FOTODUINO ESQUEMÁTICO

A figura abaixo apresenta o diagrama esquemático do kit FOTODUINO desenvolvido no presente projeto. Os arquivos *Eagle* estão disponíveis, juntamente com os demais materiais deste projeto, para download no endereço <<http://mnpf.ararangua.ufsc.br/produos-e-dissertacoes/>>.

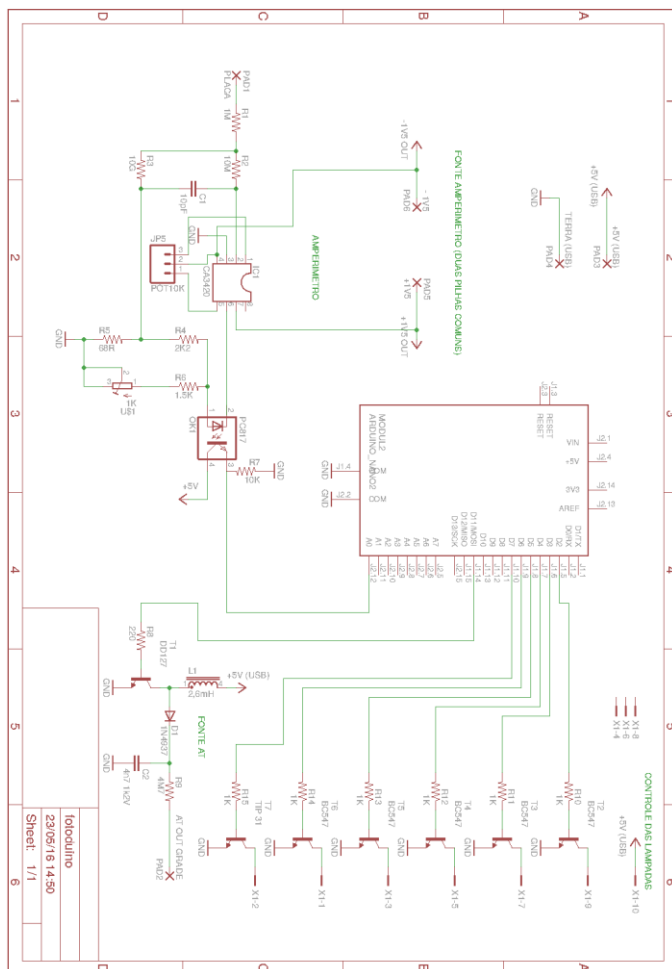


Figura 101 - Diagrama esquemático versão com Arduino Nano alimentada com pilhas.

Para os professores que optarem por montar o kit em uma placa mais profissional, apresentamos abaixo uma versão da placa com Arduino Nano e alimentação por pilhas na fonte simétrica. O diagrama desta placa, assim como os demais arquivos, está disponível em <http://mnpef.ararangua.ufsc.br/produtos-e-dissertacoes/>, na pasta arquivos_eagle, fotoduino, onde o professor encontra o pdf pronto para impressão.

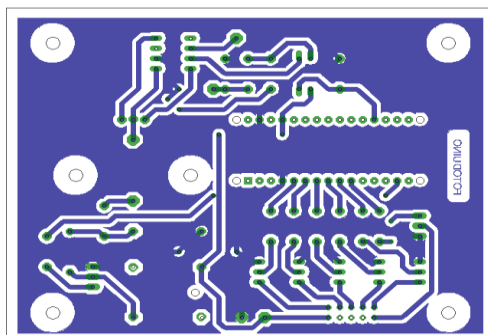


Figura 102 - Sugestão de placa da versão com Arduino Nano alimentada com pilhas.

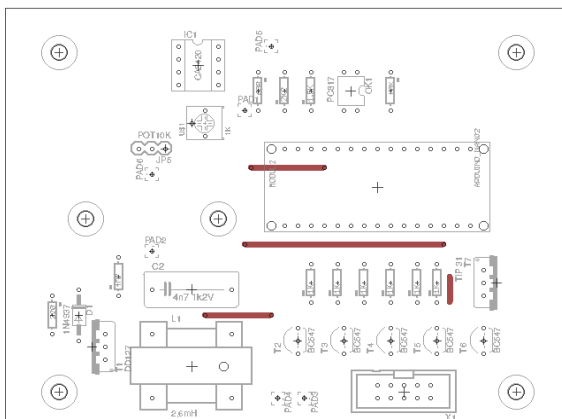


Figura 103 - Posição dos componentes (componentes montados suspensos não aparecem) e *jumpers* (fios marrons).

Outra opção de montagem envolve o Arduino Uno e suprime o uso de pilhas, a alimentação do amperímetro é feita a partir da tensão de 5 V da linha USB. Esse esquema pode acarretar em um aumento de interferência no funcionamento do amperímetro. A figura abaixo apresenta a opção sem pilhas. Nesta o Arduino não é representado.

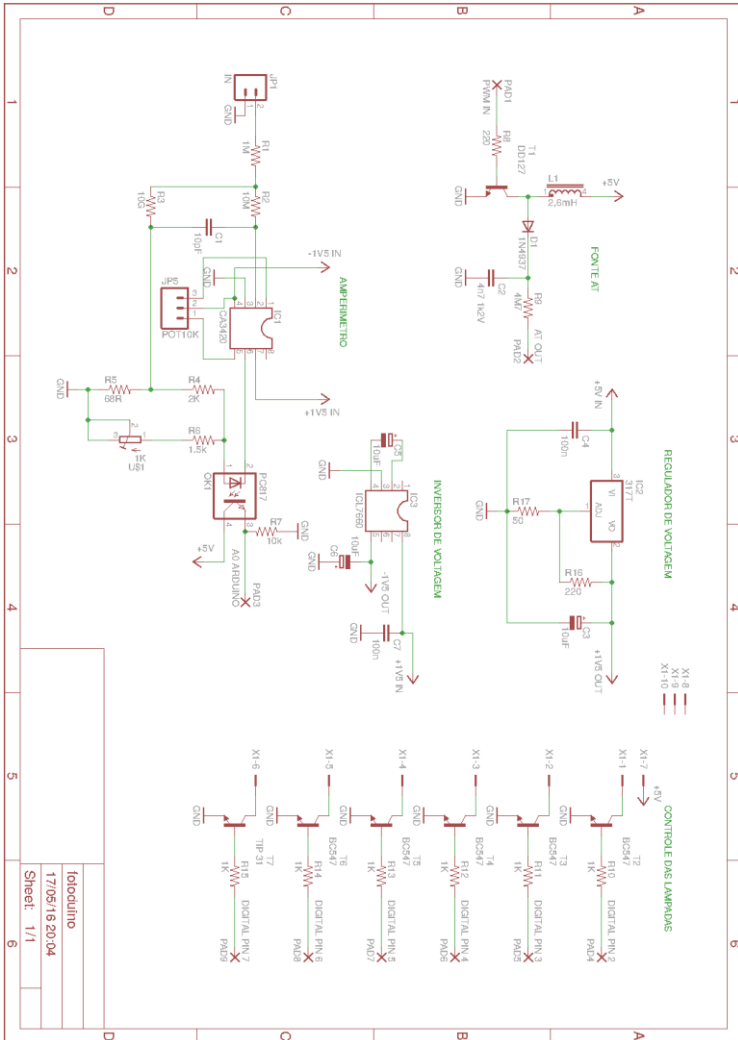


Figura 104 - Diagrama esquemático versão sem pilhas.

Abaixo temos a versão da placa com Arduino Uno e alimentação com fonte simétrica sem pilhas vista pelo lado de baixo e pelo lado de cima. Na visão superior, as trilhas em vermelho são jumpers ou representam ligações que serão aéreas. O arquivo para impressão ou corte encontra-se na pasta arquivos *eag/e*, fotoduino_1 em <<http://mnpef.ararangua.ufsc.br/producao-e-dissertacoes/>>.

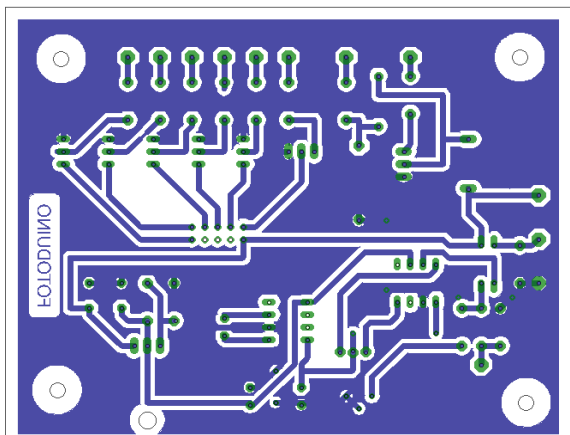


Figura 105 - Sugestão de placa da versão com Arduino Uno alimentada sem o uso de pilhas (lado de baixo).

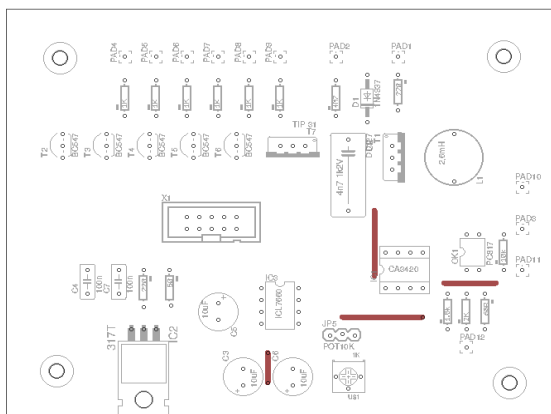


Figura 106 - Vista superior da placa com componentes e *jumpers*.

Abaixo temos o esquemático do amperímetro com a disposição dos diodos substituindo o resistor de 10 Gohms.

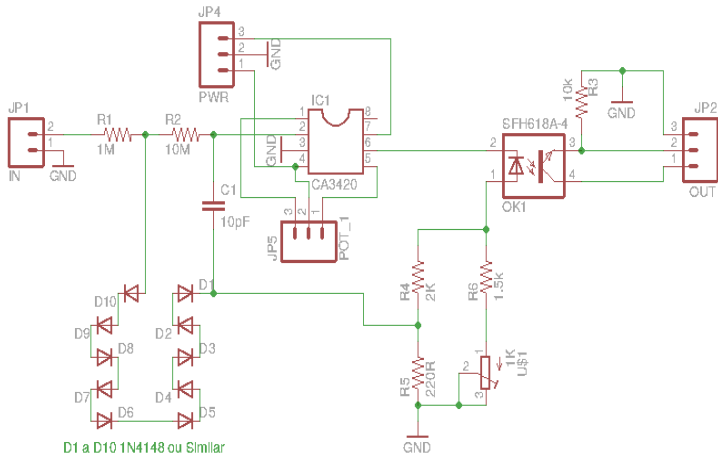


Figura 107 -Esquemático do amperímetro com diodos.

Tanto R1, R2, C1, quanto D1 a D10 devem ser montados suspensos.

Apêndice B
Códigos dos Programas


```
int myintamp; //this will be an integer version of
myamp for sending over serial.
int myintallamp; //an integer version of the
unfiltered amplitude for sending over serial.
unsigned int mytime=0; //used for checking how long
it takes to do things in the loop

//pinos digitais do arduino para comandar as
lampadas
int ledRed = 2;
int ledYellow = 3;
int ledGreen = 4;
int ledBlue = 5;
int ledUVA = 6;
int ledUVC = 7;

void setup() //set up interrupts for 500Hz done by
Chris Isert

{

Serial.begin(115200); //when I check the time delay
it's 2.0 - 2.2 ms
//Serial.begin(230400); //works better when I check
the time delay, I get 2 ms
// initialize timer1

//configuracao do pino digital do arduino para PWM da
fonte AT
pinMode(11, OUTPUT);

//configuracao dos pinos digitais do controle das
lampadas
for (int x=2; x<8; x++){
pinMode(x, OUTPUT); //definindo pinos como saidas
digitais
digitalWrite(x, LOW); //iniciando pinos em nivel
baixo
}
```



```

    // configuracao pwm
    TCCR2A = _BV(COM2A1) | _BV(COM2B1) | _BV(WGM21) |
    _BV(WGM20);
    TCCR2B = _BV(CS22);
    OCR2A = 180;
    OCR2B = 50;

// configuracao de registradores
noInterrupts(); // disable all interrupts
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
TCNT1 = 0;
OCR1A = 32000; // compare match register
16MHz/1/500Hz
TCCR1B |= (1 << WGM12); // CTC mode
TCCR1B |= (1 << CS10); // divide-by-1 prescaler
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // enable timer compare
interrupt
interrupts(); // enable all interrupts

}

ISR(TIMER1_COMPA_vect) // timer compare interrupt
service routine

{

    val = analogRead(inPin); //latest EMF sensor reading
    isNewVal=1; //this is a flag telling the loop that
    there's a new value (esta é uma bandeira dizendo ao
    laço que há um novo valor)

}

void loop(){

//filtro de 60 Hz

```

```

    if (isNewVal){
    for (int i=0;i<31;i++){
    latestval[i]=latestval[i+1]; //slide the latest 32
raw values back by one in the array
    }
    latestval[31]=val; //and add the newest raw value on
the end

    allamp=allamp+(abs(latestval[31])-
abs(latestval[6]))*0.126; //calculate pi*latest
moving average of the last 25 values of the unfiltered
signal, for comparing with the 60-hz filtered
amplitude in myintamp
    myintallamp=(int)allamp;
    myval=0;
    for (int i=0; i<32; i++){
    myval=myval+latestval[i]*b[i];
    }
    myamp=myamp-mrec[0]; //set up for moving average by
removing oldest element
    for(int i=0;i<24;i++){
    mrec[i]=mrec[i+1];//shift the latest 24 filtered and
rectified values back by one in preparation for adding
the newest one on the end
    }

    mrec[24]=abs(0.126*myval)/10000;//rectified
(absolute value) signal, times pi/25, it gives the
amplitude of the positive-only ac signal scaled for
moving avg of latest 25 pts

    myamp=myamp+mrec[24];//latest moving avg over 3 cyc
of 60 hz at 500 hz sampling rate
    myintamp=(int)myamp;//this conversion to int makes
it much faster to send the value over the serial
connection than a float, and code size is smaller

    isNewVal=0;//clear new value flag until next
interrupt

```

```
    mytime=micros(); //check whether we are staying at
500Hz, cant spend too much time number crunching
between readings

//Envio para o computador via serial
    Serial.println(myintallamp);

//Controle das lampadas
    if (Serial.available()>0) //comunicacao serial
verifica se o byte recebido do computador esta pronto
para leitura
    {
        switch(Serial.read()) //verifica qual caracter
recebido
        {
            case 11: //caso '11'
                digitalWrite(ledRed, HIGH);
                break;

            case 10:
                digitalWrite(ledRed, LOW);
                break;

            case 21:
                digitalWrite(ledYellow, HIGH);
                break;

            case 20:
                digitalWrite(ledYellow, LOW);
                break;

            case 31:
                digitalWrite(ledGreen, HIGH);
                break;

            case 30:
                digitalWrite(ledGreen, LOW);
                break;

            case 41:
```

```
    digitalWrite(ledBlue, HIGH);  
    break;  
  
    case 40:  
        digitalWrite(ledBlue, LOW);  
        break;  
  
    case 51:  
        digitalWrite(ledUVA, HIGH);  
        break;  
  
    case 50:  
        digitalWrite(ledUVA, LOW);  
        break;  
  
    case 61:  
        digitalWrite(ledUVC, HIGH);  
        break;  
  
    case 60:  
        digitalWrite(ledUVC, LOW);  
        break;  
  
    }  
}  
  
}
```

FOTODUINO_grafico_1_0.pde

O programa abaixo deve ser copiado para rodar o ambiente gráfico no IDE do processing e gerar o aplicativo através da função *export application*.

```
// FOTODUINO_grafico_1_0

// Codigo de aplicativo para os experimentos do plasma
e efeito foto eletrico

//Efeito fotoeletrico - grafico e controle

//import
com.yourinventit.processing.android.serial.*;
//Remover comentario para android

//Variaveis globais
import processing.serial.*; //Comentar para android

PImage imgon,imgoff,seta,mnpef;
Serial myPort;
int xPos = 20;
int he=580;
float antes=0;
int i=1;
float inByte=0;
int xmax=3222;
int xmin=0;
float coord=1500;
boolean callinhas = true;
boolean uva = false;
boolean uvc = false;
boolean verm = false;
boolean azul = false;
boolean amar = false;
boolean verde = false;
boolean dado = false;

void setup () { //funcao principal
```

```

size(600, 600); // tamanho da janela grafica

imgon = loadImage("botaon.jpg"); //carregamento das
imgoff = loadImage("botaoff.jpg");
seta = loadImage("seta.jpg");
mnpef = loadImage("mnpef.jpg");

//Inicializacao da porta
printArray(Serial.list()); //Comente para android

//configuracao da porta modifique o numero [32] para
[0] ou outro caso nao inicie o app.
myPort = new Serial(this, Serial.list()[32],
115200); //Comente para android
//println(Serial.list(this)); //Remove comentario
para android
//myPort = new Serial(this, Serial.list(this)[0],
115200); //Remove comentario para android
myPort.bufferUntil('\n');
background(240);
}

void draw(){
//Desenho da tela
if(calllinhas){
    linhas();
    calllinhas = false;
}
if(dado){
stroke(0,0,255);
line(xPos, he-antes, xPos+1, he-inByte);
antes=inByte;
if (xPos >= he-20) {
    xPos = 20;
    background(240);
    linhas();
}
}
else {

```

```
    xPos++;  
  }  
}  
dado=false;  
}
```

```
void linhas(){  
  
  fill(0,0,0);  
  textSize(36);  
  text("FOTODUINO",180,40 );  
  textSize(12);  
  fill(0,0,255);  
  text("Acionamento das lampadas",210,80);  
  text("Ajuste de escala",435,270);  
  text("Corrente versus Tempo",210,295);  
  fill(0,0,0);  
  text("UVC",525,170);  
  text("UVA",425,170);  
  text("Reset",470,250);  
  text("Auto",470,210);  
  text("APAGAR",330,230);  
  text("0",5,440);  
  text("+",5,300);  
  text("-",5,580);  
  
  stroke(0,0,0);  
  //Linhas do grafico  
  line(15,300,15,580);  
  line(15,580,580,580);  
  line(580,300,580,580);  
  line(15,300,580,300);  
  line(15,440,580,440);  
  
  //Logo mnpef  
  tint(255,255,255);  
  image(mnpef, 10, 190,300,50);
```

```
//Botoes de acionamento das lampadas
tint(255,0,0);
if(verm){image(imgon, 10, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 10, 100,50,50);}
tint(255,255,0);
if(amar){image(imgon, 110, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 110, 100,50,50);}
tint(0,255,0);
if(verde){image(imgon, 210, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 210, 100,50,50);}
tint(0,0,255);
if(azul){image(imgon, 310, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 310, 100,50,50);}
tint(255,200,255);
if(uva){image(imgon, 410, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 410, 100,50,50);}
tint(255,0,255);
if(uvc){image(imgon, 510, 100,50,50);}
else{image(imgoff, 510, 100,50,50);}
```

```
//Botoes de escala
tint(255,255,255);
image(seta, 510, 200,50,50);
image(seta,410, 200,50,50);
```

```
}
```

```
void mousePressed() {
    println("Coordinates: " + mouseX + "," + mouseY);
    mouseAction();
}
```

```
void mouseAction(){
```

```
//Botao de limpar
    if( mouseX > 330 && mouseX < 380){
```



```

    if( mouseY > 220 && mouseY < 230){
        xPos = 20;
        background(240);
        linhas();
        println("limpar");
    }
}

//Botao de reset de escala
if( mouseX > 470 && mouseX < 500){
    if( mouseY > 240 && mouseY < 250){
        xmin=0;
        xmax=3222;
        println("reset");
    }
}

//Botao auto-escala
if( mouseX > 470 && mouseX < 500){
    if( mouseY > 200 && mouseY < 210){
        xmin=int(coord)-200;
        xmax=int(coord)+200;
        println("auto");
    }
}

//Acoes dos botoes de escala do grafico
if( mouseX > 510 && mouseX < 560){
    if( mouseY > 200 && mouseY < 225){
        xmax=xmax+100;
        println(xmax);
    }
}
if( mouseX > 510 && mouseX < 560){
    if( mouseY > 225 && mouseY < 250){
        if(xmax>xmin+100){

```

```

    xmax=xmax-100;
    println(xmax);}

}

}

if( mouseX > 410 && mouseX < 460){
if( mouseY > 200 && mouseY < 225){
    if(xmin<xmax-100){
        xmin=xmin+100;
        println(xmin);}

}

}

if( mouseX > 410 && mouseX < 460){
if( mouseY > 225 && mouseY < 250){
    xmin=xmin-100;
    println(xmin);

}

}

//Acoes dos botoes de acionamento das lampadas
if( mouseX > 10 && mouseX < 60){
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){
    println("square 11");
    myPort.write(11);
    if(verm==false){
        tint(255,0,0);
        image(imgon, 10, 100,50,50);
        verm=true;
    }
}
}
}

if( mouseX > 10 && mouseX < 60){
if( mouseY > 125 && mouseY < 150){
    println("square 10");
    myPort.write(10);
}
}
}

```

```
        if(verm){
            tint(255,0,0);
            image(imgoff, 10, 100,50,50);
            verm=false;
        }
    }
}

if( mouseX > 110 && mouseX < 160){
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){
    println("square 21");
    myPort.write(21);
    if(amar==false){
        tint(255,255,0);
        image(imgon, 110, 100,50,50);
        amar=true;
    }
}
}
}

if( mouseX > 110 && mouseX < 160){
if( mouseY > 125 && mouseY < 150){
    println("square 20");
    myPort.write(20);
    if(amar){
        tint(255,255,0);
        image(imgoff, 110, 100,50,50);
        amar=false;
    }
}
}
}

if( mouseX > 210 && mouseX < 260){
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){
    println("square 31");
    myPort.write(31);
    if(verde==false){
        tint(0,255,0);
        image(imgon, 210, 100,50,50);
        verde=true;
    }
}
}
```

```
    }  
  }  
}  
  
if( mouseX > 210 && mouseX < 260){  
if( mouseY > 125 && mouseY < 150){  
  println("square 30");  
  myPort.write(30);  
  if(verde){  
    tint(0,255,0);  
    image(imgoff, 210, 100,50,50);  
    verde=false;  
  }  
}  
}  
}  
  
if( mouseX > 310 && mouseX < 360){  
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){  
  println("square 41");  
  myPort.write(41);  
  if(azul==false){  
    tint(0,0,255);  
    image(imgon, 310, 100,50,50);  
    azul=true;  
  }  
}  
}  
}  
  
if( mouseX > 310 && mouseX < 360){  
if( mouseY > 125 && mouseY < 150){  
  println("square 40");  
  myPort.write(40);  
  if(azul){  
    tint(0,0,255);  
    image(imgoff, 310, 100,50,50);  
    azul=false;  
  }  
}  
}  
}
```

```

if( mouseX > 410 && mouseX < 460){
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){
    println("square 51");
    myPort.write(51);
    if(uva==false){
        tint(255,200,255);
        image(imgon, 410, 100,50,50);
        uva=true;
    }
}
}

```

```

if( mouseX > 410 && mouseX < 460){
if( mouseY > 125 && mouseY < 150){
    println("square 50");
    myPort.write(50);
    if(uva){
        tint(255,200,255);
        image(imgoff, 410, 100,50,50);
        uva=false;
    }
}
}
}

```

```

if( mouseX > 510 && mouseX < 560){
if( mouseY > 100 && mouseY < 125){
    println("square 61");
    myPort.write(61);
    if(uvc==false){
        tint(255,0,255);
        image(imgon, 510, 100,50,50);
        text("UVC liga",xPos,400);
        uvc=true;
    }
}
}
}

```

```

if( mouseX > 510 && mouseX < 560){

```

```

    if( mouseY > 125 && mouseY < 150){
        println("square 60");
        myPort.write(60);
        if(uvc){
            uvc=false;
            text("UVC desliga",xPos,400);
            tint(255,0,255);
            image(imgoff, 510, 100,50,50);
        }
    }
}

//Leitura de dados da serial
void serialEvent (Serial myPort) {
String inString = myPort.readStringUntil('\n');
if (inString != null) {
inString = trim(inString);
//inByte = 3222-float(inString);//Inverte o grafico
inByte = float(inString);
coord=inByte;
inByte = map(inByte, xmin, xmax, 0, 280);
dado=true;
}
}
}

```

Apêndice C
Roteiros Experimentais

PLASMA
ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA O
KIT FOTODUINO

Guia do Aluno:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Introdução:

Atualmente a tecnologia faz parte do cotidiano das pessoas. Utilizamos equipamentos avançados sem nos darmos conta de seu funcionamento ou dos princípios físicos envolvidos no desenvolvimento desses produtos. Grande parte da tecnologia atual foi criada graças às descobertas ocorridas entre o final do século XIX e início do século XX que originaram o que passamos a chamar de Física Moderna. Dentre elas podemos citar o plasma identificado por William Crookes em 1879 e presente na chama produzida durante a combustão, durante uma descarga elétrica (raio ou pequena centelha) ou então no Sol, estrela onde o gás encontra-se em altíssimas temperaturas. Neste experimento faremos um estudo qualitativo sobre as propriedades do plasma presente em uma chama, principalmente o comportamento dos íons que compõe o plasmas em presença de um campo elétrico uniforme criado entre duas placas eletrizadas.

Objetivos:**Geral:**

Estudar as propriedades elétricas do plasma

Específicos:

- Verificar a variação na condutividade elétrica do ar mediante a existência de plasma (gás ionizado);
- Comparar os efeitos causados pela chama de diferentes materiais, como madeira (fósforo), papel e gás (isqueiro), verificando se há diferenças entre eles;

Material Utilizado:

- Computador ou tablet;
- Pacote experimental composto de pico amperímetro, placas de diferentes condutores;
- Cabo usb de impressora para a conexão com o Arduino Uno ou mini usb para Arduino Nano;
- Fósforos;
- Isqueiro;
- Folha de papel.

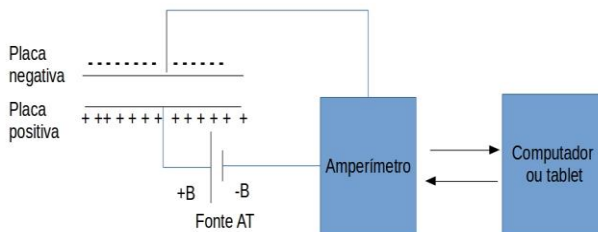


Fig. 1 - Esquema do aparato experimental.
Fonte própria.

Plasma - o 4º estado da matéria

Procedimento Experimental:

- Inicialmente certifique - se que o material está em ordem, o computador ligado - caso esteja desligado, ligue-o;
- Lixe as superfícies da placa e grade para remover qualquer camada de óxido ou gordura.
- Conecte a grade - conector verde - e a placa - conector azul - ao amperímetro como visto na figura;

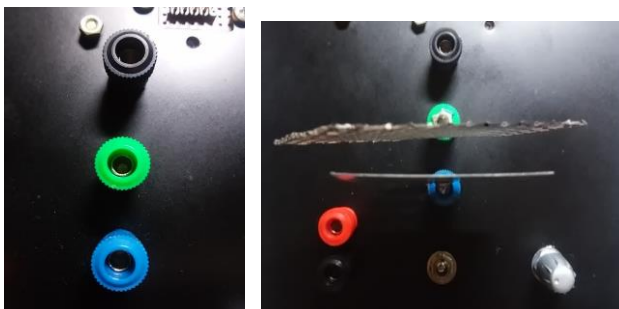


Fig. 2 - Posição da placa e grade no amperímetro.

- d) Conecte o amperímetro ao computador via cabos USB ou, ao tablet / celular via cabo USB e adaptador;

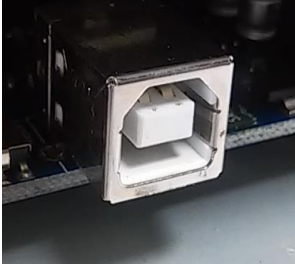


Fig. 3 - Porta USB do Arduino Uno (amperímetro) e adaptador USB para tablet/celular

- e) Ligue o amperímetro através da chave e inicie o programa clicando no ícone do Aplicativo "fotoeletrico" (dentro da pasta de mesmo nome), ou toque (tablet / celular) para iniciar o aplicativo, caso não encontre o ícone provavelmente o aplicativo não foi instalado, se isso ocorrer chame o professor;
- f) Ao aparecer a tela do aplicativo (figura abaixo), observe a linha azul do gráfico, caso não esteja no meio do quadro, dê um clique no botão (palavra) "Auto" do ajuste de escala;



Fig. 4 - Aspecto da janela do programa e detalhe do botão de auto ajuste de escala.

Observação: A linha azul indica a corrente elétrica. A curva sobe quando a corrente cresce e desce quando a corrente diminui

- g) Com tudo conectado e ligado, inicie o experimento da seguinte forma: Acenda um palito de fósforo coloque a chama entre a placa e a grade e observe o comportamento do gráfico. (Pode - se repetir várias vezes);
- h) Responda e entregue o questionário presente no apêndice A. Se necessário consulte os subsídios teóricos no apêndice B.

Referência:

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: **Física Moderna Experimental e Aplicada**. Livraria da Física, São Paulo. 2004.

Disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ> Acesso em 05/2016

GALVÃO, Ricardo M.O.: **Introdução à Física de Plasma e suas Aplicações Tecnológicas**. VI Escola do CBPF, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Disponível em: <http://bit.ly/29C2i2q>. Acesso em 02/2016.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. 1 ed.; São Paulo: Scipione, 2012. 3 v.

PENTEADO, Paulo Cesar M. **Física - ciência e tecnologia**; v. 1 - Mecânica; v. 2 - Termologia, óptica, ondas; v. 3 - Eletromagnetismo e Física Moderna. 1 ed.; São Paulo: Moderna, 2005

VIANNA, Luiz Bruno: **Plasma**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/fisica/plasma/>. Acesso em: 24/02/2016.

PLASMA
ROTEIRO EXPERIMENTAL
Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Com base no material que você recebeu e no experimento realizado, responda as questões abaixo. Quando for o caso, assinale com X a única alternativa correta.

1. O que ocorre com a linha do gráfico quando a chama do fósforo é colocada entre as placas?

- () Nada acontece; ➤ (x) A linha sobe; ➤ ()

Comentário: A linha sobe pois quando a chama está entre as placas, os íons presentes na chama se movem impulsionados pelo campo elétrico iniciando a circulação de corrente.

2. O comportamento da linha do gráfico indica que há o surgimento de uma corrente elétrica entre a placa e a grade do amperímetro. Por que isso acontece?

- () Porque somente surgem elétrons livres que se movem da grade para a placa;
➤ () Porque somente surgem elétrons livres que se movem da placa para a grade;
➤ () Porque somente surgem prótons livres que se movem da grade para a placa;

- () Porque somente surgem prótons livres que se movem da placa para a grade;
- (x) Porque o plasma é formado por íons e elétrons livres que se movem entre a placa e a grade.

Comentário: Complementando o comentário anterior, o plasma é formado por cátions, ânions e elétrons livres.

3. O material em combustão influencia no surgimento da corrente que surge? Se fosse possível utilizar um isqueiro a gás, ou outra chama qualquer, em lugar do fósforo, o comportamento seria o mesmo?
- (x) O material não influencia. Desde que haja íons livres entre a placa e a grade, haverá corrente elétrica, o comportamento será o mesmo;
 - () Sim, o material de combustão influencia. Desde que haja íons livres entre a placa e a grade, haverá corrente elétrica com comportamento diferente.
 - () Sim, materiais diferentes formam íons diferentes e alguns íons livres não conduzem corrente elétrica;
 - () Não, materiais diferentes formam íons diferentes e alguns íons livres não conduzem corrente elétrica;

Comentário: O material de combustão nos casos citados geralmente é de origem orgânica. Os íons gerados, e conseqüentemente o plasma, são de mesma natureza. Qualquer íon livre em presença de campo elétrico se moverá e formará corrente.

4. Por que não medimos corrente quando não há chama entre as placas?
- () Porque sem a chama há elétrons livres;
 - (x) Porque sem a chama não há íons livres;
 - () Porque sem a chama os íons livres permanecem presos às ligações iônicas dos gases;
 - () Porque a placa e a grade não são aquecidas pela chama.

Comentário: Como já mencionado, o plasma é formado por íons e elétrons livres. Gases não ionizados são substâncias covalente portanto, apresentam ligações covalentes e não iônicas. Neste caso o aquecimento também não é preponderante. Observação: Existe uma pequena quantidade de íons em suspensão no ar. Todavia a corrente gerada pelo deslocamento dos mesmo é muito pequena.

5. De que é formada a corrente elétrica verificada neste experimento?
- () Somente de elétrons livres;
 - () Somente de prótons livres;
 - () Somente de moléculas polarizadas;
 - (x) De íons e elétrons livres;

Neste caso cabem os comentários já realizados.

PLASMA
ROTEIRO EXPERIMENTAL
Apêndice B: Subsídios Teóricos

Já verificamos que a matéria apresenta três estados físicos: O sólido, o líquido e o gasoso. Cada um apresenta propriedades físicas e químicas próprias.

Substâncias covalentes de pequeno peso molecular sofrem ebulição em temperaturas baixas e, em geral encontram - se no estado gasoso em temperatura ambiente. As ligações moleculares dos gases fazem com que, neste estado, a matéria não conduza eletricidade. No entanto, sob determinadas condições, as ligações moleculares são rompidas e os gases reduzidos a seus constituintes básicos. Neste processo formam - se tanto átomos neutros, como íons e elétrons livres. Nestas condições os gases se tornam condutores de eletricidade e assumem propriedades distintas daquelas apresentadas pelos sistemas no estado gasoso. Processo de formação de íons e elétrons livres a partir do rompimento das ligações moleculares é chamado **ionização**.

Conforme define GALVÃO

"Quando o número de átomos ionizados é relativamente pequeno, a interação entre as partículas carregadas do gás ionizado é dominada por processos colisionais, ou seja, que envolvem principalmente colisões binárias entre elas. Quando o número de partículas carregadas é substancial, [...] a interação entre as partículas carregadas é dominada por processos coletivos, ou seja, a dinâmica de cada uma delas é determinada pelos

campos elétricos e magnéticos produzidos por todas as outras partículas carregadas do meio. Neste caso, o gás ionizado passa a ser denominado plasma”.

Existem várias formas de se produzir a ionização das moléculas em um gás e a consequente formação do plasma.

Intensos campos elétricos podem produzir a ionização de gases atmosféricos e a emissão de luz e, assim romper a rigidez dielétrica desses gases tornando - os condutores de corrente elétrica. As temperaturas atingidas pelo gás são altíssimas e há formação de plasma. Esse fenômeno é conhecido, embora não se conhecessem as causas, desde a antiguidade pois, é responsável pelas descargas elétricas atmosféricas e mais recentemente, é usado na produção de luz em lâmpadas fluorescentes onde a passagem da eletricidade pelas moléculas do gás a baixa pressão produz sua ionização e emissão de luz. Outra forma de ionizar gases é a partir do aquecimento que, pode ser causado por reações químicas de combustão, como a queima de um fósforo ou por reações nucleares como as que ocorrem no Sol.



Fig. 5: Plasma solar e aurora boreal exemplos de gases ionizados

Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/plasmaoutro-estado-materia.htm>



Fig. 6



Fig. 7

Fig. 6: gases ionizados por uma chama

Fonte: <http://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/qual-estado-fisico-fogo.htm>

Fig. 7: gases ionizados por uma descarga elétrica formando um raio

Fonte:

http://www.inpe.br/webelat/boletim/php/imagem.php?boletim_id=BT539072013

Os gases ionizados formam um quarto estado da matéria chamado **plasma**. Grande parte da matéria presente no universo é formada por átomos ionizados pela radiação presente no espaço ou seja, é formada por plasma.

O plasma surge da quebra das ligações moleculares dos gases causada por campos elétricos intensos ou por altas temperaturas e é formado por íons e elétrons livres. Na presença de um campo elétrico esses íons e elétrons livres movimentam - se formando corrente elétrica. A figura 8 mostra um modelo simples para os átomos ou moléculas de um gás e o plasma.

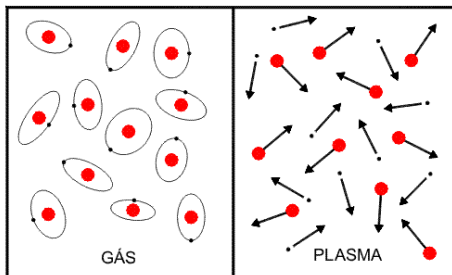


Fig. 8 - Modelo de distribuição das partículas para um gás e para o plasma.

Fonte:

http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Diversidade_de_Plasmas.htm

No gás os núcleos e os elétrons permanecem ligados pelas interações moleculares, os elétrons presos aos núcleos fazem com que os átomos ou as moléculas sejam neutras individualmente. Já no plasma os núcleos - íons positivos em vermelho (círculos maiores) - e os elétrons livres - íons negativos em preto - aparecem livres, o plasma somente é neutro em escala maior devido à igualdade entre a quantidade de carga positiva e negativa. Em pequena escala, as cargas aparecem separadas.

A seguir vemos o comportamento dos íons do plasma na presença de um campo elétrico externo que aponta para a esquerda, criado por placas paralelas neste exemplo.

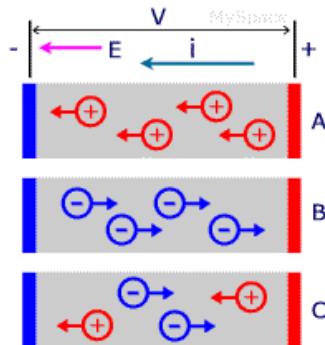


Fig. 9 - Movimentação dos íons do plasma em presença de campo elétrico.

Fonte: <http://www.mspc.eng.br/elemag/eletr170.shtml>

Em A apenas íons positivos se deslocando no mesmo sentido do campo. Em B apenas elétrons ou íons negativos se deslocando em sentido contrário ao sentido do campo. E, em C, ambos. Tal campo é gerado, em nosso experimento, pela diferença de potencial entre a placa e a grade. Nos três casos, a corrente (i) é representada no sentido convencional é da direita para a esquerda, no sentido do campo elétrico.

EFEITO FOTOELÉTRICO
ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA O
KIT FOTODUINO

Guia do Aluno:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Introdução:

O efeito fotoelétrico, descoberto por Hertz em 1887 e posteriormente explicado por Albert Einstein em 1905, consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética.

A explicação do fenômeno desafiou o aparato teórico da Física Clássica pois, diferente do que era previsto pelas teorias clássicas, só ocorria a partir de um comprimento de onda específico para cada material. A explicação só foi possível a partir de uma visão corpuscular da luz, abordagem inovadora que supunha que a luz seria formada por pacotes discretos de energia chamados fótons.

Devido à importância histórica para a Física e ao desenvolvimento tecnológico que essa visão revolucionária propiciou, vamos realizar o experimento que segue para visualizar de maneira indireta o efeito fotoelétrico.

Objetivos:

Geral:

Determinar os efeitos da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria.

Específicos:

- Visualizar indiretamente o surgimento do efeito fotoelétrico através da variação da corrente entre duas placas eletrizadas.
- Analisar qualitativamente os efeitos decorrente da incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica;
- Demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico.

Material Utilizado:

- Computador ou tablet;
- Pacote experimental composto de pico amperímetro, kit das lâmpadas, placas de diferentes condutores e grade;
- Cabo USB de impressora para a conexão com o Arduino Uno ou mini USB para Arduino Nano;
- Folha de papel branco.

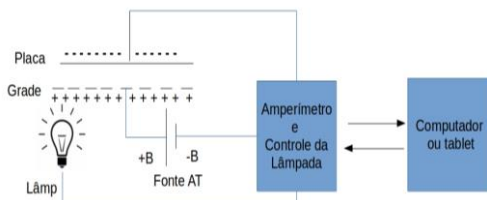


Fig. 1 - Esquema do aparato experimental.
Fonte própria.

Efeito fotoelétrico - luz como fótons

Procedimento Experimental:

- a) Inicialmente certifique - se que o material está em ordem, o computador ligado - caso esteja desligado, ligue-o;
- b) Lixe as superfícies da placa e da grade para remover qualquer camada de óxido ou gordura.
- c) Conecte a grade - conector verde - e a placa - conector azul - ao amperímetro como visto na figura;



Fig. 2 - Posição da placa e grade no amperímetro.

- d) Após isso, conecte a caixa das lâmpadas ao suporte do amperímetro;
- e) Conecte o conector do cabo de acionamento das lâmpadas no soquete do amperímetro tendo o cuidado de coincidir o terminal vazio do conector com o pino ausente no soquete conforme indica a figura abaixo;

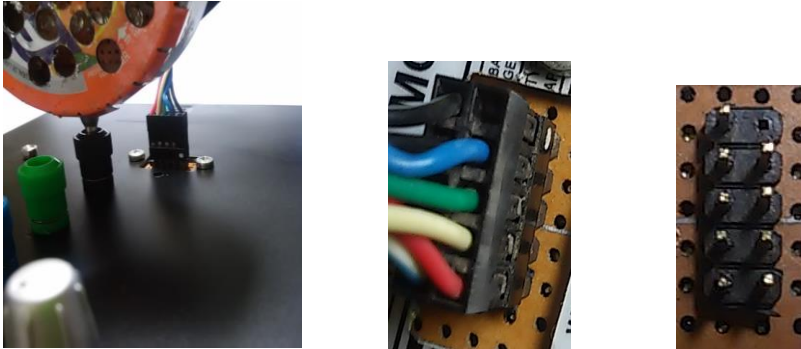


Fig. 3 - Disposição caixa das lâmpadas e detalhe da Conexão correta do conector das lampadas

- f) Conecte o amperímetro ao computador via cabos USB ou, ao tablet/celular via cabo USB e adaptador; Obs: para usar tablet/celular é necessário alimentar as lâmpadas separadamente por um conector semelhante ao representado abaixo.



Fig. 4 - Porta USB do Arduino Uno (amperímetro), conector de fonte das lâmpadas e adaptador usb para tablet/celular

- g) Ligue o amperímetro através da chave e inicie o programa clicando no ícone do Aplicativo "fotoelétrico" (na pasta de mesmo nome), ou toque (tablet / celular) para iniciar o aplicativo, caso não encontre o ícone provavelmente o aplicativo não foi instalado, se isso ocorrer chame o professor;

- h) Ao aparecer a tela do aplicativo (figura abaixo), observe a linha azul do gráfico, caso não esteja no meio do quadro, dê um clique no botão (palavra) "Auto" do ajuste de escala.



Fig. 5 - Aspecto da janela do programa e detalhe do botão de auto ajuste de escala

Observação: A linha azul indica a corrente elétrica. A curva sobe quando a corrente cresce e desce quando a corrente diminui.



IMPORTANTE: Radiações eletromagnéticas de alta frequência são potencialmente nocivas à saúde humana. Assim, como forma de proteção, os alunos devem utilizar uma caixa de vidro sobre o aparato. o vidro bloqueia grande parte da radiação ultravioleta.

De maneira complementar, mantenha a lâmpada UV desligada durante todo o tempo, somente ligue o tempo necessário à observação do fenômeno e evite olhar diretamente

para ela. A figura abaixo mostra a caixa a ser utilizada durante o experimento.



Fig. 6 - Caixa de proteção

- i) Com tudo conectado e ligado, inicie o experimento da seguinte forma: ligue, aguarde alguns segundos e desligue cada uma das lâmpadas clicando nos interruptores da interface. Enquanto isso, observe o comportamento da linha do gráfico. A linha sobe ou desce? Há medição de corrente?

Observação: pequenas flutuações podem ser motivadas por correntes elétricas induzidas no amperímetro;

- j) Inverta a posição da placa e da grade e posicione a lâmpada a frente da grade no conector preto próximo da chave e repita o experimento para verificar se haverá medição de corrente com a polaridade invertida;
- k) Responda e entregue o questionário presente no apêndice A. Se necessário consulte os subsídios teóricos no apêndice B.

Referência:

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: Física Moderna Experimental e Aplicada. Livraria da Física, São Paulo. 2004.

Disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ> Acesso em 05/2016

EINSTEIN, Albert(1905): On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light Tradução para o inglês: TER HAAR, D. in **The Old Quantum Theory.** Acesso em 02/02/2016

Disponível em: http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf.

FOWLER, Michael The Photoelectric Effect University of Virginia notas de aula. Disponível em <http://bit.ly/29HVIMd>. Acesso em 27/03/2015

LIMA, Carlos R A: Efeito Fotoelétrico (roteiro experimental) in **Tópicos de Laboratório de Física Moderna**, p. 23; 2 de Maio de 2013. Acesso em 02/02/16

Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Curso de Física. 1 ed.; São Paulo: Scipione, 2012. 3 v.

MIT, Department of physics: The Photoelectric Effect. Roteiro experimental. 25 de agosto de 2013, Acesso em 01/02/2016

disponível em: web.mit.edu/8.13/www/JLEperiments/JLExp005.pdf .

PENTEADO, Paulo Cesar M. Física - ciência e tecnologia; v. 1 - Mecânica; v. 2 - Termologia, óptica, ondas; v. 3 - Eletromagnetismo e Física Moderna. 1 ed.; São Paulo: Moderna, 2005

SANTOS, C. A. dos; **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, acesso em 27/03/2015. disponível em <http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricoindex.html>,

TEIXEIRA. Rejane M. Ribeiro, **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Experimento Virtual, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01101/foto.html> , acesso em 27/03/2015.

STUEWER, Roger H.: **Einstein's Revolutionary Light-Quantum Hypothesis**. Artigo apresentado na HQ-1 Conferência sobre a História da Física Quântica no Instituto Max Planck para a História da Ciência, Berlin, Alemanha, Julho 5, 2007
Disponível em: <http://bit.ly/29TCROP>. Acesso em 02/2016

University of California, Irvine Environmental Health & Safety Office Radiation Safety Division, **ULTRAVIOLET LAMP SAFETY FACTSHEET**, Disponível em: <http://bit.ly/2a6DCQ8>
Acesso em 05/2016

EFEITO FOTOELÉTRICO
ROTEIRO EXPERIMENTAL
Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Com base no material que você recebeu e no experimento realizado, responda as questões abaixo. Quando for o caso, assinale com X a única alternativa correta.

- Utilizando a figura 7 estime o comprimento de onda (λ) das lâmpadas utilizadas. Marque com um X o que ocorre com a linha do gráfico quando cada lâmpada é acesa.

| Lâmpada | λ (nm) | Linha sobe | Linha desce | Linha inalterada |
|----------|----------------|------------|-------------|------------------|
| Vermelha | 700 | | | X |
| Amarela | 580 | | | X |
| Verde | 550 | | | X |
| Azul | 500 | | | X |
| UVA | 350 | | | X |
| UVC | 250 | X | | |

Comentário: Observação esperada no experimento.

2. Da mesma forma que no experimento com o plasma, a elevação da linha do gráfico indica a circulação de corrente entre placa e grade. Sendo assim, ao acender a lâmpada UVC houve a circulação de corrente no experimento.
3. Por que, somente quando a lâmpada UVC foi acionada, houve a circulação de corrente elétrica no experimento?
- () Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da grade para a placa;
 - (x) Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da grade para a placa;
 - () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da placa para a grade;
 - () Porque somente naquela situação o plasma é formado por íons livres que se movem entre a placa grade.

Comentário: A corrente fotoelétrica é formada por elétrons livres que são ejetados da superfície da placa e movem-se em sentido contrário ao campo elétrico portanto, da placa para a grade.

4. A corrente elétrica é formada por elétrons que são ejetados da superfície metálica. De que depende a energia com que os elétrons são emitidos (ejetados)?
- () Da diferença de potencial entre a grade e a placa;
 - () Da distância que separa a grade e a placa;
 - () Da intensidade da luz incidente;
 - (x) Do comprimento de onda da luz incidente;
 - () Da velocidade da luz incidente;

Comentário: A energia cinética K dos elétrons ejetados depende do comprimento de onda (λ) de acordo com a equação: $K = h\nu - \phi$, onde $h\nu = E$ é a energia do fóton incidente e $\nu =$

$1/\lambda$ é a frequência, ϕ é a função trabalho do metal que compõe a placa.

5. O que ocorre no efeito fotoelétrico se aumentarmos apenas a intensidade da luz incidente na superfície metálica?
- () Nada acontece;
 - () O efeito desaparece;
 - (x) Se já houver corrente, ela aumenta ou seja, o número de elétrons emitidos aumenta;
 - () Se já houver corrente, ela diminui ou seja, o número de elétrons emitidos diminui;
 - () Se não houver corrente, ela surge.

Comentário: Se a energia dos fótons já for suficiente para arrancar elétrons da superfície metálica, quanto mais fótons (maior intensidade de luz), maior a quantidade de elétrons arrancados (maior a corrente).

6. Com a inversão da polaridade da placa e grade o efeito é observado? Por que?

Comentário: Espera-se que os alunos respondam que o efeito deve parar pois os elétrons, partículas negativas retornariam com a inversão do sentido do campo. Alternativamente pode-se esperar que respondam que os elétrons seriam repelidos.

7. Com base no resultado experimental e na tabela 1 (texto), determine qual o material poderia estar presente na placa. Justifique.

Comentário: Espera-se que os alunos respondam que o material da placa deva ser alumínio ou zinco pois são os únicos materiais da tabela cuja função trabalho é grande o suficiente para que o efeito fotoelétrico só apareça com a luz ultravioleta, quando a frequência é alta ou o comprimento de onda é baixo. Dependendo da interpretação da tabela, pode-se esperar até respostas com o ferro como constituinte da placa. Como justificativa podemos esperar até o cálculo da função trabalho baseada no comprimento de onda aproximado da radiação.

8. Ainda orientando - se pela tabela 1, Calcule o comprimento de onda mínimo para que haja fotoemissão se a placa fosse de Césio. Em qual faixa do espectro se localiza o comprimento calculado?

Comentário: Fazendo os devidos cálculos para obter o comprimento de onda da radiação para a placa de césio cuja função trabalho é 2,1 eV. Temos $\lambda = 590,86$ nm na faixa do visível.

$$\lambda_0 = \frac{c h}{E_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}{2,1 \text{ eV}}$$

$$\lambda_0 = 5,9086 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad \lambda_0 = 590,86 \cdot 10^{-9} \text{ m} \quad \lambda_0 = 590,86 \text{ nm}$$

9. (UDESC 2010) Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I - A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II - A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III - Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

Comentário: A afirmativa III representa o esperado de acordo com o eletromagnetismo clássico e foi um dos problemas que fizeram com que a interpretação da Física Clássica fosse substituída pela interpretação Quântica.

10. (UDESC 2008) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.

2. quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.

3. a energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

I - Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.

II - Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.

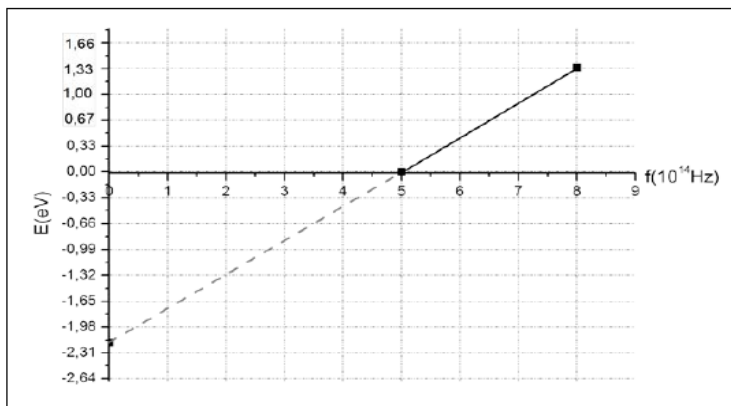
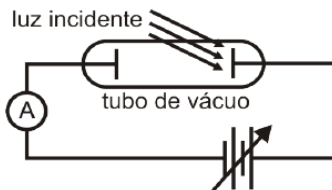
III - O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente a afirmativa I é verdadeira.

Comentário: A dependência da frequência para a ocorrência do fenômeno já foi discutida em questões anteriores e a temperatura facilita mas não é essencial para o início do fenômeno, mesmo a baixa temperatura ocorre efeito fotoelétrico.

11. (UFSC - 2013 - 2) Em um experimento semelhante aos realizados por Hertz, esquematizado na figura abaixo, um estudante de física obteve o seguinte gráfico para a energia cinética (E) máxima dos elétrons ejetados de uma amostra de potássio em função da frequência (f) da luz incidente.



Com base nas características do fenômeno observado e no gráfico, assinale a (s) proposição (ões) **CORRETA (S)**.

(01). O valor da constante de Plank obtida a partir do gráfico é de aproximadamente $4,43 \times 10^{-15}$ eVs.

(02). A função trabalho do potássio é maior que 2,17 eV.

(04). Para frequências menores que $5,0 \times 10^{14}$ Hz, os elétrons não são ejetados do potássio.

(08). O potencial de corte para uma luz incidente de $6,0 \times 10^{14}$ Hz é de aproximadamente 0,44 eV.

(16). Materiais que possuam curvas de E (em eV) em função de f (em Hz) paralelas e à direita da apresentada no gráfico possuem função trabalho maior que a do potássio.

(32). A energia cinética máxima dos elétrons emitidos na frequência de $6,5 \times 10^{14}$ Hz pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade da luz incidente.

Soma: _____ **29 (01, 04, 08, 16)**

Comentário: obtém-se a constante de Planck calculando a inclinação da curva do gráfico, ou seja dividindo-se a variação da energia E pela variação da frequência f . Se tomarmos dois pontos quaisquer, exemplo o final da curva e o ponto de intersecção entre os eixos de x e a curva, teremos:

$$h = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta E}{\Delta f}$$

$$h = \frac{1,33eV - 0}{8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}}$$

$$h = \frac{1,33eV}{3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}}$$

$$h = 0,443 \cdot 10^{-14} \text{ eV} \cdot s$$

$$h = 4,43 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot s$$

Na intersecção do prolongamento da curva do gráfico com o eixo de y (E) temos a função trabalho do magnésio aproximadamente igual e não maior que $2,17eV$.

Para frequências menores que $5 \cdot 10^{14}$ Hz a energia dos elétrons é menor que a função trabalho indicado pela passagem da curva para valores negativos de energia.

Subindo com um linha paralela ao eixo das energias (y) partindo da frequência de $6 \cdot 10^{14}$ Hz, até encontramos a curva do gráfico e, a partir do ponto de encontro, seguindo com uma reta paralela ao eixo das frequências (x) até o eixo das energias encontramos o potencial de corte, para esta frequência, igual a $0,44eV$.

Traçando curva paralelas e a direita da curva do gráfico da questão veremos que os prolongamentos encontram o eixos das energias abaixo do ponto em que o prolongamento da curva do magnésio encontra o mesmo eixo, isso indica que tais materiais terão uma função trabalho maior que o magnésio, ou seja necessitarão de fótons mais energéticos para apresentarem o efeito fotoelétrico.

Já comentamos que a energia não depende da intensidade da radiação incidente mas somente da frequência. Isso também é evidenciado já que o gráfico não relaciona a energia com a intensidade da radiação mas sim com a frequência.

EFEITO FOTOELÉTRICO

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Apêndice B: Subsídios Teóricos:

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons, por superfícies metálicas, devido à incidência de radiação eletromagnética. Essa emissão depende da frequência da radiação incidente e também do material de que é composto a superfície metálica. Os primeiros relatos da observação deste fenômeno são atribuídos ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz em 1887, motivo pelo qual o fenômeno é, por vezes chamado de Efeito Hertz. A explicação do efeito fotoelétrico desafiou o aparato teórico da Física Clássica e motivou o início de uma nova física, a Física moderna.

De acordo com a previsão da física clássica vigente na época, a luz é uma onda eletromagnética e, portanto propaga-se continuamente pelo espaço. Esperava-se que a luz fosse absorvida pelos elétrons de maneira que em algum momento, a quantidade de energia absorvida seria suficiente para vencer as forças que mantinham os elétrons presos aos átomos. Isso ocorreria com qualquer radiação incidente, desde que houvesse tempo suficiente. Ainda segundo o modelo teórico, o aumento na intensidade da radiação aceleraria o processo.



Figura 5 - modelo clássico de propagação contínua da radiação

O que se observou experimentalmente é que a fotoemissão dos elétrons não dependia da intensidade da radiação incidente, fontes de luz de baixa frequência, mesmo

intensas, não provocavam o fenômeno enquanto fontes de alta frequência, mesmo tênues o produziam.

A explicação correta do efeito fotoelétrico é possível, somente se considerarmos que a luz se comporta como partículas. De acordo com a explicação proposta por Einstein e comprovada por Millikan. A radiação eletromagnética não é contínua mas, se propaga em "pacotes" discretos, chamados fótons.

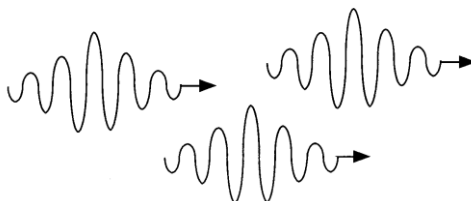


figura 7 - modelo quântico de propagação dos fótons

Este efeito decorre da interação do fóton incidente com elétrons dos átomos do metal na superfície da placa. Cada fóton interage com apenas um elétron e transfere toda sua energia para este.

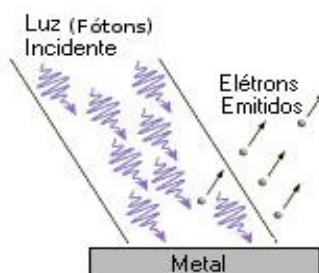


Fig. 8 - Fótons incidindo em superfície metálica e forçando a emissão de fotoelétrons.

Fonte:

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Alexandre/einst/ein/fotoeletrico.html> (modificado)

A energia transferida pelo fóton (E) é dada pela equação:

$$E = h\nu$$

Onde h corresponde à constante de Plank ($h \simeq 6,626 \times 10^{-34} \text{ J x s}$ $\simeq 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV x s}$) e ν corresponde à frequência, em Hertz (Hz), da onda associada ao fóton. Os elétrons emitidos formam o que foi chamado de corrente fotoelétrica.

A energia cinética (K) com que os elétrons são ejetados da superfície metálica é:

$$K = h\nu - \phi$$

Com ϕ correspondendo à *função trabalho* ou energia mínima necessária ao aparecimento do efeito. A função trabalho depende do material da superfície de incidência.

$$\phi = E_0 = h\nu_0$$

A tabela 1 apresenta os valores para a função trabalho para alguns metais.

| Material | Função trabalho ϕ ou E_0 (em eV) |
|-----------------|---|
| Césio | 2,1 |
| Sódio | 2,28 |
| Alumínio | 4,08 |
| Zinco | 4,3 |
| Ferro | 4,5 |

Tabela 1: Função trabalho de alguns metais.

A frequência mínima ν_0 ou o comprimento de onda mínimo λ_0 , para cada material, necessária ao aparecimento do efeito podem ser calculados, conhecendo - se a função trabalho, a partir das equações modificadas abaixo:

$$\nu_0 = E_0 / h \quad \lambda_0 = c / \nu_0 \quad \lambda_0 = c h / E_0$$

Obs: c é a velocidade da luz no vácuo $c = 3.10^8 m/s$.

Estas equações foram obtidas por Einstein e publicadas em artigo de 1905 (Einstein, 1905). A confirmação experimental, por Millikan, das equações de Einstein do efeito fotoelétrico rendeu, a Einstein, o prêmio Nobel de física de 1921.

A figura 9 mostra um diagrama do espectro eletromagnético com destaque para a parte visível, abaixo na figura, e ultravioleta, acima.

Nele podemos observar a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, quando a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui. Também é possível visualizar o aumento da energia associada ao fóton com o aumento da frequência.

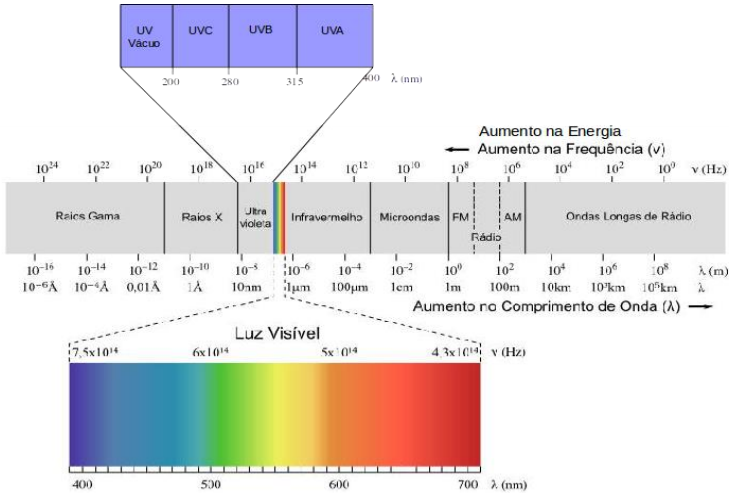


Fig. 9 - Espectro eletromagnético

Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com.br/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html> (modificado).

EFEITO FOTOELÉTRICO ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA O EXPERIMENTO VIRTUAL

Guia do Aluno:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Introdução:

O efeito fotoelétrico foi descoberto "ocasionalmente" em 1886 por Hertz enquanto estudava a natureza ondulatória da radiação eletromagnética. Ele observou que a produção da descarga elétrica entre dois eletrodos dentro de uma ampola de vidro é facilitada quando radiação luminosa incide em um dos eletrodos, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado efeito fotoelétrico.

A reprodução do efeito observado por Hertz envolve equipamento de razoável sofisticação para que se possa estabelecer as relações entre as variáveis envolvidas no fenômeno, tais equipamentos são geralmente caros e difíceis de encontrar em laboratórios didáticos.

Para contornar tais dificuldades foram criadas simulações computacionais que reproduzem fenômenos naturais em situações ideais. Tais simulações respondem de acordo com as previsões teóricas para o fenômeno simulado. Em nossa atividade utilizaremos uma destas simulações para o efeito fotoelétrico.

Objetivos:

Geral:

O presente experimento tem por objetivo simular, com o auxílio de software, o efeito fotoelétrico em condições ideais (representando a previsão teórica) e, com isso, possibilitar a visualização dos fenômenos envolvidos e da dependência entre as diversas variáveis relevantes.

Específicos:

- Simular, via software, os efeitos da incidência da radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica;
- Reproduzir a previsão teórica para o experimento real;
- Observar os resultados esperados para o experimento;
- Demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico através de uma simulação computacional em preparação para o experimento com o pacote experimental.

Material Utilizado:

- Computador e software java Efeito fotoelétrico disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric:

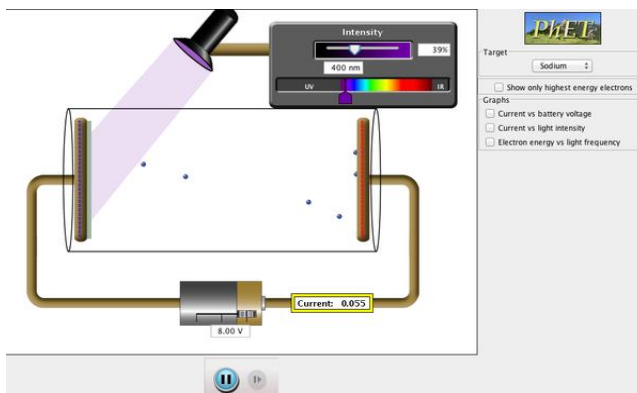


Fig. 1 - Esquema da simulação.

Efeito fotoelétrico - luz como fótons

Procedimento Experimental:

- Acesse o site onde se encontra a simulação e baixe o aplicativo caso este ainda não esteja instalado no computador.
- Rode o aplicativo e familiarize-se com os comandos;
- Com o aplicativo rodando, selecione o zinco como material alvo para a luz;



Fig. 2 - Seleção do alvo

- d) Arraste o cursor do comprimento de onda para o início do espectro - luz infravermelha (850nm), o cursor da intensidade para 100% e o cursor da voltagem da bateria para + 8V;

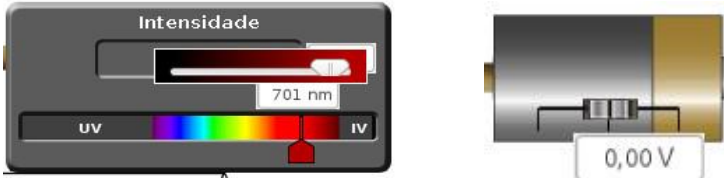


Fig. 3 - Comandos

- e) Observe o sinal da carga elétrica acumulada nas placas;
- f) Agora arraste o cursor do comprimento de onda diminuindo seu valor (aumentando a frequência) até que inicie a circulação de corrente elétrica. Anote este comprimento de onda.
- g) Inverta a polaridade da bateria arrastando o cursor da voltagem para outra extremidade - 8V e observe o comportamento da corrente. Haverá circulação de corrente? Por quê?
- h) Ainda com a polaridade invertida, arraste o cursor modificando o comprimento de onda para verificar se haverá circulação de corrente;
- i) Repita o experimento com o cursor da intensidade em 50% e em 10% e observe se há modificação nos resultados.
- j) Responda e entregue o questionário presente no apêndice A.

Referência:

Efeito Fotoelétrico, Simulação computacional. Acesso em 05/16, disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: **Física Moderna Experimental e Aplicada**. Livraria da Física, São Paulo. 2004.

Disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ>. Acesso em 05/2016

FOWLER, Michael **The Photoelectric Effect** University of Virginia notas de aula. Disponível em <http://bit.ly/29HVMd>. Acesso em 27/03/2015

LIMA, Carlos R A: **Efeito Fotoelétrico** (roteiro experimental) in Tópicos de Laboratório de Física Moderna, p. 23; 2 de Maio de 2013. Acesso em 02/02/16

Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Curso de Física*. 1 ed.; São Paulo: Scipione, 2012. 3 v.

MIT, Department of physics: **The Photoelectric Effect**. Roteiro experimental. 25 de agosto de 2013, Acesso em 01/02/2016

disponível em: web.mit.edu/8.13/www/JLEperiments/JLExp005.pdf .

PENTEADO, Paulo Cesar M. *Física - ciência e tecnologia*; v. 1 - Mecânica; v. 2 - Termologia, óptica, ondas; v. 3 -

Eletromagnetismo e Física Moderna. 1 ed.; São Paulo: Moderna, 2005

SANTOS, C. A. dos; **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, acesso em 27/03/2015. disponível em <http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricoindex.html>,

TEIXEIRA. Rejane M. Ribeiro, **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Experimento Virtual, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01101/foto.html> , acesso em 27/03/2015.

EFEITO FOTOELÉTRICO
ROTEIRO EXPERIMENTAL SIMULAÇÃO
Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

1. Utilizando a simulação complete a tabela com o comprimento de onda (λ) da luz incidente (para isso tome como referência o meio da região onde a cor aparece) e a corrente medida em cada comprimento de onda para a intensidade luminosa de 100%.

| LUZ | λ (nm) | Corrente (+8V) | Corrente (-8V) |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| IR | 822 | 0 | 0 |
| Vermelha | 692 | 0 | 0 |
| Amarela | 582 | 0 | 0 |
| Verde | 530 | 0 | 0 |
| Azul | 450 | 0 | 0 |
| UVA | 350 | 0 | 0 |
| UVC | 250 | 0,057 | 0 |

Os valores de comprimento de onda são aproximados e os alunos poderão responder com valores próximos a estes. Caso os alunos perguntem sobre qual valor correto, oriente-os a buscarem o valor central da faixa. A corrente registrada em UVC também pode variar conforme o comprimento de onda em que for medida. as demais correntes devem ser sempre zero.

2. Com a inversão da polaridade das placas o efeito será observado? Por quê?

Não pois com a inversão do campo, os elétrons ejetados interagem com este e retornam a placa de onde saíram.

3. A intensidade luminosa influencia na intensidade de corrente? Como?

Sim pois quanto maior a intensidade luminosa, maior a quantidade de fótons que interagem com elétrons e maior a quantidade de elétrons ejetados. Assim, quanto maior a intensidade, maior a corrente medida.

4. Qual a relação entre a energia cinética do elétron ejetado e o comprimento de onda da luz incidente?

A energia cinética do elétron varia inversamente com o comprimento de onda, de modo que, quanto menor o comprimento de onda, maior a energia absorvida pelo elétron e maior sua energia cinética.

5. O comprimento de onda influencia no aparecimento do efeito?

Sim, pois somente aparece o efeito para radiações abaixo de determinado comprimento de onda.

6. O que são as partículas que emergem da placa?

As partículas que emergem da placa são elétrons.

7. Por que, com a inversão da polaridade das placas, as partículas tendem a voltar ?

Pois os elétrons, ao interagir com o campo estão sujeitos a ação de uma força contrária ao sentido do campo que aponta para a placa negativa e, portanto, a força aponta para a placa positiva.

Apêndice D
Apresentação

Material apresentado na aula expositiva

Plasma e Efeito Fotoelétrico

Professor:

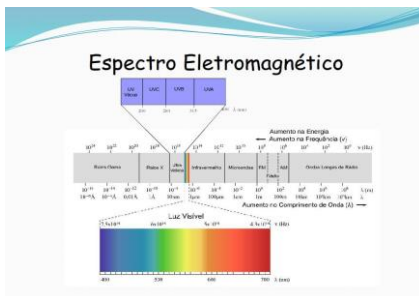
Data:

Estrutura da Aula

- Luz como onda eletromagnéticas;
- Luz como partícula;
- Efeito Fotoelétrico;
- Plasma;
- Referências.

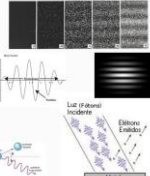
A luz como onda eletromagnética

- Ondas eletromagnéticas:
- Características:
 - Comprimento de onda λ ;
 - Frequência f ou ν ; Período T ;
 - Velocidade $c = 300.000 \text{ km/s}$
- Previstas pelas equações de Maxwell;
- Existência comprovada por Hertz;
- São oscilações do campo eletromagnético.

A luz como partícula

- Interpretação Quântica da radiação eletromagnética;
- Inicialmente proposta por Planck;
- Ampliada por Einstein;
- Pacote de energia $E=h\nu$, Momento $p=h/\lambda$
- Comportamento dual da luz;
- Efeito fotoelétrico e fotovoltaico;
- Efeito Compton;



Efeito fotoelétrico

- Emissão de elétrons por superfícies metálicas iluminadas por luz
- Relatado por Hertz em 1887;
- Desafiou a previsão clássica:
 - Sem retardo na emissão,
 - dependência com a frequência,
 - potencial de corte independente da intensidade.
- A explicação quântica de Einstein em 1905;



http://www.fisica.ufjf.br/didatico/mestrado/efoto/cometerio_ufjf_2012.htm

Efeito fotoelétrico

- Cada fóton interage com um único elétron;
- Interação $hf = \Phi + K_{max}$
- $hf =$ energia do fóton incidente
- $\Phi = hf_0 =$ função trabalho
- $K_{max} =$ Energia cinética dos elétrons emitidos
- $K_{max} = eV_0$
- Experimento de Millikan;

Efeito fotoelétrico

- Função trabalho Φ ;

| Material | Função trabalho ϕ ou E_0 (em eV) |
|----------|---|
| Césio | 2,1 |
| Sódio | 2,28 |
| Alumínio | 4,08 |
| Zinco | 4,3 |
| Ferro | 4,5 |

Experimentos Efeito Fotoelétrico

- Experimento virtual ou simulação;
 <https://phet.colorado.edu/en/simulations/choose/photoelectric>
- Experimento real.
 https://youtu.be/vL_vBBpcJofJ0

Plasma

- Quarto estado da matéria;
- Formado por gases ao atingirem altas temperaturas;
- Presente em todo universo;

Plasma

Características:

- Neutralidade elétrica em grande escala;
- Presença de íons livres em pequena escala;
- Influência do campo elétrico;
- Emissão de luz pelos átomos do plasma.

Luz emitida pelo Plasma

Níveis de energia dos átomos excitados

REFERÊNCIAS

- TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>. Acesso em 25/11/2015
- Ciência Curiosa: Efeito Fotoelétrico disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_vBBpcJofJ0

ANEXOS

Anexo A
Datasheet CA3420

0.5MHz, Low Supply Voltage, Low Input Current BiMOS Operational Amplifier

The CA3420 is an integrated circuit operational amplifier that combines PMOS transistors and bipolar transistors on a single monolithic chip. The CA3420 BiMOS operational amplifier features gate protected PMOS transistors in the input circuit to provide very high input impedance, very low input currents (less than 1pA). The internal bootstrapping network features a unique guardbanding technique for reducing the doubling of leakage current for every 10°C increase in temperature. The CA3420 operates at total supply voltages from 2V to 20V either single or dual supply. This operational amplifier is internally phase compensated to achieve stable operation in the unity gain follower configuration. Additionally, it has access terminals for a supplementary external capacitor if additional frequency roll-off is desired. Terminals are also provided for use in applications requiring input offset voltage nulling. The use of PMOS in the input stage results in common mode input voltage capability down to 0.45V below the negative supply terminal, an important attribute for single supply application. The output stage uses a feedback OTA type amplifier that can swing essentially from rail-to-rail. The output driving current of 1.5mA (Min) is provided by using nonlinear current mirrors.

Ordering Information

| PART NUMBER | PART MARKING | TEMP. RANGE (°C) | PACKAGE | PKG. DWG. # |
|--------------------|--------------|------------------|-------------------------|-------------|
| CA3420E | CA3420E | -55 to 125 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| CA3420EZ (Note) | CA3420EZ | -55 to 125 | 8 Ld PDIP* (Pb-free) | E8.3 |

*Pb-free PDIPs can be used for through hole wave solder processing only. They are not intended for use in Reflow solder processing applications.

NOTE: Intersil Pb-free plus anneal products employ special Pb-free material sets; molding compounds/die attach materials and 100% matte tin plate termination finish, which are RoHS compliant and compatible with both SnPb and Pb-free soldering operations. Intersil Pb-free products are MSL classified at Pb-free peak reflow temperatures that meet or exceed the Pb-free requirements of IPC/JEDEC J STD-020.

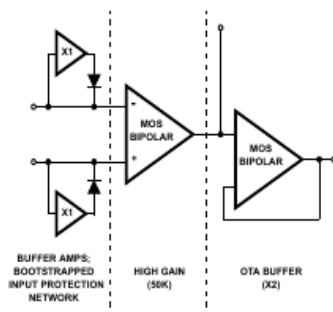
Features

- 2V Supply at 300µA Supply Current
- 1pA Input Current (Typ) (Essentially Constant to 85°C)
- Rail-to-Rail Output Swing (Drive ±2mA into 1kΩ Load)
- Pin Compatible with 741 Operational Amplifiers
- Pb-Free Plus Anneal Available (RoHS Compliant)

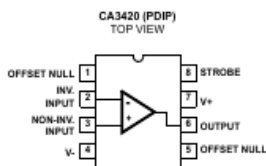
Applications

- pH Probe Amplifiers
- Picoammeters
- Electrometer (High Z) Instruments
- Portable Equipment
- Inaccessible Field Equipment
- Battery-Dependent Equipment (Medical and Military)

Functional Diagram



Pinout



CA3420

Absolute Maximum Ratings

| | |
|--|----------------------------|
| Supply Voltage (V+ to V-) | ..22V |
| Differential Input Voltage | ..15V |
| DC Input Voltage | ..(V+ + 8V) to (V- - 0.5V) |
| Input Current | ..1mA |
| Output Short Circuit Duration (Note 1) | ..Indefinite |

Operating Conditions

| | |
|-------------------|------------------|
| Temperature Range | ..-55°C to 125°C |
|-------------------|------------------|

Thermal Information

| | | |
|--|----------------------|----------------------|
| Thermal Resistance (Typical, Note 2) | θ_{JA} (°C/W) | θ_{JC} (°C/W) |
| PDIP Package* | ..105 | ..N/A |
| Maximum Junction Temperature (Plastic Package) | ..150°C | |
| Maximum Storage Temperature Range | ..-65°C to 150°C | |
| Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) | ..300°C | |

*Pb-free PDIPs can be used for through hole wave solder processing only. They are not intended for use in Reflow solder processing applications.

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

- Short circuit may be applied to ground or to either supply.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications Typical Values Intended Only for Design Guidance, $V_{SUPPLY} = \pm 10V$, $T_A = 25^\circ C$

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | TYP | UNITS |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-----|----------------|
| Input Resistance | R_i | | 150 | Ω |
| Input Capacitance | C_i | | 4.9 | μF |
| Output Resistance | R_o | | 300 | Ω |
| Equivalent Input Noise Voltage | e_N | $f = 1kHz$ | 62 | nV/\sqrt{Hz} |
| | | $f = 10kHz$ | 38 | nV/\sqrt{Hz} |
| Short-Circuit Current | Source | I_{OM}^+ | 2.6 | mA |
| | Sink | I_{OM}^- | 2.4 | mA |
| Gain Bandwidth Product | f_T | | 0.5 | MHz |
| Slow Rate | SR | | 0.5 | V/ μs |
| Transient Response | Rise Time | t_R | 0.7 | μs |
| | Overshoot | OS | 15 | % |
| Current from Terminal 8 | To V- | I_8^+ | 20 | μA |
| | To V+ | I_8^- | 2 | mA |

Electrical Specifications For Equipment Design, At $V_{SUPPLY} = \pm 1V$, $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|--------------------------|--------------------------|-------|-------|------|------------------|
| Input Offset Voltage | V_{IO} | | - | 5 | 10 | mV |
| Input Offset Current (Note 3) | $ I_{IO} $ | | - | 0.01 | 4 | μA |
| Input Current (Note 3) | $ I_i $ | | - | 1 | 5 | μA |
| Large Signal Voltage Gain | AOL | $R_L = 10k\Omega$ | 10 | 100 | - | kV/V |
| | | | 80 | 100 | - | dB |
| Common Mode Rejection Ratio | CMRR | | - | 560 | 1800 | $\mu V/V$ |
| | | | 55 | 65 | - | dB |
| Common Mode Input Voltage Range | V_{ICR}^+ | | 0.2 | 0.5 | - | V |
| | V_{ICR}^- | | - | -1.3 | - | V |
| Power Supply Rejection Ratio | PSRR | $\Delta V_{IO}/\Delta V$ | - | 100 | 1000 | $\mu V/V$ |
| | | | 60 | 80 | - | dB |
| Max Output Voltage | V_{OM}^+ | $R_L = \infty$ | 0.90 | 0.96 | - | V |
| | V_{OM}^- | | -0.85 | -0.91 | - | V |
| Supply Current | I^+ | | - | 350 | 650 | μA |
| Device Dissipation | P_D | | - | 0.7 | 1.1 | mW |
| Input Offset Voltage Temperature Drift | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | | - | 4 | - | $\mu V/^\circ C$ |

NOTE:

- The maximum limit represents the levels obtainable on high speed automatic test equipment. Typical values are obtained under laboratory conditions.

CA3420

Electrical Specifications For Equipment Design, at $V_{SUPPLY} = \pm 10V$, $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|--------------------------|--------------------------|------|-------|------|------------------|
| Input Offset Voltage | $ V_{IO} $ | | - | 5 | 10 | mV |
| Input Offset Current (Note 4) | $ I_{IO} $ | | - | 0.03 | 4 | μA |
| Input Current (Note 4) | I_I | | - | 0.05 | 5 | μA |
| Large Signal Voltage Gain | A_{OL} | $R_L = 10k\Omega$ | 10 | 100 | - | kV/V |
| | | | 80 | 100 | - | dB |
| Common Mode Rejection Ratio | CMRR | | 100 | 320 | - | $\mu V/V$ |
| | | | 70 | 80 | - | dB |
| Common Mode Input Voltage Range | V_{ICR+} | | 8.5 | 9.3 | - | V |
| | V_{ICR-} | | -10 | -10.3 | - | V |
| Power Supply Rejection Ratio | PSRR | $\Delta V_{IO}/\Delta V$ | - | 32 | 320 | $\mu V/V$ |
| | | | 70 | 90 | - | dB |
| Max Output Voltage | V_{OM+} | $R_L = \infty$ | 9.7 | 9.9 | - | V |
| | V_{OM-} | | -9.7 | -9.85 | - | V |
| Supply Current | I^+ | | - | 450 | 1000 | μA |
| Device Dissipation | P_D | | - | 9 | 14 | mW |
| Input Offset Voltage Temperature Drift | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | | - | 4 | - | $\mu V/^\circ C$ |

NOTE:

4. The maximum limit represents the levels obtainable on high speed automatic test equipment. Typical values are obtained under laboratory conditions.

Typical Applications**Picoammeter Circuit**

The exceptionally low input current (typically 0.2pA) makes the CA3420 highly suited for use in a picoammeter circuit. With only a single 10G Ω resistor, this circuit covers the range from $\pm 1.5\mu A$. Higher current ranges are possible with suitable switching techniques and current scaling resistors. Input transient protection is provided by the 1M Ω resistor in series with the input. Higher current ranges require that this resistor be reduced. The 10M Ω resistor connected to pin 2 of the CA3420 decouples the potentially high input capacitance often associated with lower current circuits and reduces the tendency for the circuit to oscillate under these conditions.

High Input Resistance Voltmeter

Advantage is taken of the high input impedance of the CA3420 in a high input resistance DC voltmeter. Only two 1.5V "AA" type penlite batteries power this exceedingly high-input resistance (>1,000,000M Ω) DC voltmeter. Full-scale deflection is $\pm 500mV$, $\pm 150mV$, and $\pm 15mV$. Higher voltage ranges are easily added with external input voltage attenuator networks.

The meter is placed in series with the gain network, thus eliminating the meter temperature coefficient error term.

Supply current in the standby position with the meter undeflected is 300 μA . At full-scale deflection this current rises to 800 μA . Carbon-zinc battery life should be in excess of 1,000 hours.

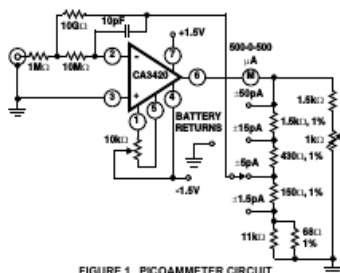


FIGURE 1. PICOAMMETER CIRCUIT

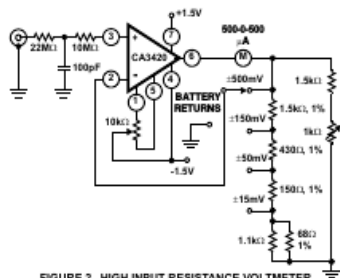


FIGURE 2. HIGH INPUT RESISTANCE VOLTMETER

Typical Performance Curves

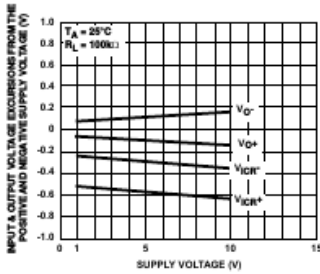


FIGURE 3. OUTPUT VOLTAGE SWING AND COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE

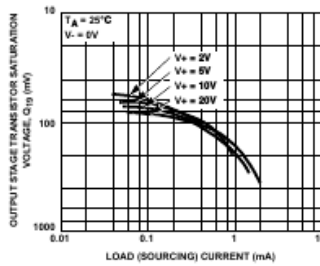


FIGURE 4. OUTPUT VOLTAGE vs LOAD SOURCING CURRENT

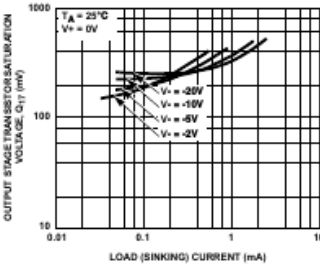


FIGURE 5. OUTPUT VOLTAGE vs LOAD SINKING CURRENT

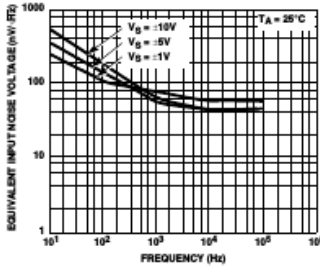


FIGURE 6. INPUT NOISE VOLTAGE vs FREQUENCY

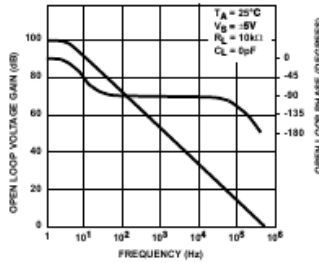
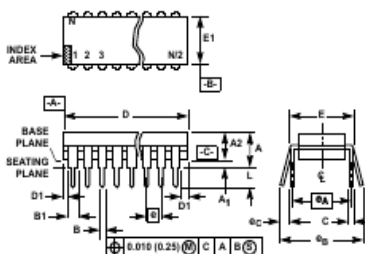


FIGURE 7. OPEN LOOP GAIN AND PHASE SHIFT RESPONSE

CA3420

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



NOTES:

- Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
- Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
- Symbols are defined in the "MD Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
- Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
- D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- E and RA are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum C.
- eg and ec are measured at the lead tips with the leads unconstrained. ec must be zero or greater.
- B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- N is the maximum number of terminal positions.
- Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

E8.3 (JEDEC MS-001-BA ISSUE D)
8 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | | NOTES |
|--------|-----------|-------|-------------|-------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX | |
| A | - | 0.210 | - | 5.33 | 4 |
| A1 | 0.015 | - | 0.39 | - | 4 |
| A2 | 0.115 | 0.195 | 2.93 | 4.95 | - |
| B | 0.014 | 0.022 | 0.356 | 0.558 | - |
| B1 | 0.045 | 0.070 | 1.15 | 1.77 | 8, 10 |
| C | 0.008 | 0.014 | 0.204 | 0.355 | - |
| D | 0.355 | 0.400 | 9.01 | 10.16 | 5 |
| D1 | 0.005 | - | 0.13 | - | 5 |
| E | 0.300 | 0.325 | 7.62 | 8.25 | 6 |
| E1 | 0.240 | 0.280 | 6.10 | 7.11 | 5 |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | | - |
| RA | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | | 6 |
| RA | - | 0.430 | - | 10.92 | 7 |
| L | 0.115 | 0.150 | 2.93 | 3.81 | 4 |
| N | | 8 | | 8 | 9 |

Rev. 0 12/99

All Intersil U.S. products are manufactured, assembled and tested utilizing ISO9000 quality systems.
Intersil Corporation's quality certifications can be viewed at www.intersil.com/design/quality

Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design, software and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see www.intersil.com