



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL DE CATALÃO – UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

LUIZ CARLOS DE MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS PARA A
APRENDIZAGEM ATIVA DE ELETRICIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Catalão, 18 de setembro de 2020.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Luiz Carlos de Moura

3. Título do trabalho

Construção de Um Sensor de Pulsos Cardíacos Para a Aprendizagem Ativa de Eletricidade no Ensino Médio

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Denis Rezende De Jesus, Professor do Magistério Superior**, em 05/11/2020, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUIZ CARLOS DE MOURA, Discente**, em 25/03/2021, às 09:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1659587** e o código CRC **4C33E3F3**.

Referência: Processo nº 23070.039630/2020-06

SEI nº 1659587

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL DE CATALÃO – UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

LUIZ CARLOS DE MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS PARA A
APRENDIZAGEM ATIVA DE ELETRICIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física (MNPEF), do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG) – Regional de Catalão.

Orientador
Denis Rezende de Jesus

CATALÃO – GO
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Moura, Luiz Carlos de
Construção de um sensor de pulsos cardíacos para a aprendizagem ativa de eletricidade no ensino médio [manuscrito] / Luiz Carlos de Moura. - 2020.
cxxix, 129 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Denis Rezende de Jesus .
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Catalão, 2020.
Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. ensino de física. 2. eletricidade. 3. aprendizagem ativa. 4. interdisciplinaridade. 5. pulsos cardíacos. I. , Denis Rezende de Jesus, orient. II. Título.

CDU 37.0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 4 da sessão de Defesa de Dissertação de Luiz Carlos de Moura, que confere o título de Mestre em **Ensino de Física**, na área de concentração em **Física na Educação Básica**.

Ao/s **dezoito de setembro de dois mil e vinte**, a partir das **14:00**, através do Google Meet - GSuite, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“Construção de Um Sensor de Pulsos Cardíacos Para a Aprendizagem Ativa de Eletricidade no Ensino Médio”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Denis Rezende de Jesus (UAEF-UFCat-UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Adellane Araújo Sousa (UFMT)**, membro titular externo; Professor Doutor **Eduardo Sérgio de Souza (UAEF-UFCat-UFG)**, membro titular interno, Professora Doutora **Ana Rita Pereira (UAEF-UFCat-UFG)** membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Denis Rezende de Jesus**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **dezoito de setembro de dois mil e vinte**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Ana Rita Pereira, Professora do Magistério Superior**, em 24/09/2020, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denis Rezende De Jesus, Professor do Magistério Superior**, em 24/09/2020, às 20:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adellane Araujo Sousa, Usuário Externo**, em 04/11/2020, às 15:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Sérgio De Souza, Professor do Magistério Superior**, em 05/11/2020, às 13:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1574141** e o código CRC **2F511B09**.

Referência: Processo nº 23070.039630/2020-06

SEI nº 1574141

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Denis Rezende de Jesus, que demonstrou paciência, dedicação e clareza ao longo das atividades, sempre com atitudes incentivadoras, que foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa. Também agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Sérgio de Souza por ter me orientado, com grande empenho, no início do desenvolvimento deste trabalho e aos demais professores do curso, pela convivência, ensinamentos e experiências compartilhadas.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia e aos meus superiores imediatos por me apoiarem, institucionalmente, me permitindo total dedicação a este desafio. Também agradeço a todos os profissionais da Escola Estadual Jerônimo Arantes, que colaboraram para o desenvolvimento das atividades pedagógicas aqui propostas. Aos alunos do terceiro ano Regular e do terceiro ano EJA do ensino médio Noturno, da Turma de 2019, pela dedicação e empenho, contribuindo para o êxito alcançado.

Presto profundo agradecimento aos meus pais, Manoel Geraldo de Moura e Dolercira Abreu de Moura, *in memoriam*, que me conduziram nos meus primeiros passos na senda do saber.

Aos meus filhos Aline Alves de Moura, Gislene Alves de Moura e Éder Alves de Moura, que sempre estiveram ao meu lado e me incentivaram e auxiliaram em meus estudos. Aos meus irmãos e sobrinhos, especialmente ao meu irmão, José Armando de Moura e minha cunhada Denneire Brucinéia de Moura, com seus filhos e noras, que me acolheram na cidade de Catalão e permitiram que eu chegasse ao final desta jornada.

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo apoio e promoção do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

“O teste de todo conhecimento é o experimento. Ele é o único juiz da ‘verdade’ científica”. *Richard Feynman.*

RESUMO

O ensino de física necessita lidar com um cenário contrastante em que novas tecnologias de comunicação e acesso à informação estão se tornando cada vez mais comuns, mas o ambiente escolar ainda se mantém em bases conteudistas e em um modelo rígido de sala de aula, centrada no professor. Durante o período em que fui professor em um curso técnico profissionalizante de eletroeletrônica, de 2010 a 2014, percebi que as atividades práticas na escola técnica tendem a motivar e despertar mais interesse dos alunos, mesmo para assuntos complexos. Por esse motivo, este trabalho objetivou desenvolver uma abordagem semelhante nas aulas de física para o ensino médio em uma escola pública, propiciando um aprendizado dinâmico para os alunos. A atividade proposta consistiu na montagem em sala de aula de um sensor de batimentos cardíacos, construído com materiais de baixo custo e que, por meio de uma metodologia de ensino ativa com atividades práticas, permitiu desenvolver parte do conteúdo de eletricidade estudado no terceiro ano do ensino médio. A proposta foi aplicada em duas turmas de uma instituição de ensino médio da rede pública da cidade de Uberlândia – MG, uma turma do ensino regular e outra do Ensino de Jovens Adultos (EJA). Nas atividades práticas foi possível explorar a interdisciplinaridade, abordando: a eletricidade e a eletrônica, luz, a fisiologia humana e noções de programação de computadores. Ao longo da aplicação, foi observada uma melhora na participação dos alunos durante todo o processo de construção do equipamento, um aumento relativo quanto ao interesse sobre a conformidade dos conceitos teóricos com a prática e, em consequência, uma melhor fixação da matéria. Apesar do pequeno conjunto amostral, destacamos os resultados positivos, indicando a possibilidade de aplicação de abordagens semelhantes em outros cenários.

Palavras-chave: ensino de física, eletricidade, aprendizagem ativa, interdisciplinaridade, pulsos cardíacos.

ABSTRACT

Physics education needs to deal with a contrasting scenario in which new technologies of communication and access to information are becoming increasingly accessible, but the school environment is still maintained on content bases and in a rigid classroom model, centered on the teacher. Acting as a teacher in a professional technical course in electronics, from 2010 to 2014, I realized that practical activities tend to motivate and to increase the students' interest, even for complex subjects. For this reason, this work aimed to develop a similar approach in physics classes for high school in a public school, providing a dynamic learning for students. The proposed activity consisted of assembling a heartbeat sensor in the classroom, constructed with low-cost materials that, through an active teaching methodology with practical activities, allowed to develop part of the electricity program content studied in the third year of high school program. The proposal was applied in two classes of a public high school institution in the city of Uberlândia - MG, one class from regular education and the other from Young Adult Education (EJA). In practical activities it was possible to explore interdisciplinarity, addressing: electricity and electronics, light, human physiology and notions of computer programming. During the application, it was observed an improvement in the participation of students throughout the process of construction of the equipment, a relative increase in the interest about the conformity between theoretical concepts and practical results and, consequently, better fixation of the subject. Despite the small sample set, we highlight the positive results, indicating the possibility of applying similar approaches in other scenarios.

Key-words: physics teaching, electricity, active learning, interdisciplinarity, cardiac pulses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Modelo de Bohr do átomo de hidrogênio e de hélio	28
Figura 3.2 – Movimentação de cargas entre duas seções retas de um condutor uniforme, submetido à uma diferença de potencial	29
Figura 3.3 – Representação da corrente elétrica (sentido convencional e real) passando por um circuito resistivo	30
Figura 3.4 – Exemplificação do funcionamento de um capacitor conectado à um circuito	31
Figura 3.5 – Lista de símbolos utilizados na representação esquemática de circuitos elétricos	31
Figura 3.6 – Diagrama esquemático de um circuito composto por uma fonte de tensão e uma resistência elétrica	32
Figura 3.7 – Associação de resistores em série	32
Figura 3.8 – Associação de resistores em paralelo	33
Figura 3.9 – Método de obtenção dos valores de resistência pelo código de cores para resistores comerciais de quatro e cinco cores.....	33
Figura 3.10 – Associação de capacitores em série	34
Figura 3.11 – Associação de capacitores em paralelo	34
Figura 3.12 – Associação de fontes de tensão em série	34
Figura 3.13 – Modelo atômico dos átomos de: (a) silício e (b) germânio	35
Figura 3.14 – Bandas de condução e valência de um isolante, semicondutor e condutor	36
Figura 3.15 – Estrutura atômica após a dopagem com impurezas: (a) pentavalentes e (b) trivalentes	37
Figura 3.16 – Representação da região de depleção de um diodo. (a) Disposição física da junção p-n; (b) Módulo do campo elétrico interno ao longo do eixo longitudinal x; (c) Diferença de potencial elétrico ΔV ao longo do eixo longitudinal x	38
Figura 3.17 – Características de um diodo. (a) Estrutura construtiva do diodo; (b) Representação esquemática e equivalência com os materiais.....	39
Figura 3.18 – Exemplos de LEDs e fotodiodos e suas simbologias	40
Figura 3.19 – Representação da configuração dos transístores: (a) pnp e (b)	

npn.	40
Figura 3.20 – Esquema de operação do transistor. (a) Modelo npn; (b) Modelo pnp.....	41
Figura 3.21 – Simbologia e circuito diferencial do amp-op.....	42
Figura 3.22 – Amp-op configurado como amplificador inversor.....	42
Figura 3.23 – Amp-op configurado como amplificador não-inversor	43
Figura 3.24 – Pinagem do microcontrolador Atmega328.	43
Figura 3.25 – <i>Pinout</i> do Arduino Uno R3.	44
Figura 3.26 – Código Arduino utilizado para a captura de dados.	45
Figura 3.27 – Monitor gráfico do ambiente de programação do Arduino, com a janela de programação, à esquerda, e a janela de exibição de gráficos, à direita.	46
Figura 3.28 – Representação do espectro eletromagnético.	47
Figura 3.29 – Esquema de circulação das duas bombas cardíacas.....	48
Figura 3.30 – Estrutura do coração e fluxo de sangue pelas câmaras e valvas cardíacas.....	49
Figura 3.31 – Pressão ao longo do sistema circulatório	50
Figura 3.32 – Representação do fluxo de um fluido por meio de um tubo cilíndrico sob uma diferença de pressão	51
Figura 3.33 – Diagrama de funcionamento geral do sistema	51
Figura 3.34 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos modelo	52
Figura 3.35 – Diagrama esquemático do circuito identificador de pulsos cardíacos final	53
Figura 3.36 – Protótipo de componentes montado e soldado em uma placa de fenolite perfurada	55
Figura 5.1 – Diagrama da distribuição de resistências ao longo das derivações de um resistor (simulando circuito série).....	71
Figura 5.2 – Medição da distribuição de tensão ao longo do resistor (simulando circuito série)	73
Figura 5.3 – Medição da capacitância equivalente da associação em série de dois capacitores	75
Figura 5.4 – Diagrama esquemático da associação série de dois capacitores,	

ligados à uma fonte de tensão contínua.....	76
Figura 5.5 – Medição da distribuição de tensão da associação de capacitores em série	77
Figura 5.6 – Ilustração dos componentes eletrônicos utilizados na montagem do sensor de pulsos	79
Figura 5.7 – Esquema de ligação das trilhas de um <i>proto-board</i> , identificado pelos traços amarelos e verdes.....	79
Figura 5.8 – Circuito condicionador de sinal montado no <i>proto-board</i>	80
Figura 5.9 – Teste de funcionamento com osciloscópio da parte analógica do circuito	81
Figura 5.10 – Aparato de suporte desenvolvido para apoio do dedo no processo de medição	82
Figura 5.11 – Sinal dos batimentos digitalizados.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Relação de grandezas físicas no SI.....	26
Tabela 3.2 – Prefixos dos múltiplos de grandezas físicas	27
Tabela 4.1 – Programa de atividades propostas para a aplicação	59
Tabela 5.1 – Submúltiplos de unidade de medida, em potência de dez	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contexto e motivação	15
1.2. Escopo	17
1.3. Objetivos.....	17
1.4. Organização do trabalho	18
2. FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA	19
2.1. Aprendizagem ativa e experimentação	19
2.2. Interdisciplinaridade e ensino.....	20
2.3. A tecnologia como recurso didático	21
2.4. Propostas didáticas explorando a prática no ensino	25
3. FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA, ELETRÔNICA, COMPUTACIONAL E BIOLÓGICA DO EXPERIMENTO	26
3.1. Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade.....	26
3.2. Eletricidade.....	27
3.3. Eletrodinâmica e teoria de circuitos.....	28
3.4. Dispositivos eletrônicos semicondutores	35
3.4.1. Os transistores de junção bipolar	40
3.4.2. Amplificadores operacionais.....	41
3.5. O Arduino.....	43
3.6. A luz e o espectro eletromagnético	46
3.7. O sistema circulatório humano.....	47
3.8. Descrição de funcionamento do circuito sensor de pulsos cardíacos	51

4. METODOLOGIA	56
4.1. Descrição Geral	56
4.2. Planos de Aula	58
5. RELATO DAS ATIVIDADES NA SALA DE AULA	68
5.1. Aplicação das Aulas	68
5.1.1. Aula 01 – Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade.	68
5.1.2. Aula 02 – Leis de Ohm, associação de resistências e código de cores	70
5.1.3. Aula 03 – Estudo dos capacitores	74
5.1.4. Aula 04 – Estudo preparatório para montagens de circuitos	77
5.1.5. Aula 05 – Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos	79
5.1.6. Aula 06 – Finalização da montagem, teste de funcionamento e integração de conhecimentos	80
5.1.7. Aula 07 – Conclusão do trabalho, avaliação arguitiva e síntese dos conceitos	83
6. CONCLUSÃO	85
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS ALUNOS	91
ANEXO B - PRODUTO EDUCACIONAL.....	93

1. INTRODUÇÃO

Atuando como professor há alguns anos na disciplina de Física, presencio o desinteresse e a resistência dos alunos quanto a uma efetiva participação às aulas, comprometendo assim a qualidade da aprendizagem. Esses problemas são devido a diversos fatores, tais como a falta de formação continuada dos professores, a carga horária destinada à disciplina de física insuficiente, uma formação matemática deficiente e dificuldade de leitura e interpretação de texto. Entretanto, para este estudo, destaco a existência de um modelo de ensino em que prevalece a necessidade de preparar os jovens para provas de seleção em cursos técnicos ou faculdades, caracterizado pela memorização irreflexiva de fórmulas e procedimentos de resolução de exercícios. Neste cenário, este trabalho tem o propósito de apresentar uma metodologia ativa e interdisciplinar, propiciando o desenvolvimento cognitivo e despertando a curiosidade e habilidades nos alunos, ao desenvolver um sistema de identificação da pulsação dos batimentos cardíacos, utilizando um circuito eletrônico de baixo custo.

O restante desse capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 1.1 contextualiza o problema e apresenta os elementos essenciais que motivaram o desenvolvimento deste trabalho; a Seção 1.2 delimita a proposta; a Seção 1.3 apresenta os objetivos almejados; e a Seção 1.4 descreve a organização do restante desse trabalho.

1.1. Contexto e motivação

A física como ciência faz parte de muitos avanços tecnológicos, não obstante, estuda e procura desvendar os enigmas que permeiam o universo. Através dela o homem percorreu um longo, difícil e desafiador desenvolvimento em sua trajetória evolutiva. E constitui-se como resultado da curiosidade e inventividade humana. Entretanto, na sala de aula, ela toma um aspecto oposto a esse, por apresentar-se como um produto acabado e que explora, em grande parte, apenas os aspectos matemáticos que lhe constitui.

Lecionando a princípio em uma escola particular, de cursos voltados a profissionalização e preparação de jovens e adultos para o mercado de trabalho e nos

últimos anos em escolas públicas do ensino médio, conferi experiências e vivências que me incentivaram a transportar para as escolas do ensino médio não técnico, uma forma de ensino baseada na experimentação. Cada instituição possui suas particularidades e seus fins, no entanto, é possível adotar recursos e métodos que proporcione uma forma mais atrativa nas aulas de física no ensino médio das escolas da rede pública sem afetar a questão curricular. Nas escolas em que lecionei, pude perceber que independentemente da sua origem e estrutura, existem dificuldades comuns entre os alunos. Dentre elas, destaca-se a dificuldade e o desinteresse, quando o entendimento dos conceitos teóricos requer a aplicação sistemática da matemática na demonstração dos fenômenos físicos, apartada de recursos pedagógicos utilizando experimentos. Em outra situação, percebemos um maior engajamento por parte dos alunos, quando os assuntos envolvem problemas ligados à vida prática e ao cotidiano ou que faça parte do interesse imediato deles.

Os alunos das escolas técnicas enfrentam dificuldades muito próximas dos alunos do ensino médio, não técnico. Quando os primeiros estão diante dos conceitos teóricos, por vezes, manifestam um enjeitamento ao que está sendo ministrado. Isso ocorre com frequência e diante da situação, muitas vezes, o professor lança mão dos exemplos de aplicação das vertentes teóricas no exercício da profissão com a finalidade de incentivar o interesse e despertá-los para a curiosidade. Já nas escolas públicas, essa mesma experiência fica mais limitada diante dos objetivos a serem alcançados conforme anteriormente comentado com propósitos de preparação dos alunos para futuras provas seletivas sem uma efetiva proposta pedagógica. Nas aulas de laboratório do curso técnico de eletroeletrônica, identifiquei um maior envolvimento dos alunos quando estavam nas aulas práticas. Nestas, antes das práticas, eles teriam que estar cercados do embasamento teórico sobre os princípios básicos de funcionamento do aparato que eles tinham que construir e colocar em operação. Tal prática exigia a necessidade do entendimento de certos conceitos e que levava a sedimentação dos mesmos através da experiência. Nesse ambiente experimental, nota-se que os alunos tendem a expor de forma dedutiva e com considerável desenvoltura o raciocínio teórico daquilo que está sendo executado. É isso que efetivamente torna o processo do ensinar-aprender conciso, efetivo e mais completo do que o modelo tradicional.

Outra questão é que, também, nota-se um maior interesse dos alunos quando

esses conseguem explicar algum fenômeno do cotidiano, por meio dos conceitos apresentados em sala de aula. Em geral, é percebido que o senso de utilidade do que é aprendido torna os conteúdos apresentados mais atrativos para os estudantes.

1.2. Escopo

Este trabalho consiste na elaboração de um dispositivo sensor de batimentos cardíacos, usando para tal, um circuito eletrônico para captação não invasiva de sinais do coração e com o uso de um microcontrolador Arduino, no processamento do sinal analógico em digital, para a reprodução destes na tela de um computador na forma de gráfico. Nele, serão explorados teorias e conceitos de eletrodinâmica vistos no ensino de física no terceiro ano do ensino médio, e ainda, dentro da proposta, o professor poderá trabalhar a questão das interdisciplinaridades, com a explicação do sistema circulatório, área da biologia, que está associado com as pulsações a serem detectadas pelos sensores ópticos, sendo estes, outra área da física, também a ser explorada. O estágio responsável pelo tratamento e transformação dos pulsos em gráfico, será realizado pelo Arduino, área de conhecimento ligada a tecnologia e informática que poderá ser explorada como conhecimento complementar.

O dispositivo foi pensado para ser desenvolvido e aplicado levando em conta a viabilidade econômica, limitações de estruturas laboratoriais e de espaço, instrumentos e outros fatores que são comuns nas instituições públicas de ensino. Por isso, foi desenvolvido um aparelho compacto, simples, de fácil funcionamento, manuseio e aplicação.

A proposta conta com elementos de interdisciplinaridade que podem ser explorados em um nível mais ou menos aprofundado, a critério do professor. O trabalho utiliza da tecnologia da experimentação para implementar uma metodologia de aprendizagem ativa para os estudantes do terceiro ano do ensino médio noturno da rede pública, aplicado na Escola Estadual Jerônimo Arantes, de Uberlândia, Minas Gerais, abordando alguns conceitos diretos de eletrodinâmica como também, luz, biologia e tecnologia.

1.3. Objetivos

Diante do exposto, os objetivos gerais deste método são:

- Apresentar os conceitos de eletricidade em nível compatível ao exigido no ensino médio;
- Utilizar da tecnologia, tais como componentes eletrônicos e de informática de baixo custo, como recurso didático para o entendimento do conteúdo programático;
- Estender os conceitos básicos de eletricidade para a compreensão de fenômenos do corpo humano, visando capturar a dimensão da interdisciplinaridade;
- Avaliar a efetividade da atividade como forma de despertar o interesse para o estudo e o entendimento do tema.

1.4. Organização do trabalho

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 2 explora os fundamentos pedagógicos e os processos de aprendizagem considerados para este trabalho;
- No Capítulo 3 são apresentados os fundamentos teóricos da física, eletrônica, conceitos de computação e da biologia que servem para descrever o funcionamento do sensor de pulsos cardíacos desenvolvido;
- O Capítulo 4 descreve os procedimentos metodológicos de desenvolvimento desta proposta, apresentando os planos de aula preparados para a aplicação das aulas;
- Temos no Capítulo 5 o detalhamento da experiência de aplicação do trabalho proposto em sala. Ele apresenta uma análise da experiência e das percepções sobre a vivência em sala de aula;
- Já o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e uma proposição para ações futuras.
- Por último, os anexos complementam o corpo do trabalho desenvolvido, apresentando um questionário e o produto educacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA

Este capítulo contextualiza e explora o problema de ensino e aprendizagem do ponto de vista teórico, onde: a Seção 2.1 apresenta a metodologia de aprendizagem ativa, seus benefícios e sua interface com a experimentação; a Seção 2.2 elucida sobre a importância da interdisciplinaridade no processo de aprendizagem; a Seção 2.3 destaca questões do uso da tecnologia como ferramenta para o ensino; e a Seção 2.4 finaliza o capítulo, apresentando trabalhos que contribuam com um ou mais aspectos desenvolvidos nesta proposta.

2.1. Aprendizagem ativa e experimentação

Prince (2004) define que a aprendizagem ativa (*Active Learning*) pode ser qualquer método que engaje o aluno no processo de aprendizagem, destacando que há a necessidade de participação dos alunos de forma ativa em tarefas que promovam a reflexão dos processos em que estes estão envolvidos.

Alternativamente, são associadas ao processo de aprendizado ativo as metodologias (PRINCE, 2004): aprendizado colaborativo (*Collaborative Learning*); e aprendizado baseado em problemas (*Problem Based Learning*). Cada uma dessas abordagens enfatiza um aspecto diferente desta mudança de paradigma, entretanto, estas não são mutuamente exclusivas. O aprendizado ativo é inclusivo por essência e portanto, comporta mecanismos diferentes, que tenham por base o papel ativo do estudante e propicia a extensão dos conceitos para o mundo extraclasse. Tal abordagem conta com a criatividade do professor na elaboração das atividades.

Esta abordagem contrasta com o modelo tradicional, em que o professor apresenta de forma expositiva o conteúdo, separado em disciplinas de escopo delimitado e de forma isolada. No modelo tradicional, cabe aos alunos abstrair os assuntos, sem direito a intervenções no processo de ensino aprendizagem e a estabelecer a conexão entre áreas distintas.

Por instigar a curiosidade, o uso de experimentos como auxílio no processo de ensino/aprendizagem tem sido longamente investigado (GIORDAN, 1999; GIANI, 2010; TAHA et. Al., 2016). Araújo e Abib (2003) apresentam uma extensa análise dessa estratégia, por meio da verificação de publicações entre 1992 e 2001 na Revista Brasileira de Ensino de Física, sobre o tema. Nesse trabalho, os autores notam que

diversas abordagens foram adotadas. Os trabalhos variam da simples observação até atividades mais autônomas para os estudantes, em que são privilegiados materiais de baixo custo. A abordagem matemática, com avaliações numéricas de eventos físicos, também pode contribuir com a validação da parte teórica. Estes concluem que as situações geradoras de conflitos cognitivos são uma alavanca para facilitar o aprendizado. Já Pereira e Moreira (2017) ressaltam a importância da atividade experimental, em suas diferentes modalidades, como forma de promover o envolvimento do corpo discente nas aulas.

2.2. Interdisciplinaridade e ensino

Outra dimensão do processo de ensino e aprendizagem diz sobre a ligação dos temas que são ensinados de forma independente com outras áreas do conhecimento, que dele necessitam ou fazem fronteira. A forma Cartesiana de separar os assuntos em componentes isolados facilita, por um lado, a organização do conhecimento humano, mas, por outro lado, dificulta a generalização das informações. Em um ambiente escolar, cada professor (a) dispõe de tempo limitado para a aplicação de um conteúdo, geralmente, pré-determinado. Soma-se a isso o isolamento entre os próprios professores, que possuem turmas diferentes, em escolas diferentes, e muitas vezes, de forma temporária. E nesse cenário, a coordenação entre os possíveis atores da formação escolar para a construção de um conhecimento integrativo e universal sofre e encontra várias barreiras (CARLOS, 2007).

Pombo (2008) argumenta sobre o desgaste e o uso indiscriminado do termo interdisciplinaridade. A autora avalia a origem e o uso desta terminologia sobre diversos aspectos, em que, sob outras possíveis óticas, descreve:

“De acordo, por exemplo, com Gusdorf, Bobossov (1978) ou Da Matta (1991), a interdisciplinaridade é pensada enquanto programa antropológico no qual o ser humano se revela como ‘lugar privilegiado de ponto de partida e de ponto de chegada de todas as formas do conhecimento’ (Gusdorf, 1986: 31), isto é, fonte absoluta de todas as ciências e, simultaneamente, pólo unificador no qual, todas elas, encontram o seu sentido. Por outras palavras, todas as ciências são ciências humanas. Forma inversa de fundamentar a interdisciplinaridade, que poderíamos designar de realista, passaria por argumentar que, em última análise, as várias ciências têm o mesmo *objecto*. Não seria agora o facto de o sujeito da ciência ser sempre o mesmo que

poderia fundamentar a interdisciplinaridade mas, inversamente, o *facto* de todas as ciências se referirem a um mesmo *objecto*, visarem uma mesma realidade. É, por exemplo, o que defende Piaget quando considera que um dos fundamentos da interdisciplinaridade deve ser procurado na unidade e complexidade do próprio *objecto* da ciência (cf. Piaget, 1971:539)". (POMBO, 2008)

Sob tais preceitos, se reafirma a natureza global do conhecimento, contrastando com sua apresentação compartimentada. Esta nova modalidade pode ser resumida do ponto de vista prático como:

“Um outro tipo de tentativa de fundamentação da interdisciplinaridade, que designaremos por programa metodológico, tem a ver com a capacidade da interdisciplinaridade para se constituir como mecanismo de regulação da emergência das novas disciplinas e dos discursos plurais que as constituem.”. (POMBO, 2008)

Mozena e Ostermann (2014) destacam que mesmo a legislação vigente, por meio das Diretrizes Curriculares Nacional, apresentando indicações para uma reserva de até 20% da carga horária destinada ao desenvolvimento de abordagens transversais e interdisciplinares, entretanto, muitos problemas surgem da atual estrutura curricular e de fatores organizacionais das redes de ensino para sua implementação. As autoras apontam que mudanças mais profundas, tais como a reorganização do ensino em grandes áreas de concentração, ao invés do modelo de disciplinas isoladas, é um horizonte distante e que as práticas encontradas como relevantes representam um esforço isolado ou de pequenos grupos.

2.3.A tecnologia como recurso didático

A Física no Ensino Médio, segundo Xavier (2003), deve assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo onde se habita, logo é uma ciência que permite investigar os mistérios do mundo, compreender a natureza da matéria macro e microscopicamente. Espera-se, portanto, que no Ensino Médio, o ensino de Física contribua para a formação de uma cultura científica, que permita ao indivíduo a interpretação de fenômenos naturais que estão sempre em transformação.

Para o mesmo autor, se os alunos estão aptos a interagir com as tecnologias e conhecimentos físicos, compreenderá melhor o mundo a sua volta e conseqüentemente o universo em que está inserido. De forma desarticulada, o Ensino de Física vem sendo realizado mediante apresentação de conceitos, leis e fórmulas matemáticas, exercícios repetitivos que apenas estimulam a memorização e automatização.

De acordo com Xavier (2003), os alunos chegam ao Ensino Médio arredios e muitas vezes traumatizados com o Ensino de Física. Muitos têm em mente esta disciplina como algo impossível de se aprender e sem noção que a Física é uma ciência experimental e de grande aplicação no dia-a-dia.

Na perspectiva de Souza (2002), existem muitos professores que estão dando mais ênfase aos vestibulares, como forma de mostrar a sua preocupação com o futuro do aluno. Esta tendência em direcionar o ensino de Física a resolução de problemas, que normalmente contém tão somente inúmeros cálculos, vem afastando muitos alunos das aulas, colocando o ensino de Física entre os mais complexos. Por isso, há a necessidade de inserir métodos que promovam o interesse dos alunos na aquisição destes conhecimentos, não somente para os propósitos acima citados, mas para serem usados como referência para a vida prática.

De acordo com Bonadiman (2005), a complexidade da Física, somada a pouca valorização do profissional, as condições precárias de trabalho do professor, qualidade dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, enfoque demasiado na chamada Física/Matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, a fragmentação dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, ao distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos e também a falta de conhecimentos básicos em leitura e interpretação de texto, são algumas questões que precisam ser solucionadas para que, o ensino de Física possa ocupar o lugar que merece no contexto global da educação.

Diante deste cenário, a proposta visa inserir a prática como mecanismo de atração e sustentação do interesse dos alunos em um viés de longo prazo e não somente para o fim do cumprimento das obrigações escolares.

Entretanto, o objetivo de apresentar uma abordagem prática, encontra dificuldades para ser implementada em escolas públicas do ensino médio devido a questões tais como, resistência a mudanças, falta de adotar e absorver novas práticas

de ensino e disponibilidade de recursos. Assim, a adoção de modelos possivelmente viáveis que contemplam essa última questão, é uma opção palpável dentro do processo. A busca pelo desenvolvimento de aparatos tecnológicos nas aulas, são incentivados atualmente e quanto ao processo de aprendizagem, existem correntes de educadores que defendem uma análise racionalista, abordando o conhecimento como um produto da razão pura e outros que defendem uma abordagem mais empirista. Em Gasque (2008) é possível perceber que o processo educacional tem privilegiado a abordagem mais abstrata das informações em detrimento da experimentação. O trecho que se destaca expõe de forma sucinta alguns aspectos desse embate:

“[...] a despeito da discussão crescente em torno da razão e da experiência, ainda parece predominar a racionalidade dicotômica, em que o homem tende a colocar as coisas em um pêndulo que oscila pelos extremos, tornando remota uma conexão de equilíbrio. Historicamente, a razão sobressaiu-se em detrimento da experiência, como se fosse possível desvinculá-las. Quando a humanidade perceber plenamente que a razão e o corpo estão inextricavelmente coligados a um meio físico por meio de interações sucessivas que permitem o conhecer e o dar-se conta de estar conhecendo, será possível uma mudança de mentalidade calcada em uma profunda ética planetária” (GASQUE, 2008)

Com isso, é preciso que se tenha a percepção da importância da experimentação como etapa preponderante no processo de capacitação verdadeira, onde, o objeto passa a integrar a visão de mundo do observador. Gasque (2008) ainda expõe que:

“A ideia do mundo constituído do ponto de vista experiencial rompe radicalmente com a independência do sujeito em relação ao ambiente e vice-versa, pois nem um nem outro preexistem à interação. [...] No processo de aprendizagem, quando os seres humanos se deparam com um problema, inicialmente buscam uma experiência análoga para se orientar e facilitar a aquisição do novo conhecimento. Este, por sua vez, inicia-se a partir das experiências passadas armazenadas na memória que oferece conhecimentos úteis, de onde se originam as ideias.” (GASQUE, 2008)

O mesmo mostra que a desconexão entre informação abstrata e a realidade objetiva aprisiona uma parte importante do processo de cognição e limita a potencialidade de aprendizado vivida no ambiente escolar.

Assim, por corroborar com a hipótese de que a experimentação é uma etapa fundamental na aprendizagem e às vezes é negligenciada, temos a crença de que a tecnologia em suas múltiplas vertentes (softwares, kits educacionais, ambientes de realidade aumentada etc), pode ser mais um recurso a ser incorporado aos espaços educacionais para suprir, ao menos parcialmente, a necessidade de incorporação dos aspectos práticos. Este trabalho objetiva analisar estratégias de incorporação ao ambiente de aprendizado e meios de experimentação utilizando os recursos tecnológicos acessíveis disponíveis ou elaborados.

E sobre esse ponto é relevante refletir sobre a importância dos sistemas de tecnologia e na forma como o mundo tem se modificado a partir da utilização desses recursos. Cupani (2004) apresenta uma abordagem interessante sobre uma dimensão integrada entre o objeto, a tecnologia, o seu utilizador e a Humanidade.

“O estudo filosófico da tecnologia é relativamente recente e diversificado, conforme diferentes orientações teóricas e suas correspondentes atitudes sociais. Apesar dessa heterogeneidade, ou precisamente graças a ela, a filosofia da tecnologia nos ajuda a reconhecer a tecnologia como dimensão da vida humana, e não apenas como um evento histórico.” (CUPANI, 2004)

Nesse trecho Cupani (2004) apresenta a perspectiva da tecnologia como “dimensão da vida humana”. Entretanto, uma avaliação mais pormenorizada dos múltiplos aspectos da tecnologia e sua influência é trabalho demasiado extenso para um só tema. Assim, esta proposta se restringirá sobre avaliação de como os recursos tecnológicos podem influenciar o processo educacional para melhor, mais precisamente, como as possibilidades de experimentação práticas proporcionam uma nova experiência de ensino e aprendizagem.

É importante compreender que as ferramentas de informática e os recursos eletrônicos, de um modo mais geral, possibilitam incrementar, não apenas a medida em que materiais de estudo e avaliações são oferecidos, mas, principalmente, a experiência na aprendizagem de dispositivos e recursos didáticos como vídeos, áudios e apresentações dinâmicas que de certa forma já estão sendo incorporados ao ambiente escolar. No entanto, um aspecto que ainda cabe um maior domínio e entendimento é a utilização de softwares computacionais ou sistemas eletrônicos para a experimentação de conteúdos através da simulação ou da utilização de kits didáticos ofertados ou construídos por alunos e assim, permitindo a visualização dos conceitos

teóricos em tempo real, provocando um maior amadurecimento no processo de aprendizagem.

2.4. Propostas didáticas explorando a prática no ensino

Nesta seção, citamos alguns trabalhos que buscam formas de facilitar o processo de ensino e aprendizagem para o ensino de física, na mesma linha desta proposta. Para tal, buscamos comportamentos e ações que ilustrem a utilização da tecnologia, da abordagem de ensino ativo, e da perspectiva interdisciplinar.

Moura (2015) utiliza materiais de baixo custo para permitir um método indireto de visualização das ondas sonoras, produzidas por meio da voz. Rodrigues (2015) expande os horizontes de ensino, por apresentar conceitos de semicondutores a alunos do ensino médio, utilizando lixo eletrônico, onde, são trazidos ao nível médio conceitos importantes para a compreensão do desenvolvimento tecnológico, tão importantes atualmente. Rodrigues (2017) desenvolveu uma maquete de experimentação voltada para os conceitos de calorimetria, que pode ser operada remotamente, nesse caso, o uso da tecnologia propicia o acesso de um equipamento a quem puder ter acesso à internet. Silva e Sales (2017) extraem da estratégia utilizada para a apreensão da atenção em jogos digitais, métodos para manter o interesse de estudantes. Essa restrita lista, elucida o esforço que está sendo empregado de forma pulverizada, mas muito importante, no desenvolvimento de ferramentas que tornem as aulas mais atrativas e mais eficientes.

Ressaltamos aqui a importância dos programas de mestrado profissional em ensino para a produção de materiais e divulgação de experiências que contribuam para uma melhora do processo de ensino e aprendizagem nessa área, pois incentivam a produção e divulgação de trabalhos nessa perspectiva, como fonte de inspiração e como roteiro para outros professores. Essa importância foi sendo evidenciada ao longo do processo de pesquisa que apurou grande número de trabalhos provindos desses programas. Retomando os apontamentos de Carlos (2007), apesar da legislação indicar para a utilização de metodologias que propiciem uma maior integração entre as áreas, ou formas alternativas às aulas expositivas, as condições de admissão e implementação ainda estão distantes.

3. FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA, ELETRÔNICA, COMPUTACIONAL E BIOLÓGICA DO EXPERIMENTO

Este capítulo trata dos fundamentos teóricos da física, da eletrônica, computacionais e biológicos envolvidos no planejamento e execução do experimento proposto. O capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 3.1 apresenta uma lista com as principais grandezas físicas utilizadas nesse trabalho, bem como os prefixos e os múltiplos destas; a Seção 3.2 descreve o fenômeno da eletricidade; a Seção 3.3 fundamenta os conceitos da eletrodinâmica e da teoria de circuitos elétricos; a Seção 3.4 apresenta o princípio de operação de dispositivos eletrônicos semicondutores com incluindo os transístores e amplificadores operacionais; a Seção 3.5 descreve, sucintamente, o funcionamento do Arduino; a Seção 3.6 apresenta algumas propriedades da luz e o espectro eletromagnético; a Seção 3.7 resume o funcionamento do sistema circulatório humano, necessário para o entendimento do experimento; e a Seção 3.8 apresenta os detalhes do desenvolvimento e funcionamento do sensor de pulsos cardíacos.

3.1. Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade

Em geral, este trabalho adotou o Sistema Internacional (SI) de unidades e medidas na representação das grandezas físicas. A Tabela 3.1 apresenta a lista das grandezas físicas mais utilizadas.

Tabela 3.1 – Relação de grandezas físicas no SI.

Unidade	Grandeza Física	Símbolo
segundo	Tempo	<i>s</i>
metro	Comprimento	<i>m</i>
Newton	Força	<i>N</i>
Coulomb	Carga elétrica	<i>C</i>
Volt	Tensão elétrica	<i>V</i>
Ampere	Corrente elétrica	<i>A</i>
Ohm	Resistência elétrica	Ω
Farad	Capacitância	<i>F</i>
Hertz	Frequência	<i>Hz</i>

As unidades serão apresentadas entre colchetes após os valores, como em 10 Volts, representado por 10 [V]. Além das unidades principais, também é necessário o

uso dos prefixos para a representação de grandezas muito pequenas ou muito grandes, também adotado no SI, como apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Prefixos dos múltiplos de grandezas físicas.

Prefixo	Potência	Símbolo
pico	10^{-12}	<i>p</i>
nano	10^{-9}	<i>n</i>
micro	10^{-6}	μ
mili	10^{-3}	<i>m</i>
centi	10^{-2}	<i>c</i>
deci	10^{-1}	<i>d</i>
quilo	10^3	<i>k</i>
mega	10^6	<i>M</i>
giga	10^9	<i>G</i>
tera	10^{12}	<i>T</i>

3.2. Eletricidade

Os fenômenos elétricos são percebidos pela humanidade desde sempre. A luminosidade do relâmpago ou os fenômenos da eletricidade estática são percebidos e estudados a muito tempo. Da Grécia antiga, onde a teoria de que a matéria seria constituída de elementos indivisíveis (átomos) foi cunhada, até os dias atuais, onde os fenômenos elétricos governam o modo de vida, muitas visões sobre esse fenômeno foram produzidas. Já no ano de 600 a.C. o filósofo grego Tales de Mileto percebe que o âmbar, uma resina fossilizada, quando atritada, consegue atrair outros materiais. Uma curiosidade interessante é notar que a palavra âmbar, em grego, é *elektron*, dando origem ao nome atribuído aos elétrons (BOYLESTAD, 2012, p. 3).

A teoria do posicionamento do elétron dentro da estrutura atômica também evoluiu, partindo do não entendimento sobre a existência de partículas atômicas carregadas, passando na visão postulada pela física clássica até o ponto da compreensão propiciada pela mecânica quântica.

A compreensão da estrutura atômica nos permite entender como a eletricidade se manifesta e através desse conhecimento podemos controlá-la e assim desenvolver dispositivos que funcione em nosso benefício. Temos como exemplos toda a família dos eletrodomésticos usados em nossas casas, máquinas nas indústrias, nos processos de automação e aparelhos usados em diagnósticos e tratamento de doenças em clínicas e hospitais como: tomógrafo, ressonância magnética e aparelhos de radioterapia etc.

Toda a matéria é constituída de átomos e estes são formados por três partículas: no núcleo temos os prótons, de carga elétrica adotada de sinal positivo, e os nêutrons, de carga elétrica nula; também temos o(s) elétron(s), de carga elétrica adotada negativa, orbitando o núcleo. A mecânica quântica apresenta o modelo mais preciso para descrever o átomo (EISBERG, RESNICK, 1979; GRIFFITHS, 2011), com a descrição probabilística do seu comportamento. Entretanto, para os fins a que se propõe esse estudo, os átomos podem ser representados pelo modelo de Bohr, que é composto de um núcleo formado por prótons (carga elétrica positiva) e nêutrons (sem carga elétrica), e por elétrons (carga elétrica negativa, formando a eletrosfera) em um movimento orbital, como ilustrado na Figura 3.1, representando os átomos de hidrogênio e hélio.

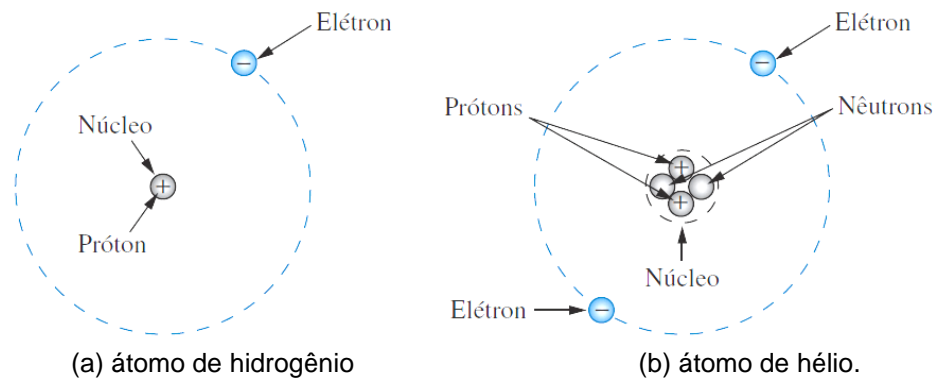


Figura 3.1 – Modelo de Bohr do átomo de hidrogênio e de hélio. Fonte: Boylestad (2012, pg. 23)

Cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinal contrário, se atraem. Como o núcleo do átomo possui carga elétrica positiva e o elétron possuem carga negativa, há uma força de atração entre esses dois elementos. Os elétrons mais próximos serão atraídos com maior intensidade pelo núcleo e os elétrons das camadas mais externas terão uma força de atração bem menor e assim terão maior facilidade para movimentarem em torno de núcleos de outros átomos.

3.3. Eletrodinâmica e teoria de circuitos

A eletrodinâmica trata de cargas elétricas em movimento, quando submetidas a um campo elétrico (ou uma diferença de potencial). Nessa situação, a matéria pode ser simplificada em três categorias: condutores, não condutores e semicondutores (SERWAY, 1992; DORF, SVOBODA, 2012; SADIKU, 2012).

Os materiais condutores permitem a movimentação dos elétrons de um átomo a outro. Já para os não condutores, essa movimentação só acontece, quando submetidas a campos elétricos muito fortes, e em condições normais, não permitem o trânsito de elétrons em sua estrutura. Os semicondutores comportam-se como materiais não-condutores em sua forma pura, mas podem se tornar condutores quando dopados com outros materiais, descrito na Seção 3.4.

Quando um material condutor é submetido à uma diferença de potencial, as cargas elétricas livres (os elétrons) sofrem um movimento ordenado, denominado de corrente elétrica. Esse fenômeno está ilustrado na Figura 3.2 para o caso de um material condutor uniforme, submetido à uma diferença de potencial.

A corrente elétrica é a medida que representa a quantidade de carga elétrica que passa sob uma seção transversal de um material, por unidade de tempo. Esta relação é determinada por:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}, \quad (3.1)$$

onde, Δq [C] é a quantidade de cargas que atravessa a seção em Coulombs, Δt [s] é o intervalo de tempo decorrido em segundos e I [A] é o valor da corrente elétrica em Amperes, onde $[A] \equiv [C/s]$.

A corrente pode ser adotada em dois sentidos opostos: o sentido convencional adota o movimento de cargas positivas, do maior para o menor potencial; o sentido real adota o movimento de cargas negativas, do menor para o maior potencial. Será adotado o sentido convencional de corrente nas representações gráficas, dado que nos sólidos, as cargas positivas não se movimentam para gerar corrente elétrica.

Na Figura 3.2, V representa a diferença de potencial entre dois pontos distintos, distanciados de um comprimento l , com elétrons livres representados por e . Nesse caso, a diferença de potencial resulta no deslocamento das cargas do ponto de menor potencial (à esquerda) para o ponto de maior potencial (à direita), gerando a corrente elétrica no sentido oposto I .

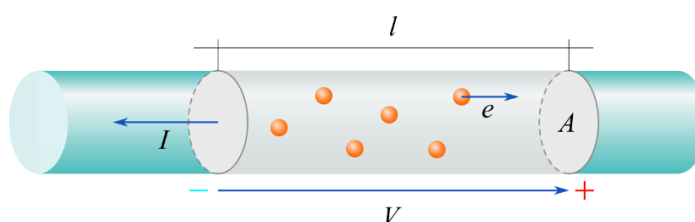


Figura 3.2 – Movimentação de cargas entre duas seções retas de um condutor uniforme, submetido à uma diferença de potencial. Fonte: o próprio autor (2020)

A corrente elétrica resultante da aplicação de tensão é determinada pela característica resistiva (ρ) do material. Essa relação é calculada pela Lei de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}, \quad (3.2)$$

em que R [Ω] representa o valor da resistência elétrica com unidade em Ohms, onde [Ω] \equiv [V/A], V [V] é a diferença de potencial aplicada ao circuito elétrico e I [A] é o valor corrente elétrica circulante.

A resistência elétrica de um material condutor pode ser definida por sua geometria. Para o condutor cilíndrico uniforme ilustrado na Figura 3.2, de comprimento l , com seção transversal de área A e material de resistividade ρ , sua resistência elétrica é dada por:

$$R = \rho \frac{l}{A}, \quad (3.3)$$

em que a resistividade ρ [$\Omega \cdot m$] é uma propriedade intrínseca de cada material (BOYLESTAD, 2012, p.52).

A Figura 3.3 sintetiza esses conceitos ao exemplificar a aplicação de uma tensão elétrica por uma bateria em um circuito composto por uma lâmpada elétrica e a fiação necessária para sua conexão com a bateria. Uma fonte de tensão elétrica com polarização em um único sentido é definida como fonte de Corrente Contínua (CC).

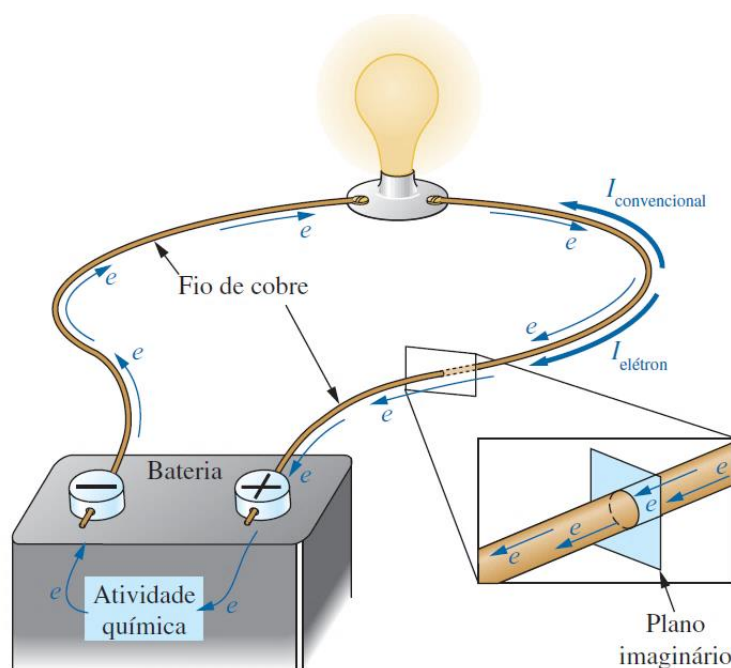


Figura 3.3 – Representação da corrente elétrica (sentido convencional e real) passando por um circuito resistivo. Fonte: Boylestad (2012, p.29).

O capacitor ilustrado na Figura 3.4 é um componente capaz de armazenar energia por meio de um campo elétrico e manifesta suas características quando está sob a variação de tensão.

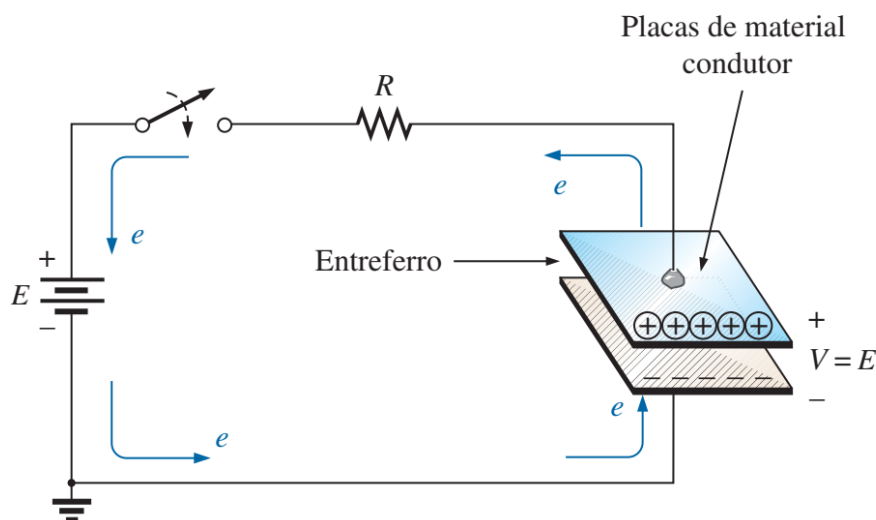


Figura 3.4 – Exemplificação do funcionamento de um capacitor conectado a um circuito. FONTE: Boylestad (2012, p. 336).

Um capacitor é caracterizado por sua capacitância, que é determinada por:

$$C = \frac{Q}{E}, \quad (3.4)$$

onde $C [F]$ representa a capacitância; $Q [C]$ é o total de carga acumulada; $E [V]$ é a tensão à que o componente está submetido (BOYLESTAD, 2012, p. 335).

A teoria de circuitos elétricos é utilizada por vários ramos da ciência teórica e aplicada. Com grande especificidade, ganhou linguagem própria e, para facilidade de entendimento, possui uma gama de diagramas que facilitam a sua representação em sistemas mais complexos. A Figura 3.5 apresenta uma lista selecionada de símbolos utilizados para representar os componentes de um circuito elétrico.

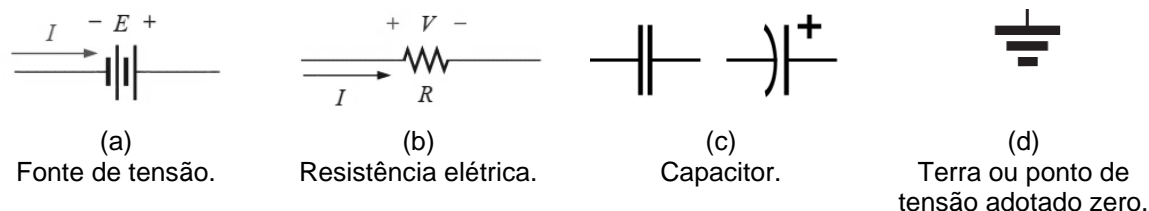


Figura 3.5 – Lista de símbolos utilizados na representação esquemática de circuitos elétricos. Fonte: o próprio autor (2020)

Assim, o circuito estabelecido na Figura 3.3 pode ser representado pelo diagrama da Figura 3.6.

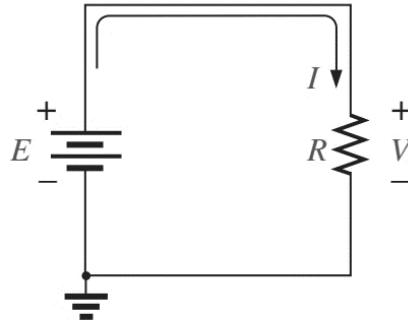


Figura 3.6 – Diagrama esquemático de um circuito composto por uma fonte de tensão e uma resistência elétrica. Fonte: Boylestad (2012, p. 85).

Para a análise de circuitos mais complexos que o apresentado na Figura 3.6, existem recursos teóricos que permitem a simplificação do problema de análise. O primeiro caso diz sobre a simplificação de circuitos resistivos.

A Figura 3.7 apresenta a associação de três resistores em série e R_T representa o resistor equivalente que pode substituir os mesmos, com o mesmo efeito para a operação do circuito. A resistência equivalente R_T de um ramo de circuito em série para N resistores é igual à soma dos valores individuais (BOYLESTAD, 2012, p. 113), determinado pela equação:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_N. \quad (3.5)$$

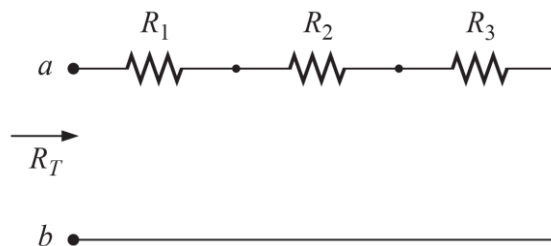


Figura 3.7 – Associação de resistores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 113).

Já para associação em paralelo, ilustrado na Figura 3.8, o inverso da resistência equivalente R_T é determinado pela soma dos inversos das resistências de cada ramo do circuito. Essa relação é expressa por:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}. \quad (3.6)$$

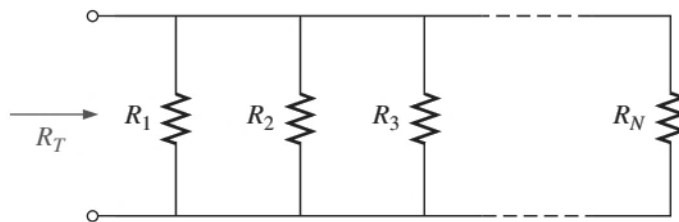


Figura 3.8 – Associação de resistores em paralelo. Fonte: Boylestad (2012, p. 160).

Os valores de resistores comerciais, utilizados em circuitos elétricos e eletrônicos, podem ser representados pelo padrão de cores impressos em seu corpo. A Figura 3.9 apresenta uma tabela de cores e seus respectivos valores e a forma de obtenção dos valores e precisão dos resistores, a partir delas.

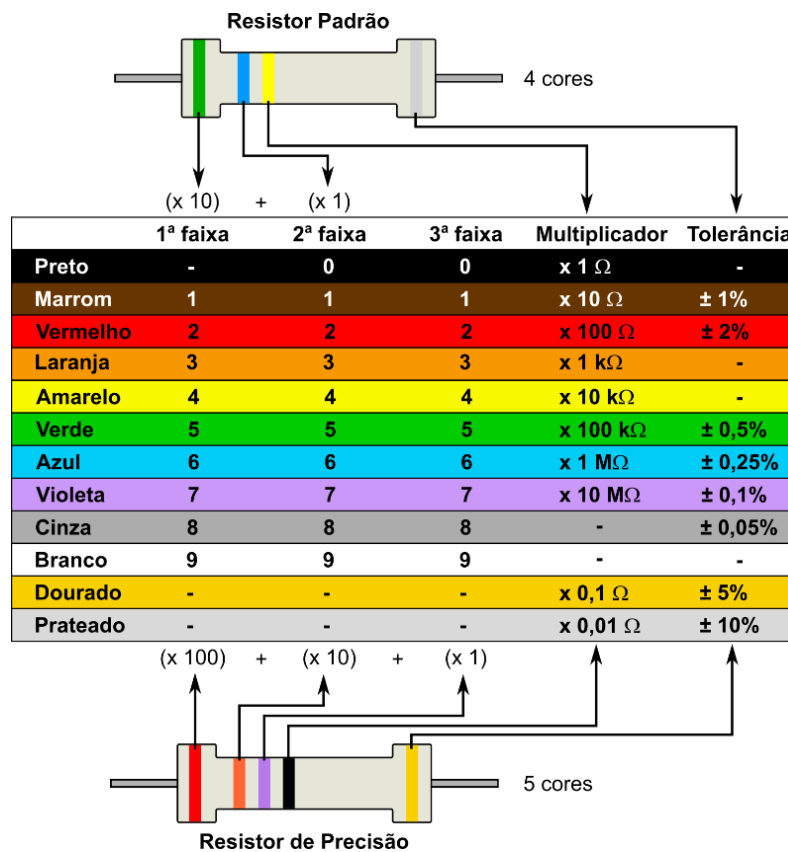


Figura 3.9 – Método de obtenção dos valores de resistência pelo código de cores para resistores comerciais de quatro e cinco cores. Fonte: o próprio autor (2020)

É possível também associar capacitores em série ou em paralelo. Para a associação série de N capacitores, como na Figura 3.10, os capacitores armazenam uma carga de mesmo valor e a capacitância equivalente é dada por:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}. \quad (3.7)$$

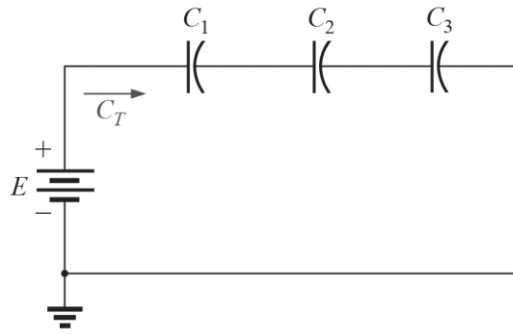


Figura 3.10 – Associação de capacitores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 366).

Para o caso da associação em paralelo, como na Figura 3.11, a capacitância equivalente para N capacitores é dada pela soma dos valores individuais de cada capacitor, expressada por:

$$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_N. \quad (3.8)$$

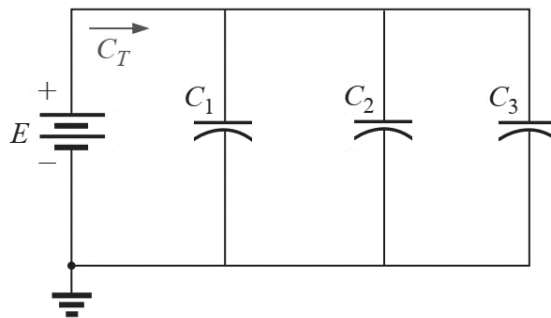


Figura 3.11 – Associação de capacitores em paralelo. Fonte: Boylestad (2012, p. 366).

A associação de fontes de tensão em série é utilizada para a obtenção de uma fonte com tensão mais elevada, como no caso ilustrado na Figura 3.12. Nesse caso, a tensão equivalente E_T é dada pela soma das tensões individuais, ou:

$$E_T = E_1 + E_2 + \dots + E_N. \quad (3.9)$$

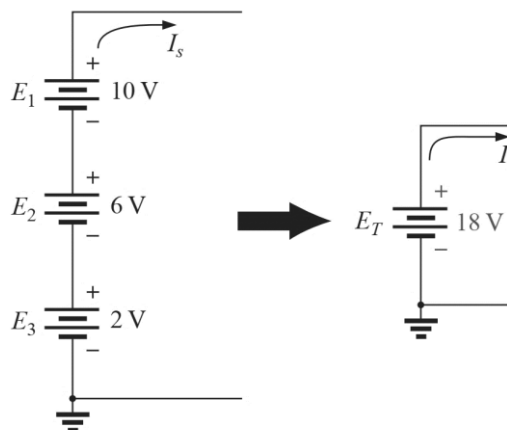


Figura 3.12 – Associação de fontes de tensão em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 121)

A associação de fontes de tensão em paralelo é adotada em casos onde a capacidade de fornecimento de corrente de uma fonte não é suficiente para o circuito, sendo que, nesse caso, as fontes devem possuir a mesma tensão nominal.

3.4. Dispositivos eletrônicos semicondutores

O desenvolvimento da eletrônica se deve muito aos materiais semicondutores que, sob configurações específicas, introduzem a capacidade de controle da passagem de corrente ou tensão em circuito por sistemas externos. Com isso, foi possível modificar o comportamento de um circuito para um fim desejado.

Os semicondutores são materiais que apresentam propriedades semelhantes aos condutores, sob determinadas circunstâncias e propriedades semelhantes aos isolantes sob outras circunstâncias. O silício, o germânio e o carbono são exemplos de átomos dessa classe. Um semicondutor possui uma resistividade elétrica intermediária entre a de um bom condutor e a de um bom isolante. A extraordinária importância dos semicondutores na eletrônica moderna decorre do fato de que suas propriedades elétricas são muito sensíveis a pequenas variações de impurezas (MELLO e BIASI, 1975).

Os elementos silício (Si) e germânio (Ge) são os mais utilizados na prática como base para a construção de dispositivos semicondutores. O silício e o germânio fazem parte do grupo IV da tabela periódica. Ambos possuem quatro elétrons na subcamada mais externa ($3s^23p^2$, para o Si, e $4s^24p^2$, para o Ge). A Figura 3.13 apresenta o modelo de Bohr dos átomos de silício e de germânio, onde, destaca-se que o átomo de silício possui 14 elétrons e o átomo de germânio possui 32 elétrons, sendo que em ambos os casos, existem 4 elétrons na camada de valência, denominados por tetravalentes.

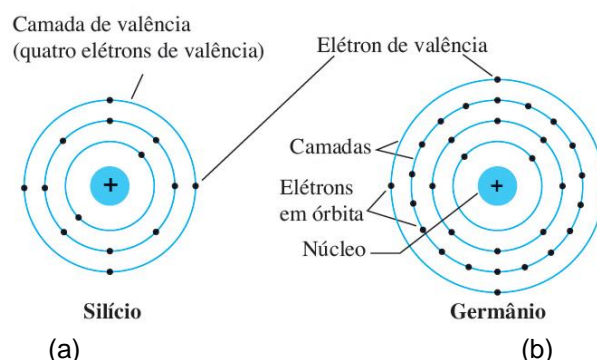


Figura 3.13 – Modelo atômico dos átomos de: (a) silício e (b) germânio. Fonte: Boylestad (2013, p. 3)

Em temperatura ambiente os elétrons não conseguem saltar da banda de valência preenchida para a banda de condução. Essa propriedade em temperaturas muito baixas, torna esses materiais isolantes; não existem estados vizinhos disponíveis para os quais seus elétrons possam se mover em reação a um campo elétrico aplicado.

Cada material apresenta sua própria característica de banda de valência, apresentando-se como uma identidade desse material. Os elétrons que orbitam as camadas mais externas são aqueles que dispõe de maior quantidade de energia. A movimentação entre as bandas de valência pelos elétrons depende do ganho ou perda de pacotes de energia. A quantidade de energia necessária para cada tipo de material determina sua característica de condutividade, como apresentado na Figura 3.14. Os condutores apresentam um requisito de pouca energia (E_g pequeno) para os elétrons se moverem para a banda de condução, já os isolantes apresentam um grande requisito energético (E_g grande) para os elétrons alcançarem a banda de condução. Desse fato decorre que sob certas condições, um isolante pode se tornar um material condutor, se fornecida a energia suficiente. Como exemplo prático, temos o ar que sob forte diferença de potencial se torna um condutor, efeito observado na ocorrência dos relâmpagos.

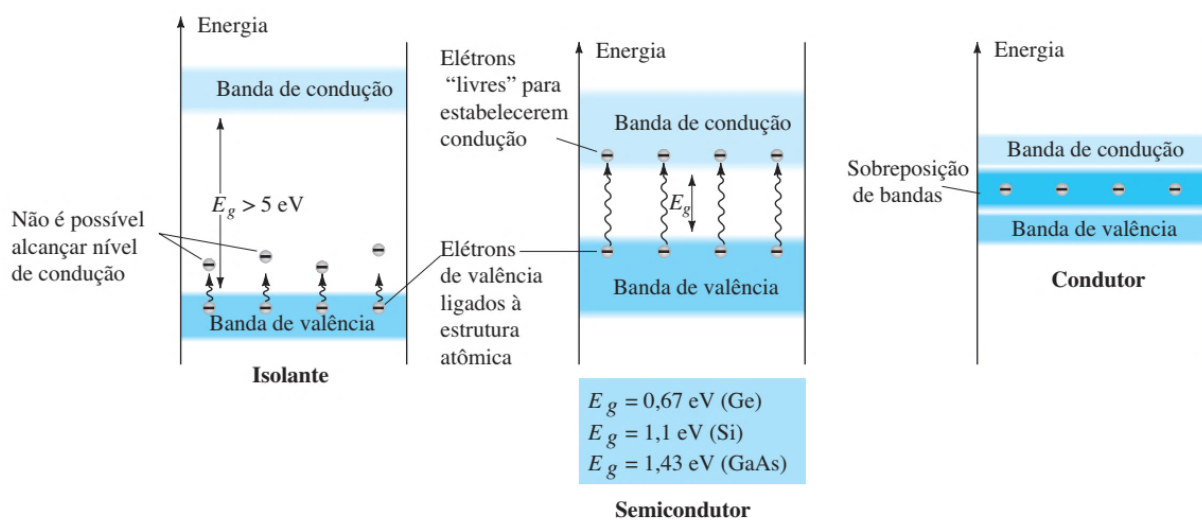


Figura 3.14 – Bandas de condução e valência de um isolante, semicondutor e condutor. Fonte: Boylestad (2013, p. 6)

Tendo por base que o silício é o material mais utilizado na fabricação de dispositivos eletrônicos, a discussão seguirá uma abordagem baseada nesse componente, entretanto, ela pode ser estendida para outros materiais

semicondutores. Geralmente, um semicondutor não é usado na sua forma pura, adiciona-se à sua rede cristalina materiais com características diferentes das suas para modificar o seu comportamento eletrônico. Esse processo é denominado dopagem e os materiais compõem-se, majoritariamente, de átomos pentavalentes ou trivalentes. Esses átomos são denominados de impurezas ou de materiais extrínsecos e são adicionados à proporção de 1 para 10 milhões. Essa nova rede forma duas classes de materiais: os do tipo- n , com a adição de impurezas trivalentes, e os do tipo- p , com a adição de impurezas pentavalentes. Essa diferença pode ser observada na Figura 3.15.

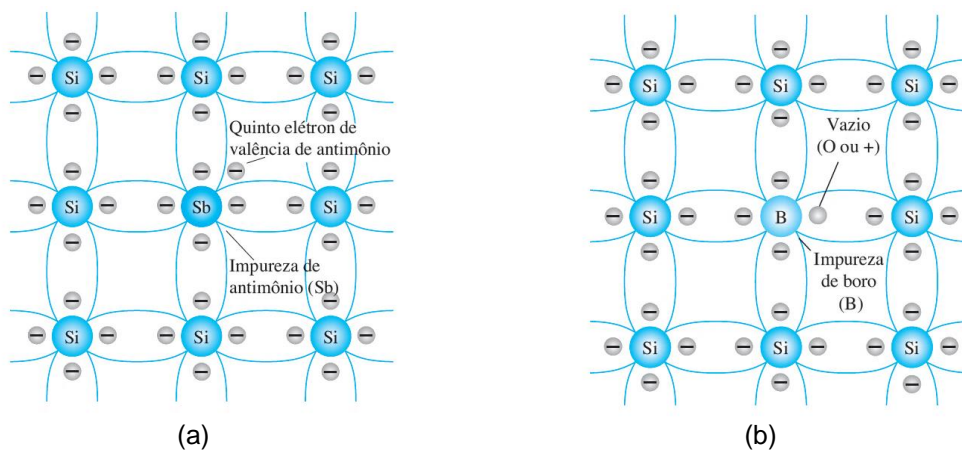


Figura 3.15 – Estrutura atômica após a dopagem com impurezas: (a) pentavalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 7); e (b) trivalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 10).

Os materiais do tipo- n apresentam um elétron a mais na rede cristalina pela presença de um material pentavalente e que se comporta como um elétron livre, ver Figura 3.15(a). Os materiais do tipo- p apresentam um espaço vazio, ou lacuna, na rede cristalina pela falta de um elétron da impureza trivalente que gera um efeito semelhante à uma carga positiva, ver Figura 3.15(b). A configuração adequada desses dois tipos de materiais permite criar diversos dispositivos eletrônicos, que permitem controlar o fluxo de tensão e/ou corrente em circuitos elétricos e, assim, modificar o comportamento do sistema para um fim desejado.

O diodo é formado pela junção de um material do tipo- n em interface com um material do tipo- p , que apresenta muitas aplicações práticas, sendo utilizado desde a construção de circuitos integrados até o acionamento de grandes motores. A interface entre os materiais do tipo p e do tipo n cria uma zona que se estende por vários micrômetros, de ambos os lados, chamada região de depleção. Nesta região, os elétrons móveis do material tipo n mais próximos da junção se difundem para o lado

do material tipo p e preenchem os buracos ali localizados. Esse movimento deixa no material tipo n íons positivos. Já os elétrons que se moveram para o material do tipo p , criam uma zona de cargas elétricas negativas, ver Figura 3.16(a). Como resultado dessa movimentação de cargas, um campo elétrico é criado na região de depleção, ver Figura 3.16(b), que, ao atingir o equilíbrio estático, resulta em uma diferença potencial interna ΔV_0 , ver Figura 3.16(c), impedindo mais difusões ao longo da interface (JEWETT JÚNIOR; SERWAY, 2012, p. 291). Essa região de depleção assume valores na faixa $\Delta V_0 = 0,7 [V]$ para diodos de silício e de $\Delta V_0 = 0,3 [V]$ para diodos de germânio (BOYLESTAD, 2013, p. 15).

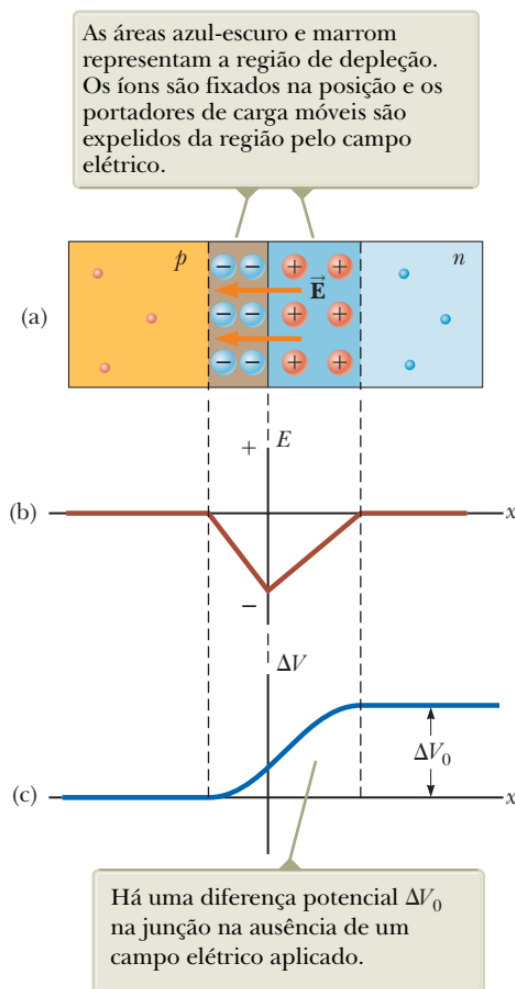


Figura 3.16 – Representação da região de depleção de um diodo. (a) Disposição física da junção p-n; (b) Módulo do campo elétrico interno ao longo do eixo longitudinal x ; (c) Diferença de potencial elétrico ΔV ao longo do eixo longitudinal x . Fonte: Jewett Júnior e Serway (2012, p. 291)

A Figura 3.17(a) reappresenta a estrutura do diodo e a Figura 3.17(b) sua representação gráfica, utilizada em diagramas esquemáticos de circuitos eletrônicos.

Como efeito prático, esse dispositivo só permite a condução de corrente elétrica em um sentido, impedindo o fluxo no sentido contrário.

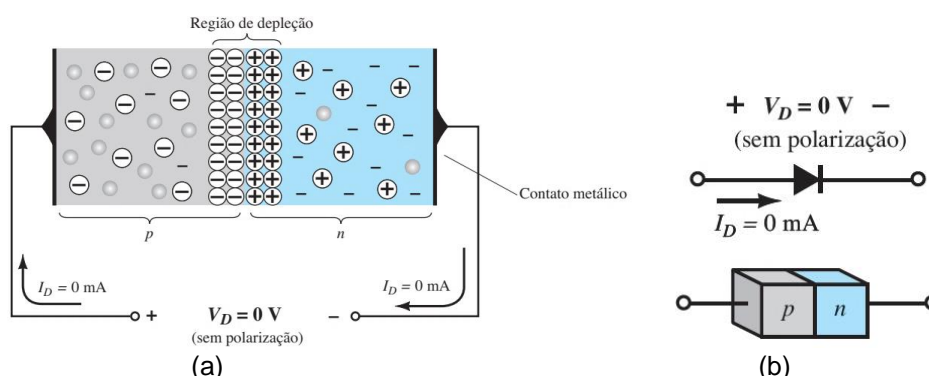


Figura 3.17 – Características de um diodo. (a) Estrutura construtiva do diodo; (b) Representação esquemática e equivalência com os materiais. Fonte: Boylestad (2013, p. 10).

O diodo pode ser configurado para diversas aplicações. O *Light-Emitting Diode* (LED) é um diodo projetado para aproveitar a emissão de energia luminosa em sua operação (BOYLESTAD, 2013, p. 6). A Figura 3.18(a) e (c) apresentam, respectivamente, exemplos desses dispositivos e sua simbologia. Quando devidamente polarizado, a passagem da corrente pela junção *p-n*, da banda *n* para a banda *p*, faz com que os elétrons se recombinem com as lacunas. Dado que os elétrons estão na banda de condução e as lacunas na banda de valência, o processo de recombinação gera uma liberação de energia e, com uma construção adequada, essa energia liberada na forma de fótons pode ser irradiada. Esse processo é denominado eletroluminescência (FLOYD, 2005, p. 130).

Os dispositivos LEDs, quando polarizados, apresentam uma queda de tensão constante, que varia de 1,2 V até 3,2 V. A luz emitida possui um pico de frequência que caracteriza sua cor. Nesse pico, o comprimento de onda é de 660 [nm] para a luz vermelha, 590 [nm] para a luz amarela, 540 [nm] para a luz verde, 460 [nm] para a luz azul e de 940 [nm] para a luz infravermelha (FLOYD, 2005, p. 131). Para mais detalhes sobre o espectro eletromagnético, veja a Seção 3.6 deste texto.

Já os fotodiodos, ou receptores de infravermelho, permitem medir a intensidade do sinal luminoso recebido, Figura 3.18(b) e (d). Nesse caso, a intensidade de sinal luminoso recebido pelo dispositivo influencia a resistência elétrica do mesmo, de forma inversamente proporcional. Um sinal mais intenso diminui a resistência e um sinal mais fraco aumenta a resistência. Essa relação permite modular um sinal eletrônico em função da intensidade de luz percebida.

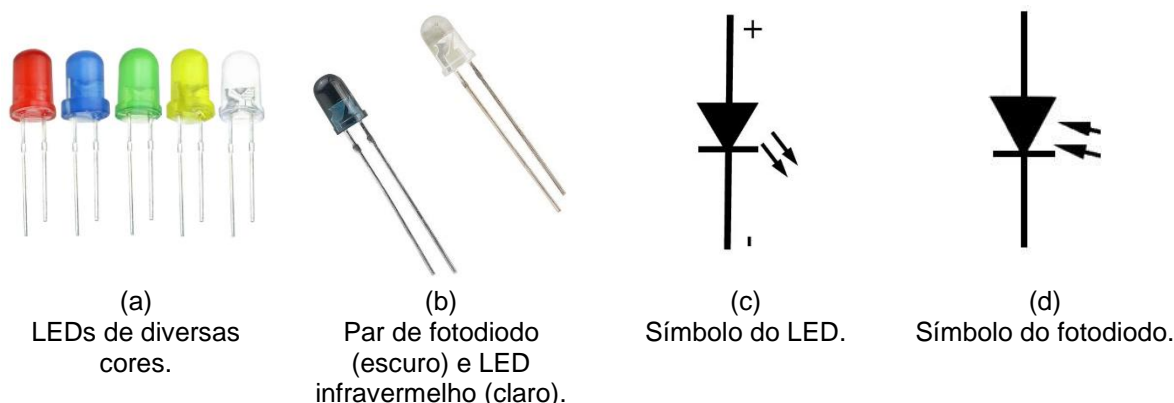


Figura 3.18 – Exemplos de LEDs e fotodiodos e suas simbologias. Fonte: o próprio autor (2020)

3.4.1. Os transistores de junção bipolar

Os transistores de junção bipolar (TJB) são dispositivos formados por três camadas de semicondutores e apresentam-se na configuração *pn*p ou *n*pn (FLOYD, 2005, p. 164; BOYLESTAD, 2015, p. 115). A Figura 3.19 apresenta a configuração construtiva dessas duas classes.

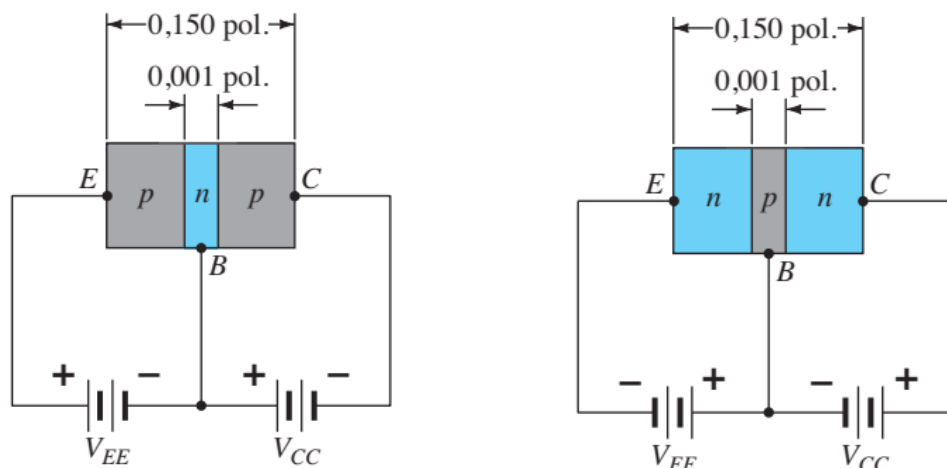


Figura 3.19 – Representação da configuração dos transistores: (a) pnp e (b) npn. Fonte: Boylestad (2013, p. 116).

Esse componente foi responsável pelo desenvolvimento da eletrônica e representa a base para a revolução da computação. Os transistores são aplicados à amplificadores analógicos, substituindo as válvulas e no início da construção dos dispositivos digitais. Ele é um dispositivo de três terminais denominados: E – Emissor; B – Base e C – Coletor. Seu funcionamento pode ser configurado para operar como um amplificador ou para operar como uma chave eletrônica. Através da aplicação de

corrente que flui através da base e a depender da configuração adotada, ele copia o formato do sinal de entrada, amplificando ou permitindo o fornecimento de maior potência. A Figura 3.20 apresenta uma simplificação do seu funcionamento. Devido às técnicas de miniaturização, este dispositivo é a base para o desenvolvimento de diversos outros componentes eletrônicos mais complexos.

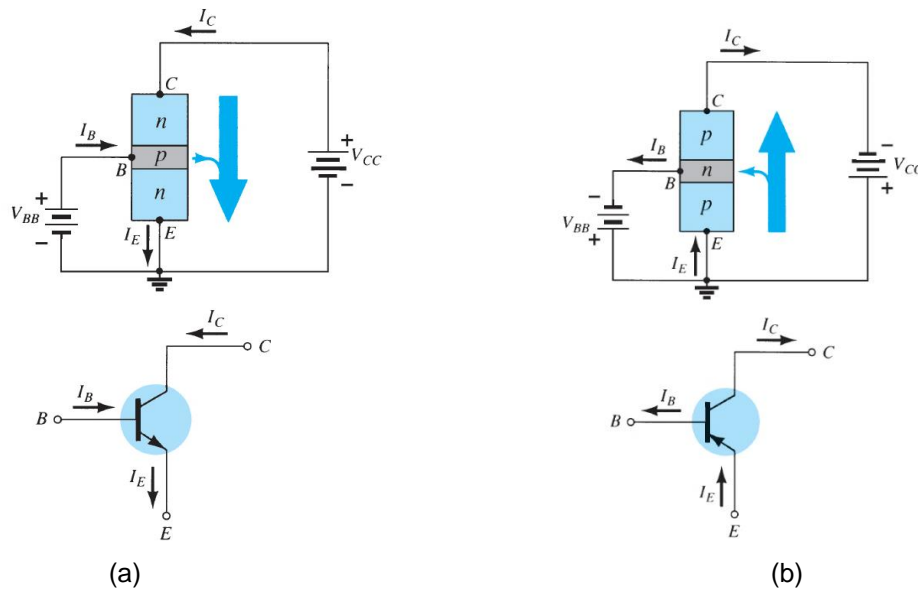


Figura 3.20 – Esquema de operação do transistor. (a) Modelo npn; (b) Modelo pnp. Fonte: Boylestad (2013, p. 116).

3.4.2. Amplificadores operacionais

Ao longo do desenvolvimento da eletrônica, configurações de componentes eletrônicos mais simples foram desenvolvidas e adotadas como novos blocos para aplicações diversas. Essa seção trata dos amplificadores operacionais (ou amp-op), que são utilizados para diversos propósitos na eletrônica. Um amplificador operacional é um amplificador diferencial, como apresentado na Figura 3.21, que possui ganho e impedância de entrada muito altas e impedância de saída muito baixa (BOYLESTAD 2013, p. 105). De forma simplificada, o seu funcionamento pode ser explicado pelo circuito apresentado na Figura 3.21(a), onde as tensões de entrada V_{i_1} e V_{i_2} são aplicadas à transístores com uma resistência de emissor R_E em comum. As tensões de saída internas V_{O_1} e V_{O_2} estão relacionadas à corrente que circulará por R_E , resultante das duas tensões de entrada (motivo do comportamento diferencial). Este circuito pode ser representado pelo diagrama da Figura 3.21(b). Nos circuitos comerciais, apenas uma das saídas está disponível, simplificando para o modelo

apresentado na Figura 3.21(c).

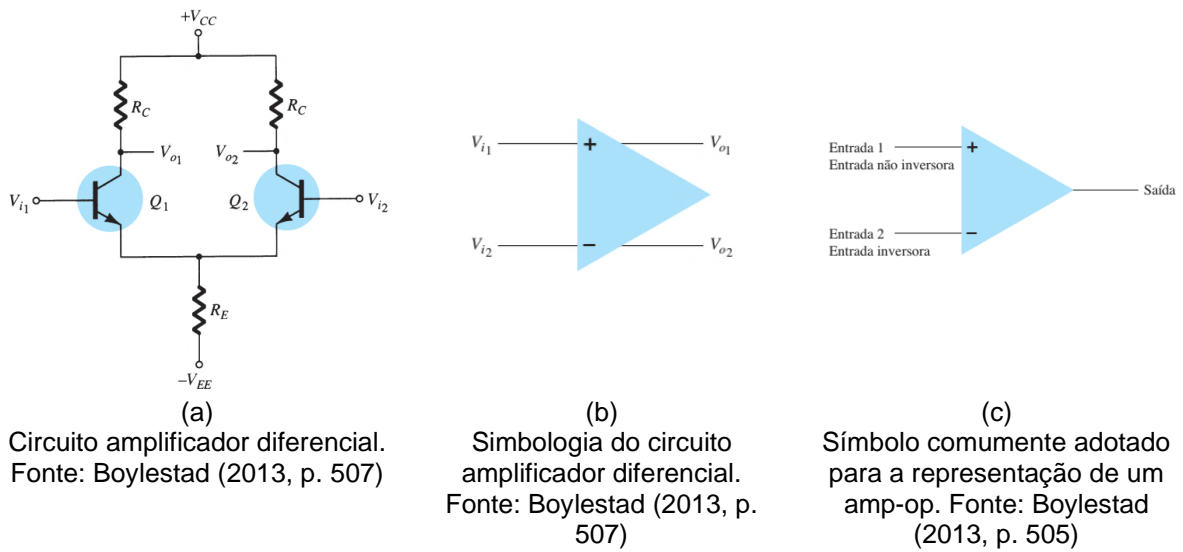


Figura 3.21 – Funcionamento e simbologia de um amp-op.

O amp-op pode ser configurado para diversas funcionalidades no processamento de sinais analógicos, tais como: operações matemáticas, amplificadores, gerador de frequência, filtros, operações não-lineares e várias outras. As duas configurações utilizadas ao longo do desenvolvimento deste protótipo foram a configuração de amplificador inversor e de amplificador não-inversor.

A configuração de amplificador inversor está esquematizada na Figura 3.22 e sua operação é descrita pela Equação (3.10), a seguir:

$$V_o = -G_A V_1 = -\frac{R_f}{R_1} V_1, \quad (3.10)$$

onde: V_o [V] é a tensão de saída; V_1 [V] representa a tensão aplicada na porta de entrada inversora; G_A é o ganho do amplificador, determinado pela relação de valores das impedâncias R_f e R_1 (para sinais alternados podem ser utilizados indutores e, mais comumente, capacitores); e o sinal negativo implica na inversão da polaridade do sinal da saída.

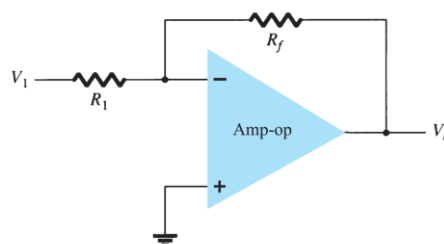


Figura 3.22 – Amp-op configurado como amplificador inversor. Fonte: Boylestad (2013, p. 518)

A configuração não-inversora, apresentada na Figura 3.23, possui comportamento descrito pela Equação (3.11), que se segue:

$$V_O = G_A V_1 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1, \quad (3.11)$$

onde: V_O [V] é a tensão de saída; V_1 [V] representa a tensão aplicada na porta de entrada não-inversora; e G_A é o ganho do amplificador, determinado pela relação de valores das impedâncias R_f e R_1 (para sinais alternados podem ser utilizados indutores e, mais comumente, capacitores).

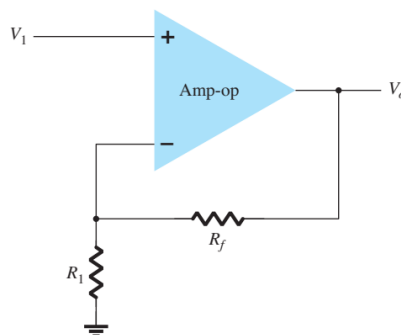


Figura 3.23 – Amp-op configurado como amplificador não-inversor. Fonte: Boylestad (2013, p. 518)

3.5.O Arduino

Os microcontroladores representam a evolução da capacidade de miniaturização dos componentes construídos com semicondutores. Ele é composto de uma unidade de processamento e vários periféricos encapsulado em um circuito integrado. O Arduino Uno, adotado neste trabalho, utiliza o microcontrolador Atmega, modelo Atmega328 e sua configuração de pinos está apresentada na Figura 3.24.

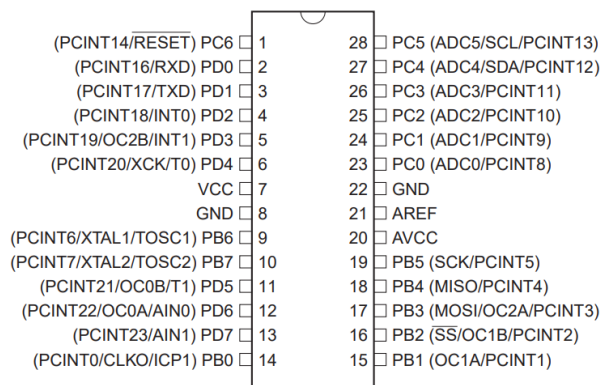


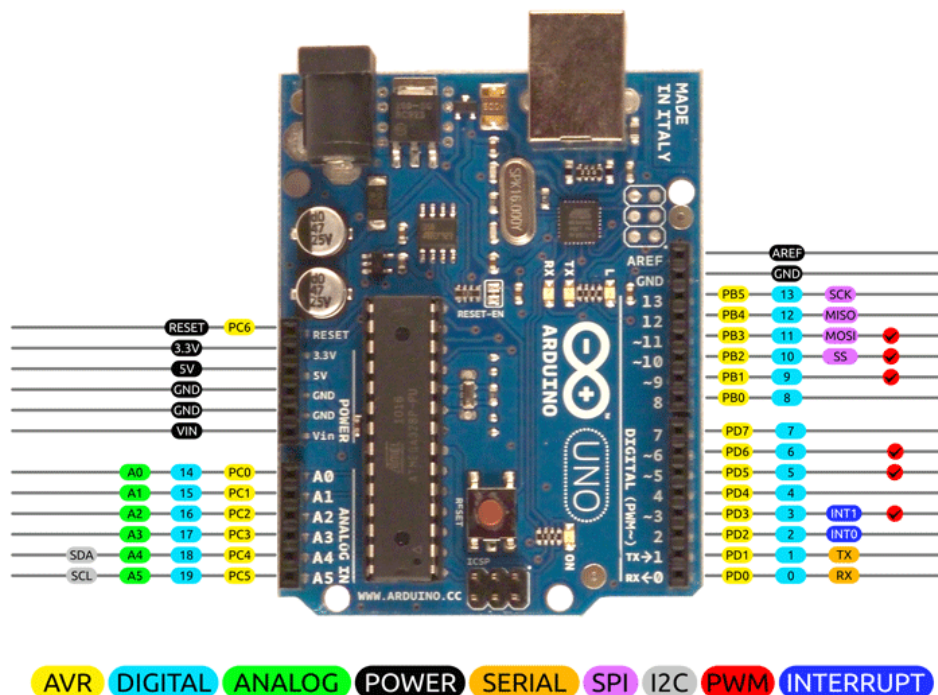
Figura 3.24 – Pinagem do microcontrolador Atmega328. Fonte: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>.

O Arduino é uma placa que conta, além do microcontrolador, com componentes, conectores, uma placa de suporte e um ambiente de desenvolvimento que facilita a utilização imediata dos recursos disponíveis para a programação. Ressalta-se que o microcontrolador poderia ser utilizado separadamente, e configurado segundo as necessidades do desenvolvedor, mas, requisitando uma montagem física própria. Já o Arduino, como produto, apresenta uma solução genérica e que se adapta para vários casos possíveis. O diagrama de pinos real do Arduino está apresentado na Figura 3.25, onde é possível comparar com o diagrama de pinos do microcontrolador, apresentado na Figura 3.24.

O Arduino necessita de um conjunto de instruções para se tornar útil, processo realizado por meio de um programa escrito em linguagem C, adaptada. A Figura 3.26 apresenta o código utilizado para a digitalização do sinal e o envio para o computador. O conversor Analógico/Digital do Atmega328 possui resolução de 10 bits para uma faixa de 5 [V]. O valor digital varia de 0 até $2^{10} - 1 = 1023$ e pode ser recuperar o valor de tensão analógica a partir da seguinte fórmula:

$$a = \frac{5}{1023} d, \quad (3.12)$$

onde a é a amplitude do sinal analógico em [V], d é o valor digital obtido do ADC.



2014 by Bouni
Photo by Arduino.cc

Figura 3.25 – Pinout do Arduino Uno R3. Fonte: www.arduino.cc

```

1 void setup() {
2   pinMode(A0, INPUT); // Pino A0 como entrada
3   Serial.begin(115200); // Velocidade da porta serial
4 }
5
6 void loop() {
7   // Faz a leitura do conversor ADC
8   int adc = analogRead(A0);
9   // Envia o dado ao computador
10  Serial.println(adc);
11
12  // espera 5 ms
13  delay(5);
14 }

```

Figura 3.26 – Código Arduino utilizado para a captura de dados. Fonte: o próprio autor (2020)

O código na Figura 3.26 consiste de duas funções principais (MCROBERTS, 2011, p. 43), a função `setup()` na linha 1 e a função `loop()` na linha 6, que chamam funções auxiliares. A função `setup()` é a primeira a ser executada quando o Arduino é energizado, e é executada apenas uma vez. Ela é utilizada para configurar o modo de operação do Arduino. Nesse caso, a função `pinMode()` na linha 2 define que o pino A0 é configurado como uma entrada analógica conectada ao conversor analógico-digital. A função `Serial.begin()` na linha 3 define que a porta serial irá se comunicar a uma velocidade de 115200 [bits/s]. A função `loop()` é executada repetidamente e apresenta a seguinte sequência para esse caso: 1) faz a leitura do conversor analógico/digital e armazena o resultado na variável `adc`, linha 8; 2) envia esse dado para o computador via USB, linha 10; 3) pausa a execução por 5 [ms], linha 13, e repete todo o processo até ser desligado. Essa configuração faz com que os dados sejam amostrados a uma taxa aproximada de 200 [amostras/segundo], suficiente para a representação das variações do sinal.

O Arduino é composto não só pela placa de desenvolvimento, mas vários recursos que inclui o ambiente de programação e diversos dispositivos projetados para uma fácil integração, como sensores e bibliotecas para aplicações específicas. O ambiente de programação disponibiliza um monitor para leitura dos dados provindos da porta USB. A Figura 3.27 apresenta o monitor de dados da serial, em que é possível visualizar os dados digitalizados e permite sua imediata utilização, sem a necessidade de ferramentas externas. A conexão com o computador, por meio da porta USB,

fornece a energia para o seu funcionamento e é o caminho de transmissão de informações entre ambos, nos dois sentidos.

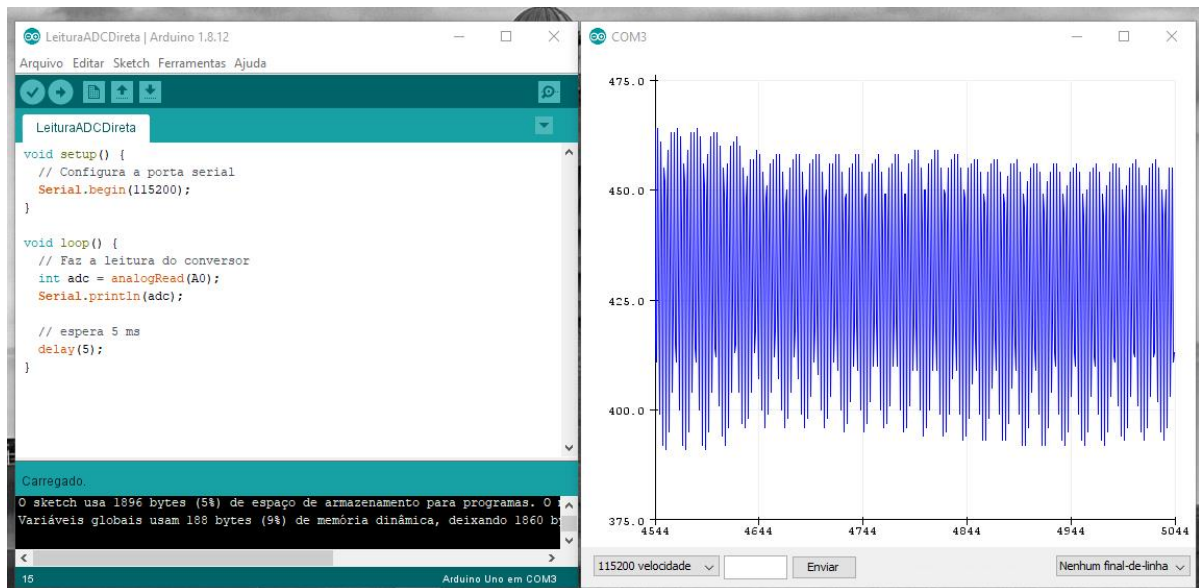


Figura 3.27 – Monitor gráfico do ambiente de programação do Arduino, com a janela de programação, à esquerda, e a janela de exibição de gráficos, à direita. Fonte: o próprio autor (2020)

3.6.A luz e o espectro eletromagnético

A origem da luz foi um enigma por séculos para a humanidade até a descoberta da sua natureza eletromagnética. Essa relação aparece quando os campos elétrico e magnético apresentam variação no tempo, e esta relação é descrita pelas equações de Maxwell. A luz visível difere de outros tipos ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio, os Raios X, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta e outros tipos, apenas pela frequência e pelo comprimento de onda (YOUNG e FREEDMAN, 2015, p. 410). Essa classificação é dada pela faixa de frequência de onda (ou comprimento de onda). O espectro eletromagnético representa toda a faixa de valores de frequência e comprimentos de onda possíveis, ilustrado na Figura 3.28.

A relação entre o comprimento de onda e a frequência de uma onda eletromagnética é dada por:

$$c = \lambda f, \quad (3.13)$$

onde λ [m] representa o comprimento de onda, f [Hz] representa a frequência da onda e c [m/s] é uma constante que representa a velocidade de propagação da luz (e de outras ondas eletromagnéticas) no meio, sendo determinada por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}, \quad (3.14)$$

que para o vácuo apresenta as constantes $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [N/A^2]$ e $\epsilon_0 = 8,85419 \times 10^{-12} [F \cdot m^{-1}]$, definindo $c = 299.792.458 [m/s]$. A luz visível representa uma pequena parte do espectro eletromagnético e compreende as ondas com variação de 750 [nm] a 380 [nm], com frequências variando, aproximadamente, de 400 a 790 [THz], ou ainda, variando do vermelho ao violeta. As ondas com frequência acima dos 790 [THz] são classificadas como parte do espectro ultravioleta e as ondas com frequência abaixo 400 [THz] são classificadas como parte do espectro infravermelho.

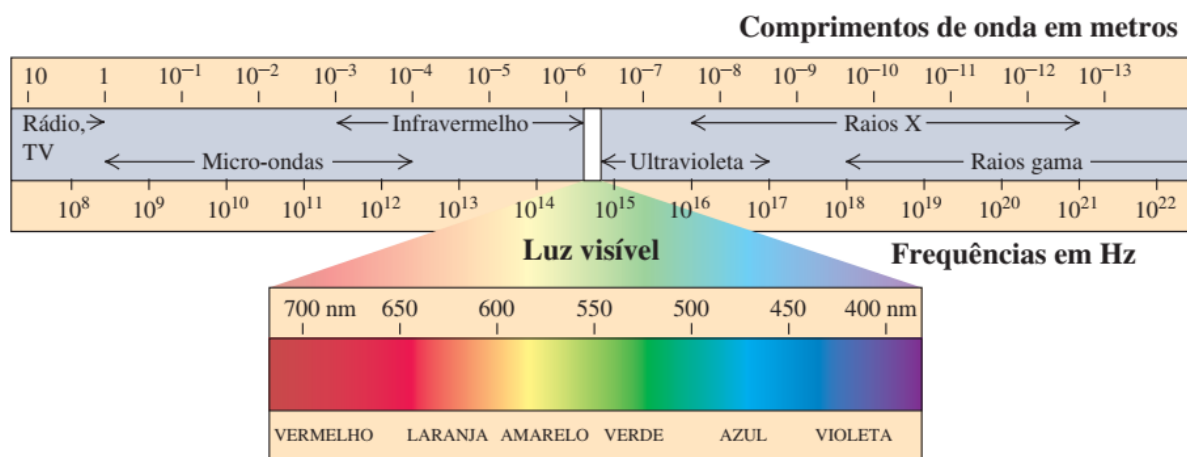


Figura 3.28 – Representação do espectro eletromagnético. Fonte: Young e Freedman (2015, p. 414).

O sinal eletromagnético fora do espectro visível mantém as propriedades de reflexão, difração e absorção. Ao interagir com a matéria, essas propriedades dependerão do tipo de material e do comprimento de onda do sinal envolvido. Por exemplo, os raios-x são menos absorvidos pelo tecido orgânico que o espectro visível. Assim, podemos construir dispositivos ópticos com diferentes finalidades aproveitando as propriedades de cada comprimento de onda. Radares usam da reflexão para detectar a posição de objetos distantes e para o caso deste trabalho, o nível de reflexão de um sinal infravermelho indicará o nível de fluxo sanguíneo, como explicado na Seção 3.7, a seguir.

3.7.O sistema circulatório humano

O sistema circulatório é próprio dos animais multicelulares. Microrganismos e células individuais tem suas demandas metabólicas atendidas por processos de

difusão simples. Para os organismos multicelulares complexos, a difusão de alimento do meio externo até o meio interno e dos resíduos do meio interno até o meio externo necessita de um sistema especializado (BORON e BOULPAEP, 2015, p. 429).

Para Boron e Boulpaep (2015) a principal função do sistema circulatório é “a distribuição de gases dissolvidos e outras moléculas para nutrição, crescimento e reparo”, com papéis secundários envolvendo a sinalização química por meio de hormônios ou neurotransmissores, a dissipação de calor e o meio de defesa contra microrganismos invasores. Os autores também definem que o sistema circulatório é composto de três partes básicas funcionais: uma bomba (o coração), um meio líquido de transporte (o sangue) e o recipiente de condução (os vasos).

Para esse trabalho, o foco principal representa o entendimento dos processos envolvidos no ciclo de batimentos cardíacos. O coração possui uma massa de aproximadamente 300 g e, por meio de duas bombas, impulsiona aproximadamente 5 [l/minuto] de sangue para o corpo (BORON e BOULPAEP, 2015, p. 429; CALIL, 2002, p. 335), com um comportamento consistente e repetitivo entre os períodos. Esse funcionamento está esquematizado na Figura 3.29.

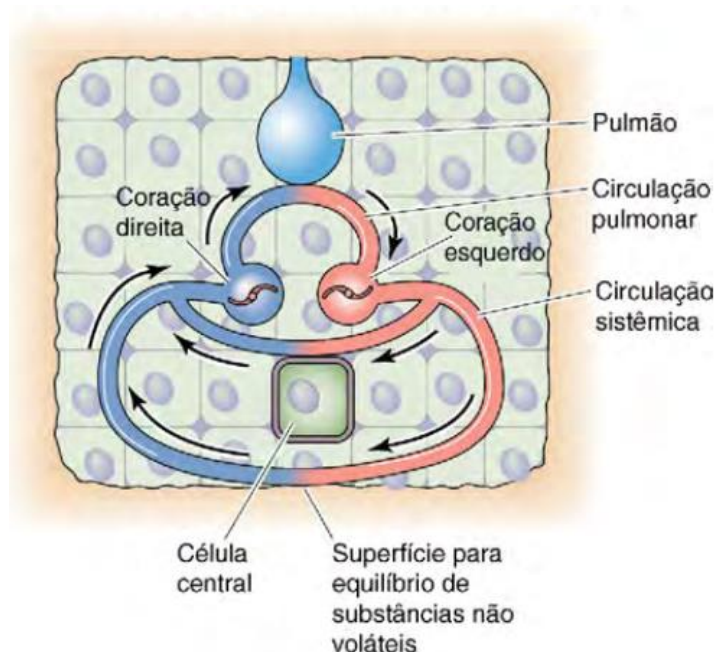


Figura 3.29 – Modelo de circulação das duas bombas cardíacas. Fonte: Boron e Boulpaep (2015, p. 429)

Os dois caminhos podem ser divididos em dois circuitos principais, a circulação pulmonar e sistêmica. O circuito pulmonar consiste do caminho que sai da bomba direita do coração até a bomba esquerda, passando pelo pulmão para a troca de

gases com o meio externo, liberando CO₂ e absorvendo O₂. O circuito sistêmico consiste do caminho que sai da bomba esquerda até a bomba direita, passando pelo corpo, para o transporte de O₂ e nutrientes até as células do corpo. De outra forma, também é possível classificar o processo entre regiões de alta e baixa pressão. A região de alta pressão consiste do caminho que sai da bomba esquerda até os capilares e a região de baixa pressão vem dos capilares até a bomba direita do coração.

O coração é formado por fibras musculares cardíacas e comandado por potenciais de ação que chegam à 105 [mV]. A contração coordenada do bombeamento impulsiona o sangue em um sentido único e contínuo, que está detalhado na Figura 3.30. Possui quatro câmaras, as duas câmaras superiores de recepção são os átrios, e as duas câmaras inferiores de bombeamento para fora são os ventrículos (TORTORA e DERRICKON, 2016, cap. 20) e valvas que impedem o retorno do sangue no sentido oposto ao esperado.

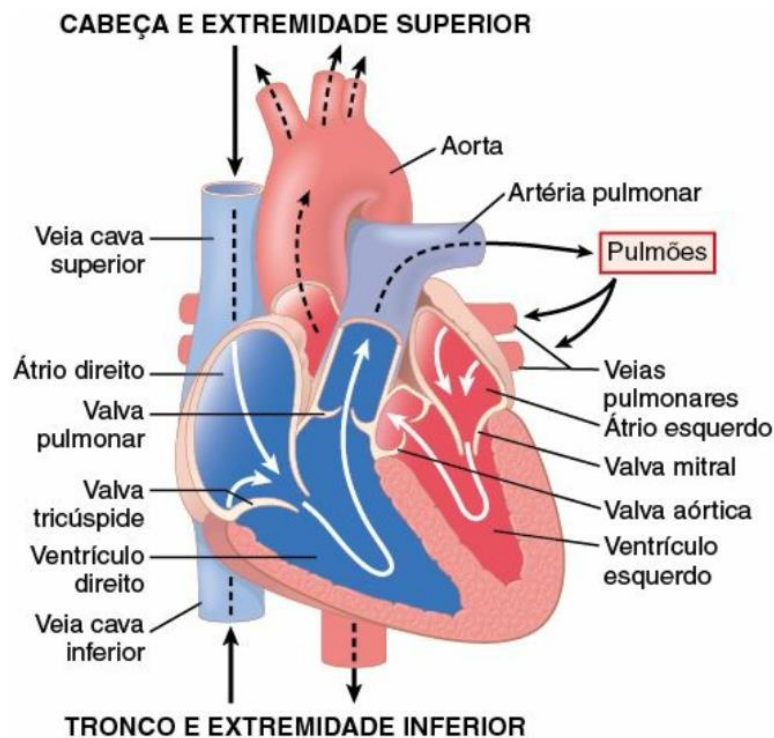


Figura 3.30 – Estrutura do coração e fluxo de sangue pelas câmaras e valvas cardíacas. Fonte: Hall (2017, cap. 9)

A hemodinâmica representa estudo da mecânica envolvida na circulação do sangue. Os vasos sanguíneos compõem um sistema fechado responsável pelo transporte do sangue pelo corpo e apresentam um comprimento de aproximadamente

100000 [km]. As artérias transportam o sangue do coração até outros órgãos e vão diminuindo de calibre à medida que se aproximam do nível celular. As veias fazem o caminho contrário e vão aumentando o calibre à medida que se aproxima novamente do coração. A maioria dos tecidos recebe sangue de mais de uma artéria. A pressão que o sangue exerce nas paredes dos vasos é denominada pressão hidrostática do sangue (PHS) e alcança picos de 110 [mmHg] na aorta e cai para 16 [mmHg] na extremidade venosa do capilar (TORTORA e DERRICKON, 2016, cap. 21). A Figura 3.31 apresenta uma média da pressão arterial encontrada ao longo do sistema circulatório, incluindo os efeitos provocados pelos movimentos sistólico e diastólico.

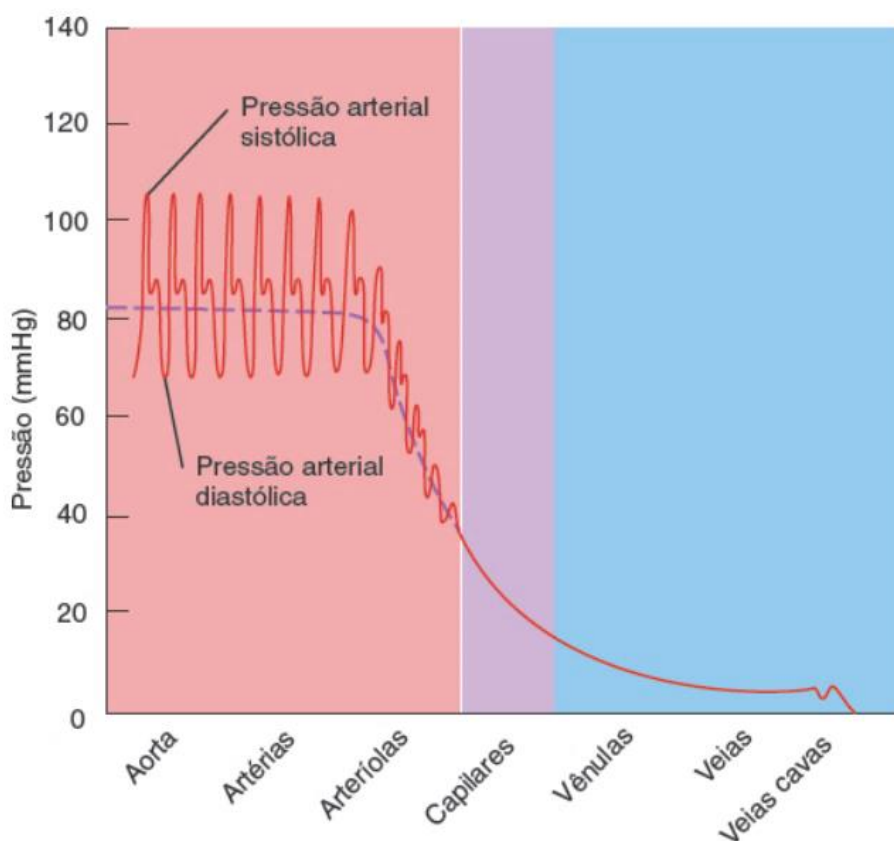


Figura 3.31 – Pressão arterial ao longo do sistema circulatório. Fonte: Tortora e Derrickon (2016, cap. 21).

A Figura 3.32 apresenta a o fluxo de um fluido passando entre duas seções retas de um duto cilíndrico, sob uma diferença de pressão. Esse fenômeno é modelado pela seguinte equação:

$$\Delta P = Q \times R_V, \quad (3.15)$$

onde ΔP [N/m] representa a diferença de pressão, R_V é a resistência vascular e Q é o volume de sangue por unidade de tempo.

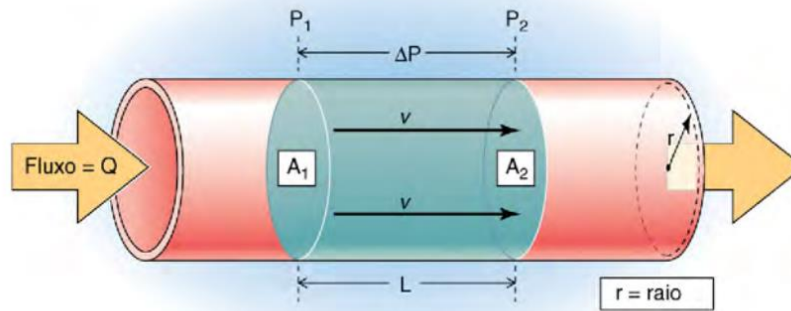


Figura 3.32 – Representação do fluxo de um fluido por meio de um tubo cilíndrico sob uma diferença de pressão. Fonte: Boron e Boulpaep (2015, p. 431)

É importante notar que a pressão sanguínea oscila em torno de um valor médio ao longo do ciclo de batimentos cardíacos. Essa variação de pressão se propagará por todo o sistema circulatório, como apresentado na Figura 3.31, e propiciará sua medição pelo sensor ótico, pela variação do fluxo de sangue e, conseqüentemente, de glóbulos vermelhos.

3.8. Descrição de funcionamento do circuito sensor de pulsos cardíacos

O sensor de pulsos construído neste trabalho é formado de duas partes: o hardware e o software. A parte de hardware é composta por: sensores responsáveis pela transdução do sinal biológico que capta a variação de pressão através da reflexão de luz, transformando-as em variações elétricas; por circuitos eletrônicos para o condicionamento do sinal eletrônico e por um Arduino que digitaliza o sinal e o transmite para o computador. A parte de software consiste do sistema de programação e do código embarcado. A Figura 3.33 apresenta o diagrama simplificado de operação de todo o processo, usando estágios que descrevem suas funções.

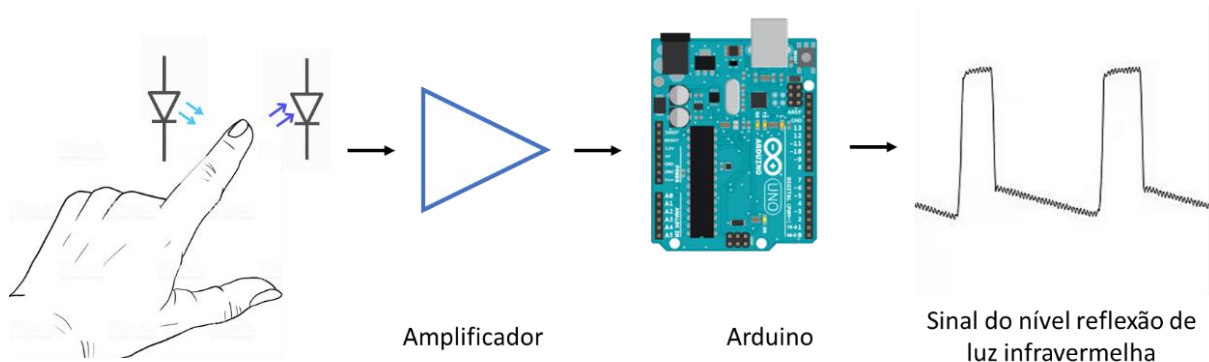


Figura 3.33 – Diagrama de funcionamento geral do sistema. Fonte: o próprio autor (2020).

Como visto na Seção 3.7, o fluxo de sangue no corpo apresenta um valor médio com uma variação modulada pelos ciclos de batimentos cardíacos. Nesse caso, utilizando um LED emissor de infravermelho e um fotodiodo receptor, também para a faixa de infravermelho, sobreposto pelo dedo de uma pessoa, é possível capturar a variação do fluxo de sangue. As emissões em infravermelho são parcialmente refletidas pelo sangue da seguinte forma: quando esse fluxo aumenta o sinal luminoso é mais refletido e quando o fluxo diminui a intensidade refletida é menor. O LED infravermelho é polarizado por uma tensão fixa e se torna uma fonte de luz infravermelha constante. O fotodiodo é um sensor que captura a intensidade da luz refletida e a converte para um sinal elétrico proporcional.

O sinal elétrico resultante precisa ser tratado para poder passar pelo processo de digitalização do Arduino antes de ser enviado ao computador. Essa etapa de processamento do sinal analógico é realizada pelo estágio condicionador de sinais. O sinal deve chegar ao microcontrolador entre 0 [V] e 5 [V] para poder ser digitalizado. O microcontrolador processa esse sinal e o envia para o computador em formato digital, e é exibido ao usuário final.

O estágio amplificador é responsável por amplificar o sinal obtido do transdutor ótico e condicioná-lo aos padrões de tensão compatíveis com a entrada do conversor analógico digital do Arduino.

O desenvolvimento desse circuito partiu de um diagrama esquemático disponível em um site de projetos de eletrônica, apresentado na Figura 3.34. A partir desse diagrama, adaptações prévias dos componentes utilizados e correções no circuito foram realizadas. O resultado de dois meses de desenvolvimento foi o circuito apresentado na Figura 3.35. Ela apresenta o diagrama esquemático do circuito final, com a indicação dos componentes utilizados e suas conexões elétricas.

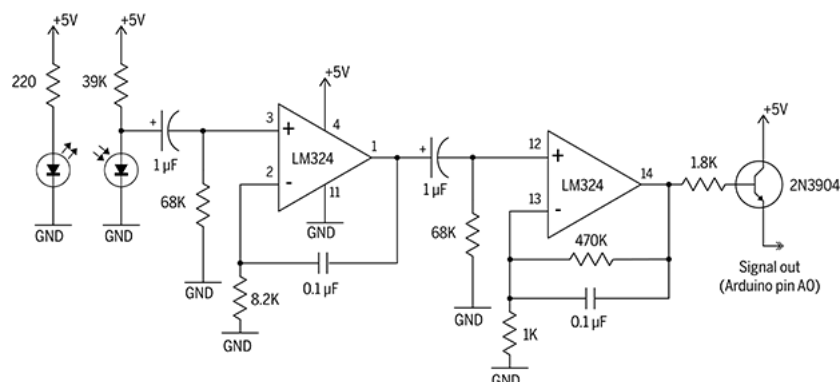


Figura 3.34 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos modelo. Fonte: <https://makezine.com/projects/ir-pulse-sensor/> (2019)

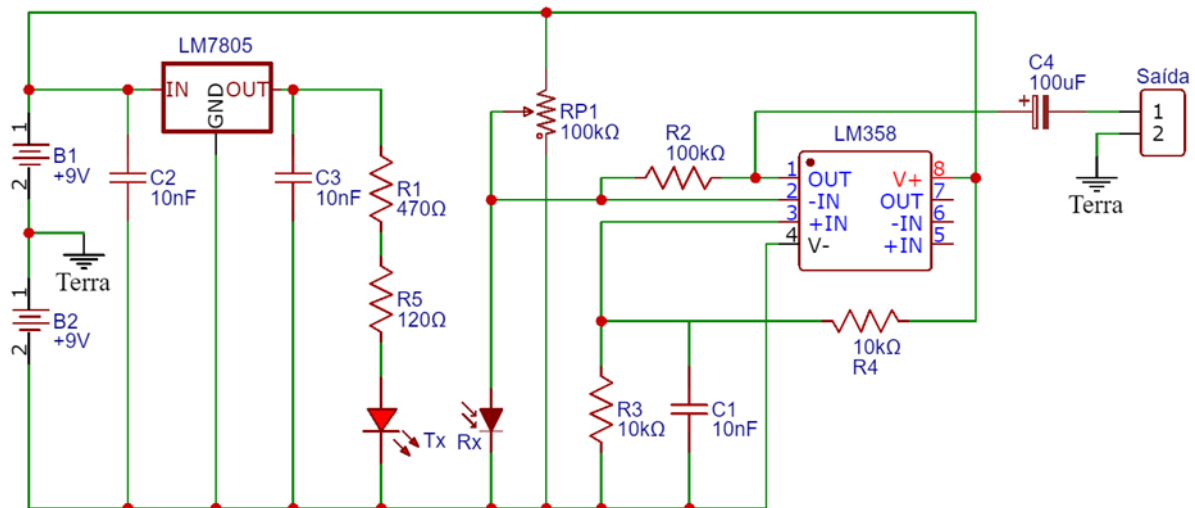


Figura 3.35 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos final. Fonte: o próprio autor (2020)

Para dar um caráter prático e menor sensibilidade a ruídos (interferências), o circuito é alimentado por duas baterias, itens B1 e B2. O diodo emissor de luz (Tx) é alimentado com uma tensão de 5 [V] entregue ou viabilizada pelo regulador de tensão LM7805. O fotodiodo (Rx) está ligado ao trimpot RP1 (resistor de valor ajustável), de valor 100 [kΩ]. Essa configuração opera como um divisor de tensão e permite regular a sensibilidade do fotodiodo. Os trimpots são potenciômetros ajustáveis e são construídos por uma resistência fixa interna com três terminais. A resistência total é conectada entre dois terminais, fixos, e um terceiro terminal, mecanicamente ajustável, permite variar o ponto de contato com a resistência total. Esse movimento faz a resistência entre um terminal fixo e o terminal móvel variar de 0 [Ω] até o valor máximo da resistência do potenciômetro, e ao contrário para o outro terminal. Esse componente permite a elaboração de divisores de tensão variável, geralmente usado para o ajuste do ponto de funcionamento de circuitos eletrônicos. Em síntese, a corrente elétrica no componente do fotodiodo irá variar de acordo com a intensidade de luz refletida pelo sangue. Essa variação de corrente proporcionará uma queda de tensão também variável no potenciômetro (trimpot) e será extraída do terminal central do mesmo. Esta variação de tensão é aplicada na entrada, terminal 2 do amplificador inversor, constituído pelo LM358 e dos componentes auxiliares. O sinal, depois de ser amplificado pelo amp-op, será conectado ao Arduino para ser digitalizado e mostrado na tela.

A lista completa dos componentes utilizados na montagem do circuito proposto ficou em torno de R\$ 150,00, conforme os dados abaixo:

- 01 Arduíno Uno (R\$ 60,00);
- 01 amplificador operacional LM 358 (R\$ 3,20);
- 01 regulador de tensão LM 7805 (R\$ 2,00);
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,89);
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,34);
- 02 Baterias de 9 [V] (R\$ 9,00 cada);
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10 cada);
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ] (R\$ 6,38);
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF], isolação 50 [V] (R\$ 0,57 cada);
- 01 capacitor de 100 [μF], isolação 25 [V] (R\$ 0,90);
- 01 borne duplo (R\$ 2,14);
- 01 borne triplo (R\$ 3,00);
- 02 bornes para pino banana (R\$ 4,00);
- 02 suportes de conexão para bateria (R\$ 0,50);
- 01 protoboard (R\$ 25,00);
- *Jumpers* para *protoboard* (R\$ 1,00 a unidade);
- 01 Cabo coaxial (R\$ 2,50);
- Cabos elétricos para conexões (R\$ 5,00).

A Figura 3.36 apresenta o protótipo montando em uma placa perfurada, que facilita o transporte e a garantia de estabilidade de funcionamento, dado que os componentes são soldados e não apenas conectados, como no *protoboard*. Para os testes realizados em sala de aula, também foram necessários o uso de multímetro e notebook.

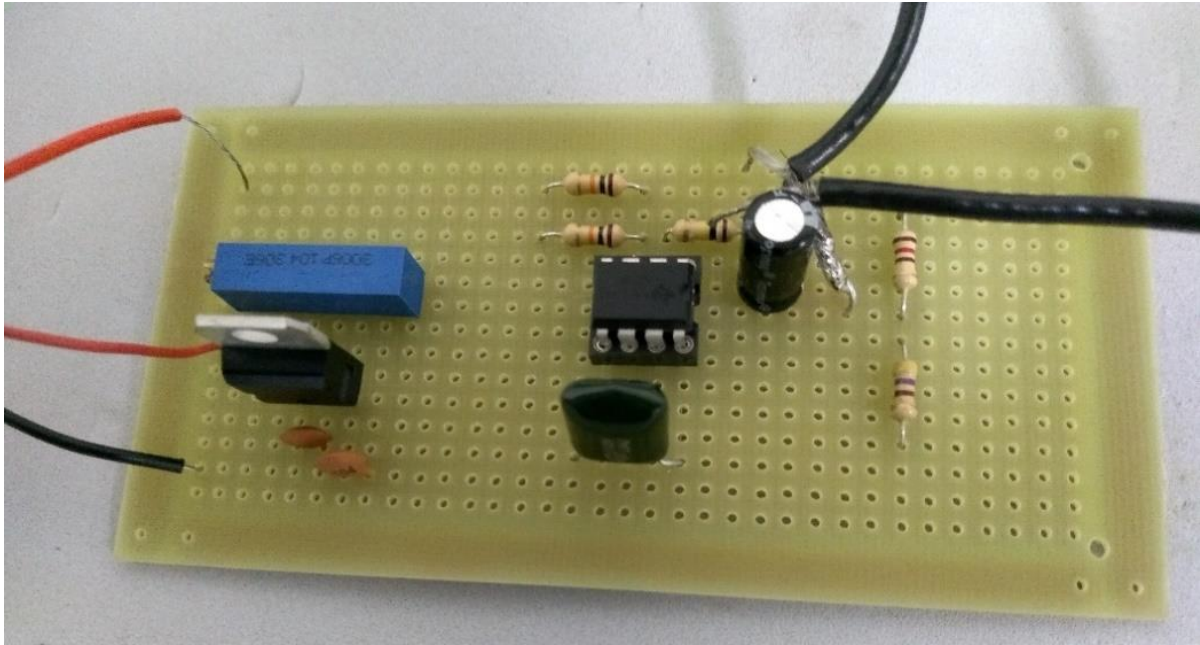


Figura 3.36 – Protótipo de componentes montado e soldado em uma placa de fenolite perfurada.
Fonte: o próprio autor (2019)

Este protótipo foi utilizado como referência nas aulas de montagem do circuito em demonstração de funcionamento e para servir de parâmetro em possíveis imprevistos, haja vista que sua operação foi testada antes do projeto ser iniciado.

4. METODOLOGIA

Este capítulo descreve a estratégia metodológica adotada neste trabalho, onde: a Seção 4.1 resume os aspectos gerais envolvidos no planejamento das atividades, caracterizando a escola, os alunos e a metodologia aplicada; e a Seção 4.2 apresenta o planejamento das aulas, detalhando os planos de aula propostos.

4.1. Descrição Geral

Como abordado no Capítulo 2, este trabalho se fundamenta na participação ativa do aluno no desenvolvimento de um sistema eletrônico, com o foco em desenvolver experiências que explorem o conteúdo programático de eletricidade da disciplina de Física para o ensino médio. Para esse fim, foi proposto como ferramenta didática a montagem de um dispositivo sensor de pulsos cardíacos elaborado em um circuito eletrônico conectado ao computador, que explora a temática da eletricidade, sistemas computacionais e o corpo humano, de forma integrada. Esse trabalho, conforme seus objetivos, se propõem a utilizar uma prática para explorar as possibilidades que esse modelo já percebido de forma efetiva em outra categoria de instituição, poderia se manifestar também nas escolas da rede pública, adaptável aos meandros das políticas públicas de ensino. Sendo o despertar do interesse do aluno como um ponto central, a avaliação deste trabalho é de cunho qualitativo. Deste modo, o aluno tem a oportunidade de associar os conceitos teóricos de eletrodinâmica tais como resistência elétrica, corrente elétrica e tensão em um circuito através de uma montagem prática, unindo os conhecimentos teóricos da física com o desenvolvimento de tecnologias e dispositivos eletrônicos.

O trabalho foi desenvolvido no quarto bimestre de 2019 na Escola Estadual Jerônimo Arantes, no Bairro Taiaman na cidade de Uberlândia-MG, desenvolvido com duas turmas do período noturno: uma turma do terceiro ano regular do ensino médio, com 26 alunos, e uma turma do terceiro ano do Ensino de Jovens e Adultos (EJA), com 20 alunos. Foi considerado para a aplicação deste trabalho os conteúdos de eletricidade já vistos por eles nos bimestres anteriores. A escola é formada por alunos, na sua maioria, de famílias com menor poder aquisitivo, onde eles precisam desenvolver atividades remuneradas para a complementação da renda familiar, em consequência, chegam à escola com desgastes físico e mental e muitas das vezes

desmotivados e desinteressados na absorção dos conteúdos. O uso de atividades práticas durante o desenvolvimento dos conceitos teóricos nas aulas cria um ambiente que supera ou, ao menos, ameniza essas interferências na capacidade de concentração e interesse no processo de ensino.

O conteúdo programático foi dividido em sete aulas e diante da disponibilidade limitada de recursos, o desenvolvimento das atividades práticas consistiu no uso de apenas um kit de componentes para ambas as turmas. O circuito foi montado utilizando a mesa do professor, sendo esta, posicionada convenientemente de forma central na sala de aula, dando oportunidade a todos os alunos de acessar às atividades. Os componentes utilizados foram apresentados no início da primeira aula prática de montagem pelo professor, que orientou e fomentou as interações dos alunos na implementação das diversas etapas do processo de construção do dispositivo. Em um cenário ideal, este kit poderia ser distribuído para pequenos grupos e sua montagem ser realizada de forma mais individualizada, com mais de um conjunto. Entretanto, a disponibilidade orçamentária, o tempo limitado e a estrutura disponível levaram a adoção desta estratégia mais centralizada não comprometendo de forma significativa os objetivos a serem alcançados.

O projeto foi pensado de maneira a facilitar a manipulação pelos estudantes do material do aparato de forma alternativa, onde os mesmos foram divididos em grupos de quatro a cinco alunos. Por isso, o sensor de pulsos foi montado em uma estrutura de matriz (*protoboard*) onde não é necessário o uso de soldas permanentes e sim conexões por contato que podem ser feitas e desfeitas com facilidade sem comprometer as partes e permitindo a correção de possíveis erros. O *protoboard* é uma ferramenta muito usada nos laboratórios de ensino de eletroeletrônica, tanto por alunos quanto por pesquisadores nessa área.

Durante todo o processo das aulas práticas e elaboração do sensor é importante que seja realizado um acompanhamento do envolvimento de cada aluno, observando sua iniciativa e comprometimento. Neste processo, o professor deve ser capaz de intervir quando necessário para que o trabalho não se desvie do foco.

Como primeira forma de avaliar o entendimento dos alunos sobre o tema, foi aplicado um questionário, disponível no Anexo A, composto por quatorze questões. Neste, estão dispostos tópicos gerais sobre a eletricidade, dispositivos semicondutores, sobre os ciclos cardíacos e sobre o eletrocardiograma (ECG), temas

relativos ao trabalho desenvolvido.

Na etapa final, com o circuito montado e testado, o professor, juntamente com os alunos, elaborou uma apresentação descritiva do funcionamento do sensor, envolvendo desde o entendimento do comportamento biológico/fisiológico do corpo humano até os princípios e conceitos da física empregados no funcionamento dos pares emissor (Tx) e receptor (Rx) de infravermelho. A luz infravermelha interage com o dedo indicador de um voluntário e os sinais medidos passam por um estágio de amplificação analógica e são conectados ao Arduino, que efetua a transformação de analógico para digital, formato compatível com computador. No computador há um software que apresenta, na tela, por meio de um gráfico, o sinal captado. A prática com o Arduino foi feita com o dispositivo real, com material explicativo de suas características e conexões principais e com uso da lousa. Assim, os conceitos básicos de física e biologia envolvidos no processo foram abordados de forma a mostrar a aplicabilidade da ciência, juntamente com a tecnologia no cotidiano das pessoas. Essas ações despertaram nos estudantes a curiosidade, levando a um conhecimento mais amplo e reflexivo. A apresentação do funcionamento do sensor de pulsos foi realizada na sétima aula do projeto, sendo a turma EJA na sala de aula e a turma do terceiro ano regular durante uma feira de ciências. Para tal, foram utilizados o aparato para demonstração, sendo auxiliado por recursos audiovisuais como: aparelho celular e lousa. Em síntese, definimos a elaboração, o desenvolvimento e a aplicação do produto. Por fim, este trabalho foi planejado e aplicado de acordo com o exposto na Seção 4.2, a seguir.

4.2. Planos de Aula

Com o objetivo de aplicar a sequência didática, foram planejadas 7 aulas com duração de no mínimo 45 minutos cada, distribuídas como mostrada na Tabela 4.1.

A elaboração e aplicação dos conteúdos tem por princípio o desenvolvimento progressivo dos conceitos com fim no entendimento dos assuntos relativos ao programa de ensino eletricidade para o curso de Física.

Tabela 4.1 – Programa de atividades propostas para a aplicação.

Módulo	Atividades
1	Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade.
2	Leis de Ohm, associação de resistências e código de cores.
3	Estudo dos capacitores.
4	Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.
5	Montagem do sensor de pulsos.
6	Finalização da montagem, teste de funcionamento e integração de conhecimentos.
7	Conclusão do trabalho, avaliação argutiva e síntese dos conceitos.

Enquanto o Capítulo 3 apresenta os fundamentos científicos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho em um nível mais aprofundado, o Anexo B apresenta o Produto Educacional que contempla uma cópia dos planos de aula que estão apresentados na sequência, uma breve descrição do sensor de pulsos desenvolvido nesse trabalho e um material de apoio didático para ensino em nível médio.

As aulas serão desenvolvidas a princípio em sala de aula comum, com o intuito de manter a rotina e contornar as limitações encontradas no ensino público.

Na sequência, estão dispostos os planos de aula preparados para o desenvolvimento das atividades proposta.

PLANO DE AULA - Aula 01

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Unidades e Grandezas Físicas para a Eletricidade.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Adquirir compreensão e habilidades em notação Científica para os cálculos, leitura e interpretação de grandezas elétricas. Familiarizar os alunos com o instrumento de medida: multímetro (operando como ohmímetro). Leitura de valores nominais de resistência e capacitância.

CONTEÚDOS

1. Revisão de potências.
2. Grandezas físicas importantes para o desenvolvimento do trabalho.
3. Múltiplos e Submúltiplos.
4. Instrumento de medidas elétricas.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Aplicar um questionário (ver Anexo A) com questões gerais sobre os temas a serem desenvolvidos no trabalho.

- Na sequência, os alunos desenvolverão uma atividade prática, através da resolução de exercícios referente a múltiplos e submúltiplos e o emprego destes nas grandezas físicas utilizadas nas aulas.
- Apresentar aos alunos o multímetro, suas escalas e os modos de medição para resistência elétrica.
- Dividir a sala em grupos de quatro ou cinco alunos.
- Distribuir um conjunto de dois resistores e capacitores de valores aleatórios para cada grupo.
- Orientar os alunos a medir o valor da resistência elétrica de cada resistor com o multímetro, anotando os valores na folha de exercícios.
- Orientar os alunos a efetuar a leitura e interpretação do valor nominal dos capacitores, anotando os valores na folha de atividades.
- Converter os valores obtidos entre as subunidades e a notação de potência de dez.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Caderno;
- Folha de atividades;
- Multímetro;
- Resistores;
- Capacitores

REFERÊNCIAS

- NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.
- AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

PLANO DE AULA - Aula 02

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Leis de Ohm Associação de resistências e código de cores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

- Apresentar uma das propriedades dos materiais que é a resistência elétrica.
- Entender a distribuição de tensão em um circuito com resistores.
- Verificar a lei de Ohm.
- Ler o valor nominal de cada resistor por meio do código de cores.
- Associar a potência máxima dissipada em um resistor com suas dimensões físicas.

CONTEÚDOS

1. Resistores.
2. 1ª Lei de Ohm.
3. Código de cores para identificação de resistores.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.

- Dividir a sala em grupos com quatro ou cinco alunos.
- Fornecer a tabela com o código de cores para a identificação de resistores.

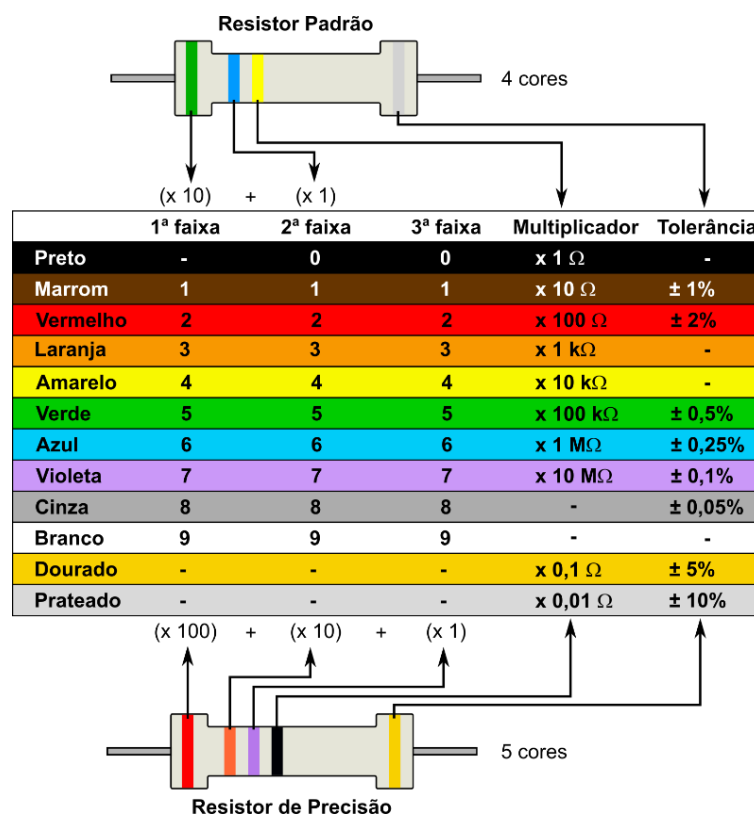


Figura 1 – Tabela de cores para obter o valor dos resistores. Fonte: o próprio autor (2020)

- Fornecer dois resistores para cada grupo com valores diferentes e aleatórios.
- Com uma tabela de código de cores de resistência elétrica, cada grupo identificará a sua resistência.
- Efetuar a medição da resistência elétrica com o multímetro na escala de resistência.
- Comparar o valor medido com o valor lido.
- Confrontar a discrepância, explicando a relação de tolerância.
- Montar um circuito de resistores em série alimentado por uma fonte de tensão.
- Utilizar o multímetro para efetuar as medições de tensão, corrente e resistência elétrica.
- Utilizar a 1ª Lei de Ohm para analisar os resultados obtidos e calcular valores desconhecidos.
- Sintetizar os conceitos por meio da comparação entre as previsões teóricas e a aplicação prática.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Fonte de alimentação;
- Resistores e resistência com derivações;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

- NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.
- BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 03

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Estudo dos capacitores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Analisar a associação de capacitores série e paralelo. Estudar o comportamento dos capacitores submetidos a uma fonte de tensão contínua.

CONTEÚDOS

1. Entender e distinguir as partes componentes de um capacitor na sua construção e suas funções específicas.
2. Montagem de um circuito com capacitores em série/paralelo e alimentados por uma fonte de tensão contínua.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Montar o experimento e reunir os alunos para observação e participação.
- Apresentar os dois capacitores disponíveis e seus valores de capacitância. É desejável que os valores de capacitância difiram de uma ordem de grandeza maior ou igual a 10 vezes para acentuar o comportamento no experimento.
- Carregar um capacitor com a tensão da fonte e acompanhar o tempo de descarga. Carregar o segundo capacitor com a mesma tensão e acompanhar o tempo de descarga. Comparar os resultados com os elementos teóricos de carga acumulada, capacitância e tensão.
- Solicitar aos alunos efetuar os cálculos dos valores capacitância equivalente, carga e distribuição de tensão para a associação em série.
- Montar o circuito proposto e alimentá-lo com uma fonte de tensão contínua.
- Efetuar as medições de distribuição de tensão em cada capacitor.
- Comparar os valores teóricos com os valores obtidos na prática.
- Solicitar aos alunos o cálculo da capacitância e carga para a associação em paralelo.
- Avaliar o processo de descarga para esse caso.
- Comparar o resultado com as implicações teóricas.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 capacitor de 47 [μF].
- 01 capacitor de 2200 [μF].
- 01 fonte de tensão de 10 V.
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 04

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Familiarizar e preparar os alunos com o dispositivo a ser construído, de forma que os mesmos terão a ideia de sua função e do seu princípio de funcionamento.

CONTEÚDOS

- Apresentação do circuito eletrônico do sensor de pulsos cardíacos, com noção do princípio de funcionamento e suas partes.
- Espectro de luz e componentes optoeletrônicos (diodos emissor/receptor de luz).
- Noções básicas de montagem tais como: Simbologia dos componentes envolvidos, ferramentas e instrumentos de medidas.
- Circuitos eletrônicos amplificadores.
- Sistemas digitais.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Nessa etapa, o dispositivo a ser construído será apresentado de forma efetiva para a classe. Isso, se dará, com o circuito desenhado na lousa pelo professor, e com os alunos acompanhando em uma folha previamente distribuída individualmente, onde o professor irá analisar juntamente com os mesmos a tomada de informação de variação de pressão no dedo, até a tomada do sinal eletrônico na saída do circuito. Os alunos, com essa etapa, terão a oportunidade de associar os conceitos comportamentais de resistores e capacitores, agora em um circuito.
- Detalhar as etapas de processamento do sinal, desde a recepção até sua apresentação no computador, explicando as partes analógica e digital do processo. Explicando a função do Arduino, e a importância da programação, de forma simplificada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Diodo emissor de luz e fonte DC;
- Arduino;
- Notebook.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica.** ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** Pearson, 11ª ed.

PLANO DE AULA - Aula 05

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Apresentar os componentes reais do circuito eletrônico e associá-los aos símbolos do diagrama. Montar o circuito eletrônico do sensor de pulsos.

CONTEÚDOS

- Identificação dos componentes eletrônicos reais do circuito.
- Estratégia de montagem do circuito eletrônico no *protoboard*.
- Conexão elétrica entre os componentes.

METODOLOGIA

- Na sala de aula, uma mesa será colocada de forma estratégica numa posição central em frente a lousa. Os componentes do sensor de pulsos serão colocados na mesma.
- Os alunos deverão sentar-se em torno da mesa para identificar os componentes eletrônicos em correspondência com os símbolos do diagrama, interagindo com o professor.
- Após a identificação de todos os componentes, o professor apresentará o funcionamento do protoboard, identificando suas conexões internas.
- A primeira etapa da montagem consistirá da fixação dos componentes no *protoboard*, onde alguns dos alunos, de forma voluntária e orientados pelo professor, irão fixar os componentes no *protoboard* de acordo com o diagrama.
- Após a fixação dos componentes o professor seguirá com a conexão elétrica entre os componentes, seguindo o fluxo do sinal. Cada novo estágio deverá ser conferido para garantir a conexão elétrica adequada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 amplificador operacional LM 358;
- 01 regulador de tensão LM 7805;
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm];
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm];
- 02 Baterias de 9 [V];
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W];
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W];
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ];
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF];
- 01 borne duplo;
- 01 borne triplo;
- 02 bornes para pino banana;

- 02 suportes de conexão para bateria;
- 01 protoboard;
- *Jumpers* para *protoboard*;
- 01 Cabo coaxial;
- Cabos elétricos para conexões;
- 01 Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

PLANO DE AULA - Aula 06

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Finalização da montagem e teste de funcionamento.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Finalizar a montagem do circuito com a conexão da parte analógica com a parte digital. Efetuar testes de funcionamento. Estabelecer os parâmetros de interdisciplinaridade entre os conceitos físicos (ótica e eletricidade), tecnologia (eletrônica, programação e microcontroladores) e biologia (fisiologia, sistema cardíaco).

CONTEÚDOS

- Sistema digital.
- Síntese de conhecimentos e interdisciplinaridade.

METODOLOGIA

- Nessa etapa, os alunos de posse do circuito montado, conectará o dispositivo a uma fonte de alimentação, utilizando cabos polarizados padrão (preto – polo negativo e vermelho polo positivo).
- É sugerido que, antes de ligar uma fonte de tensão no circuito, seja feita uma verificação minuciosa das conexões dos componentes no geral, principalmente da alimentação no dispositivo, evitando qualquer incidente.
- Com o circuito alimentado, o professor certificará, juntamente com os alunos, o funcionamento do aparato, através da conexão do sensor com o Arduino.
- O professor explicará as conexões entre o sensor, o Arduino e o computador com suas relações de interdependências tecnológicas. Com todos os estágios do aparato em funcionamento, o professor fará uma exposição de todas as áreas envolvidas,
- Os aspectos da interdisciplinaridade serão reforçados pelo entendimento global do circuito, do funcionamento, e dos gráficos apresentados,

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Protoboard e componentes eletrônicos;
- Arduino;
- Notebook;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS

HENEINE, I. F. **Biofísica Básica**. Atheneu, 2004. ed. 2.

PLANO DE AULA - Aula 07

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Conclusão do trabalho, avaliação coletiva e síntese dos conceitos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Avaliar o interesse diante da proposta e o entendimento adquirido pelos alunos ao longo do trabalho.

CONTEÚDOS

- Funcionamento do dispositivo.
- Reavaliação do questionário
- Apresentação oral sobre o funcionamento e relato de impressões.

METODOLOGIA

- Os grupos, usando o conjunto do aparato montado, explicará de uma forma dinâmica e prática o princípio de funcionamento do sensor de pulsos, delineando sobre as principais áreas envolvidas e podendo usar se necessário, recursos disponíveis tais como lousa, desenhos, instrumento de medidas e o próprio dispositivo montado.
- Na apresentação de cada grupo, os demais, terão que participar de forma interativa, fazendo observações e comentários que possa acrescentar detalhes importantes. Será elaborada perguntas argutivas feitas pelo professor durante a apresentação, permitindo assim, que os alunos possam

manifestar dúvidas ainda remanescentes. Porém as dúvidas, serão direcionadas aos grupos ouvintes, dando oportunidades a outros alunos de explicá-las com o auxílio do professor.

- Analisar as questões do questionário aplicado na primeira aula, revendo os conceitos e o entendimento da turma.

- Promover um relato pessoal e coletivo sobre a proposta metodológica, extraindo informações e impressões sobre o desenvolvimento.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;

- Câmera de vídeo / celular.

- Material de apoio.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

5. RELATO DAS ATIVIDADES NA SALA DE AULA

Este capítulo descreve a aplicação desta metodologia e as experiências de cada aula. Ele apresenta um relato detalhado sobre as aulas, os procedimentos realizados e os reflexos destes no processo de aprendizagem dos alunos.

5.1. Aplicação das Aulas

A aplicação da experiência de ensino foi dividida em sete aulas. Estas foram organizadas entre atividades teóricas e atividades práticas. As atividades teóricas visaram lembrar conceitos importantes da área de Física, que seriam utilizados no desenvolvimento, mas, por ter também um aspecto interdisciplinar, apresentou tópicos selecionados das áreas de fisiologia humana, eletrônica e programação de computadores. Na sequência, será apresentado um detalhamento dos temas e das aulas ministradas e os Planos de Aula.

5.1.1. Aula 01 – Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade

A aula foi ministrada de forma expositiva, apresentando aos alunos a teoria das potências, dando ênfase no domínio desta disciplina como ferramenta utilizada em cálculos e interpretação de grandezas elétricas: tensão, corrente, potência, resistência elétrica e capacitância; como apresentado na Tabela 5.1. O assunto foi destacado pelo professor na lousa com teoria e exemplos de aplicação direcionados às atividades práticas a serem realizadas. Para o acompanhamento e realização de exercícios pelos alunos, foram distribuídas folhas de atividades com a teoria e exercícios, visando dinamizar as aulas. Além disso, foi apresentado o funcionamento do multímetro na função ohmímetro.

Tabela 5.1 – Submúltiplos de unidade de medida, em potência de dez.

Tensão	Corrente	Potência	Resistência	Capacitância	Multiplicador
-	-	-	-	<i>pF</i>	10^{-12}
-	-	-	-	<i>nF</i>	10^{-9}
μV	μA	μW	-	μF	10^{-6}
<i>mV</i>	<i>mA</i>	<i>mW</i>	-	-	10^{-3}
<i>V</i>	<i>A</i>	<i>W</i>	Ω	-	1
<i>kV</i>	<i>kA</i>	<i>kW</i>	<i>k</i> Ω	-	10^3
<i>MV</i>	<i>MA</i>	<i>MW</i>	<i>M</i> Ω	-	10^6

Foi aplicado um questionário não pontuado, disponível no Anexo A. O propósito do questionário não foi avaliar quantitativamente os alunos e sim de medir a familiaridade dos alunos sobre os assuntos a serem trabalhados no desenvolvimento prático do dispositivo a ser montado. Os alunos tiveram um tempo de 15 minutos para responder livremente as questões e as respostas foram recolhidas e avaliadas posteriormente pelo professor. Para essa aula, estavam presentes 22 alunos do 3º regular e 11 alunos do 3º EJA. O questionário foi analisado pelo professor fora da sala de aula, e discutiu as respostas com os alunos posteriormente (na aula 7), em suas respectivas turmas, antes das apresentações, onde os alunos puderam rever o conteúdo e os temas propostos. Os conceitos foram abordados nas duas turmas de formas diferentes, respeitando as características de cada sala, conforme o modelo de ensino (EJA e ensino regular).

No terceiro ano regular, 9% dos presentes não responderam nenhuma questão, já o restante devolveu o questionário com todas ou a maioria das questões respondidas. Em uma análise subjetiva quanto ao que foi respondido, verificou-se que uma minoria conseguiu relacionar a eletricidade à energia elétrica, à tecnologia ou a sua utilidade no cotidiano. Grande parte apresentou o entendimento da eletricidade como um fenômeno físico dissociado da vida prática, apresentando confusão entre os conceitos de: tensão elétrica, corrente elétrica, resistência elétrica e energia elétrica. Na área biológica, a maioria também não soube responder sobre o funcionamento do coração e seus ciclos e a finalidade do exame de eletrocardiograma.

Na turma do terceiro ano EJA, todos os alunos entregaram o questionário respondido, com poucas respostas em aberto. Outro fato é que, nesta turma, um número maior de alunos conseguiu definir melhor os conceitos, inclusive com exemplos práticos relativos à eletricidade como fonte de energia, sua relação com a tecnologia e com as aplicações diárias. Quanto aos conceitos biológicos, eles não souberam responder sobre os ciclos cardíacos, mas apresentaram maior conhecimento sobre a finalidade do exame de eletrocardiograma. Esse maior entendimento sobre os conhecimentos biológicos talvez possa ser explicado pela diferença de faixa etária e experiência de vida entre as duas turmas. A turma do EJA é formada, em sua maioria, por adultos que já são pais ou mães, que exercem uma atividade profissional e que já foram acompanhantes em ambiente hospitalar.

Em seguida, nesta primeira aula foi apresentado aos alunos o multímetro, explicando suas funções como voltímetro, amperímetro e ohmímetro, a forma de interpretar suas escalas e o modo de usá-lo de forma segura.

Na sequência, foram formados grupos de quatro ou cinco alunos, com a entrega de uma folha de atividades e de dois resistores e dois capacitores com valores aleatórios, para cada grupo. Em seguida os alunos foram orientados a realizar medições nos resistores utilizando o multímetro, anotando os valores na folha de atividades. Para os capacitores foi realizada a leitura do valor nominal impresso no corpo dos mesmos, anotando os valores na folha de atividades. Ambas as medidas, resistência e capacitância, foram interpretadas e representadas por meio da potência de dez pelos alunos. Durante a aula foi possível perceber a dificuldade de manipulação matemática das unidades e seus múltiplos, tanto quanto sua aplicabilidade no conteúdo. Entretanto, ao efetuar a interpretação dos valores dos componentes fornecidos (resistores e capacitores), a percepção foi de uma maior assimilação do conteúdo e sua utilidade prática.

5.1.2. Aula 02 – Leis de Ohm, associação de resistências e código de cores

Nesta aula, foi explicado a diferença entre os materiais bons condutores, maus condutores e suas aplicações práticas. Utilizando desenho simbólico, com material didático de apoio (apostila), foi apresentado como são construídos os dispositivos resistores, fundamentada na 1ª Lei de Ohm.

Os resistores comerciais estão disponíveis em valores pré-definidos e a identificação do seu valor é dada por um código de cores impresso no corpo do componente, como apresentado na Figura 3.9.

Objetivando familiarizar os alunos com a identificação da resistência nominal de um resistor, eles foram divididos em grupos de quatro ou cinco componentes e foram distribuídos dois resistores de valores diferentes para cada grupo. Com a tabela disponível na lousa, foi solicitado que cada grupo identificasse os valores através da mesma. Na sequência, os resultados foram comparados com a medição realizada com o multímetro. Constatando uma pequena diferença entre o valor nominal e o valor medido, o professor a utilizou para explicar a função da quarta faixa existente nos resistores, que representa a tolerância, justificando as possíveis variações.

A partir do entendimento teórico da função de uma resistência em um circuito, alimentamos um resistor com derivações ou pontos de medidas, representando um circuito de resistências em série, e energizado com uma fonte de 10 [V], representado pelo diagrama da Figura 5.1.

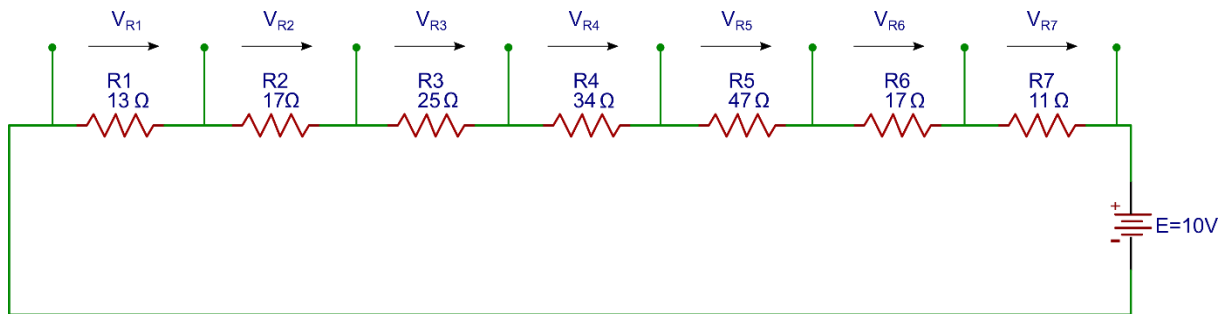
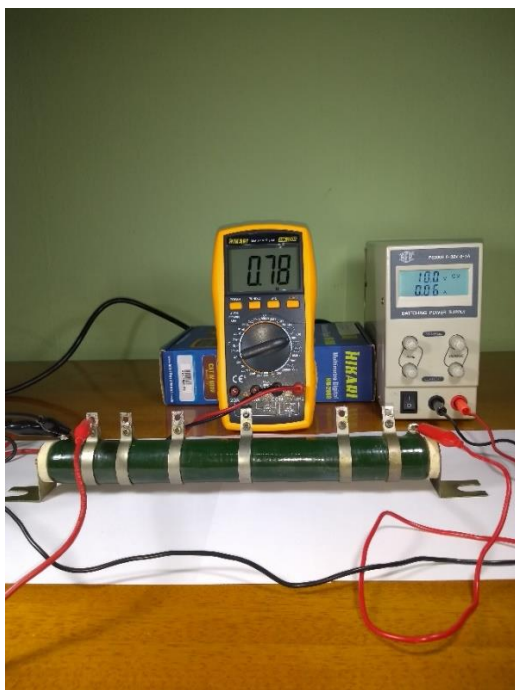


Figura 5.1 – Diagrama da distribuição de resistências ao longo das derivações de um resistor (simulando circuito série). Fonte: o próprio autor (2020)

A partir dessa montagem, foi realizada a medição de tensão em cada derivação, em relação negativo do circuito, com um multímetro digital na escala VDC (*Voltage Direct Current* – Tensão de Corrente Contínua ou CC) e anotados os valores. Essas medições estão apresentadas na Figura 5.2.



a) Primeira derivação



b) Segunda derivação



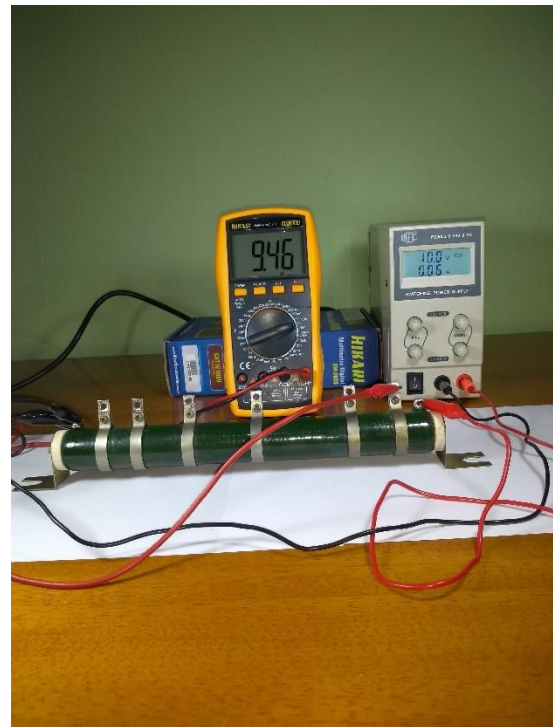
c) Terceira derivação



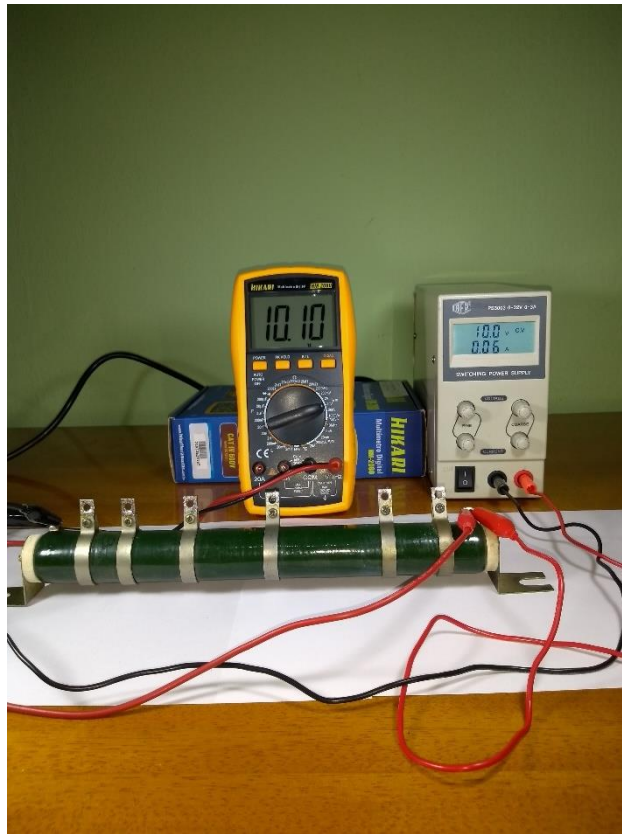
d) Quarta derivação.



e) Quinta derivação.



f) Sexta derivação.



g) Medida sob os extremos do resistor.

Figura 5.2 – Medição da distribuição de tensão ao longo do resistor (simulando circuito série). Fonte: o próprio autor (2019)

Os valores de tensão medidos foram: $V_{R_1} = 0,78 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} = 1,85 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} = 3,39 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} = 5,49 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} + V_{R_5} = 8,38 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} + V_{R_5} + V_{R_6} = 9,46 [V]$; $V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} + V_{R_5} + V_{R_6} + V_{R_7} = 10,1 [V]$. Efetuando a subtração sucessiva das tensões, é possível obter a queda de tensão em cada uma das resistências em série, o que resulta em: $V_{R_2} = 1,07 [V]$; $V_{R_3} = 1,54 [V]$; $V_{R_4} = 2,01 [V]$; $V_{R_5} = 2,89 [V]$; $V_{R_6} = 1,08 [V]$; $V_{R_7} = 0,64 [V]$. Usando o mesmo multímetro na escala amperímetro, interrompemos o circuito e inserimos o mesmo em série em um dos extremos do resistor, lendo o valor da corrente de $61,6 [mA]$. Retirando o amperímetro, foi restabelecida a conexão. A seguir, foi aberto o circuito no outro extremo da mesma resistência, inserindo novamente o amperímetro e feito a leitura da corrente, obtendo o mesmo valor. Assim, os alunos confirmaram que a corrente é a mesma em qualquer ponto de um circuito puramente resistivo em série.

De posse do valor da corrente circulante e das tensões sob cada ponto, é possível calcular o valor das resistências entre cada derivação, resultando em: $R_1 = 12,67 \text{ } [\Omega]$; $R_2 = 17,37 \text{ } [\Omega]$; $R_3 = 25,01 \text{ } [\Omega]$; $R_4 = 34,10 \text{ } [\Omega]$; $R_5 = 46,93 \text{ } [\Omega]$; $R_6 = 17,54 \text{ } [\Omega]$; $R_7 = 10,39 \text{ } [\Omega]$. Agora, com o multímetro na escala de Ohms e a fonte desligada da resistência, foram medidos os valores de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 e R_7 , e estes estão apresentados na representação esquemática do diagrama da Figura 5.1.

Neste processo, houve diferenças entre os valores calculados e os valores medidos. Aproveitando essa diferença, foi explicado que ela pode vir da resistência variável resultante das conexões elétricas entre o instrumento de medida e o circuito e da própria precisão do instrumento. Foi apresentado também uma relação entre o resistor utilizado para o experimento, Figura 5.2, e os resistores de pequeno porte usados no circuito. Assim, foi discutida as relações da capacidade de dissipação de potência de cada componente, em relação ao seu tamanho.

Diante da proposta prática desta aula, alguns alunos tiveram grande interesse de efetuar o procedimento de medição, sendo selecionado um aluno de cada grupo. O envolvimento e entusiasmo resultante podem ser explicados pela validação dos conceitos teóricos com uma atividade prática, envolvendo a medição de um componente real, utilizando um instrumento de medida operado por eles.

5.1.3. Aula 03 – Estudo dos capacitores

Em uma abordagem teórica expositiva, foi explicado a construção de um capacitor e como esse dispositivo acumula cargas elétricas, quando submetido a uma tensão elétrica.

Para essa aula, os alunos foram reunidos em torno da mesa do professor para acompanhar e avaliar o desenvolvimento da aplicação, onde, ao longo da aula, os alunos foram chamados a participar, de forma voluntária, das etapas a serem desenvolvidas. O experimento consistiu de utilizar um capacitor de $C_1 = 47 \text{ } [\mu F]$ e de um capacímetro, onde, foi efetuada a leitura do valor impresso no corpo do mesmo, seguida da medição do seu valor, com o capacímetro, sendo constatada uma pequena diferença, tal como nos resistores, justificada pela tolerância.

Na sequência, foi montado um circuito conectando os terminais do capacitor em uma fonte de tensão $E = 10 \text{ } [V]$. Para essa prática, foi utilizado um capacitor eletrolítico polarizado. Em paralelo ao circuito, foi conectado um voltímetro, utilizando

cabos com garras (jacarés) apropriadas, fixando os cabos de forma estável nos terminais do capacitor. Desconectando um dos terminais da fonte de tensão, verificou-se a existência de uma tensão remanescente por um breve período entre os terminais do capacitor, indicado pelo voltímetro, que decaiu gradualmente. Esse comportamento registrado no display do multímetro justificou o conceito do acúmulo de cargas pelo capacitor, facilitando assim a compreensão por parte dos alunos através da prática do comportamento do mesmo quando submetido a uma tensão.

Utilizando um segundo capacitor, desta vez com uma capacitância maior, de $C_2 = 2200 \text{ } [\mu F]$, o experimento foi repetido. Nessa segunda situação, o tempo em que o capacitor permaneceu carregado foi bem maior. Isso faz com que os alunos percebam o significado do valor da capacitância, em relação a quantidade de carga que o componente pode armazenar. A inferência da carga instantânea armazenada foi realizada pela medição da tensão elétrica, utilizando um voltímetro.

A associação de capacitores em série foi explorada na sequência. Os alunos foram instruídos a efetuar cálculos teóricos para a capacitância equivalente, da associação em série dos dois capacitores C_1 e C_2 apresentados, resultando em:

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2200 \times 10^{-6} \times 47 \times 10^{-6}}{2200 \times 10^{-6} + 47 \times 10^{-6}} = 46 \text{ } [\mu F] \quad (5.1)$$

Utilizando o capacitímetro, foi medida a capacitância equivalente para essa associação e o resultado foi comparado com o cálculo já efetuado, validando a previsão teórica, apresentado na Figura 5.3.



Figura 5.3 – Medição da capacitância equivalente da associação em série de dois capacitores.
Fonte: o autor (2019)

Usando o valor obtido de $C_T = 46 [\mu F]$ e a Equação (3.4), foi calculado o valor da carga total para a associação série representada no diagrama da Figura 5.4, quando alimentada por uma fonte de tensão $E = 10[V]$. Logo:

$$Q_T = V \times C_T = 10 \times 46 \times 10^{-6} = 460 [\mu C]. \quad (5.2)$$

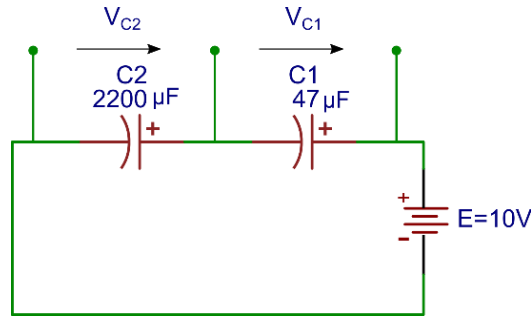


Figura 5.4 – Diagrama esquemático da associação série de dois capacitores, ligados à uma fonte de tensão contínua. Fonte: o autor (2020)

Considerando que a carga acumulada é a mesma para cada um dos capacitores em série, foi determinada a distribuição de tensão sob cada componente, onde:

$$V_{C_1} = \frac{Q_T}{C_1} = \frac{460 \times 10^{-6}}{47 \times 10^{-6}} = 9,79 [V] \quad (5.3)$$

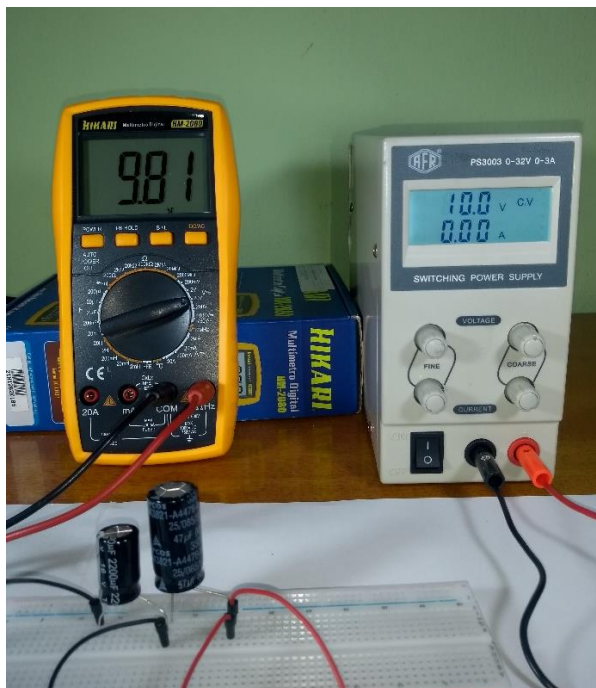
e

$$V_{C_2} = \frac{Q_T}{C_2} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2200 \times 10^{-6}} = 0,21 [V]. \quad (5.4)$$

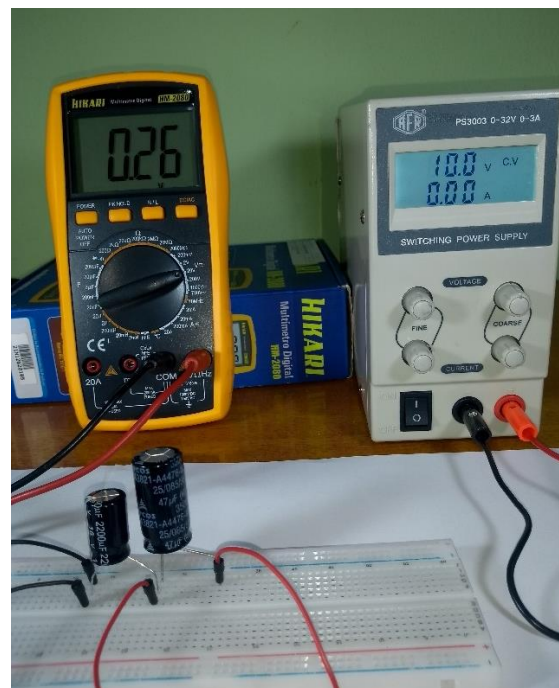
Essas medidas são compatíveis com as determinadas por meio da medição dos componentes reais, como ilustrado na Figura 5.5.

Um experimento prático foi realizado, onde foram medidas as tensões em cada capacitor e comparada com a tensão previamente calculada pelos alunos, certificando com a prática, as proposições teóricas.

Para a associação em paralelo, foram realizados os cálculos teóricos e o experimento consistiu, apenas, da experiência de descarga após a desconexão com a fonte. Permitindo compreender a relação entre carga, tensão e capacitância.



(a) Tensão sobre C_1 .



(b) Tensão sobre C_2 .

Figura 5.5 – Medição da distribuição de tensão da associação de capacitores em série. Fonte: o autor (2019)

Assim como na aula anterior, os alunos mantiveram o interesse ao longo dessa atividade, pela abordagem prática. Como foi mostrado que o capacitor armazena energia, quando carregado, os alunos anteviram a possibilidade do capacitor dar choque, mesmo sem estar conectado ao circuito.

5.1.4. Aula 04 – Estudo preparatório para montagens de circuitos

A aula teve início com a distribuição de folhas para cada aluno contendo o diagrama esquemático do circuito do sensor de pulsos, apresentado na Figura 3.34, também, reproduzido na lousa. Foi realizada uma explicação geral do seu funcionamento, com a identificação dos componentes utilizados em sua construção e das conexões elétricas. Esta análise envolveu a emissão do sinal infravermelho (Tx), sua reflexão pelo sangue, passando pela análise da fisiologia do corpo os efeitos no sinal ótico, sua captação pelo receptor (Rx), o seu processamento analógico e, por fim, sua reprodução digital.

Na identificação dos componentes do circuito, o diodo emissor de infravermelho TX foi energizado com uma tensão de 3 [V] CC para o entendimento do seu funcionamento. Em seguida, o diodo foi observado através da câmera de um celular,

onde se identificou a presença de um sinal luminoso, não visto a olho nu, dado que a fonte encontra-se no espectro infravermelho. Nesta parte, foram explorados os conceitos de luz, comprimento de onda e faixa de luz visível.

Seguindo a análise do circuito, foi explicado que a luz infravermelha emitida pelo diodo TX é uma fonte de sinal infravermelho de intensidade constante. A variação do fluxo sanguíneo provoca uma maior ou menor reflexão desse sinal luminoso, que sai de TX, atravessa o tecido muscular e é refletido nas partículas diluídas no fluido sanguíneo e é captado pelo receptor infravermelho RX. A intensidade variável do sinal ótico, em correspondência aos pulsos, recebido por RX implica na variação da resistência deste componente. A variação da resistência modifica o valor da corrente elétrica, gerando sinal eletrônico com variação proporcional ao sinal luminoso. Esse sinal passa por um circuito com um amplificador operacional (amp-op), operando como amplificador, dado que o sinal gerado por RX possui baixa amplitude. Nesta etapa, aproveitou-se para apresentar, simplificadamente o entendimento básico do amp-op (componente semiconductor) como amplificador de sinais eletrônicos.

Após a devida amplificação, o sinal é enviado ao Arduino, ver Figura 3.33, para sua digitalização e envio ao computador. Os alunos tiveram uma explicação básica do princípio de funcionamento do Arduino, envolvendo hardware e software. Este elemento, processa o sinal que é conectado a um computador através de um cabo USB e reproduzido na tela do mesmo em forma de um gráfico.

O entendimento do Arduino foi apresentado de forma simplificada, sendo explicado que este opera a partir de uma programação. Essa programação é realizada em um ambiente específico, ilustrado na Figura 3.27.

Nesta etapa, os alunos conseguiram ter o primeiro contato com o dispositivo eletrônico, despertando a curiosidade e, por meio das discussões em torno do tema, aumentou o envolvimento e o entendimento da ciência como precursora do desenvolvimento tecnológico.

Ao longo desta aula, os alunos conseguiram relacionar alguns conceitos da física envolvida nesse projeto com o funcionamento de alguns aparelhos eletrônicos, tais como o desfibrilador e aparelhos de estética à laser. Outros apresentaram dificuldade de interpretar o diagrama do circuito com suas conexões elétricas, sua simbologia associada ao componente eletrônico e até mesmo sua função em um

trabalho prático, situação esperada, pela quantidade de componentes diferentes dos usualmente empregados nas aulas de física.

5.1.5. Aula 05 – Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos

Nesta aula os alunos foram apresentados ao processo de montagem do circuito eletrônico completo. Assim, o primeiro passo consistiu da identificação e separação dos componentes necessários à atividade prática, ilustrados na Figura 5.6.



Figura 5.6 – Ilustração dos componentes eletrônicos utilizados na montagem do sensor de pulsos. Fonte: o próprio autor (2019)

Anteriormente à execução da montagem, foi explicado o funcionamento do *protoboard*, onde, foi descrita as ligações entre as linhas verticais ao centro e horizontais nas laterais, tal como apresentado na Figura 5.7.

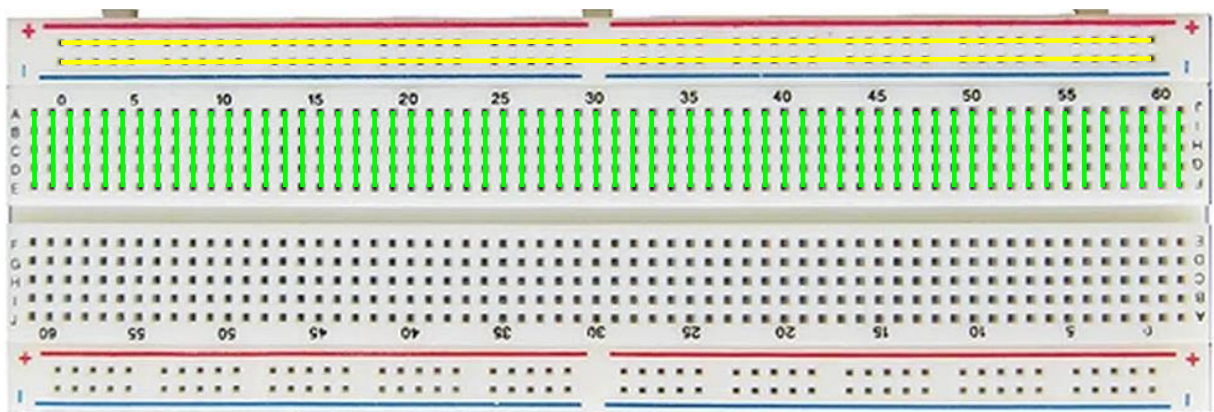


Figura 5.7 – Esquema de ligação das trilhas de um *protoboard*, identificado pelos traços amarelos e verdes. Fonte: o próprio autor (2019)

A Figura 5.9 ilustra o resultado (em forma de gráfico) da operação do estágio analógico, realizada previamente pelo professor na preparação do protótipo. Nesse caso, ao invés do conjunto composto pelo Arduino e o computador, foi utilizado um osciloscópio para medir e apresentar do sinal relativo à pulsação cardíaca. Outro ponto importante representa a sensibilidade da posição relativa dos sensores e do dedo. Para tal, foi construído um suporte para o posicionamento do dedo, utilizando uma braçadeira de cabos e fios condutores, apresentado na Figura 5.10. Para viabilizar a execução do aparato nas aulas práticas, o osciloscópio utilizado na montagem em laboratório foi substituído pelo conjunto Arduino e pelo computador.

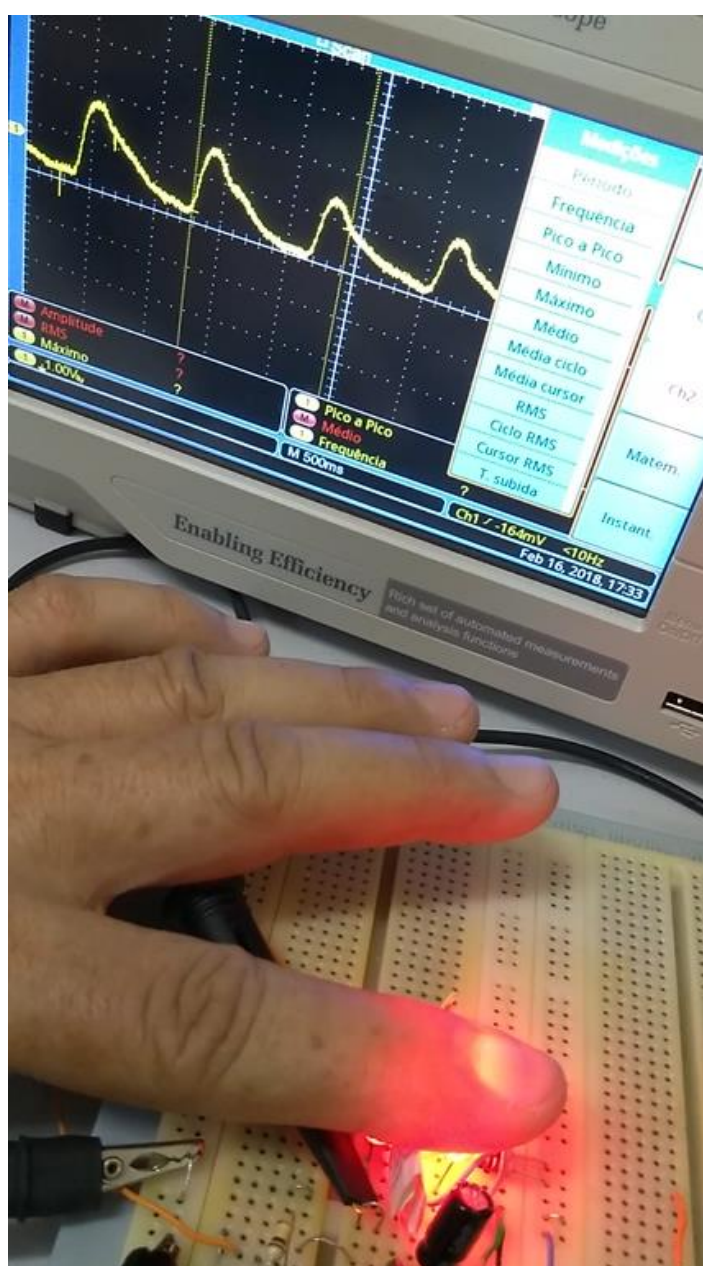


Figura 5.9 – Teste de funcionamento com osciloscópio da parte analógica do circuito. Fonte: o próprio autor (2019)



Figura 5.10 – Aparato de suporte desenvolvido para apoio do dedo no processo de medição. Fonte: o próprio autor (2019)

Quando conectado ao computador, o sinal da pulsação cardíaca é exibido na tela do mesmo em forma de gráfico, como apresentado na Figura 5.11.

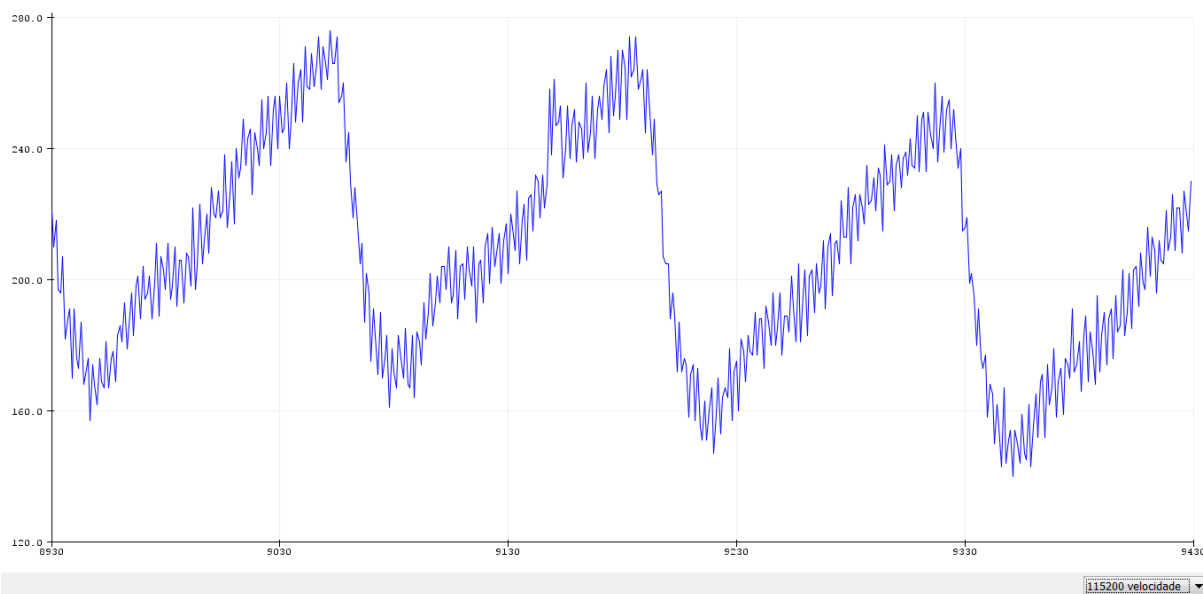


Figura 5.11 – Sinal dos batimentos digitalizados. Fonte: o próprio autor (2019)

Com o sistema completo operando, os alunos foram chamados a captar o seu próprio batimento cardíaco. Nesse ponto, os conceitos teóricos foram retomados, onde, os princípios da física, da fisiologia e da computação foram integrados com o propósito de consolidar os conceitos abordados. Assim, o fluxo de energia e suas transformações foram detalhados, começando com a captação do sinal do dedo, explorando o sistema circulatório, descrevendo a variação da pressão sanguínea com

as pulsações cardíacas, sendo que essas variações interferem na reflexão da luz infravermelha emitida pelo diodo TX e recebida pelo diodo RX, lembrando os conceitos de comprimento de onda e óptica, passando pelo processamento digital, até sua exibição na tela do computador.

Aqui, os alunos puderam ver o sistema todo operando, com a introdução do estágio digital, composto pelo Arduino e pelo computador. Poucos deles tinham algum conhecimento sobre linguagens de programação, porém, mesmo com considerável dificuldade, puderam compreender algo sobre o assunto. A partir daí, foi possível desenvolver uma compreensão sistêmica do todo. O maior destaque fica para o momento em que cada aluno pode ver sua pulsação cardíaca representada na tela do computador, colocando o seu dedo no sensor. Neste momento, mesmo os alunos mais alheios as aulas manifestaram real interesse, se apresentando para participar da experiência. Foi percebido que os alunos compreenderam melhor a relação entre a física, a tecnologia e a aplicação dos conceitos científicos em suas vidas.

5.1.7. Aula 07 – Conclusão do trabalho, avaliação arguitiva e síntese dos conceitos

Esta aula teve o objetivo de avaliar o nível de interesse dos alunos ante a nova proposta. Por se tratar de turmas com abordagens diferentes, foram realizadas atividades diferentes para a avaliação final:

- Turma 3º EJA: Avaliar qualitativamente, por meio de depoimento(s), o modelo adotado de aulas práticas.
- Turma 3º regular: Avaliar qualitativamente, por meio de depoimento(s), o modelo adotado de aulas práticas e apresentação do funcionamento do dispositivo em uma feira de ciências.

De forma geral, buscou-se medir e avaliar a efetividade da proposta de estudo adotada nas atividades. Esta avaliação foi conduzida por meio de uma conversa, onde os estudantes puderam apresentar suas impressões sobre o projeto, sua visão sob a metodologia adotada e percepções em geral. Para avaliar, de forma indireta, o aprendizado do tema, os alunos foram divididos em grupos e foram chamados a sintetizar o funcionamento do sistema e de seus aspectos em uma apresentação oral.

Nessa apresentação, questões sobre pontos da teoria e do funcionamento foram levantadas pelo professor, incentivando os alunos a externarem suas dúvidas.

Ainda na aula 07, o questionário aplicado no início da primeira aula (ver Anexo A) foi apresentado para uma nova avaliação das perguntas, mas, dessa vez, em forma de arguição oral. Em termos gerais, houve um maior entendimento dos conceitos relativos à eletricidade e suas propriedades, tanto quanto sobre os aspectos fisiológicos do funcionamento do coração. Entretanto, esses conhecimentos não foram completamente absorvidos, ainda havia dificuldade de separar de forma organizada os conceitos. A arguição oral permitiu uma maior capacidade de expressão dos alunos ante a forma escrita, tanto quanto possibilitou o professor auxiliar no entendimento mais preciso dos tópicos abordados. Ao longo do processo, foi possível perceber um maior envolvimento dos alunos com os temas e sua extensão para a vida prática, pelo número de perguntas e pelo teor dos questionamentos.

O desenvolvimento desta metodologia didática repercutiu em outras atividades extra classe da escola. A turma do 3º regular utilizou o sensor de pulsos como apresentação na feira de ciências, já a turma do 3º EJA apresentou em sala (aula 07).

A mudança de metodologia, às vezes, provoca certo desconforto no início. Acostumar-se com os novos códigos e novas formas de aprender também fez parte desse processo. No início, alguns alunos estranharam a necessidade de realizar cálculos, tomar notas de valores e desenvolver atividades práticas de forma mais metódica. A necessidade de seguir uma sequência metodológica não foi aceita por todos, a princípio, porém, foi sendo incorporada ao longo das aulas. Esse comportamento treina o estudante também em outras atividades afins.

Cabe uma observação notada sobre a expectativa manifestada dos alunos ao final de cada aula sobre o que seria desenvolvido na aula subsequente. Neste ponto, os alunos apresentavam, por conta própria, um real interesse sobre os próximos passos a serem desenvolvidos. Isso motivou a apresentação de um breve resumo ao final de cada aula do que seria tratado na aula seguinte, fato não comum na metodologia tradicional.

6. CONCLUSÃO

Esse trabalho foi pensado e elaborado com o intuito de mudar a postura de indiferença e distância que muitos alunos sentem com relação ao ensino de física. A experiência como professor de ensino técnico em eletroeletrônica me permitiu perceber que a participação dos alunos em atividades práticas promove um maior envolvimento deles nas aulas. Assim, a proposta de construção de um sensor de pulsos cardíacos em sala de aula permitiu aplicar uma abordagem interdisciplinar e de metodologia ativa, desenvolvendo os conceitos de eletricidade com os alunos do terceiro ano do ensino médio.

A experiência foi conduzida em sete aulas com partes teóricas e práticas em duas turmas do ensino médio noturno de uma escola pública, sendo uma do ensino regular e outro do EJA. Propiciar aos alunos aulas em que eles desenvolvam atividades práticas na comprovação dos conceitos teóricos auxiliado por cálculos foi de suma importância para uma efetiva compreensão da matéria. A construção de um sensor de pulsos, fundamentado em circuito eletrônico agregado de um dispositivo que incorpora versatilidades tecnológicas possibilitou aos mesmos a oportunidade de inserção na área da computação. Nos testes de funcionamento do dispositivo, os alunos obtiveram os pulsos reproduzidos na tela de um computador, e assim, foi facilitado a interpretação do raciocínio teórico previamente explicado. Esse modelo de aula, foi elaborado com intuito de promover uma abordagem diferente das comumente realizadas nas escolas públicas, que possibilite um maior envolvimento do aluno na aquisição de experiência como formação para a vida. Isso foi perceptível na medida em que foi se desenvolvendo as aulas, quando eles gradativamente começaram associar as etapas das atividades com os resultados possíveis a serem obtidos. Foi evidenciado, também, que uma parcela significativa dos alunos manifestou uma curiosidade de saber a respeito de outros dispositivos eletrônicos ligados a tecnologia e que estão à disposição das pessoas; tais como o princípio de funcionamento e a aplicabilidade. Todas essas reações serviram para notar uma maior interatividade entre os alunos e o professor e entre os próprios alunos acerca do conteúdo.

Os problemas encontrados ao longo das atividades no desenvolvimento do projeto (como recursos de materiais pedagógicos, laboratório, tempo, programação escolar das atividades extras, etc), foram contornados, de forma a não comprometer

o propósito do projeto, embora esses detalhes possam ser trabalhados em atividades similares futuras para obter melhores resultados.

De um modo geral, a aplicação deste método nas aulas promoveu considerável envolvimento dos alunos nas mesmas. Grande parte deles apresentaram mais questionamentos e observações do que no período de aulas convencionais e isso se deve ao desenvolvimento de atividades práticas.

A aplicação de aulas práticas requer uma preparação prévia do professor, ele tem que executar a mesma atividade do experimento previamente, para detectar possíveis imprevistos a serem contornados. Essa etapa tem o objetivo de permitir que o professor vivencie antecipadamente possíveis problemas de execução. Entretanto, as falhas servem como possibilidade de aprendizagem, e um resultado não esperado e sua correção ajudam a reforçar conceitos.

Cabe destacar que, além do maior interesse, notou-se a absorção do conhecimento de forma mais sólida, e a esse evento atribuímos o fato dos conteúdos teóricos serem corroborados pela experimentação. O esquecimento de curto prazo dos conceitos desenvolvidos também se mostrou menor, dado que os alunos conseguiam associar conhecimentos de aulas anteriores com as práticas desenvolvidas.

A dinâmica de aulas práticas aplicadas em uma sala de aula foi limitada, embora tenha sido a base da proposta. A disponibilidade de uma instalação adequada e de materiais em quantidades suficientes para toda a turma poderiam melhorar ainda mais a experiência apresentada. Noutro ponto, destacamos a necessidade de uma organização pedagógica adequada das instituições capaz de aproveitar iniciativas semelhantes, adaptando esse tipo de proposta às atividades da escola para não gerar conflitos. Esses apontamentos não invalidam os resultados, mas são elementos que devem ser considerados e podem ser melhorados a fim de oferecer suporte operacional para a consolidação de um ambiente escolar mais envolvente e motivador.

A experiência apresentada pode ser usada como base para outros trabalhos, mesmo que de campos diferentes da física. Atualmente, há uma grande disponibilidade de ferramentas de software e hardware que permitem implementações de baixo custo que envolvam os alunos diretamente no processo de construção do saber, mas não se limitando a estes. O que a aplicação desta atividade e das

experiências em cursos técnicos reforçam é que a participação ativa melhora a atenção e o interesse dos alunos em relação ao modelo puramente teórico.

Em aplicações futuras, cabem melhoras na parte instrumental e dos materiais de apoio, visando dar mais dinâmica em sua aplicação na sala de aula. A disponibilidade de um tempo maior e de um local com melhor infraestrutura também contribuiriam com a melhor execução da atividade fim. Entretanto, a experiência adquirida se mostrou válida, pelo entusiasmo dos alunos e pela modificação da estrutura das aulas. Desse fato, reforçamos a compreensão da necessidade de atividades complementares à metodologia clássica de ensino, como forma de intensificar o vínculo do estudante com a escola e com os conteúdos ministrados.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, M. S. T. ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino Física**. [online]. 2003, vol.25, n.2, pp.176-194. ISSN 1806-1117.

BONADIMAN, H., **A aprendizagem é uma conquista pessoal do aluno**. O aluno como mediador, oferece condições favoráveis e necessárias para esta caminhada. UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2005.

BORON, W. F. BOULPAEP, E. **Fisiologia Médica**. GEN Guanabara Koogan, 2015. 1 ed.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. Pearson Universidades, 2013. 11. ed.

BOYLESTAD, R. **Introdução à Análise de Circuitos**. Pearson Universidades, 2012. 12. ed.

CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS.

CARLOS, J. G. **Interdisciplinaridade no ensino médio - desafios e potencialidades**. 2007, p. 171. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências) Universidade de Brasília.

CUPANI, A. A Tecnologia como Problema Filosófico: Três Enfoques. **Scientiae Studia**, 2004. V.2, n. 4, p. 493-518 – São Paulo. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/ss/article/viewFile/11020/12788>.

DORF, R. C. SVOBODA, J. A. **Introdução aos Circuitos Elétricos**. LTC, 2012. 8. ed.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 1. ed. [S. l.]: GEN LTC, 1979. ISBN 9788570013095.

FLOYD, T. L. **Electronic Devices**. Pearson, 2005. 7. ed.

GASQUE, K. C. G. D. O Papel da Experiência na Aprendizagem: Perspectivas na Busca e no Uso da Informação. **TransInformação**, maio/ago 2008 - Campinas, 20(2): 149-158. ISSN 2318-0889. DOI: 10.1590/S0103-37862008000200003.

GIANI, K. **A experimentação no Ensino de Ciências - possibilidades e limites na busca de uma Aprendizagem Significativa**. 2010. 190p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências). Universidade de Brasília.

GIORDAN, M. O papel da Experimentação no Ensino de Ciências. 1999. **Química Nova Escola – Experimentação e Ensino de Ciências**. nº 10.

GRIFFITHS, David J. **Mecânica Quântica**. 2. ed. [S. l.]: Pearson, 2011. 360 p. ISBN 9788576059271.

HALL, J. E. **Guyton & Hall Tratado de fisiologia médica**. GEN Guanabara Koogan, 2017. 13. ed.

JEWETT JÚNIOR, John; SERWAY, Raymond A. **Física para cientistas e engenheiros: Luz, óptica e física moderna**. 1. ed. [S. l.]: Cengage Learning, 2012. 472

p. v. 4. ISBN 978-8522111114.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. Novatec Editora, 2011. ISBN: 978-85-7522-274-4.

MELLO, H. A. BIASI, D. R. S. **Introdução à Física dos Semicondutores**. Edgard Blucher LTDA, 1975.

MOURA, M. A. **Visualize a sua voz: Uma Proposta para o Ensino de Ondas Sonoras**. 2015, p. 95. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais). Universidade Federal de Mato Grosso.

MOZENA, E. R. OSTERMANN, F. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte). **Revista Ensaio**. p. 185-206. vol.16 no.2 Belo Horizonte May/Aug. 2014. DOI: 10.1590/1983-21172014160210.

PEREIRA, M. V. MOREIRA, M. C. A. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2017. v. 34, n. 1.

POMBO, O. Epistemologia da Interdisciplinaridade. **Revista Ideação**, 2008. v. 10, nº 1.

PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. **Journal of Engineering Education**, 2004. doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x.

RODRIGUES, E. **Metodologia de Ensino de Semicondutores no Ensino Médio**. 2015. p. 109. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Profissional em Ensino de Física) Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão.

RODRIGUES, L. B. **Aprendizagem Ativa por meio da Experimentação Remota: Um Estudo da Calorimetria**. 2017. 149p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional). Universidade Federal de Uberlândia.

SADIKU, M. N. O. **Elementos de Eletromagnetismo**. Bookman, 2012. 5. ed.

SERWAY, R. A. **Física 3 – para Cientistas e Engenheiros – com Física Moderna**. Ed. LTC, ed. 3ª, 1992.

SILVA, J. B. SALES, G. L. Gamificação aplicada no ensino de Física - um estudo de caso no ensino de óptica geométrica. **Acta Scientiae**, 2017. v.19. nº 5. p.782-798.

SOUZA, T. C. F. **Avaliação do ensino de física: um compromisso com a aprendizagem**. Passo Fundo: Ediupf, 2002.

TAHA, M. S. LOPES, C. S. C. SOARES, E. L. FOLMER, V. **Experimentação como Ferramenta Pedagógica para o Ensino de Ciências**. Experiências em Ensino de Ciências, 2016. v.11, nº 1.

TORTORA, G. J. DERRICKON, B. **Princípios de anatomia e fisiologia**. Guanabara Koogan, 2016. 14. ed.

XAVIER, J. C. **Ensino de Física: Presente e Futuro**. Atas do XV Simpósio Nacional Ensino de Física, 2003.

YONG, H. D. FREEDMAN, R. A. **Física III: Eletromagnetismo**. Pearson, 2015. 14. ed. ISBN 9788543015910.

Anexos

ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS ALUNOS



ESCOLA ESTADUAL JERÔNIMO ARANTES

Questionário Inicial de Física – Aulas práticas de Eletricidade.

3º Bimestre - 2019 – Turma – 3º ano Regular Noturno.

Professor: Luiz

Nome:

Data / /

LEIA COM ATENÇÃO!!! *Obs: Somente será aceito o questionário com o preenchimento correto nos espaços reservados intencionalmente dos dados, tais como: Nome legível e data.*

Não será necessária consulta em sites da internet e as respostas serão individuais, mesmo porque o intuito é avaliar o conhecimento básico de cada aluno para as aulas práticas propostas.

Questão 1

O que você entende por eletricidade?

Questão 2

Qual é a função da eletricidade no mundo moderno e cite exemplos de aplicação dela nas nossas vidas.

Questão 3

Qual é a relação da eletricidade e as tecnologias?

Questão 4

O que é voltagem?

Questão 5

O que é corrente elétrica?

Questão 6

O que é resistência elétrica?

Questão 7

O que é um resistor elétrico?

Questão 8

O que você entende por divisor de tensão?

Questão 9

O que é um capacitor?

Questão 10

O que você entende por circuitos elétricos ou eletrônicos?

Questão 11

O que são dispositivos semicondutores?

Questão 12

O que são sensores e onde podem ser usados?

Questão 13

O que você sabe falar sobre o exame que os médicos usam, chamado de eletrocardiograma (ECG)?

Questão 14

Qual são as fases (ciclos) do funcionamento do coração?

ANEXO B - Produto Educacional

Este anexo consiste do produto educacional que foi desenvolvido como parte dos critérios parciais do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, do Universidade Federal de Goiás.

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional tem como proposta a elaboração de uma sequência didática e um circuito de um dispositivo sensor de pulsos cardíacos, usando um circuito eletrônico de montagem simples com o auxílio do Arduino, que envolverá desde as teorias e conceitos correlatos da física, mais precisamente na eletricidade, mas que também envolve conceitos de biologia extraídos no funcionamento dele, em que são captados e reproduzidos sinais de informação e comportamento da fisiologia humana.

A proposta consiste em aplicar um modelo de aprendizagem ativa e interdisciplinar para turmas de estudantes do terceiro ano do ensino médio para o desenvolvimento dos conceitos de eletrodinâmica.

2. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi planejada para ser aplicada em 7 aulas com duração de, no mínimo, 45 minutos cada. Os temas de cada aula estão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Programa de atividades propostas para a aplicação.

Módulo	Atividades
1	Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade.
2	Leis de Ohm, associação de resistências e código de cores.
3	Estudo dos capacitores.
4	Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.
5	Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos.
6	Finalização da montagem, teste de funcionamento e integração de conhecimentos.
7	Conclusão do trabalho, avaliação arguitiva e síntese dos conceitos.

3. PLANOS DE AULA

Este capítulo apresenta os planos de aula desenvolvidos para a aplicação do produto educacional nas escolas.

PLANO DE AULA - Aula 01

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Unidades e Grandezas Físicas para a Eletricidade.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Adquirir compreensão e habilidades em notação Científica para os cálculos, leitura e interpretação de grandezas elétricas. Familiarizar os alunos com o instrumento de medida: multímetro (operando como ohmímetro). Leitura de valores nominais de resistência e capacitância.

CONTEÚDOS

1. Revisão de potências.
2. Grandezas físicas importantes para o desenvolvimento do trabalho.
3. Múltiplos e Submúltiplos.
4. Instrumento de medidas elétricas.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Aplicar um questionário (ver Anexo A) com questões gerais sobre os temas a serem desenvolvidos no trabalho.
- Na sequência, os alunos desenvolverão uma atividade prática, através da resolução de exercícios referente a múltiplos e submúltiplos e o emprego destes nas grandezas físicas utilizadas nas aulas.
- Apresentar aos alunos o multímetro, suas escalas e os modos de medição para resistência elétrica.
- Dividir a sala em grupos de quatro ou cinco alunos.
- Distribuir um conjunto de dois resistores e capacitores de valores aleatórios para cada grupo.
- Orientar os alunos a medir o valor da resistência elétrica de cada resistor com o multímetro, anotando os valores na folha de exercícios.
- Orientar os alunos a efetuar a leitura e interpretação do valor nominal dos capacitores, anotando os valores na folha de atividades.
- Converter os valores obtidos entre as subunidades e a notação de potência de dez.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Caderno;
- Folha de atividades;
- Multímetro;
- Resistores;
- Capacitores

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.
AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

PLANO DE AULA - Aula 02

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Leis de Ohm Associação de resistências e código de cores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Apresentar uma das propriedades dos materiais que é a resistência elétrica.
Entender a distribuição de tensão em um circuito com resistores.
Verificar a lei de Ohm.
Ler o valor nominal de cada resistor por meio do código de cores.
Associar a potência máxima dissipada em um resistor com suas dimensões físicas.

CONTEÚDOS

1. Resistores.
2. 1ª Lei de Ohm.
3. Código de cores para identificação de resistores.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Dividir a sala em grupos com quatro ou cinco alunos.
- Fornecer a tabela com o código de cores para a identificação de resistores.

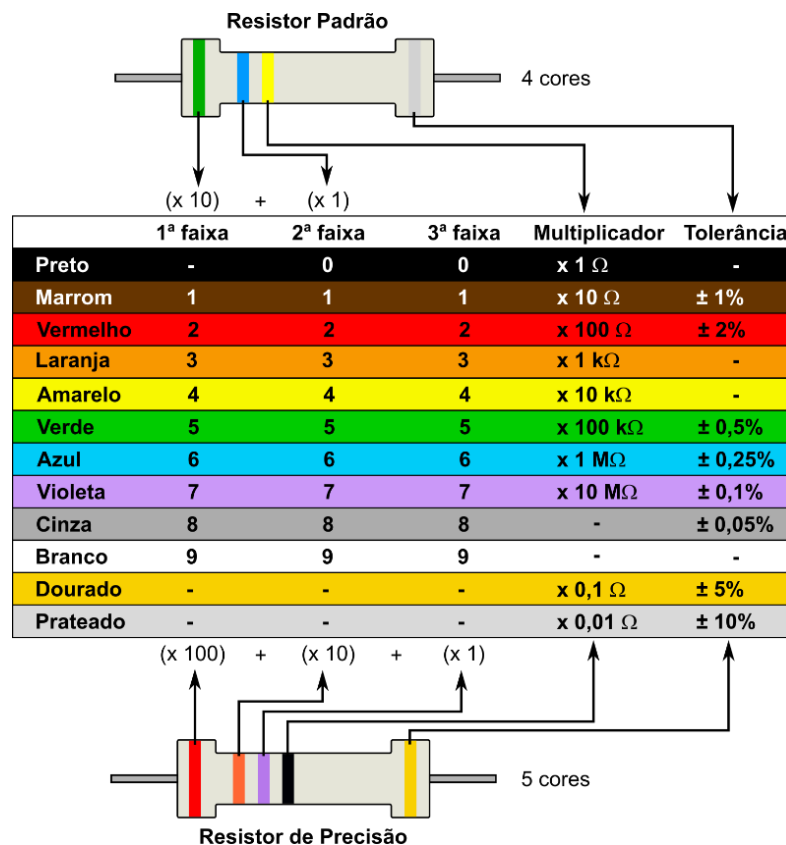


Figura 1 – Tabela de cores para obter o valor dos resistores. Fonte: o próprio autor (2020)

- Fornecer dois resistores para cada grupo com valores diferentes e aleatórios.
- Com uma tabela de código de cores de resistência elétrica, cada grupo identificará a sua resistência.
- Efetuar a medição da resistência elétrica com o multímetro na escala de resistência.
- Comparar o valor medido com o valor lido.
- Confrontar a discrepância, explicando a relação de tolerância.
- Montar um circuito de resistores em série alimentado por uma fonte de tensão.
- Utilizar o multímetro para efetuar as medições de tensão, corrente e resistência elétrica.
- Utilizar a 1ª Lei de Ohm para analisar os resultados obtidos e calcular valores desconhecidos.
- Sintetizar os conceitos por meio da comparação entre as previsões teóricas e a aplicação prática.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Fonte de alimentação;
- Resistores e resistência com derivações;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 03

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Estudo dos capacitores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Analisar a associação de capacitores série e paralelo. Estudar o comportamento dos capacitores submetidos a uma fonte de tensão contínua.

CONTEÚDOS

1. Entender e distinguir as partes componentes de um capacitor na sua construção e suas funções específicas.
2. Montagem de um circuito com capacitores em série/paralelo e alimentados por uma fonte de tensão contínua.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Montar o experimento e reunir os alunos para observação e participação.
- Apresentar os dois capacitores disponíveis e seus valores de capacitância. É desejável que os valores de capacitância difiram de uma ordem de grandeza maior ou igual a 10 vezes para acentuar o comportamento no experimento.
- Carregar um capacitor com a tensão da fonte e acompanhar o tempo de descarga. Carregar o segundo capacitor com a mesma tensão e acompanhar o tempo de descarga. Comparar os resultados com os elementos teóricos de carga acumulada, capacitância e tensão.
- Solicitar aos alunos efetuar os cálculos dos valores capacitância equivalente, carga e distribuição de tensão para a associação em série.
- Montar o circuito proposto e alimentá-lo com uma fonte de tensão contínua.
- Efetuar as medições de distribuição de tensão em cada capacitor.
- Comparar os valores teóricos com os valores obtidos na prática.
- Solicitar aos alunos o cálculo da capacitância e carga para a associação em paralelo.
- Avaliar o processo de descarga para esse caso.
- Comparar o resultado com as implicações teóricas.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 capacitor de 47 [μF].
- 01 capacitor de 2200 [μF].
- 01 fonte de tensão de 10 V.
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 04

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Familiarizar e preparar os alunos com o dispositivo a ser construído, de forma que os mesmos terão a ideia de sua função e do seu princípio de funcionamento.

CONTEÚDOS

- Apresentação do circuito eletrônico do sensor de pulsos cardíacos, com noção do princípio de funcionamento e suas partes.
- Espectro de luz e componentes optoeletrônicos (diodos emissor/receptor de luz).
- Noções básicas de montagem tais como: Simbologia dos componentes envolvidos, ferramentas e instrumentos de medidas.
- Circuitos eletrônicos amplificadores.
- Sistemas digitais.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Nessa etapa, o dispositivo a ser construído será apresentado de forma efetiva para a classe. Isso, se dará, com o circuito desenhado na lousa pelo professor, e com os alunos acompanhando em uma folha previamente distribuída individualmente, onde o professor irá analisar juntamente com os mesmos a tomada de informação de variação de pressão no dedo, até a tomada do sinal eletrônico na saída do circuito. Os alunos, com essa etapa, terão a oportunidade de associar os conceitos comportamentais de resistores e capacitores, agora em um circuito.
- Detalhar as etapas de processamento do sinal, desde a recepção até sua apresentação no computador, explicando as partes analógica e digital do processo. Explicando a função do Arduino, e a importância da programação, de forma simplificada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Diodo emissor de luz e fonte DC;
- Arduino;
- Notebook.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica.** ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** Pearson, 11ª ed.

PLANO DE AULA - Aula 05

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Apresentar os componentes reais do circuito eletrônico e associá-los aos símbolos do diagrama. Montar o circuito eletrônico do sensor de pulsos.

CONTEÚDOS

- Identificação dos componentes eletrônicos reais do circuito.
- Estratégia de montagem do circuito eletrônico no *protoboard*.
- Conexão elétrica entre os componentes.

METODOLOGIA

- Na sala de aula, uma mesa será colocada de forma estratégica numa posição central em frente a lousa. Os componentes do sensor de pulsos serão colocados na mesma.
- Os alunos deverão sentar-se em torno da mesa para identificar os componentes eletrônicos em correspondência com os símbolos do diagrama, interagindo com o professor.
- Após a identificação de todos os componentes, o professor apresentará o funcionamento do protoboard, identificando suas conexões internas.
- A primeira etapa da montagem consistirá da fixação dos componentes no *protoboard*, onde alguns dos alunos, de forma voluntária e orientados pelo professor, irão fixar os componentes no *protoboard* de acordo com o diagrama.
- Após a fixação dos componentes o professor seguirá com a conexão elétrica entre os componentes, seguindo o fluxo do sinal. Cada novo estágio deverá ser conferido para garantir a conexão elétrica adequada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 amplificador operacional LM 358;
- 01 regulador de tensão LM 7805;
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm];
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm];
- 02 Baterias de 9 [V];
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W];
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W];
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ];
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF];
- 01 borne duplo;
- 01 borne triplo;

- 02 bornes para pino banana;
- 02 suportes de conexão para bateria;
- 01 protoboard;
- *Jumpers* para *protoboard*;
- 01 Cabo coaxial;
- Cabos elétricos para conexões;
- 01 Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

PLANO DE AULA - Aula 06

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Finalização da montagem e teste de funcionamento.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Finalizar a montagem do circuito com a conexão da parte analógica com a parte digital. Efetuar testes de funcionamento. Estabelecer os parâmetros de interdisciplinaridade entre os conceitos físicos (ótica e eletricidade), tecnologia (eletrônica, programação e microcontroladores) e biologia (fisiologia, sistema cardíaco).

CONTEÚDOS

- Sistema digital.
- Síntese de conhecimentos e interdisciplinaridade.

METODOLOGIA

- Nessa etapa, os alunos de posse do circuito montado, conectará o dispositivo a uma fonte de alimentação, utilizando cabos polarizados padrão (preto – polo negativo e vermelho polo positivo).
- É sugerido que, antes de ligar uma fonte de tensão no circuito, seja feita uma verificação minuciosa das conexões dos componentes no geral, principalmente da alimentação no dispositivo, evitando qualquer incidente.
- Com o circuito alimentado, o professor certificará, juntamente com os alunos, o funcionamento do aparato, através da conexão do sensor com o Arduino.
- O professor explicará as conexões entre o sensor, o Arduino e o computador com suas relações de interdependências tecnológicas. Com todos os estágios do aparato em funcionamento, o professor fará uma exposição de todas as áreas envolvidas,
- Os aspectos da interdisciplinaridade serão reforçados pelo entendimento global do circuito, do funcionamento, e dos gráficos apresentados,

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Protoboard e componentes eletrônicos;
- Arduino;
- Notebook;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS

HENEINE, I. F. **Biofísica Básica**. Atheneu, 2004. ed. 2.

PLANO DE AULA - Aula 07

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Conclusão do trabalho, avaliação coletiva e síntese dos conceitos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Avaliar o interesse diante da proposta e o entendimento adquirido pelos alunos ao longo do trabalho.

CONTEÚDOS

- Funcionamento do dispositivo.
- Reavaliação do questionário
- Apresentação oral sobre o funcionamento e relato de impressões.

METODOLOGIA

- Os grupos, usando o conjunto do aparato montado, explicará de uma forma dinâmica e prática o princípio de funcionamento do sensor de pulsos, delineando sobre as principais áreas envolvidas e podendo usar se necessário, recursos disponíveis tais como lousa, desenhos, instrumento de medidas e o próprio dispositivo montado.
- Na apresentação de cada grupo, os demais, terão que participar de forma interativa, fazendo observações e comentários que possa acrescentar detalhes importantes. Será elaborada perguntas argutivas feitas pelo professor durante a apresentação, permitindo assim, que os alunos possam

manifestar dúvidas ainda remanescentes. Porém as dúvidas, serão direcionadas aos grupos ouvintes, dando oportunidades a outros alunos de explicá-las com o auxílio do professor.

- Analisar as questões do questionário aplicado na primeira aula, revendo os conceitos e o entendimento da turma.
- Promover um relato pessoal e coletivo sobre a proposta metodológica, extraindo informações e impressões sobre o desenvolvimento.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Câmera de vídeo / celular.
- Material de apoio.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

4. ROTEIRO PARA MONTAGEM DO SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS

Este capítulo descreve o funcionamento do sensor de pulsos e apresenta o roteiro para sua montagem.

4.1 Princípio de funcionamento do sensor de pulsos cardiacos

O aparato experimental do sensor de pulsos cardíacos é formado de duas partes: o hardware e o software. A parte de hardware é composta por: sensores responsáveis pela transdução do sinal biológico; por circuitos eletrônicos para o condicionamento do sinal eletrônico; e por um Arduino que digitaliza o sinal e o transmite para o computador. A parte de software recebe o sinal e propicia sua adequada apresentação aos usuários. A Figura 4.1 apresenta o diagrama simplificado de funcionamento.

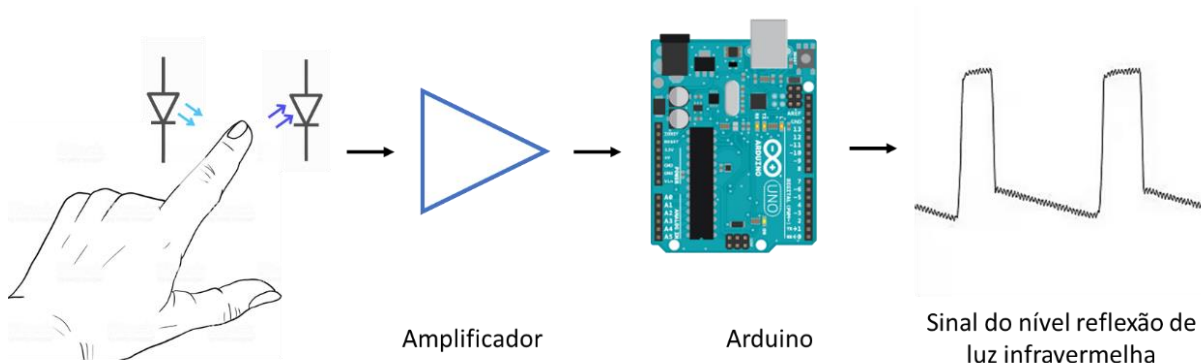


Figura 4.1 – Diagrama de funcionamento geral do sistema. Fonte: o próprio autor (2020)

O fluxo de sangue no corpo apresenta um valor médio com uma variação modulada pelos ciclos de batimentos cardíacos. Utilizando um LED emissor de infravermelho (Tx) e um fotodiodo, receptor de infravermelho (Rx), é possível captar a variação do fluxo de sangue. Como ilustrado na Figura 4.1 e apresentado na Figura 4.5, o dedo é colocado sobre o conjunto formado pelo Tx e Rx, que estão paralelos, juntos e apontando no mesmo sentido. Assim, as emissões em infravermelho de Tx são parcialmente refletidas pelo sangue e retornam para Rx. Quando esse fluxo aumenta o sinal luminoso é mais refletido e quando o fluxo diminui a intensidade refletida é menor. O LED infravermelho é polarizado por uma tensão fixa e se torna

uma fonte de luz infravermelha constante. O fotodiodo é um sensor que capta o nível de reflexão do sinal e o converte para um sinal elétrico proporcional.

O sinal elétrico resultante precisa ser tratado para poder passar pelo processo de digitalização do Arduino, antes de ser enviado para o computador. Essa etapa de processamento do sinal analógico é realizada pelo estágio condicionador e amplificador de sinais. O sinal deve chegar ao microcontrolador entre 0 [V] e 5 [V], para poder ser digitalizado. O microcontrolador envia o sinal para o computador em formato digital e este é reproduzido na tela, por meio de um gráfico.

O estágio amplificador é responsável por tornar o sinal obtido do transdutor ótico (Rx) em uma faixa de tensão compatível com a entrada do conversor analógico digital do Arduino. O desenvolvimento do circuito analógico partiu de um diagrama esquemático disponível em um site de projetos de eletrônica, apresentado na Figura 4.2.

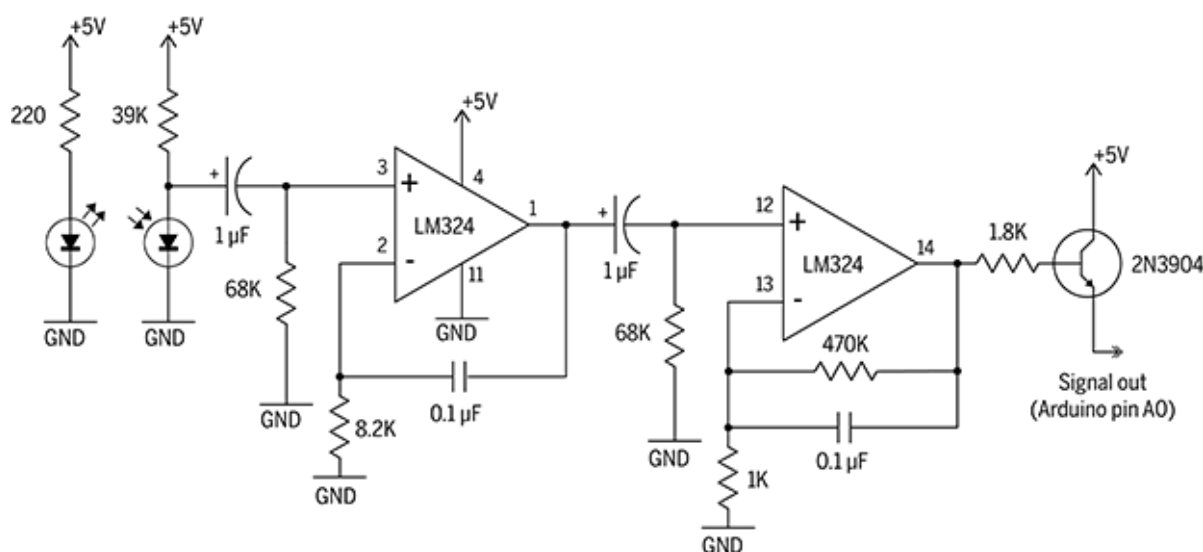


Figura 4.2 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos modelo. Fonte: Circuito obtido em: <https://makezine.com/projects/ir-pulse-sensor/> (2019)

A partir desse circuito, foram realizadas algumas modificações e adaptações dos componentes utilizados, devido à dificuldade de encontrar os sensores originais ou compatíveis. O resultado de dois meses de desenvolvimento resultou no circuito apresentado na Figura 4.3. Este representa o diagrama esquemático do circuito final, com a indicação dos componentes utilizados e suas conexões elétricas.

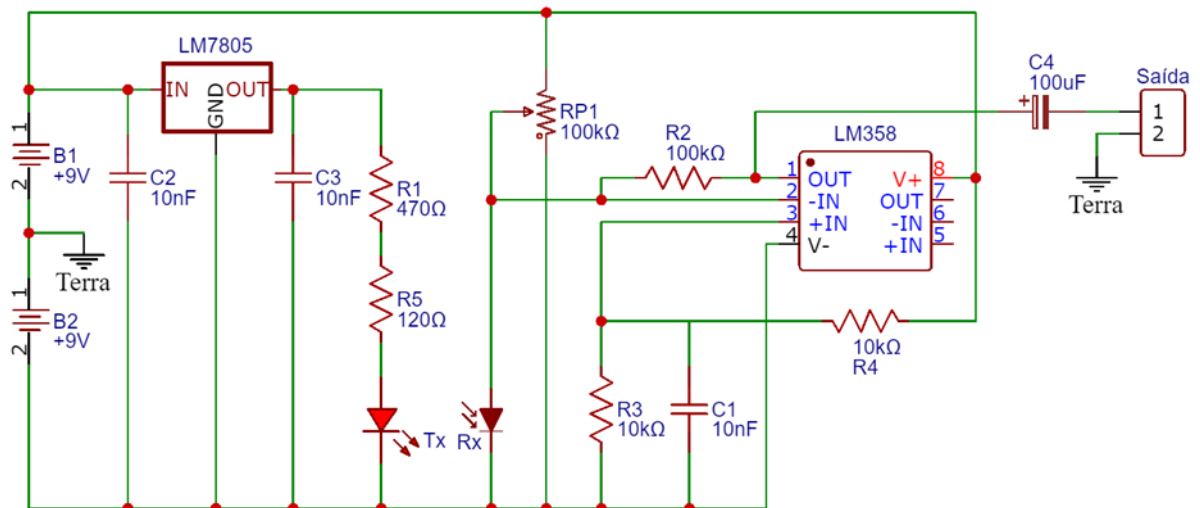


Figura 4.3 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos. Fonte: o próprio autor (2020).

Para permitir a mobilidade, o circuito é alimentado por duas baterias, itens B1 e B2. O diodo emissor de luz infravermelha (Tx) é alimentado com uma tensão de 5 [V], fornecida pelo regulador de tensão LM7805. O fotodiodo (Rx) está ligado ao trimpot RP1, de valor 100 [kΩ]. Essa configuração opera como um divisor de tensão e permite regular a sensibilidade do fotodiodo. Em síntese, a corrente elétrica no componente do fotodiodo irá variar de acordo com a intensidade de luz refletida pelo sangue. Essa variação é detectada no pino 2 do amp-op LM358, onde será amplificada por ele. O sinal de saída é conectado ao Arduino para ser digitalizado.

A Figura 4.4 apresenta o protótipo montado em uma placa perfurada. Este protótipo é o resultado do desenvolvimento prévio do circuito e foi apresentado como exemplo e backup para as aulas práticas.

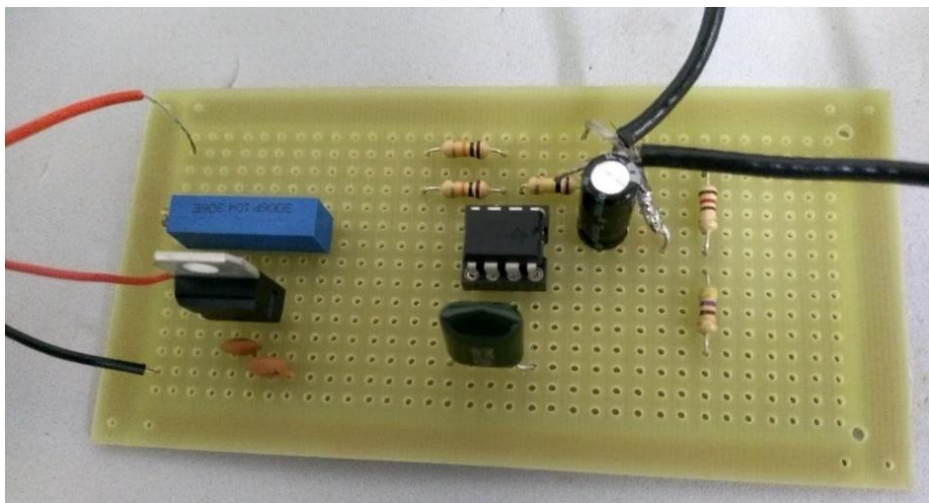


Figura 4.4 – Protótipo de componentes montado e soldado em uma placa de fenolite perfurada. Fonte: o próprio autor (2019)

A Figura 4.5 ilustra a medição da parte analógica do sinal, sendo exibido os pulsos cardíacos no osciloscópio.

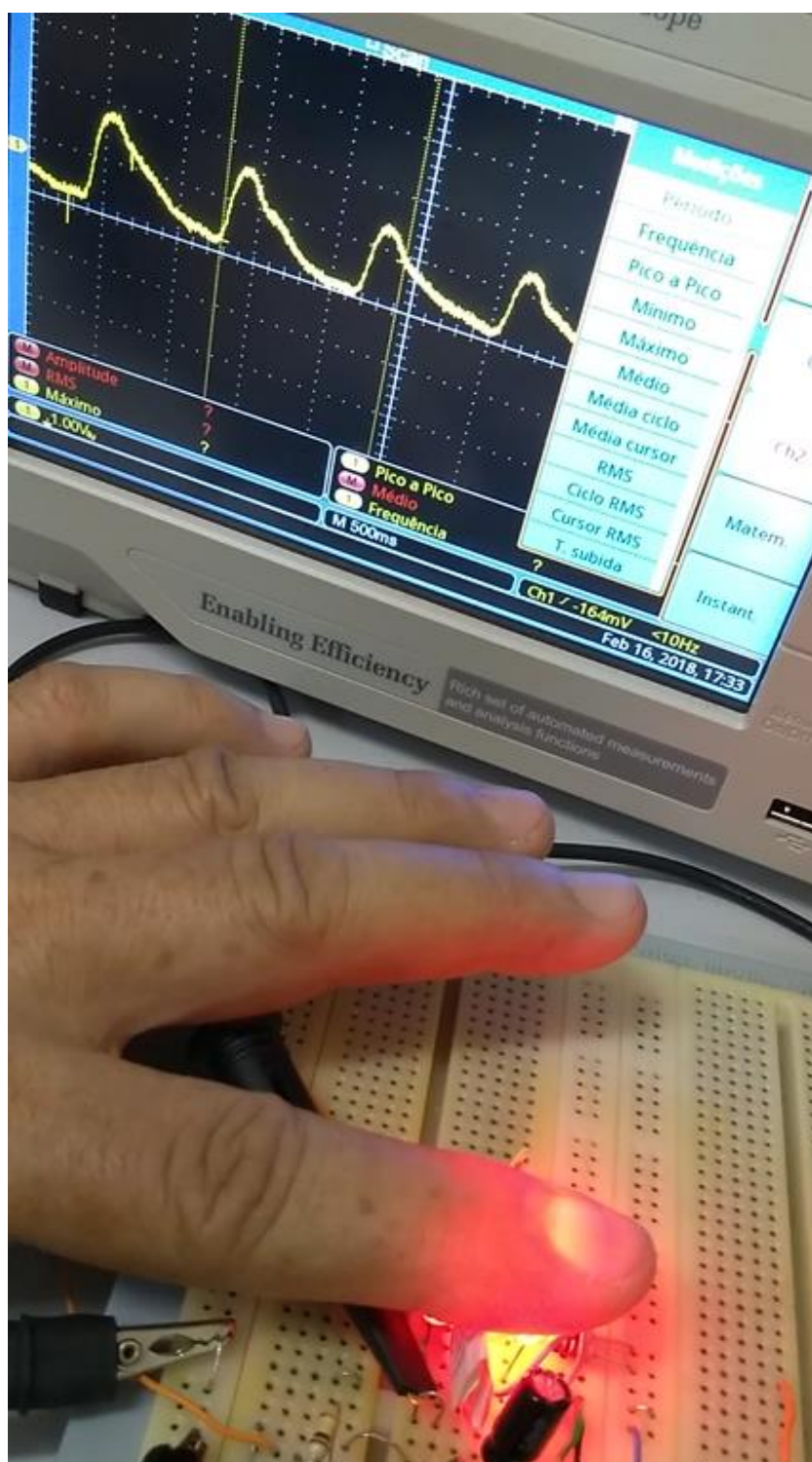


Figura 4.5 – Sinal analógico dos pulsos cardíacos, mostrado em um osciloscópio. Fonte: o próprio autor (2019)

A Figura 4.6 apresenta o diagrama de pinos do Arduino.

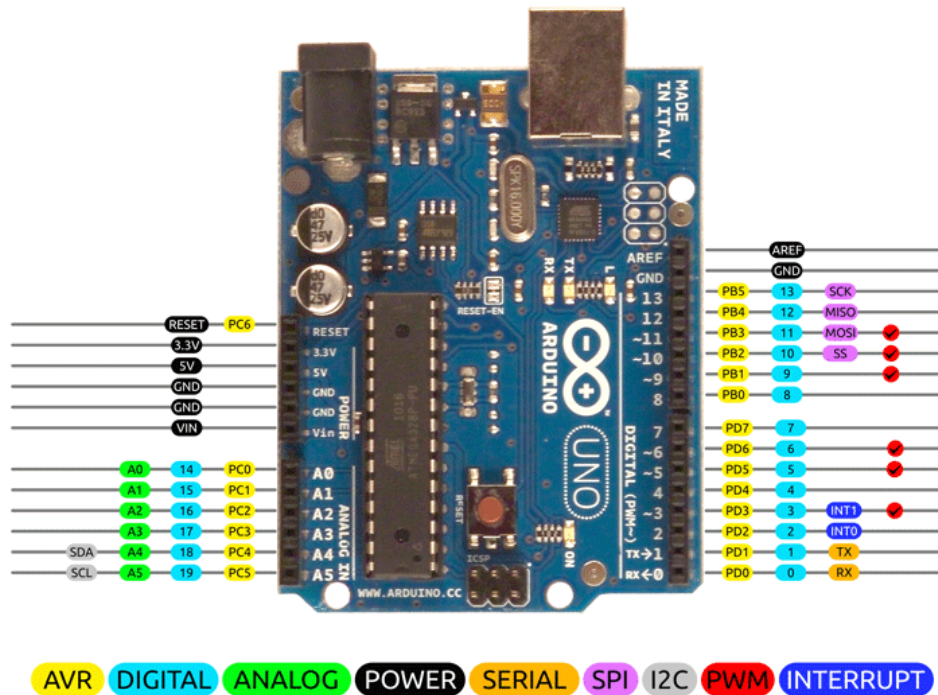


Figura 4.6 – Pinout do Arduino Uno R3. Fonte: www.arduino.cc

O Arduino será programado pelo código apresentado na Figura 4.7.

```

1 void setup() {
2   pinMode(A0, INPUT); // Pino A0 como entrada
3   Serial.begin(115200); // Velocidade da porta serial
4 }
5
6 void loop() {
7   // Faz a leitura do conversor ADC
8   int adc = analogRead(A0);
9   // Envia o dado ao computador
10  Serial.println(adc);
11
12  // espera 5 ms
13  delay(5);
14 }

```

Figura 4.7 – Código Arduino utilizado para a captura de dados. Fonte: o próprio autor (2020)

Por fim, a Figura 4.8 apresenta o resultado do sinal digitalizado e exibido no computador.

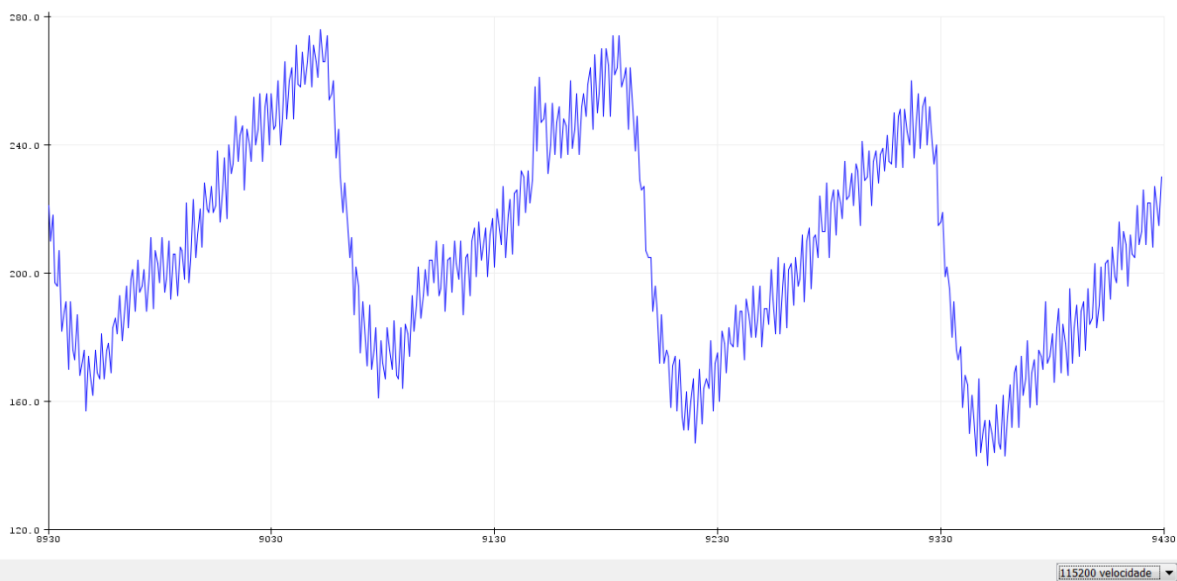


Figura 4.8 – Resultado do sinal digitalizado e apresentado como um gráfico no software. Fonte: o próprio autor (2020)

4.2 Lista de Materiais

A lista completa de componentes necessários à montagem do circuito, incluindo o custo estimado, é:

- 01 Arduíno Uno (R\$ 60,00);
- 01 amplificador operacional LM 358 (R\$ 3,20);
- 01 regulador de tensão LM 7805 (R\$ 2,00);
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,89);
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,34);
- 02 Baterias de 9 [V] (R\$ 9,00 cada);
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10 cada);
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ] (R\$ 6,38);
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF], isolação 50 [V] (R\$ 0,57 cada);
- 01 capacitor de 100 [μF], isolação 25 [V] (R\$ 0,90);
- 01 borne duplo (R\$ 2,14);
- 01 borne triplo (R\$ 3,00);

- 02 bornes para pino banana (R\$ 4,00);
- 02 suportes de conexão para bateria (R\$ 0,50);
- 01 protoboard (R\$ 25,00);
- *Jumpers* para *protoboard* (R\$ 1,00 a unidade);
- 01 Cabo coaxial (R\$ 2,50);
- Cabos elétricos para conexões (R\$ 5,00).

Para as aulas práticas, também foram necessários o uso de multímetro e notebook.

4.3 Procedimento Experimental

De posse do *protoboard* e do diagrama esquemático do circuito, Figura 4.3, o primeiro passo consiste em identificar e separar cada um dos componentes do circuito.

Para a montagem do circuito, sugere-se a seguinte sequência:

1. Ligar os conectores de baterias entre si, para configurá-las em série, e os terminais das mesmas aos bornes do *protoboard*;
2. Conectar os bornes de alimentação às trilhas de distribuição de tensão (positivo e negativo) do *protoboard*;
3. Montar o regulador de tensão LM7805 próximo aos bornes de alimentação do *protoboard* e conectar os capacitores C2 e C3 com o regulador;
4. Ligar o diodo transmissor Tx à saída do regulador LM7805, por meio das resistências R1 e R5;
5. Ligar o diodo receptor Rx à fonte, próximo do Tx, através do trimpot RP1;
6. Fixar o amplificador operacional LM358 próximo ao Rx, mas com espaço suficiente para acomodar os componentes restantes;
7. Conectar os outros componentes: R2, R3, R4, C1 e C4 ao LM358;
8. Adicionar jumpers para o borne de saída do sinal analógico;
9. Conectar as baterias e verificar o funcionamento do circuito.

O sinal da saída do circuito amplificador deve ser ligado ao Arduino. Para tal, o circuito analógico será conectado ao Arduino por meio de um cabo coaxial interligando

a saída do circuito analógico com a entrada do conversor analógico/digital A0 (ver Figura 4.6) e um jumper que interconecta o terra do circuito analógico com o terra do Arduino, um dos pinos GND. O Arduino deve estar conectado ao computador e programado com o código apresentado na Figura 4.7. No computador, é aberta a interface do monitor do sistema, no software de programação do Arduino (encontrado em www.arduino.cc). Ao se posicionar o dedo no sensor ótico, o sinal obtido deve ser semelhante ao apresentado na Figura 4.8.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 A eletricidade

A eletricidade está presente em nosso cotidiano, no funcionamento dos eletrodomésticos, nos aparelhos de entretenimentos, nos equipamentos médicos-hospitalares usados nos diagnósticos e tratamento de doenças e em muitas outras aplicações. Os conceitos de eletricidade, quando abordados através da análise e compreensão de circuitos eletroeletrônicos, proporcionam uma alternativa prática e didática de aquisição destes conhecimentos. A eletrodinâmica trata das cargas elétricas em movimento e é a base para o entendimento do funcionamento de todos os dispositivos eletroeletrônicos.

A Figura 5.1 apresenta uma lista com símbolos que serão utilizados na leitura de diagramas dos circuitos utilizados.

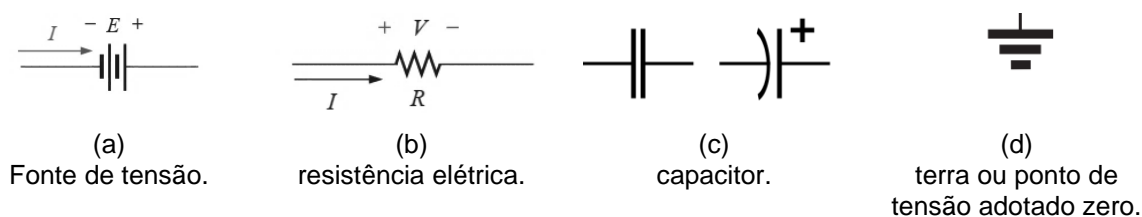


Figura 5.1 - Lista de símbolos utilizados na representação esquemática de circuitos elétricos. Fonte: o próprio autor (2020)

Em geral, foi adotado o Sistema Internacional (SI) de unidades para o desenvolvimento das atividades propostas. A Tabela 5.1 mostra um resumo das unidades de medida apresentadas e seus submúltiplos.

Tabela 5.1 – Submúltiplos de unidade de medida, em potência de dez.

Tensão (Volts)	Corrente (Ampere)	Potência (Watts)	Resistência (Ohm)	Capacitância (Farad)	Multiplicador
-	-	-	-	pF	10^{-12}
-	-	-	-	nF	10^{-9}
μV	μA	μW	-	μF	10^{-6}
mV	mA	mW	-	-	10^{-3}
V	A	W	Ω	-	1
kV	kA	kW	$k\Omega$	-	10^3
MV	MA	MW	$M\Omega$	-	10^6

5.1.1 Gerador de Corrente Contínua

Inicialmente, vamos falar sobre as fontes de alimentação, que são geradores de tensão, cuja função fundamental é fornecer energia para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Destacamos que existem geradores de corrente alternada (CA) e geradores de corrente contínua (CC). A tensão elétrica fornecida nas residências é no modo CA. A energia fornecida por baterias e pilhas é no modo CC. Neste trabalho serão tratados apenas os geradores CC. A Figura 5.1(a) apresenta o símbolo que o representa em um diagrama esquemático.

Um gerador CC real é modelado pela equação matemática:

$$V = E - R_{int} \times I, \quad (5.1)$$

denominada equação característica do gerador, onde $V [V]$ é a tensão medida nos terminais da fonte, $E [V]$ é a tensão ideal da fonte, $R_{int} [\Omega]$ é o valor da resistência interna da fonte e $I [A]$ é a corrente drenada da fonte. Essa relação está esquematizada na Figura 5.2.

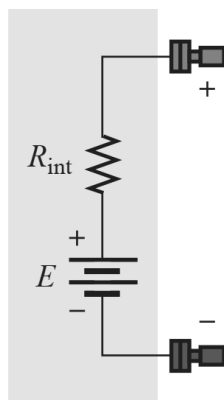


Figura 5.2 – Fonte de tensão com resistência interna. Fonte: Boylestad (2012, p. 135)

A corrente elétrica pode ser representada de duas formas: ou pelo fluxo de cargas positivas (sentido convencional) ou pelo fluxo de cargas negativas (sentido real). No sentido convencional o movimento das cargas é do polo positivo (maior potencial), da fonte, para o polo negativo (menor potencial). No sentido real as cargas se movimentam no sentido inverso, do polo negativo da fonte para o polo positivo. Nesse trabalho será adotado o sentido convencional de corrente para as explicações (cargas positivas). Essas relações podem ser visualizadas na Figura 5.3.

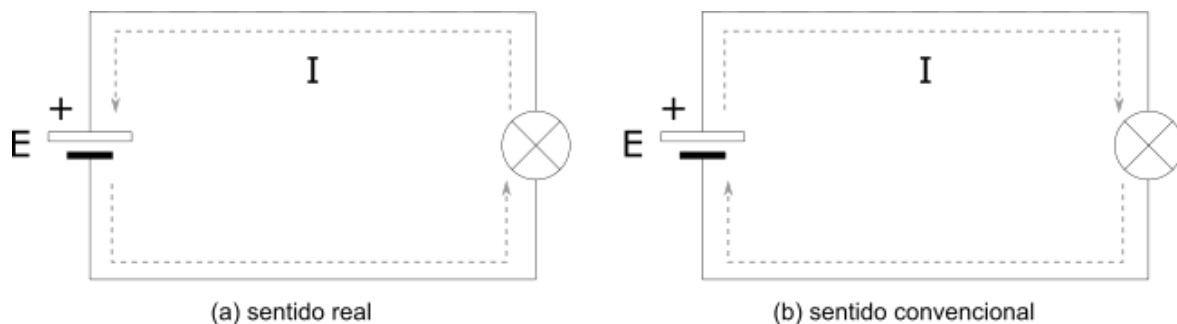


Figura 5.3 – Sentidos de representação da corrente elétrica. Fonte: o próprio autor (2020)

Um gerador CC mantém em seus terminais uma ddp (diferença de potencial), ou tensão elétrica, que ao ser conectado a um circuito externo, faz as cargas elétricas se deslocarem do terminal de maior potencial para o terminal de menor potencial (sentido convencional). Essas cargas elétricas possuem energia elétrica que são transformadas em outros tipos de energia ao longo do circuito, como exemplo, temos a energia térmica nos resistores. A função do gerador é manter essa energia constante, e pode ocorrer de várias formas. Uma delas é a transformação de energia química em energia elétrica, como nas pilhas e baterias. Outros tipos de geradores também são frequentemente usados e pertencem a outras categorias, como: as hidrelétricas, os dínamos (geradores mecânicos), termelétricos (gerador térmico) e as usinas nucleares (reatores nucleares).

A energia é a capacidade de realizar trabalho, e a razão entre o trabalho e a carga descolada por essa fonte determina a força eletromotriz (fem) da fonte, expressada por:

$$E = \frac{\tau}{q} \tag{5.2}$$

A unidade de força eletromotriz no SI é a mesma que a ddp ou tensão, isto é, Volt ou Joule por Coulomb $[V] \equiv \left[\frac{J}{C}\right]$.

O gerador, ou a associação deles, fornece energia para o circuito que está conectado a ele. O princípio de conservação da energia diz que: a energia fornecida deve ser igual a soma das energias dissipadas no circuito. De outra forma, isso se traduz por: a soma de tensões ao longo de qualquer caminho fechado no circuito é igual a zero. Esse princípio representa a Lei de Kirchoff para as tensões.

Para a Equação (5.1), ou equação característica do gerador, podemos desenvolver uma análise gráfica do comportamento de tensão pela corrente ($V \times I$). O gráfico é uma equação do primeiro grau e é determinado por dois pontos: a tensão

de circuito aberto e a corrente de curto-circuito. Para a tensão de circuito aberto, temos que $I = 0$, logo $V = E$. Para a corrente de curto-circuito, temos $V = 0$, logo $I_{CC} = \frac{E}{R_{int}}$. Assim, obtêm-se a curva do gerador apresentada na Figura 5.4.

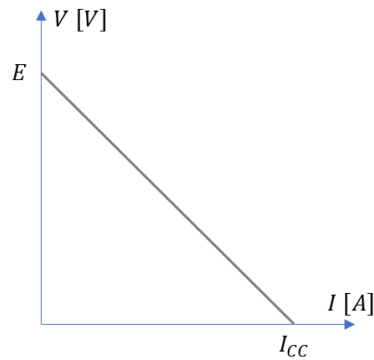


Figura 5.4 – Curva do gerador real. Fonte: o próprio autor (2020)

5.1.2 Associação de Geradores

- Associação em série

Os geradores pode ser associados em série ou em paralelo. Na associação em série, os geradores são ligados de tal forma que o polo positivo de um gerador está ligado no polo negativo do gerador seguinte, fazendo com que a corrente seja a mesma em todos os geradores que participam da associação. A tensão será a soma das tensões de cada gerador. O objetivo dessa associação é de conseguir uma tensão maior, quando não se dispõem de um único gerador com voltagem necessária, ilustrado na Figura 5.5.

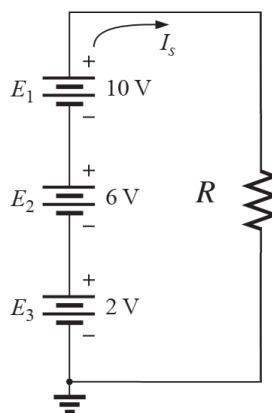


Figura 5.5 – Associação de geradores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 121)

- Associação em paralelo

A associação em paralelo de geradores é conseguida conectando dois ou mais geradores de forma que os polos negativos dos mesmos estejam ligados entre si e os polos positivos, também, entre si. Esta associação tem como característica a obtenção de uma maior corrente, que representa a soma da capacidade de corrente de cada gerador, individualmente. A tensão resultante da associação permanece a mesma de cada gerador, que devem ser iguais entre si, veja um exemplo na Figura 5.6.

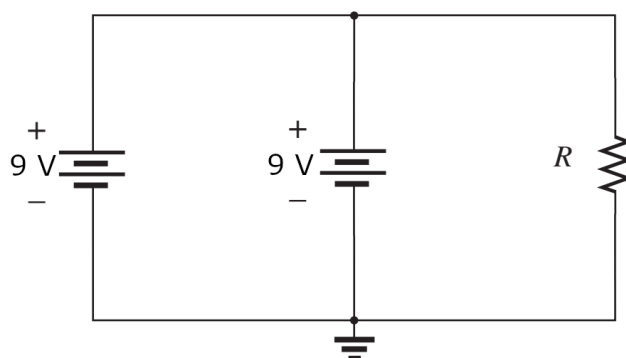


Figura 5.6 – Associação de geradores em paralelo. Fonte: o próprio autor (2019)

5.1.3 Corrente elétrica

A corrente elétrica é decorrente da movimentação das cargas elétricas de forma ordenada, sob a influência de um campo elétrico. Duas condições são necessárias para ocorrer um estabelecimento de corrente elétrica: primeiro, esse meio (circuito elétrico) tem que se caracterizar como condutor; e segundo, tem que haver uma fem, proveniente de um campo elétrico, que obrigue as cargas a se movimentarem de forma ordenada.

A corrente é determinada pela equação:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (5.3)$$

em que, para o caso apresentado na Figura 5.7, uma quantidade de cargas elétricas ΔQ [C], atravessa uma seção transversal A [m^2], em um intervalo de tempo Δt [s].

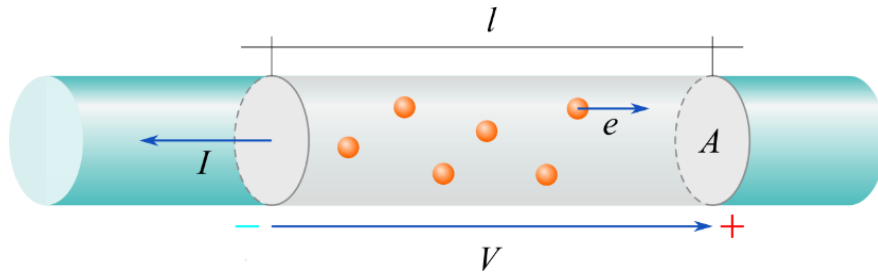


Figura 5.7 – Movimentação de cargas em um condutor uniforme, submetido à uma diferença de potencial. Fonte: o próprio autor (2020)

A medição da corrente elétrica em circuitos é realizada por um amperímetro, que é conectado em série com o ramo do circuito a que se deseja efetuar obter o seu valor. A Figura 5.8 ilustra essa montagem.

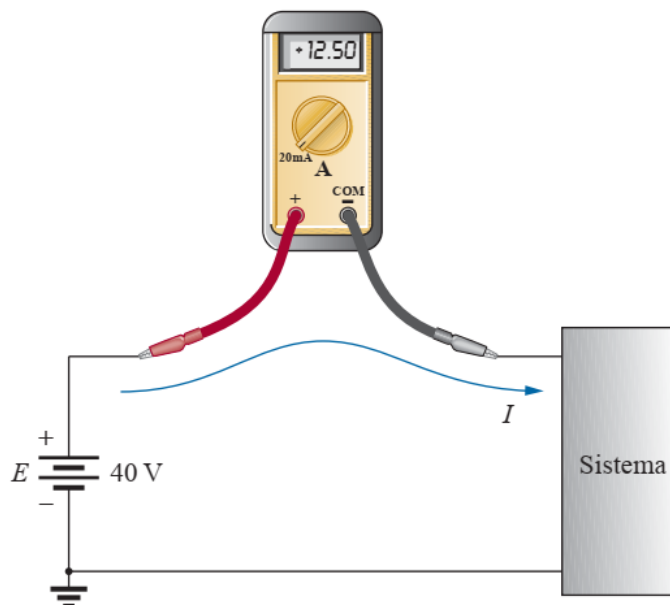


Figura 5.8 – Conexão em série de um amperímetro para a medição de corrente elétrica. Fonte: Boylestad (2012, p. 42)

5.1.4 Condutores e Isolantes

- Condutores

Os condutores elétricos se caracterizam por facilitar o fluxo de cargas elétricas através deles. Eles possuem características próprias, onde suas formações atômicas apresentam elétrons livres nas suas últimas camadas, permitindo uma maior mobilidade dos mesmos entre os átomos do material. Os metais, em geral, estão designados como bons condutores elétricos. Estes são utilizados para a construção de cabos e fios e são utilizados na interconexão entre os componentes de um circuito eletroeletrônico. Como exemplo, temos o cobre, o alumínio, a prata, o ouro e algumas

ligas metálicas.

- Isolantes

Quando um material oferece grande resistência a passagem da corrente elétrica, esse material é denominado isolante elétrico. Nesse caso, os átomos dos materiais isolantes não possuem elétrons livres, que são os responsáveis pelo fluxo de cargas elétricas. Estes são utilizados para isolar eletricamente as partes de um circuito. A borracha, o plástico, a cerâmica, o poliéster, a mica, o vidro e muitos outros materiais possuem esse comportamento e, por isso, são usados caracterizados como isolantes.

5.1.5 Resistência Elétrica

Todo material oferece algum grau de resistência à passagem de corrente elétrica, dos bons condutores até aos isolantes. Ao ser percorrida por uma corrente elétrica, a resistência elétrica converte parte da energia elétrica em energia térmica (calor). Essa energia térmica (efeito Joule) é devido ao choque mecânico dos elétrons com os átomos do material e pode ser aproveitada para algumas aplicações, como fontes de aquecimento em fornos elétricos, chuveiros, aquecedores de água, secadores de cabelo etc. O resistor é representado graficamente pelo símbolo da Figura 5.1(b).

As resistências elétricas são medidas pelo instrumento denominado Ohmímetro. Ele deve ser ligado em paralelo ao elemento resistivo, tomando-se o cuidado de certificar-se de que o resistor não está ligado a um circuito elétrico (energizado), que poderá danificar o instrumento e interferir na leitura, veja sua representação na Figura 5.9.

A unidade de medida de resistência elétrica é o Ohm [Ω] em homenagem ao físico George Ohm (1787 - 1854), que estudou e verificou em um dispositivo de resistência fixa, a relação da tensão pela corrente resulta em uma constante, denominada resistência elétrica. Esse estudo ficou conhecido como 1ª Lei de Ohm, representado pela seguinte relação:

$$R = \frac{V}{I}. \quad (5.4)$$

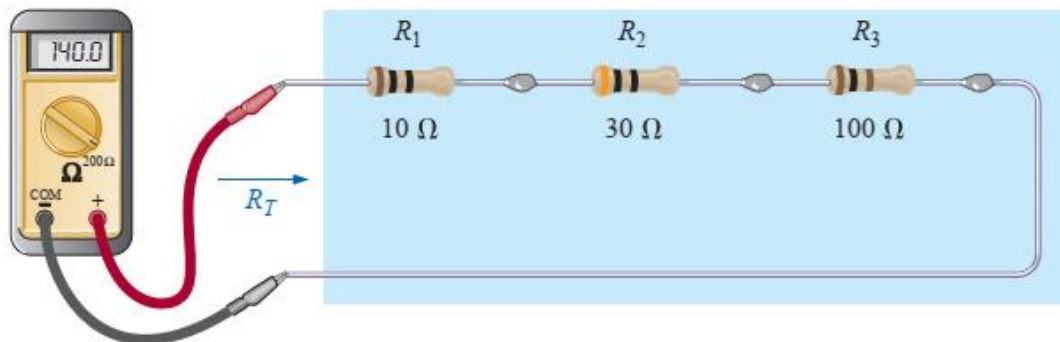


Figura 5.9 – Uso de um ohmímetro para medir a resistência equivalente de um circuito série. Fonte: Boylestad (2012, p. 116).

De outro modo, ela pode ser escrita como:

$$V = R \times I. \quad (5.5)$$

A segunda lei de Ohm permite determinar o valor da resistência para um condutor uniforme, tal como o apresentado na Figura 5.7, pela seguinte relação:

$$R = \rho \frac{l}{A}. \quad (5.6)$$

A uma temperatura constante, foi verificado que a resistência R de um condutor, tal como apresentado na Figura 5.7, é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área da seção, representado pela Equação (5.6), sendo ρ definido pelo tipo de material que constitui a resistência.

5.1.6 Associação de Resistores

- Associação de resistores em série

Quando ligados em série, os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica. Na ligação em série, todos os elementos ligados estão conectados no mesmo ramo do circuito, de modo que o terminal de um dos resistores está diretamente ligado ao terminal do próximo resistor. A Figura 5.10 mostra como é feita uma ligação em série e como essa ligação é representada.

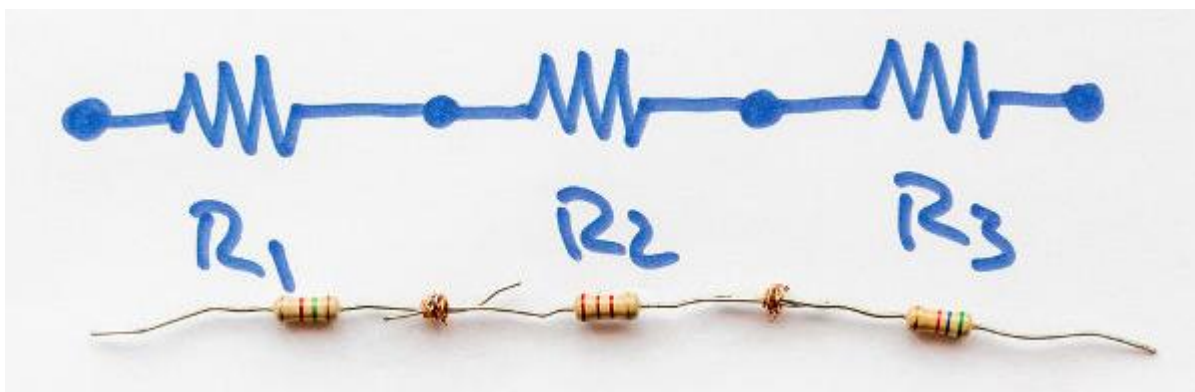


Figura 5.10 – Associação de resistores em série. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Quando os resistores são ligados em série, o potencial que é aplicado sobre os terminais do circuito é distribuído entre as resistências, em outra palavra, toda a tensão aplicada cai gradativamente no sentido do maior potencial para o menor ao longo de um circuito. Nesse tipo de ligação, as resistências elétricas individuais somam-se, de modo que a resistência equivalente do circuito é dada pela soma das resistências individuais ligadas em série. Veja um resumo na Figura 5.11, onde:

- Na ligação em série, as resistências somam-se;
- Na ligação em série, os potenciais elétricos somam-se;
- Na ligação em série, a corrente elétrica é igual para todos os resistores.

E resistência equivalente de um circuito série é:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (5.7)$$

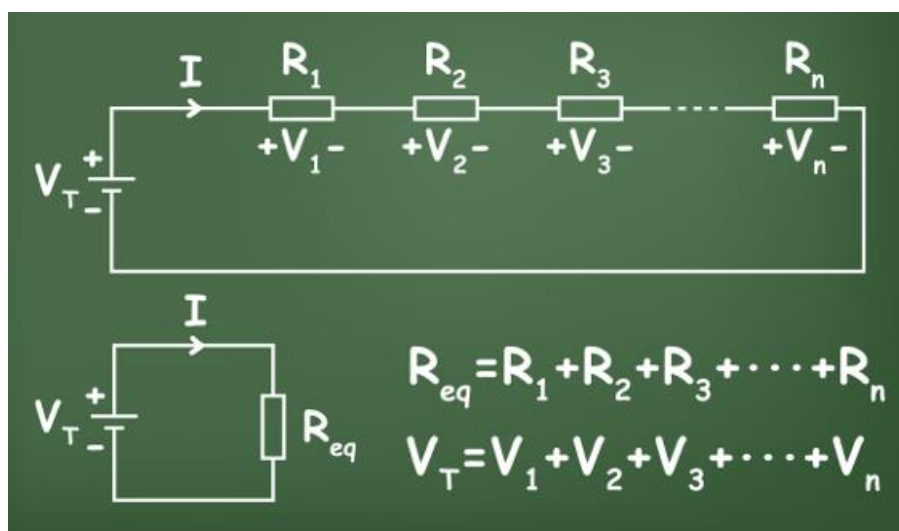


Figura 5.11 – Ilustração da associação de resistores em série. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

- Associação em paralelo

Na associação em paralelo, os resistores encontram-se sob à mesma ddp, no entanto, a corrente elétrica que atravessa cada resistor pode ser diferente, caso os resistores tenham resistências elétricas diferentes. Veja Figura 5.12.

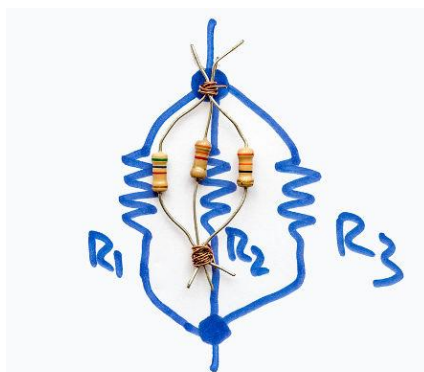


Figura 5.12 – Associação de resistores em paralelo. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Na associação em paralelo, a corrente elétrica é dividida entre os diferentes ramos do circuito. A associação em paralelo é obtida quando os resistores são ligados de modo que a corrente elétrica, divide-se ao passar por eles. Nesse tipo de associação, a resistência elétrica equivalente será sempre menor do que o menor valor entre as resistências.

Para a associação de resistências em paralelo, temos que o inverso da resistência equivalente é igual a soma do inverso das resistências individuais, conforme:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (5.8)$$

Uma ilustração dessa relação está apresentada na Figura 5.13.

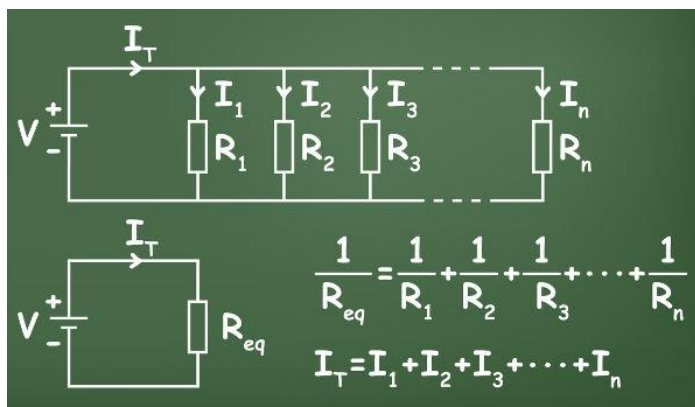


Figura 5.13 - Ilustração da associação de resistores em paralelo. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Resumindo:

- Na ligação em paralelo, a corrente elétrica divide-se de acordo com a resistência elétrica de cada ramo;
- Na ligação em paralelo, a resistência equivalente é menor que a menor das resistências;
- Na ligação em paralelo, todos os resistores encontram-se ligados sob o mesmo potencial elétrico.

Dois casos especiais que geram fórmulas particulares, derivadas da Equação (5.7), são quando temos:

- N resistores em paralelo de mesmo valor: nesse caso a resistência equivalente é dada por $R_{eq} = \frac{R}{N}$;
- Dois resistores de valores diferentes: aqui a resistência equivalente resulta de $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

5.1.7 Efeito Joule

Como foi mencionado, se nos terminais de um determinado resistor for aplicado uma tensão elétrica, uma corrente elétrica o percorrerá e, em consequência, o resistor irá aquecer devido a transformação da energia elétrica em energia térmica; esse fenômeno é denominado efeito Joule. Joule também representa a unidade de energia e é expressa por J .

O trabalho $T [J]$ de um campo elétrico que movimenta uma quantidade de cargas $\Delta Q [C]$, sob uma ddp $V_{AB} [V]$, é determinado pela seguinte equação:

$$T = \Delta Q \cdot V_{AB}. \quad (5.9)$$

Ao dividirmos ambos os lados pelo intervalo de tempo em que o processo ocorreu, temos $P = \frac{T}{\Delta t} [W]$, representando a potência dissipada pela fonte, e $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} [A]$, como a corrente total, que resulta em:

$$P = I \cdot V_{AB}. \quad (5.10)$$

5.1.8 Capacitores

Os capacitores são elementos de um circuito elétrico que possuem um comportamento que o define como armazenador de cargas elétricas. A forma mais simples de compreender seu funcionamento é assumir que eles são formados por duas placas metálicas paralelas, onde entre essas placas existe um espaço vazio (ar), ver Figura 5.13, ou que pode ser preenchido por um material isolante qualquer (dielétricos) como papel, cerâmica, mica poliéster, óleo etc. Por via experimental, comprovou-se que quanto maior for a área das placas e menor distância entre elas, maior será a capacitância, ou seja a capacitância é diretamente proporcional a área das placas e inversamente proporcional a distância entre elas. Assim demonstrado pela equação:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (5.11)$$

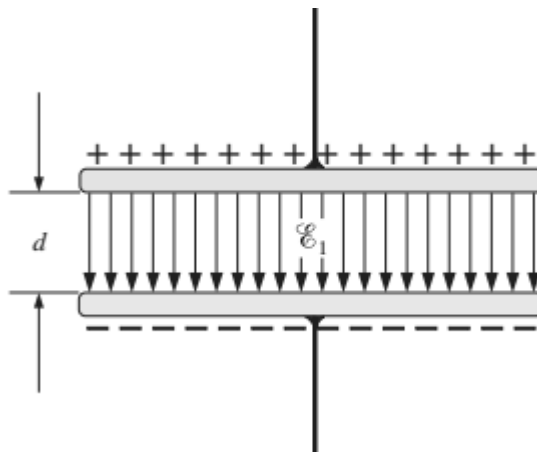


Figura 5.14 – Capacitor carregado de placas paralelas, separado por uma distância d . Fonte: Boylestad (2012, p.338)

Nessas placas, também chamadas de armaduras, existe fixado em cada uma, um terminal condutor que serve para conectar o capacitor ao meio externo. Se aplicarmos através destes terminais uma ddp de uma fonte CC, ver Figura 5.14, uma delas será carregada com cargas negativas e a outra com cargas positivas, ambas com a mesma quantidade de carga, assim estabelecendo entre elas um campo elétrico.

A capacitância, já apresentada na Equação (5.11), também pode ser estabelecida pela relação da quantidade de cargas que o capacitor pode acumular sob uma ddp aplicada. Essa nova relação é dada por:

$$C = \frac{q}{V}, \quad (5.12)$$

onde a capacitância no SI é dada em Farad $[F] \equiv \left[\frac{C}{V}\right]$.

Um capacitor é representado pelos símbolos dispostos da Figura 5.1(c).

- Associação de Capacitores em Série

A conexão em série de capacitores resulta em um valor equivalente semelhante à associação de resistores em paralelo:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (5.13)$$

Uma representação pode ser vista na Figura 5.15.

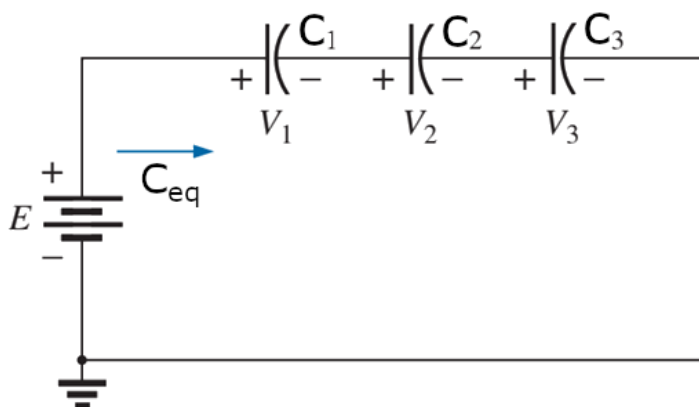


Figura 5.15 – Exemplo de associação de capacitores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 365)

- Associação de Capacitores em Paralelo

Nesse tipo de associação de capacitores, todos estão submetidos a mesma tensão. A Figura 5.16 exemplifica essa forma de associação.

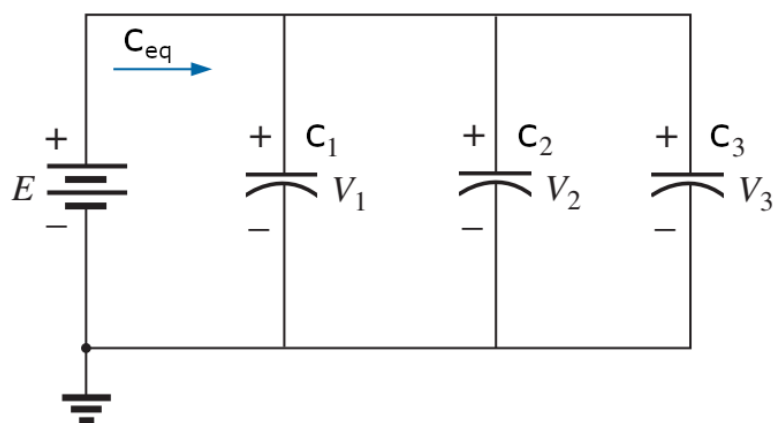


Figura 5.16 – Associação de capacitores em paralelo. Fonte: Boylestad (2012, p. 366)

Para esse caso, a equação que calcula o valor da capacitância equivalente é semelhante à associação de resistores em série e é dada por:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (5.14)$$

5.2 Dispositivos Semicondutores

Os semicondutores é um tipo de material que se encontram entre os materiais bons condutores (metais em geral) e os isolantes (borracha, plástico, vidro etc). Eles, tem um comportamento térmico diferentes dos metais que quando é aumentada a sua temperatura, sua resistência elétrica diminui, contrariando assim a questão do coeficiente de temperatura. Os elementos semicondutores mais conhecidos na natureza são o silício e o germânio, que por sinal são muitos utilizados na fabricação de componentes eletrônicos, exemplificados na Figura 5.17.

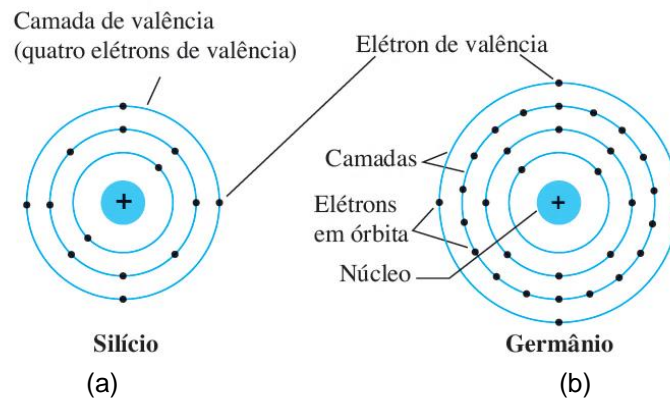
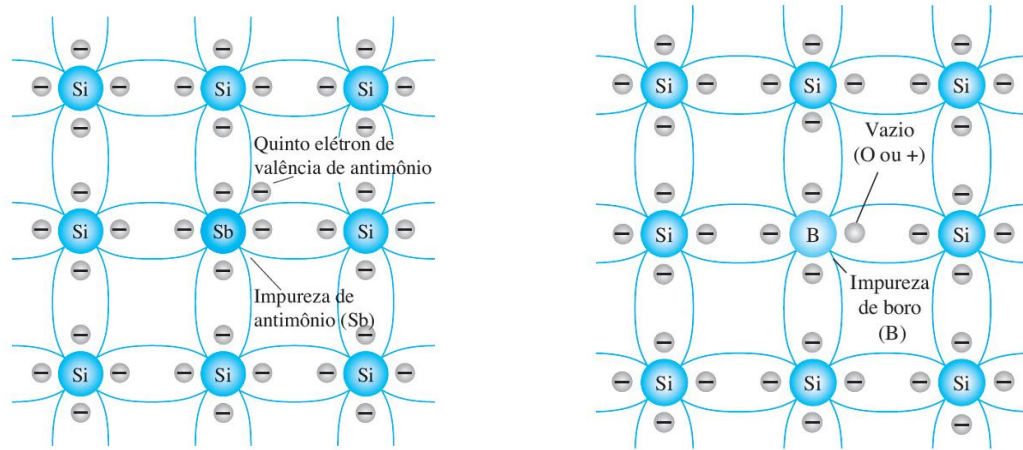


Figura 5.17 - Modelo atômico dos átomos de: (a) silício e (b) germânio. Fonte: Boylestad (2013, p. 3)

Verificou-se que adicionando a um material semicondutor uma outra substância devidamente selecionada, que denominaram de impureza, o material semicondutor modifica seu comportamento elétrico. Conforme o tipo de substância adicionada no semicondutor, ele se comporta também de maneira diferente. A exemplo temos a adição da substância Antimônio (Sb) em a uma amostra de silício, obtendo um condutor elétrico que se comporta como um metal, isto é, a condução elétrica nessa mistura é feita pelos elétrons livres, veja Figura 5.18(a). O semicondutor dessa forma obtido é denominado de material tipo-*n*, ou seja, feita por portadores de carga negativa, excesso de elétrons. Se depositarmos uma amostra de outro tipo de substância, como o Boro (B), ao mesmo material silício, obtemos um material tipo-*p*,

que apresenta um comportamento diferente, em que os portadores de cargas são como cargas positivas, falta de elétrons, Figura 5.18(b).



(a) pentavalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 7)

(b) trivalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 10)

Figura 5.18 – Estrutura atômica após a dopagem com impurezas.

A técnica de mistura de substâncias em materiais semicondutores é denominada dopagem. Com esses dois materiais, tipo-*n* e tipo-*p*, é possível construir diversos tipos de componentes eletrônicos com comportamentos variados. A Figura 5.19 apresenta o diodo, formado por duas metades, uma de material semicondutor do tipo-*n* e outra do tipo-*p*. Essa união forma um cristal *np* e em sua interface, aparece a chamada *região de depleção*.

Para exemplificar o funcionamento do diodo, ao ligarmos uma bateria em um cristal *np*, de modo que o polo positivo dessa bateria esteja em contato com o lado *n* do cristal e o polo negativo da bateria com o lado positivo *p* do cristal (polarização inversa), ver Figura 5.19(a), observa-se um acúmulo de cargas negativas do lado *p* e um acúmulo de cargas positivas do lado *n* do cristal. Esse processo aumenta a região de depleção e dificulta a passagem de corrente através da junção. Nesse estado o diodo entra em corte, ou seja, impede (idealmente) a passagem de corrente elétrica.

Invertendo-se a polaridade da bateria, ligando o polo positivo da bateria no lado *p* do cristal e o polo negativo no lado *n* do cristal (polarização direta), mostrado na Figura 5.19(b), observa-se uma diminuição considerável da região de depleção, facilitando a passagem de corrente elétrica. Esse processo permite (idealmente) a passagem de corrente pelo diodo.

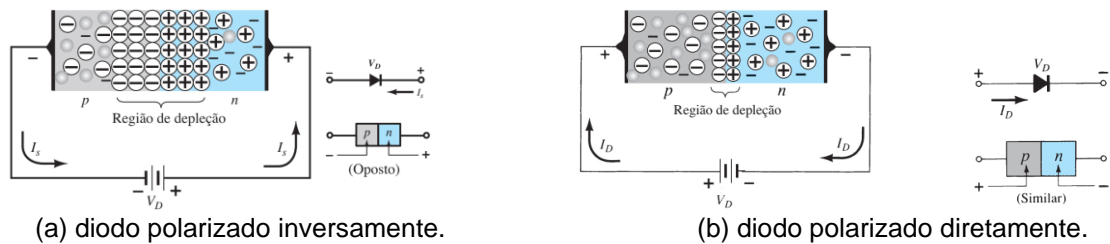


Figura 5.19 – Características de um diodo. Boylestad (2013, p. 11)

5.3 Sistema Circulatorio

O coração é um órgão do sistema cardiovascular, do tamanho aproximado de um punho, com massa de aproximadamente 300 [g], e, por meio de duas bombas, impulsiona o sangue para o corpo (BORON e BOULPAEP, 2015, p. 429). Está localizado entre os pulmões, no meio do peito, com leve deslocamento para a esquerda. Ele tem a função de bombear o sangue através dos vasos sanguíneos para todo o corpo. Funciona como uma dupla bomba. O lado esquerdo dele bombeia o sangue arterial para todo o corpo e o lado direito bombeia o sangue venoso para os pulmões.

O coração tem quatro cavidades internas, denominadas câmaras cardíacas. As câmaras superiores são os átrios e as inferiores são os ventrículos. Cada par átrio-ventrículo formam uma bomba. O átrio direito se comunica com o ventrículo direito através da válvula tricúspide. Já o átrio esquerdo se comunica com o ventrículo esquerdo através da válvula bicúspide ou mitral. O fluxo da circulação dentro das cavidades se dá sempre em um único sentido, que é dos átrios para os ventrículos e isso é garantido pelas válvulas atrioventriculares.

A contração de uma câmara do coração é denominada de sístole e a descontração diástole. A frequência dos batimentos cardíacos, variam conforme o esforço físico e situações emocionais e em média em condições normais está em torno de 70 batimentos por minuto (bpm). Durante o sono, por exemplo, os batimentos cardíacos podem estar entre 35 a 50 bpm e conforme o esforço físico de maior intensidade pode chegar a mais de 180 bpm (CALIL, 2002).

- Anatomia do coração

O suprimento sanguíneo para as diversas partes do corpo é mantido no sistema circulatório de acordo com o aumento ou diminuição da resistência sistêmica ao fluxo de sangue. Quando em repouso, o fluxo de sangue no ser humano adulto é de

aproximadamente 5 l/min, o que equivale a 60-80 batimentos do coração por minuto. Em exercício, o fluxo aumenta para 15 a 25 l/min e o número de batimentos do coração por minuto fica entre 120 a 160. Na Figura 5.20 é apresentado um corte do coração, com 4 câmaras (átrios esquerdo e direito (AD e AE), ventrículos esquerdo e direito (VE e VD)); a veia cava superior e o sistema de condução elétrica do coração: nodos sinoatrial (CALIL, 2002, p. 335).

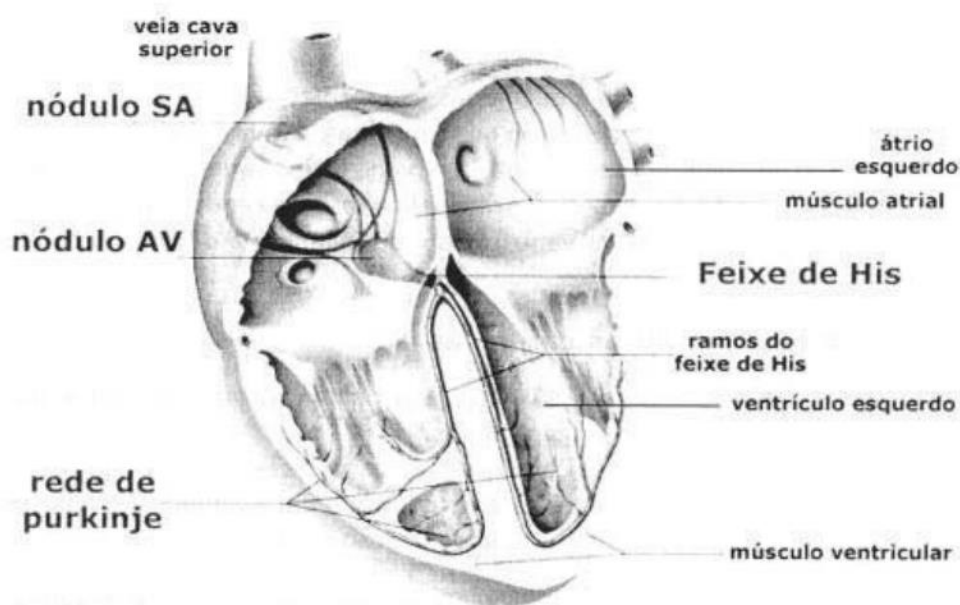


Figura 5.20 – Corte do coração apresentando as quatro câmaras e o sistema de condução elétrica.
Fonte: Calil (2002, p. 335)

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYLESTAD, R. **Introdução à Análise de Circuitos**. Pearson Universidades, 2012. 12. ed.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. Pearson Universidades, 2013. 11. ed.

CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS.

BORON, W. F. BOULPAEP, E. **Fisiologia Médica**. GEN Guanabara Koogan, 2015. 1. ed.

FLOYD, T. L. **Electronic Devices**. Pearson, 2005. 7. ed.

HALL, J. E. **Guyton & Hall Tratado de fisiologia médica**. 13 ed. GEN Guanabara Koogan, 2017.

MELLO, H. A. BIASI, D. R. S. **Introdução à Física dos Semicondutores**. Ed. Edgard Blucher LTDA, 1975.

TORTORA, G. J. DERRICKON, B. **Princípios de anatomia e fisiologia**. Guanabara Koogan, 2016. 14. ed.