



ENSINO DE ELEMENTOS DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO CONTEXTUALIZADOS COM ELETRÔNICA E ROBÓTICA

Geordany Melo Correa Coelho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dra Liliana Yolanda Ancalla Dávila

Araguaína, TO
Dezembro de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M528e Melo Correa Coelho, Geordany .

ENSINO DE ELEMENTOS DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
CONTEXTUALIZADO COM ELETRÔNICA E ROBÓTICA. / Geordany
Melo Correa Coelho. – Araguaína, TO, 2020.

113 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) Profissional Nacional em Ensino de Física, 2020.

Orientadora : Liliana Yolanda Ancalla Dávila

1. Semicondutores. 2. Eletronica . 3. Robótica . 4. Ensino. I. Título
CDD 530

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo
184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

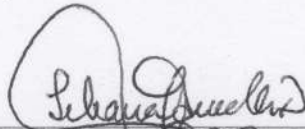
Geordany Melo Correa Coelho

ENSINO DE ELEMENTOS DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
CONTEXTUALIZADO COM ELETRÔNICA E ROBÓTICA

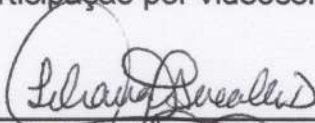
Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dra Liliana Yolanda Ancalla Dávila

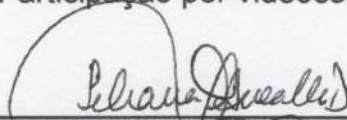
Data da aprovação: 15/12/2020



Dr. Liliana Yolanda Ancalla Dávila (orientadora)
Participação por videoconferência



Dr. Isaias Pereira Coelho (IFMA)
Participação por videoconferência



Dr. Nilo Mauricio Sotomayor Ciroque (UFT)
Participação por videoconferência

Dedico este trabalho a toda minha família em especial a minha esposa Daniela Cortez, por seu amor, que tanto me fortalece ao longo desses anos juntos. A meus filhos Helena Melo Coelho Cortez e o pequeno Heitor Melo Coelho Cortez, que nasceu durante o mestrado. A minha mãe, Sonia Maria Melo Correa e meu pai Geova de Assis Coelho, pois sem vocês não sou nada, meus irmãos Carol e Geovany mesmo distantes, meu coração está com vocês, a todos os professores que me ajudaram nessa jornada e a minha amada sogra Iolanda Cortez (in memoriam), que descansa nos braços do Pai.

Agradecimento

Primeiramente quero agradecer a minha esposa Daniela Cortez, por todo seu amor apoio e paciência, pois deixei muitas horas em estar ao seu lado, para pesquisar e escrever, você foi uma peça fundamental nessa jornada a qual seria impossível concluir sozinho.

A meus filhos Helena e Heitor fonte de minha força, é tudo para vocês e por vocês.

A meus pais Sonia Maria Melo Correa e Geova de Assis Coelho, pela educação e apoio ao longo de toda minha vida, formaram meu caráter permitindo enfrentar todos os desafios que a vida nos impõe.

A professora Lilitiana Yolanda Ancalla Dávila ao me permitir a honra de trabalharmos juntos, sua orientação paciente e ao mesmo tempo precisa me levou a tirar proveito do melhor de mim.

A todos os colegas da turma de 2018 do MNPEF vocês são inesquecíveis , Chaleilson, Michael, Gilvan, Aldeires, Lídia, João Pedro, Ana Claudia, José Alves e Raimundo.

Quero fazer um agradecimento especial a minha sogra professora Iolanda Cortez (in memoriam) que com sua energia e amor pela profissão inspirou uma geração de jovens a seguirem a docência, grande mãe, esposa, avó e sogra viverá eternamente em nossos corações.

RESUMO

ENSINO DE ELEMENTOS DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO CONTEXTUALIZADO COM ELETRÔNICA E ROBÓTICA

Geordany Melo Correa Coelho

Orientador: Dra Liliana Yolanda Ancalla Dávila

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma sequência didática a qual a Física é fortemente contextualizada com suas aplicações tecnológicas. A sequência foi dividida em quatro aulas, duas de Física do Estado sólido uma de introdução à robótica e a última, uma aula prática de robótica onde a turma foi dividida em equipes e realizaram a montagem de um pequeno robô explorador que desvia de obstáculos. O robô é baseado na plataforma de prototipagem Arduino, que foi escolhida por seu baixo custo, versatilidade de aplicações e facilidade de implementação. O circuito elétrico do robô consiste em dois motores de corrente contínua ligados a uma ponte h, o circuito é controlado por um Arduino uno conectado a um sensor ultrassônico, o sensor envia através do terminal *Trigger* para o ambiente ondas na faixa do ultrassom que são refletidas e retornando ao sensor sendo captadas pelo terminal *Echo*, e baseado no tempo de ida e volta da onda determina a distância aos objetos e decide qual o melhor caminho a seguir. Portanto, além de explorar diferentes propriedades físicas envolvidas no funcionamento do robô a prática mostra como os conhecimentos em ciência básica se transformam em aplicações tecnológicas. A sequência foi aplicada em uma turma do 3º ano no turno vespertino do Centro de Ensino Urbano Rocha.

Palavras-chave: Ensino, Semicondutores, Eletrônica, Robótica.

Araguaína, TO
Dezembro de 2020

ABSTRACT

TEACHING SOLID STATE PHYSICS ELEMENTS CONTEXTUALIZED WITH ELECTRONICS AND ROBOTICS

Geordany Melo Correa Coelho

Advisor: Dra Liliana Yolanda Ancalla Dávila

Master's Dissertation submitted to the Graduate Program in Physics Teaching in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

This work presents the development of a didactic sequence which Physics is strongly contextualized with its technological applications, the sequence was divided into four classes, two of State Physics, one of which introduces robotics and the last, a practical class of robotics where the class was divided into teams and carried out the assembly of a small explorer robot that evades obstacles, the robot is based on the Arduino prototyping platform, which was chosen for its low cost, versatility of applications and ease of implementation. The robot's electrical circuit consists of two direct current motors connected to an h bridge, the circuit is controlled by an arduino uno connected to an ultrasonic sensor, the sensor sends waves through the ultrasound range that are reflected through the terminal triggered to the environment and returning to the sensor and captured by the echo which, based on the round-trip time of the wave, determines the distance to the objects and decides which is the best path to follow, in addition to exploring the different physical properties involved in the functioning of the robot, the practice shows how the knowledge in basic science become technological applications. The sequence was applied to a 3rd grade class in the afternoon shift at the Centro de Ensino Urbano Rocha.

Keywords: Semiconductors, Electronics, Robotics

Araguaína, TO
December 2020

Lista de Ilustrações

Figura 1.1: Lev <i>Semyonovich Vygotsky</i>	9
Figura 2.1: Cristais de Quartzo	17
Figura 2.2: Exemplo de rede cristalina	18
Figura 2.3: Célula Unitária Cúbica do Silício	19
Figura 2.4: Célula Unitária Cúbica do Silício	19
Figura 2.5: Difração entre planos cristalinos.	21
Figura 2.6: Modelo microscópico da matéria segundo a formulação de Drude.	24
Figura 2.7: Efeito Hall	27
Figura 2.8: Sensor de Efeito Hall linear A1302.....	28
Figura 2.9: Esfera de Fermi.....	34
Figura 2.10: Potencial Periódico da rede.....	38
Figura 2.11: Banda para um isolante	39
Figura 2.12: Banda para um condutor	40
Figura 2.13: Banda de energia para o semicondutor	41
Figura 2.14: Semicondutor tipo N	42
Figura 2.15: Banda para o condutor tipo N.....	42
Figura 2.16: Semicondutor tipo P.....	43
Figura 2.17: Banda para o semicondutor tipo P	43
Figura 2.18: Tensos de entrada e saída em um diodo retificador	45
Figura 2.19: Polarização Direta de um diodo formado por uma junção PN.....	45
Figura 2.20: Polarização inversa de um diodo formado por uma junção PN.....	46
Figura 2.21: Led tipicamente utilizado em experimentos de eletrônica	46
Figura 2.22: Primeiro Transistor construído nos Laboratórios Bell e a equipe de cientistas vencedores do prêmio Nobel de Física, no ano de 1956	47
Figura 2.23: Transistor NPN	48
Figura 2.24: Robert Noyce, criador do chip baseado em silício e um dos fundadores da INTEL, uma gigante da tecnologia.	49
Figura 2.25: Previsões da Lei de Moore e evolução real no número de componentes em um circuito.	50
Figura 3.1: Linhas de Montagens Robotizadas	51
Figura 3.2: A cirurgia robótica garante máxima esterilização, visibilidade detalhada, além da precisão de movimentos	52
Figura 3.3: Controle em malha fechada	53
Figura 3.4: Braço Robótico.....	53
Figura 3.5: Braço robótico com destaque para as juntas de movimento.	54
Figura 3.6: Movimento do Braço no plano XY	55
Figura 3.7: Motor de corrente contínua.....	56
Figura 3.8: Servomotor DC sem escovas, mostrado na figura	56
Figura 3.9: Roboturbo desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina....	57
Figura 3.10: Robô turbo	57

Figura 3.11: Sensor de Temperatura (Passivo)	58
Figura 3.12: Sensor de Movimento (Passivo).....	58
Figura 3.13: Sensor ultrassónico (Ativo).....	59
Figura 3.14: Sensor de Cor do LEGO EV3.....	59
Figura 3.15: Sensor de Torque ATI produzido pela Direct Industriy e ao lado um braço robótico executando movimento de alta precisão.	59
Figura 5.1: Vista Aérea de Imperatriz.....	66
Figura 5.2: Área externa da escola e sala de aula	67
Figura 5.3: Estruturas cristalinas CCC, CFC e HC	69
Figura 5.4: Esquema ilustrativo do Modelo de bandas de energia para isolantes condutores e semicondutores.....	72
Figura 5.5: Silício dopado com fósforo e boro. A dopagem com fósforo produz um elétron livre e a dopagem com boro produz uma lacuna.....	72
Figura 5.6: Televisão com circuitos de válvulas e televisor baseado em circuitos transistorizados	73
Figura 5.7: Exemplo de circuito integrado	74
Figura 5.8: Aula de introdução à Robótica	76
Figura 5.9: Apresentação do Microcontrolador arduino.....	77
Figura 5.10: Arduino Uno.....	78
Figura 5.11: Página de download do Arduino.....	79
Figura 5.12: Arduino conectado ao computador via USB.....	79
Figura 5.13: Exemplo de programa do Arduino.....	80
Figura 5.14: Alunos sendo apresentados ao Arduino.....	80
Figura 5.15: Apresentação da tela de abertura da IDE do arduino.	81
Figura 5.16: Alunos com sensor ultrassonico e circuito de potencia (ponte H)	81
Figura 5.17: Robô Explorador	83
Figura 5.18: Circuito do robô.....	87
Figura 5.19: Declaração de funções de variáveis do Programa.....	88
Figura 5.20: Setup do Programa os Motores São Definidos Como Saída de Corrente.....	89
Figura 5.21: No Loop do Programa Temos o Trecho do Programa é Repetido Continuamente.....	90
Figura 5.22: Fixando os motores e rodas na base de MDF.....	91
Figura 5.23: Montagem do robô Explorador I.....	91
Figura 5.24: Montagem do robô explorador II.....	92

Lista de Siglas

MEC – Ministério da Educação.

DCNEM - Diretrizes Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio

PCNS - Parâmetros Curriculares Nacionais

ZDP - Zona de Desenvolvimento Proximal

URSS - União das Republicas Socialistas Soviéticas.

EUA- Estados Unidos da América.

PSSC - Physical Science Study Committe.

FUNBEC - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento de Ensino de Ciências.

MIT- Massachesetts Institute of Technology.

TIC'S - As tecnologias de informação e comunicação.

PN - Positivo Negativo.

PNP- Positivo Negativo Positivo.

NPN - Negativo Positivo Negativo.

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física.

SBF - Sociedade Brasileira de Física.

HC - Hexagonal Compacta.

CCC - Cúbica de Corpo Centrada

CFC - Cúbica de Face Centrada

IDE - Integrated Development Environment.

Sumário

Introdução
Capítulo 1	
Fundamentação Teórica	3
1.1 Ensino de Física: currículo e desafios	3
1.2 Currículo e contextualização	5
1.3 Transposição didática.....	6
1.4 Ensino de Física e Tecnologia	7
1.5 Vygotsky, Desenvolvimento e Educação	9
1.5.1 Inatismo e Ambientalismo.....	10
1.6 Abordagem Sociointeracionista	11
1.6.1 Aplicações pedagógicas do Sociointeracionismo	13
1.6.2 Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)	14
Capítulo 2	
Física do estado sólido: materiais e dispositivos semicondutores	16
2.1 Elementos de cristalografia.....	16
2.1.1 Células unitárias e sistemas cristalinos	18
2.1.2 Índices e planos cristalinos	20
2.1.3 Estruturas via Difração de Raios X	20
2.1.4 Amplitude de espalhamento e análise de Fourier	22
2.2 Os Elétrons livres e o Modelo de Drude dos metais e suas aplicações.....	24
2.2.1 Corrente elétrica via formulação matricial	26
2.2.2 Efeito Hall na formulação de Drude	27
2.2.3 Corrente induzida para campo elétrico dependente do tempo	29
2.2.4 Densidade de corrente para campo magnético variável	30
2.3 Modelo do Gás de Fermi (Gás Quântico de Elétrons)	31
2.3.1 Gás de elétrons em uma dimensão	31
2.3.2 Gás de elétrons em três dimensões	32
2.3.3 Densidade de Estado.....	35
2.3.4 Capacidade térmica para o gás quântico.....	35
3.3.5 Condutividade elétrica para o gás quântico	36
2.4 Teoria ondulatória da matéria e bandas de energia	37

2.4.1 Ondas de matéria	37
2.4.2 Bandas de energia	37
2.4.3 Bandas em materiais isolantes	39
2.4.4 Bandas em metais	39
2.4.5 Bandas em semicondutores	40
2.4.6 Dopagem de semicondutores	41
2.5 Dispositivos semicondutores	43
2.5.1 Diodo retificador.....	44
2.5.2 Emissão de Luz com Diodo (led)	46
2.5.3 Transistor	46
2.5.4 Circuitos integrados (Chips).....	48
Capítulo 3	
3 Fundamentos de Robótica	51
3.1 Robótica: multidisciplinaridade e aplicações	51
3.2 Robôs industriais	52
3.2.1 Sistemas de Controle.....	52
3.2.2 Componentes de um braço robótico	53
3.2.3 Graus de liberdade	54
3.2.4 Cinemática Direta e Inversa.....	54
3.2.5 Motores Elétricos	55
3.2.5.1 Servomotor.....	55
3.2.6 Sensores	57
Capítulo 4	
Robótica Educacional aplicada ao ensino de Física: revisão de literatura.....	61
4.1 Robótica na Educação	61
4.2 Levantamento das dissertações do MNPEF	62
Capítulo 5	
Aplicação do produto	66
5.1 Planejamento das ações	67
5.1 Aula 1: Introdução à Física do Estado Sólido	68
5.1.1 Impressões em relação à primeira aula	68
5.1.2 Aula 1: Introdução à Física do Estado Sólido	68

5.1.2.1 Análise aula 1	70
5.1.3 Aula 2: Bandas de energia, semicondutores e dispositivos	71
5.1.3.1 Análise da aula 2.....	74
5.1.4 Aula 3: Introdução à Robótica.....	75
5.1.5 O que é um Arduino?	77
5.1.6 Microcontrolador Atmel	78
5.1.4.1 Análise da aula 3.....	81
5.1.5 Aula 4: Montagem do robô explorador.....	62
Considerações Finais	91
Referências	93

Introdução

O surgimento da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade ainda nos primeiros anos do século XX, anunciava ao mundo as grandes transformações que a Física proporcionaria, e graças a elas em poucas décadas a energia atômica foi dominada astronautas chegaram a Lua e os computadores realizam atividades que para um ser humano levariam uma eternidade. Ao final do século o poder econômico já não era exercido apenas por nações que acumulavam recursos naturais, as “joias da coroa” são conquistas tecnológicas obtidas através dos grandes investimentos em ciência.

O paradigma técnico-científico como um fator estratégico para o desenvolvimento das nações, continua no século XXI, termos como inteligência artificial, automação, manufatura avançada e indústria 4.0 tornaram-se comuns, fala-se muito em uma 4 revolução industrial e essa revolução seria marcada pelo emprego cada vez maior de máquinas inteligentes, capazes de substituir os seres humanos nas mais diversas tarefas levando a extinção de muitas profissões.

Outro grande desafio a se enfrentar é o de tornar os processos de produção dessa nova economia fortemente tecnológica mais ecologicamente eficiente, diminuindo a emissão de combustíveis fósseis e utilizando os recursos naturais de forma sustentável.

Considerando todas essas questões, a pergunta que se faz é o ensino de ciências praticado no Brasil e em especial o ensino de Física estão preparados para as urgências do século XXI? Segundo Moreira (2011) não esta, este autor afirma que apesar dos grandes avanços da ciência no século XX a Física ensinada na educação básica é sobretudo a Física desenvolvida no século XIX, com pouquíssimos tópicos de Física moderna, marcado por um excessivo uso de fórmulas com um suposto foco para preparação de exames pré-vestibulares e baixo uso das tecnologias de informação e comunicação.

Considerando as questões expostas, esta dissertação apresenta uma proposta de ensino de Física, onde elementos de Física contemporânea são apresentados de forma a contextualiza-los com suas aplicações tecnológicas através da Eletrônica e Robótica a partir de uma sequência didática utilizando as teorias de Vygotsky que contem 5 aulas, 4 aulas teóricas e 1 aula pratica baseado na construção e teste de um robot com movimento de desvios de obstáculos através

do sensor ultrasónico.

No capítulo 2, partindo de uma revisão bibliográfica mostramos que a corrida espacial aumentou muito a necessidade de engenheiros e cientistas, levando os EUA a investir pesado em pesquisas focadas no ensino de ciências em especial ao de Física, com o objetivo de motivar os jovens a entrar nessas carreiras e como a experiência americana influenciou o Brasil, em seguida discutimos a necessidade de mudanças no currículo de Física para adequar as necessidades contemporâneas e a importância da contextualização das aulas. O capítulo é encerrado com uma revisão sobre os aspectos mais relevantes da teoria da aprendizagem do Psicólogo russo L.S Vygotsky, que foi a teoria usada na elaboração do produto educacional.

No capítulo 3, é feita uma ampla revisão de Física do estado sólido onde são abordados desde estruturas cristalinas até as aplicações dos materiais semicondutores.

No capítulo 4 é feita uma pequena revisão bibliográfica sobre a Robótica em que discutimos sobre teoria de controle, atuadores e sensores além das aplicações suas principais características aplicações.

No capítulo 5, fazemos uma revisão a cerca do uso da Robótica educacional onde mostramos sua diversidade de abordagens dentro do ensino de Física evidenciada pelo grande número de trabalhos do MNPEF que utilizaram a Robótica em suas dissertações.

No capítulo 6, fazemos a caracterização da cidade da escola e da turma onde é realizada a aplicação do produto educacional e debatemos esta aplicação caracterizando cada etapa das aulas, destacando as principais dificuldades enfrentadas e os aspectos positivos.

No capítulo 7, são feitas as considerações finais onde abordamos aspectos gerais do trabalho bem como a metodologia utilizada e as possibilidades de trabalhos futuros dentro da mesma linha de pesquisa.

Capítulo 1

Fundamentação Teórica

1.1 Ensino de Física: currículo e desafios

Partindo-se de uma análise histórica, pode-se afirmar que o ensino de Ciências tornou-se uma variável de grande importância em meados da década de 50, após o lançamento do satélite *Sputnik* pela URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas), fato que marcou o início da corrida espacial entre o bloco soviético e os EUA (Estados Unidos da América). O principal objetivo foi tomar a dianteira, até então ocupada pela URSS. A partir de tal evento, os EUA executaram um grande número de programas focados no ensino de Ciências com o intuito de motivar a entrada de jovens em carreiras científicas e de Engenharia. Nesse contexto, o ensino de Física era uma das peças-chaves para a necessária formação de recursos humanos.

A partir de 1956, os EUA realizaram um grande esforço para implementar um programa de ensino de Física moderno e atualizado. O PSSC (*Physical Science Study Committee*) foi elaborado pela *National Science Foundation*. Gaspar (2007) afirma que o programa foi uma resposta à evidente necessidade de reformulação dos currículos científicos, sobretudo os de Física e Matemática. O PSSC consistia em um texto cujo objetivo básico era apresentar a Física como um processo que permite ao ser humano compreender a natureza e modificar a realidade. O texto era acompanhado por um guia de atividades experimentais e um grande número de equipamentos de laboratório, além de filmes e um livro do professor. Os materiais que compunham o PSSC foram publicados no Brasil no início da década de 1960 pela editora da Universidade de Brasília, e a parte experimental do material foi produzida pela Funbec (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento de Ensino de Ciências).

Gaspar (2007) afirma ainda que o PSSC não obteve os resultados esperados nos EUA e nem no Brasil, onde o programa foi aplicado em poucas escolas fazendo com que um número reduzido de professores conhecesse os materiais. Além disso, a aplicação era difícil, uma vez que muitos kits vinham com os materiais de laboratório incompletos e a proposta em si era incompatível com a realidade da

educação brasileira, pois muitos docentes não estavam preparados para trabalhar na forma proposta pelo PSSC.

Outro fator que contribuiu para o insucesso do programa foi a forma de abordar as práticas experimentais: o PSSC propunha um ensino de Física firmemente baseado na experimentação, onde, através das práticas de laboratório, as leis da ciência seriam redescobertas. Essa concepção ignora toda a importância da abstração e da intuição do pesquisador na pesquisa científica. A ênfase exagerada e irrealista do papel da experimentação se devia às crenças pessoais de seu principal idealizador, o Físico e professor americano Jerrold R. Zacharias, do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts). Apesar dos problemas, o PSSC tem o mérito de ter começado um movimento de renovação do ensino de Física e de Ciências como um todo que se seguiu ao longo do século XX, dando origem a diferentes programas com as mais diversas abordagens.

O ensino de Ciências no Brasil, em especial o ensino de Física, apresenta vários desafios: baixa remuneração, carência de professores, quase inexistência de laboratórios e outros materiais pedagógicos. A Física é ensinada de forma extremamente tradicional, com foco em treino para a resolução de questões e preparação para testes ou, nas palavras de Moreira (2017),

Em resumo, o ensino da Física na educação contemporânea é desatualizado em termos de conteúdos e tecnologias, centrado no docente, comportamentalista, focado no treinamento para as provas e aborda a Física como uma ciência acabada, tal como apresentada em um livro de texto. (MOREIRA, 2017, p.2)

No Brasil, geralmente o papel do professor ainda é o de detentor absoluto do conhecimento, cuja função é de transmitir os saberes aos alunos, que são agentes passivos no processo de ensino-aprendizagem. Esta realidade está muito distante da perspectiva de Paulo Freire, que apregoava a educação como um processo dialético, onde professor e aluno são agentes dinâmicos, uma vez que “não há docência sem discência, as duas se explicam, e seus sujeitos, apesar das diferenças que os conotam, não se reduzem à condição de objeto um do outro. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender” (FREIRE, 1996, p.25).

Costa e Barros (2015) observam que os diferentes problemas encontrados no ensino de Física no Brasil não são exclusivos apenas de uma época, são na

verdade características atemporais do ensino de Ciências Físicas e naturais. As dificuldades enfrentadas pelos professores de Física da educação básica estão em aparente descompasso com que ocorre na academia. Os autores anteriormente citados afirmam que o Brasil apresenta uma longa e internacionalmente conhecida tradição de pesquisa em ensino de Física; algumas universidades possuem programas de pós-graduação nessa área desde a década de 80 e, nesse mesmo período, foram realizados os primeiros encontros e congressos de pesquisa com foco em ensino de Física. Essa tradição em pesquisa permitiu a publicação de diversos livros e revistas especializadas, além de materiais didáticos voltados para o ensino da disciplina. No entanto, apesar desse histórico relacionado à pesquisa, não se constatou que o ensino de Física tenha avançado a patamares que ultrapassem metodologias baseadas em decorar fórmulas e preparar especificamente para os vestibulares.

1.2 Currículo e contextualização

A Física atingiu um estágio de desenvolvimento em que especulações sobre os instantes iniciais ao surgimento do Universo podem ser feitas, e a compreensão da natureza mais fundamental da matéria permitiu que o conceito de átomo fosse do indivisível de Demócrito ao atual zoológico de partículas.

A tecnologia está cada dia mais presente no dia a dia de grande parte da população, e em geral essas tecnologias apresentam uma íntima relação com princípios físicos estudados ainda no Ensino Médio. No entanto, as aulas de Física parecem ignorar essa conexão entre a Física e a tecnologia, como afirma Sasseron: “Para nós, de maneira mais direta, chegam a todo momento mais e mais aparelhos tecnológicos desenvolvidos em sua maioria em estreita relação com alguma área da Física” (SASSERON, 2010, p.12). Dentre os vários aspectos referentes ao ensino de Física no Brasil que podem ser criticados, destacam-se as deficiências no currículo, cujos conteúdos são desconectados do estágio científico e tecnológico atual.

A autora continua a ressaltar a importância do entendimento da ciência Física como parte integrante do dia a dia das pessoas, como mostra no trecho abaixo:

Os conhecimentos propostos pelos físicos fazem parte de nosso cotidiano. Implicando também que atuar e participar da sociedade tecno-natural, na qual vivemos hoje, requer reconhecer a Física como uma cultura cujos conhecimentos nos fornecem possibilidades de compreender o mundo. (SASSERON, 2010, p.12)

A dissonância entre a atual sociedade tecnológica e a Física ensinada na escola reflete como já mencionado, a carência de contextualização dos conteúdos. Uma análise de documentos oficiais do Ministério da Educação (MEC), como as Diretrizes Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), demonstra como a contextualização é considerada peça fundamental para a aprendizagem significativa, pois “é possível generalizar a contextualização como recurso para tornar a aprendizagem significativa ao associá-la com experiência da vida cotidiana ou com conhecimentos adquiridos espontaneamente” (PCN, 1999, p.94). Esse trecho apresenta a contextualização como fator motivador para a aprendizagem e a mostrando como uma abordagem possível. Porém, o mesmo pode levar a interpretações superficiais do que realmente seja essa contextualização, compreendendo-a apenas como uma forma de ilustrar o conteúdo apresentado.

Ricardo (2010), mostra a contextualização sob outras perspectivas, afirmando que ela se trata de uma condição para a interdisciplinaridade, na qual é possível contemplar aspectos da ciência com desdobramentos sociais, ético, culturais, tecnológicos, além de inserir um debate no campo da epistemologia, já que podem ser trabalhadas questões relativas aos aspectos teóricos e práticos referentes ao conhecimento científico. Uma terceira forma de enxergar a contextualização é se debruçando sobre as transformações dos saberes até sua chegada ao ambiente escolar, quando já passaram pelo processo de transposição didática.

1.3 Transposição didática

O matemático francês Yves Chevallard (1991) diferencia o processo de produção da Ciência Física e a Física escolar. Segundo o autor, trata-se de dois conhecimentos distintos, uma vez que a Física ensinada na escola é um novo saber que passou por diversas modificações até se tornar apta a ser transmitida no contexto educacional. O autor divide o saber em três modalidades, que são: o saber sábio, próprio do ambiente científico e produzido por pesquisadores; o saber a ensinar, que é a forma encontrada nos livros didáticos, manuais e revistas científicas e, por último, o saber ensinado, que é a forma de saber ensinado em sala de aula fruto do processo de transposição didática.

Chevallard (1991) fornece o elemento necessário para compreendermos

como é possível questionar a relevância da Física escolar. O autor afirma que a ciência e sua pesquisa se justificam por si mesmas, já os saberes ensinados, não. A Física e seu ensino estão inseridos em projetos formativos diferentes e, percebendo essas diferenças, podemos concluir vários questionamentos a respeito da relevância ou não do ensino de Física sem estarmos questionando a relevância da ciência, pois considera que estamos nos referindo a objetos distintos.

O autor afirma ainda que os saberes a serem ensinados passam pelos seguintes processos: *despersonalização*, onde os investimentos pessoais e subjetivos dos pesquisadores desaparecem e são inseridos em uma estrutura que os permite serem adequados a materiais didáticos; a *programabilidade*, que é a adequação dos saberes aos tempos típicos do ambiente de ensino; a *dessincretização*, que é a divisão do objeto de pesquisa em tópicos, permitindo assim organizar o conhecimento em capítulos; e, por fim, o saber a ser ensinado passa por um processo de *descontextualização*, que se segue a uma *recontextualização*, onde assumirá um novo discurso e uma padronização.

Ricardo (2010) afirma que é fundamental para o professor compreender os processos de transposição didática, embora a apresentação dos conteúdos escolares possa ser “transmitida” de outras maneiras. A transposição didática permite perceber as transformações, reorganizações e adaptações que ocorrem com a Física, possibilitando uma vigilância em relação aos conteúdos planejados e o que vem sendo ensinado.

1.4 Ensino de Física e Tecnologia

Vivemos em uma sociedade onde a tecnologia está mais presente e cada vez mais forte no dia a dia das pessoas, proporcionando mudanças na forma de comprar, vender, se divertir e até de se relacionar. As tecnologias de informação e comunicação (tic's), aliadas a princípios de automação e inteligência artificial, são responsáveis por uma transformação que tende a alterar de forma irreversível as relações de trabalho, onde as máquinas cada vez mais executam tarefas que outrora só poderiam ser realizadas por pessoas.

As tecnologias de informação e comunicação apresentam um grande potencial dentro da área do ensino de ciências, no entanto, as iniciativas governamentais costumam se restringir a apenas aumentar o acesso de professores

e alunos a computadores (GARCIA E MARTINS, 2010). Brito (2006) afirma que o processo de inclusão digital deve ampliar a compreensão de tecnologia apenas como aparelhos (celulares, tablets e computadores) para uma mais próxima do conceito de tecnologia apresentado por Bueno (1999), onde esta é compreendida como “um processo contínuo através do qual a humanidade molda, modifica e gera sua qualidade de vida”. (BUENO, 1999, p.87).

A pandemia de 2020 e o distanciamento social por ela imposta levou a procura por ferramentas de tecnologias de comunicação que permitissem o prosseguimento das atividades escolares, aplicativos de vídeo conferência como zoom, Skype e plataformas online para gestão de salas de aula como Microsoft Teams e Google Class Room se tornaram ferramentas no cotidiano de educadores pelo mundo, no entanto, as tic's já eram pesquisadas dentro da área de ensino, Cunha (2006) afirma que graças aos avanços tecnológicos e possível a prática da modalidade EAD sem a perda de qualidade, além de permitir que professores de Física qualificados cheguem a estudantes de regiões distantes onde esses profissionais são extremamente raros.

Muitas escolas do Brasil não possuem laboratórios de Física, o que dificulta a prática de atividades experimentais. O uso das tic's proporciona uma solução para esse problema através da difusão e popularização dos laboratórios virtuais. Segundo Fonseca *et al* (2013), os laboratórios virtuais podem ser de dois tipos: *softwares*, que simulam fenômenos físicos permitindo manipular os valores de diferentes observáveis, ou experimentos filmados de fenômenos reais, que posteriormente serão utilizados para análises qualitativas e quantitativas.

Para Moreira (2018), apesar da importância dos laboratórios tradicionais, os laboratórios virtuais podem contribuir para a motivação dos alunos, ajudando no desenvolvimento de competências científicas como: modificar características de modelos científicos, criar modelos computacionais, fazer experimentos sobre fenômenos não observáveis diretamente, criar ambientes *on-line* que usem dados individuais armazenados de estudantes para guiá-los em experimentos virtuais apropriados para seus conhecimentos prévios e seus estágios de desenvolvimento cognitivo.

1.5 Vygotsky, Desenvolvimento e Educação

A produção e a aplicação da sequência didática deste trabalho tiveram como

guia metodológico as orientações baseadas na teoria de aprendizagem Sociointeracionista, do psicólogo russo Lev Semenovich Vygotsky (1896-1934). A escolha deu-se pela atualidade dos conceitos apresentados por Vygotsky, que a mantém altamente estudada, bem como por seu largo escopo de aplicações.

Lev Semenovich Vygotsky nasceu no dia 5 de novembro de 1896 em Orcha, cidade pertencente à Bielo-Rússia, e que depois viria a ser anexada pela União Soviética. Em 1917, graduou-se na Universidade de Moscou em Direito e Filosofia.



Figura 1.1 Lev Semyonovich Vygotsky
Fonte: <https://escolaeducacao.com.br/lev-vygotsky>

Entre 1917 e 1923, ensinou Literatura e Psicologia em Gomel, onde também trabalhou com teatro em um centro para educação de adultos. Neste período, Vygotsky publicou diversos trabalhos na área de Literatura, além de ministrar cursos de Psicologia para professores.

Em 1924, mudou-se para Moscou onde foi trabalhar no Instituto de Psicologia. Mais tarde funda o Instituto de Estudo das Deficiências, onde realiza estudos com crianças com problemas físicos e psicológicos. Paralelo a sua atuação profissional, Vygotsky passa a cursar Medicina no Instituto Médico de Moscou e, posteriormente, muda seu curso para a cidade de Krakov.

Vygotsky morreu em 11 de junho de 1934, aos 37 anos. Apesar de sua morte prematura, sua obra intelectual é bastante vasta, percorrendo da Literatura e filosofia até as ciências cognitivas. Infelizmente, devido a razões políticas, sua obra permaneceu desconhecida no ocidente até o início dos anos 60, quando foi publicada nos Estados Unidos a obra *Pensamento e Linguagem*, abrindo as portas para a publicação de vários outros trabalhos de Vygotsky.

Fino (2002) afirma que questões políticas impediram que o trabalho de Vygotsky fosse conhecido fora da União Soviética, no entanto, duas de suas obras

foram publicadas nos Estados Unidos: *Pensamento e Linguagem* (1962) e *Mente e Sociedade* (1978). As iniciativas de aplicação prática do trabalho de Vygotsky só começaram a ser realizadas a partir do fim da década de 70 e início da década de 80. Para um melhor entendimento do pensamento de Vygotsky, é necessário conhecer as duas correntes psicológicas anteriores a seu trabalho: a abordagem inatista e a ambientalista. Elas representam duas formas antagônicas de compreender tanto o aspecto biológico quanto o cultural do ser humano, e permitem cada uma a seu modo explicar a complexidade e as formas de desenvolvimento.

1.5.1 Inatismo e Ambientalismo

Rego (2012) afirma que o paradigma inatista compreende as características básicas de cada ser humano - potencial de aprendizagem, formas de ver o mundo, valores e comportamentos - e são determinadas no nascimento, ou potencialmente prontas à espera apenas do amadurecimento para se manifestarem. Esta visão enfatiza os aspectos hereditários e de amadurecimento como determinantes da constituição do ser humano.

Segundo o autor, as teorias inatistas restringem o papel pedagógico: considera que a escola tem pouco a fazer já que as principais características dos indivíduos são inatas. A abordagem inatista na educação pode subestimar a capacidade intelectual dos alunos, por acabar introduzindo práticas pouco motivadoras:

Os postulados inatistas podem servir, assim, para justificar práticas pedagógicas espontaneístas, pouco desafiadoras e que, na maior parte das vezes, subestimam a capacidade intelectual do indivíduo, na medida em que seu sucesso ou fracasso depende quase exclusivamente do seu talento, aptidão, dom ou maturidade. (REGO, 2012, p.87)

Em oposição ao inatismo, o paradigma ambientalista atribui exclusivamente ao ambiente a responsabilidade pelo desenvolvimento das características básicas do intelecto dos indivíduos. Assim, o autor afirma que a experiência é a pedra fundamental determinante do conhecimento e dos hábitos. Segundo Rego (2012), a abordagem ambientalista atribui a fatores externos a constituição das características psicológicas do ser humano, onde desenvolvimento e aprendizagem se confundem e ocorrem ao mesmo tempo.

A autora afirma ainda que o impacto do paradigma ambientalista na

construção de abordagens pedagógicas é bastante significativo na construção de programas para crianças e jovens oriundos de camadas mais populares da sociedade, ou compensa de forma assistencialista as “carências sociais” dos indivíduos: “Nesses casos, o que está subjacente é a ideia de que a escola tem não somente o poder de formar e transformar o indivíduo, como também a incumbência de corrigir os problemas sociais” (REGO, 2012 p.88).

Segundo a autora, práticas de ensino tradicionais em suas versões mais conservadoras estão muito ligadas ao ambientalismo, uma vez que essas práticas costumam superestimar o papel da escola ao tratar o aluno como um mero depósito de informações, como descrito por Paulo Freire ao descrever a “educação bancária”:

Nessa perspectiva, os conteúdos e procedimentos didáticos não precisam ter nenhuma relação com o cotidiano do aluno e muito menos com as realidades sociais. É a predominância da palavra do professor, das regras impostas e da transmissão verbal do conhecimento. Assim, cabe ao aluno apenas executar prescrições que lhe são fixadas por autoridades exteriores a ele. (REGO, 2012 p.90).

1.6 Abordagem Sociointeracionista

O pensamento de Vygotsky pode ser compreendido como uma terceira via para entender os processos psicológicos de desenvolvimento do ser humano, haja vista que ele não se compromete com as teorias inatistas que descartam as pressões do meio, tampouco com a visão ambientalista que ignora os fatores hereditários.

Coelho e Pisoni (2012) afirmam que, na concepção de Vygotsky, os indivíduos nascem apenas com um conjunto de características psicológicas básicas e que a complexidade do ser humano se dá ao longo de seu contato com a cultura:

A criança nasce apenas com as funções psicológicas elementares e, a partir do aprendizado da cultura, estas funções transformam-se em funções psicológicas superiores, sendo estas funções o controle consistente do comportamento, a ação intencional e a liberdade do indivíduo em relação às características do momento e do espaço presente. (COELHO e PISONI, 2012, p.3)

Segundo Rego (2012), Vygotsky compreende o desenvolvimento do indivíduo como um processo dialético onde o homem altera e é alterado pelo meio, resultando em uma interação na qual o biológico e o social não estão separados. Aqui não se afirma que haja um somatório das influências hereditárias e ambientais, ao invés

disso, tem-se um processo de interação entre o ser humano e os meios cultural e social nos quais está inserido.

Segundo Gaspar (2014), o trabalho de Vygotsky demonstra que a espécie humana se diferencia das demais por ter sido capaz de construir uma estrutura mental não atrelada a fatores genéticos, e ao longo da história da civilização (Filogênese), um imenso e complexo conjunto cultural é repassado a cada pessoa dessa civilização durante seu desenvolvimento (Ontogênese), do nascimento até sua idade adulta. E é graças à importância dos aspectos históricos e sociais no desenvolvimento de um indivíduo que a teoria de Vygotsky é chamada de Sociointeracionismo.

Os estudos sobre o papel da linguagem ganham muita importância na abordagem de Vygotsky. Segundo Rabello e Passos (2005), a linguagem é o grande instrumento responsável pela construção do pensamento complexo e é o que nos permite criar representações da sociedade, e com a linguagem criar significados e diferenciar estes dos significantes.

A linguagem é, sobretudo, um elemento social. Logo sua função primordial é a comunicação, a expressão e a compreensão e está intimamente ligada ao pensamento, visto que a mesma permite a interação e a organização do pensamento. Segundo Gaspar (2014), o trabalho de Vygotsky demonstra que o domínio da linguagem ocorre em quatro etapas que são: a linguagem pré-intelectual, a linguagem social, a linguagem egocêntrica e a linguagem interior.

Em um breve apanhado sobre cada uma dessas fases, conclui-se que:

- i. A fase pré-intelectual representa o estágio pré-verbal, também conhecido como estágio natural ou primitivo;
- ii. Na segunda fase, temos uma linguagem ingênua caracterizada pelo aparecimento da curiosidade da criança. Nesta fase, a criança aprende a usar os porquês, mas e quando. No entanto, a criança ainda não compreende o uso desses conectivos;
- iii. Na terceira etapa de desenvolvimento surge a linguagem egocêntrica. Esta representa uma etapa em que a fala e pensamento se conectam durante um momento de concentração da criança e trata-se da fala em voz baixa emitida pela criança ao realizar alguma atividade. Vygotsky compreende a linguagem egocêntrica como uma maneira de a criança raciocinar ao

executar tarefas;

- iv. No quarto estágio (conhecido como linguagem interior), a criança internaliza elementos complexos da comunicação, as palavras passam a ser pensadas e o pensamento é capaz de resolver problemas sem a necessidade do auxílio da fala egocêntrica, ou seja, o pensamento não precisa ser expresso em voz alta; agora o pensamento não se atém apenas aos significados concretos das palavras, ao invés disso, ele é capaz de fazer associação entre palavras e seus possíveis significados.

1.6.1 Aplicações pedagógicas do Sociointeracionismo

A compreensão de como ocorrem os processos de desenvolvimento da criança, bem como a relação entre desenvolvimento e linguagem que acompanham a abordagem Sociointeracionista, nos permitem inferir diferentes possibilidades de aplicações práticas no ambiente escolar.

Gaspar (2014) afirma que dentro da teoria de Vygotsky a motivação para o aprendizado é considerada elemento fundamental, pois a motivação é a origem do pensamento. Logo, um estudo de processos de ensino aprendizagem deve partir da compreensão dos elementos de motivação.

Vygotsky descrê o pensamento que é resultado da interiorização da linguagem, no entanto, ele ocorre a partir dos desejos e necessidades e não como uma consequência de outros pensamentos. O trecho a seguir corrobora essa afirmação:

Pensamento não é gerado por pensamento; ele é engendrado pela motivação, isto é, por nossos desejos e necessidades, nossos interesses e emoções. Atrás de todo o pensamento há uma propensão afetivo-evolutiva que contém a resposta ao último “por que” na análise do pensamento. A verdadeira e completa compreensão do pensamento do outro só é possível quando compreendemos seus fundamentos afetivo-evolutivos. (VYGOTSKY, 1986, p. 252)

Analisando o trecho anteriormente citado concluímos que, para pensar, precisamos de motivação, e para aprender é preciso pensar. A mente deve estar disposta a refletir sobre um novo conhecimento, logo, não há aprendizado sem disposição para aprender. No mesmo trecho, Vygotsky destaca a dificuldade para se atingir a compreensão do pensamento do outro, o que só ocorre o quando o

conhecemos em sua dimensão afetiva. Esta compreensão do pensamento do outro permite ao professor planejar de que forma a motivação ocorrerá, como mostra Vygotsky no trecho “Antes de comunicar esse ou aquele sentido, o mestre deve suscitar a respectiva emoção do aluno e preocupar-se com que essa emoção esteja ligada a um novo conhecimento”. (VYGOTSKY, 2004, p. 144)

Nesse sentido, podemos relacionar que o processo educativo não é algo meramente técnico, mas que também envolve aspectos de natureza subjetiva ou seja, o pensar e fazer educativo na sua complexidade, precisa envolver a dimensão emocional como um dos aspectos que favorece, motiva e cria “pontes” de comunicação entre a ação do professor de ensinar e a disposição do aluno em aprender.

1.6.2 Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)

Segundo Coelho e Pisoni (2012), Vygotsky divide o desenvolvimento em duas modalidades: o desenvolvimento real e o desenvolvimento potencial. O desenvolvimento real representa a capacidade atual da criança em resolver problemas sem a ajuda de um adulto, e o desenvolvimento potencial refere-se às atividades que a criança só consegue realizar com auxílio de um adulto. A distância entre esses dois tipos de desenvolvimento é chamada de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

Segundo Vygotsky, aprendizagem e desenvolvimento não são sempre coincidentes; na verdade, é muito comum haver certa dissonância entre o desenvolvimento e o processo de aprendizagem que deve preceder ao desenvolvimento, e é nesse contexto que a ZDP surge.

Fino (2001) afirma que a pesquisa sobre as implicações educacionais do trabalho de Vygotsky têm focado sobre o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal e que este conceito foi desenvolvido na tentativa de resolver dois problemas da psicologia educacional: a avaliação das capacidades cognitivas das crianças e a escolha e avaliação das práticas pedagógicas. A mensuração cognitiva dos alunos tem como objetivo conhecer seus níveis de desenvolvimento atuais e saber qual seu potencial de desenvolvimento, já a avaliação das práticas pedagógicas tem a função de saber se a instrução praticada faz avançar o desenvolvimento, ou seja, quando desperta funções que estejam em etapa de

maturação, logo os processos educacionais exercem um papel muito importante no desenvolvimento.

Para Vygotsky, a aprendizagem ocorre dentro da ZDP e é função do educador no ambiente escolar encontrar meios para reduzir a distância entre os desenvolvimentos e transformar o desenvolvimento potencial em desenvolvimento real, além de, através de seu estudo, compreender o caminho interno para a efetivação da aprendizagem elaborando ciclos e processos de maturação que permitam planejar de forma mais imediata o ambiente de ensino.

Deve-se ressaltar que, quando um nível cognitivo é ultrapassado, não há garantia de que não se voltaria a raciocinar através de elementos cognitivos mais simples. Vygotsky ressalta essa característica do processo de desenvolvimento no trecho abaixo:

Mesmo depois de ter aprendido com forma superior de pensamento – os conceitos – a criança não abandona as formas mais elementares, que durante muito tempo ainda continuam a ser qualitativamente predominantes em muitas áreas do seu pensamento. Até mesmo o adulto está longe de pensar sempre por conceitos. É muito frequente o seu pensamento transcorrer no nível do pensamento por complexos, chegando, às vezes, a descer a formas mais elementares e mais primitivas. (VYGOTSKY, 2001, p. 228-9)

Esse trecho evidencia a importância de valorizar durante o planejamento da atividade pedagógica os saberes do aluno, que mesmo após o processo de ensino lhe equipar com formas de conhecimento mais sofisticadas, as formas mais elementares de saberes ainda permanecem e interagem com os novos saberes.

Após essa explanação sobre questões referentes ao ensino de Física e teorias de aprendizagem no capítulo seguinte fazemos uma revisão de tópicos centrais da física do estado sólido até as aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores, que são os conteúdos abordados na sequência didática.

Capítulo 2

Física do estado sólido: materiais e dispositivos semicondutores

Do que o mundo é feito? Esta pergunta tem intrigado a humanidade desde a antiguidade. Muitos tentaram responder e contribuições importantes foram se somando até atingirmos o estágio atual de conhecimento em que, com a compreensão dos mecanismos que formam a matéria em seus níveis mais fundamentais (atômico e subatômico), podemos moldar estruturas, átomo por átomo, e até extrair a energia dos mesmos para criar armas ou curar doenças. Sabemos também que a maneira com que os átomos se agrupam é importante e em alguns sólidos existe uma regularidade na forma como as partículas se ligam (sólidos cristalinos) e em outros essa regularidade não existe (sólidos amorfos).

De posse do conhecimento a respeito da geometria das moléculas obtido via técnicas experimentais refinadíssimas, como a difração de raios X ou usando microscópios de varredura atômica, somados aos avanços obtidos com a mecânica quântica, dominamos a compreensão dos processos elétricos na matéria permitindo grandes avanços tecnológicos.

Neste capítulo fazemos uma revisão bibliográfica sobre materiais cristalinos, onde são abordados alguns conceitos fundamentais como células unitárias e difração de raios X. Em seguida, abordamos a teoria elétrica nos sólidos através do modelo de Drude e mostramos suas aplicações; abordamos o formalismo do gás de elétrons; mostramos a interpretação das bandas de energia e a utilizamos para diferenciar os materiais condutores, isolantes e semicondutores e, por fim, mostramos a importância e as aplicações em eletrônica dos materiais semicondutores.

2.1 Elementos de cristalografia

Um cristal é formado quando átomos se agrupam em um ambiente de estabilidade, em geral, com valores elevados de temperatura e pressão. Cristais como o quartzo (como mostrado na figura 2.1) são encontrados facilmente na natureza e são formados por um longo processo geológico a partir de soluções de

silicato, aonde mais e mais átomos vão se agrupando até formar um arranjo periódico e tridimensional (KITTEL, 2006).

Segundo Kittel (2006), a primeira evidência da periodicidade dos cristais foi descoberta por mineralogistas ao comprovarem que os índices que definem as orientações espaciais das faces de um cristal são números inteiros, conclusão que viria a ser confirmada em 1912 pela descoberta da difração de raios X em cristais:



Figura 2.1: Cristais de Quartzo

Fonte: <https://www.mandaladeluz.com.br/cristal-de-quartzo-transparente-sem-base>

O mesmo autor afirma que a Física do estado sólido se consolidou como campo de estudos após a descoberta da difração de raios X por cristais, que se seguiu da publicação de vários trabalhos onde as propriedades dos cristais eram demonstradas utilizando esta técnica.

A importância em compreender as propriedades estruturais dos sólidos cristalinos se dá devido ao fato de que as propriedades desses sólidos dependem de suas estruturas. Um exemplo são os materiais semicondutores, como os elétrons, que apresentam comprimentos de ondas da mesma ordem de grandeza que as distâncias interatômicas; logo, o movimento dos elétrons é profundamente afetado pela estrutura do semicondutor.

A difração em cristais pode ser realizada com nêutrons e com elétrons, pois estes possuem ondas associadas de mesma ordem de grandeza das distâncias interatômicas, porém, a difração de raios X é fácil de executar e interpretar seus dados.

Os experimentos de difração mostraram de forma conclusiva que os cristais são formados por arranjos periódicos de átomos e, a partir de um modelo atômico para cristais, foi possível aplicar a mecânica quântica a estas estruturas e dessa conexão muitos fenômenos vieram a ser desvendados, possibilitando um grande

número de aplicações práticas.

Biase e Melo (1975) demonstram que um cristal pode ser caracterizado por uma estrutura puramente geométrica chamada de rede cristalina. Na rede cristalina seus pontos representam a posição de um ou mais átomos como mostrado na figura 2.2:

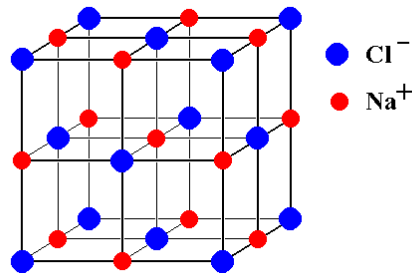


Figura 2.2: Exemplo de rede cristalina

Fonte: http://www.todasasconfiguracoes.com/2012/09/28/quase-arte/nacl_complex_motif_2/

Segundo Kittel (2006), as redes cristalinas são definidas através dos vetores de translação \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 e \mathbf{a}_3 , fazendo com que o arranjo atômico pareça o mesmo visto de um ponto \mathbf{r} e quando visto de um ponto \mathbf{r}' . O vetor de translação entre os pontos \mathbf{r} e \mathbf{r}' pode ser escrito como mostrado na equação 1:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}' = u_1 \cdot \mathbf{a}_1 + u_2 \cdot \mathbf{a}_2 + u_3 \cdot \mathbf{a}_3 \quad (1)$$

Onde u_1 , u_2 , e u_3 são números inteiros. O conjunto dos pontos possíveis para u_1 , u_2 , e u_3 que pertencem a \mathbf{r} define a rede cristalina. Definimos como rede cristalina primitiva se para dois pontos quaisquer em que o arranjo atômico pareça o mesmo, satisfação o vetor de translação \mathbf{r} .

2.1.1 Células unitárias e sistemas cristalinos

Calister (2002) afirma que as redes cristalinas podem ser subdivididas em unidades menores, pequenos agrupamentos atômicos que formam o que conhecemos como células unitárias. As figuras 2.3 e 2.4 mostram exemplos de célula unitárias:

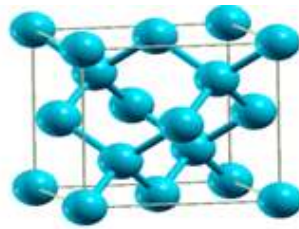


Figura 2.3: Célula Unitária Cúbica do Silício.
Fonte: Próprio Autor

Em Biase e Melo (1975) vemos que qualquer rede cristalina pode ser formada pela translação de sua célula unitária e, de acordo com a relação entre os lados e os ângulos da célula unitária, as redes cristalinas podem ser divididas em sete sistemas cristalinos. Cada um desses sistemas pode apresentar uma ou mais tipos de redes cristalinas que variam de acordo com a simetria observada na rede. Existem ao todo 14 tipos possíveis de redes cristalinas.



Figura 2.4: Células unitárias cúbicas de silício
Fonte: Próprio Autor

Segundo Kittel (2006), dentre os quatorze tipos diferentes de redes cristalinas, temos a rede geral, conhecida como triclinica, e outras 13 redes especiais, agrupadas em sete sistemas cristalinos: triclinico, monoclinico, ortorrômbico, tetragonal, cúbico, trigonal e hexagonal. A figura 2.5 mostra os sistemas cristalinos:

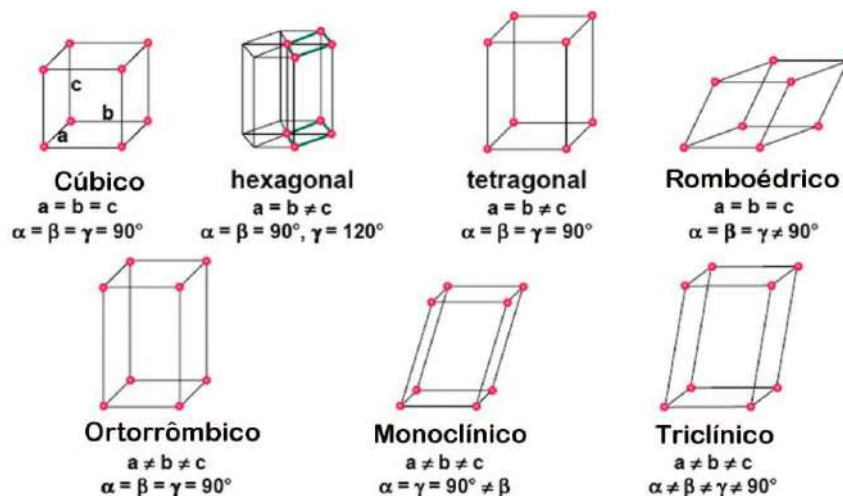


Figura 2.5: Sete Sistemas Cristalinos.

Fonte: file:///C:/Users/User/Downloads/49669-Texto%20do%20artigo-751375172974-1-10-20161231%20(2).pdf

2.1.2 Índices e planos cristalinos

Os átomos de um cristal definem uma série de planos e o conhecimento da posição e orientação desses planos em uma dada amostra é extremamente importante, pois muitas características mecânicas dos cristais dependem da orientação desses planos. Um exemplo são os cristais que, quando golpeados, sofrem fraturas exatamente na direção do plano onde o cristal foi golpeado. Em cristais onde isso ocorre dizemos que existe um plano de clivagem; para cristais em que isso não ocorre, a fratura é irregular e a amostra pode ser estilhaçada.

Biase e Melo (1975) afirmam que a maneira mais imediata de definir um plano de um cristal seria indicar as coordenadas dos traços desse plano nos três eixos de referência. No entanto, em cristalografia os planos costumam ser definidos através dos índices de Miller. Kittel (2006) mostra que a orientação de um plano cristalino é determinada através dos chamados índices de Miller que são calculados através das regras abaixo:

- Determinando os pontos de interseção entre o plano e os eixos cristalinos em termos das constantes da rede \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 , e \mathbf{a}_3 .
- Calculando os recíprocos destes números e determine os três menores números inteiros e que estejam na mesma proporção. Os índices de Miller são representados por h , k e l .

2.1.3 Estruturas via Difração de Raios X

Calister (2002) define raios X como ondas eletromagnéticas de baixo comprimento e alta frequência, logo concluímos que se trata de uma radiação altamente energética. Os comprimentos de onda dos raios X apresentam mesma ordem de grandeza dos espaçamentos atômicos nos materiais sólidos. Quando um feixe de raios X incide sobre um sólido, uma porcentagem desse feixe é dispersada em várias direções devido aos elétrons dos átomos (ou íons) do sólido.

Kittel (2006) afirma que a difração em cristais pode ser feita com outras partículas além dos fótons. Também podem ser usados nêutrons ou elétrons ou utilizando a luz, no entanto, os comprimentos de onda na faixa da luz visível são muito maiores que a constante de rede dos cristais, assim a superposição de ondas

elasticamente espalhadas leva à produção de um único feixe difratado que obedece às leis da ótica clássica. Entretanto, quando o comprimento de onda é da mesma ordem de grandeza ou menor que o da constante de rede, surgirão feixes difratados em diferentes direções:

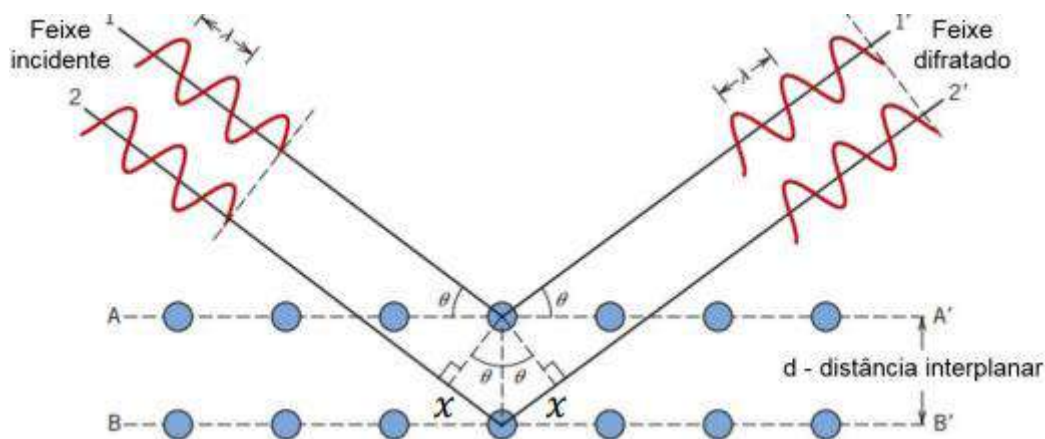


Figura 2.6: Difração entre planos cristalinos.

Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4348295/mod_resource/content/1/PMT3100_2017-Un05-DRX-v1.0.pdf

O referido autor mostra que para dois planos paralelos, onde ambos possuem os mesmos índices de Miller h , k e l , e a separação entre os planos equivale a d_{hkl} se um feixe de raio paralelo, monocromático, em fase e com comprimento de onda λ incidir sobre estes planos como mostra a figura 2.6 formando um ângulo θ . Se a diferença entre os comprimentos das trajetórias $11'$ e $22'$ for igual a um número inteiro de comprimentos de onda, uma interferência construtiva ocorre para o ângulo θ , então podemos escrever:

$$n \cdot \lambda = \overline{SQ} + \overline{QT} \quad (2)$$

Os comprimentos \overline{SQ} e \overline{QT} podem ser escritos em função do seno de θ , logo:

$$n \cdot \lambda = d_{hkl} \cdot \text{sen}\theta + d_{hkl} \cdot \text{sen}\theta \quad (3)$$

$$n \cdot \lambda = 2d_{hkl} \cdot \text{sen}\theta \quad (4)$$

A equação é conhecida como Lei de Bragg, onde n é o número de onda que pode assumir qualquer número inteiro (1, 2, 3, 4). A lei de Bragg relaciona de forma muito simples a distância entre os planos cristalinos, o comprimento de onda da radiação incidente e o ângulo de incidência. Se a condição $n \cdot \lambda$ não for satisfeita, então teremos uma interferência destrutiva e o raio difratado terá baixíssima

intensidade.

Em Calister (2002), temos que o espaçamento interplanar d_{hkl} pode ser determinado através dos índices de Miller h, k, l e o parâmetro de rede a , utilizado na equação:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (5)$$

Biase e Melo (1975) afirmam que, de acordo com a Lei de Bragg, os conjuntos de planos paralelos de um cristal só produzem imagem na placa fotográfica para determinados valores de θ e, como um cristal possui diversas famílias de planos paralelos, o ângulo θ , obtemos as imagens referentes a várias famílias de planos, o que permite deduzir a estrutura do cristal e sua orientação em relação à radiação incidente.

Ainda em Biase e Melo (1975) vemos que a Lei de Bragg é uma condição necessária, mas não suficiente para que ocorra difração, pois sua decisão leva em conta apenas a regularidade da rede cristalina, porém não considera os átomos associados a cada ponto da rede.

Os mesmos autores afirmam ainda que aspectos referentes à influência base do cristal no fenômeno de difração podem ser estudados a partir da introdução de dois fatores: o fator de estrutura, ligado à influência geométrica dos átomos da base, não dependendo do tipo de átomo considerado, e o fator de forma, que mede a capacidade de espalhamento dos átomos que constituem a base do cristal.

2.1.4 Amplitude de espalhamento e análise de Fourier

Kittel (2006) explica que para medir a intensidade relativa dos vários feixes difratados é necessário determinar o poder de espalhamento dos átomos que compõem a base, e este depende da distribuição espacial dos elétrons dentro de cada célula.

O mesmo autor argumenta que, sendo um cristal invariante em relação a seu vetor $T = u_1 \cdot a_1 + u_2 \cdot a_2 + u_3 \cdot a_3$, onde u_1, u_2 e u_3 são inteiros e a_1, a_2 e a_3 são eixos do cristal, as propriedades físicas do cristal como densidade de elétrons e momentos de dipolo magnéticos também são invariantes.

O autor mostra ainda que a concentração de elétrons $n_{(r)}$ pode ser expressa

na relação número 6.

$$n_{(r+T)} = n_r \quad (6)$$

A equação 6 é uma função periódica de r para os três eixos do cristal. Esta periodicidade permite realizar a análise de Fourier da densidade dos elétrons do cristal. Sendo $n(x)$ uma função periódica unidimensional, cujo período é a na direção de x , a função $n(x)$ pode ser expandida em uma série de Fourier:

$$n(x) = n(x) + \sum_{p>0} \left[C_p \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right) + S_p \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \right] \quad (7)$$

Na equação 7, C_p e S_p são constantes conhecidas como coeficientes de Fourier e p é um inteiro positivo. O fator $2\pi/a$ é necessário para que $n(x)$ tenha período igual a a , logo é possível escrever:

$$n(x + a) = n(x) + \sum \left[C_p \cos\left(\frac{2\pi x}{a} + 2\pi p\right) + S_p \sin\left(\frac{2\pi x}{a} + 2\pi p\right) \right] \quad (8)$$

O autor explica que o termo $2\pi p/a$ é um ponto da rede recíproca do cristal. Estes pontos mostram termos permitidos na série de Fourier e estes devem ser comparáveis à periodicidade do cristal. Portanto, mostra ser conveniente escrever a equação 8 na forma da equação 9, onde o somatório se estende a todos os termos de p , positivos, negativos e nulo:

$$n(x) = \sum_p n_p \exp\left(\frac{i2\pi p x}{a}\right) \quad (9)$$

Na equação 9, os coeficientes de $n(x)$ são números complexos, e a função se mantém como uma função real quando satisfeita a condição: $n_{-p}^* = n_p$. A soma dos termos de p e $-p$ é um número complexo e o termo n_{-p}^* é o conjugado complexo de n_{-p} .

Kittel (2006) demonstra que a aplicação da análise de Fourier a funções periódicas e tridimensionais é imediata e devemos encontrar um conjunto de vetores G tal que a equação 10 seja invariante para qualquer translação de T :

$$n(\mathbf{r}) = \sum_{\mathbf{G}} n_{\mathbf{G}} \exp(i\mathbf{G} \cdot \mathbf{r}) \quad (10)$$

Os coeficientes n_p e n_g , respectivamente, são dados pelas transformadas inversas mostradas nas equações 9 e 10:

$$n_p = a^{-1} \int dx. n(x) \exp\left(-\frac{i2\pi px}{a}\right) \quad (11)$$

$$n_g = Vc^{-1} \int dv. n(\mathbf{r}) \exp(-i\mathbf{G} \cdot \mathbf{r}) \quad (12)$$

Para proceder a análise de Fourier da densidade de concentração de portadores de carga, devem ser determinados os vetores \mathbf{G} do Somatório na série da equação 11. Os vetores \mathbf{G} mostrados na equação 13 são a combinação linear de \mathbf{b}_1 , \mathbf{b}_2 e \mathbf{b}_3 , os vetores primitivos da rede recíproca. Os coeficientes v_1 , v_2 e v_3 são números inteiros. O conjunto dos vetores \mathbf{G} são considerados vetores da rede recíproca por serem invariáveis em relação a qualquer translação.

$$\mathbf{G} = v_1 \cdot \mathbf{b}_1 + v_2 \cdot \mathbf{b}_2 + v_3 \cdot \mathbf{b}_3 \quad (13)$$

2.2 Os Elétrons livres e o Modelo de Drude dos metais e suas aplicações

No livro de Oliveira e Jesus (2011), os autores demonstram como o físico P. Drude (1863-1905) modelou os metais como gases de elétrons livres confinados em uma caixa. Nesta formulação, os íons positivos formam a estrutura do material e os elétrons se movem entre esses cátions como mostrado na figura 2.7.

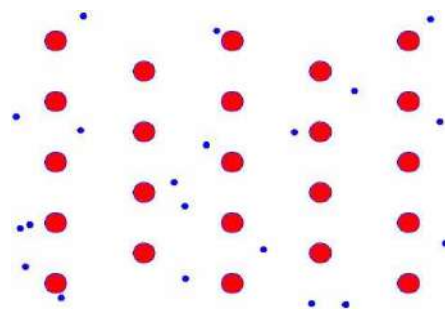


Figura 2.7: Modelo microscópico da matéria segundo a formulação de Drude

Fonte: <http://www.ufal.edu.br/unidadeacademica/if/pt-br/pos-graduacao/mestrado-doutorado-em-fisica/dissertacoes-e-teses/dissertacoes-pdf/Cesar%20Henrique%20Cicero.pdf>

Partindo de ideias oriundas da teoria cinética dos gases, Drude obteve uma modelagem mecânico-probabilística das colisões entre elétrons e os íons da estrutura metálica. Neste modelo, é definida a grandeza tempo de relaxação τ que representa o tempo médio entre duas colisões.

Aplicando um campo elétrico externo a um condutor metálico, observa-se uma corrente elétrica estacionária nesse condutor. Utilizando o modelo de Drude, podemos demonstrar a equação 14 do movimento de um elétron com momento P_x sob ação de um campo elétrico externo \vec{E} que corrobora com os dados experimentais:

$$\frac{dP_x}{dt} = -\frac{P_x}{\tau} - e \cdot \vec{E} \quad (14)$$

Integrando a equação 14 obtemos a corrente elétrica J_x , onde m é a massa do elétron e sua carga t é o tempo.

$$J_x = \frac{n \cdot e^2 \cdot \tau}{m} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \cdot \vec{E} \quad (15)$$

Fazendo t na equação 15 tender ao infinito $t \rightarrow \infty$ chegamos à equação 16, conhecida como Lei de Ohm. O termo σ_0 representa a grandeza chamada condutividade elétrica do metal e pode ser definida como a equação 17, na qual as grandezas se relacionam, grandezas macroscópicas como a própria condutividade e grandezas microscópicas como m , e e τ .

$$J_x(\infty) = \left(\frac{n \cdot e^2 \tau}{m} \right) E = \sigma_0 E \quad (16)$$

$$\sigma_0 = \frac{n \cdot e^2 \tau}{m} \quad (17)$$

Utilizando o modelo de Drude, podemos escrever a equação geral de movimento em três dimensões para uma partícula de momento \mathbf{P} sujeita a uma força qualquer \mathbf{F} , mostrada na equação 18:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = -\frac{\mathbf{P}}{\tau} + \mathbf{F} \quad (18)$$

2.2.1 Corrente elétrica via formulação matricial

Sendo a força sobre um elétron de carga elétrica e sujeito à ação de campos elétricos e magnéticos \vec{E} e \vec{B} , respectivamente, podemos escrever esta força como mostrado na equação 19, que é conhecida como força de Lorentz:

$$\vec{F} = -e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (19)$$

Equação 17: Força para um elétron sujeito ao campo elétrico e magnético.

Substituindo a equação 19 em 18, chegamos à forma da equação 20:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = -\frac{\mathbf{P}}{\tau} - e\left(\vec{E} + \frac{\mathbf{P}}{m} \times \vec{B}\right) \quad (20)$$

Fazendo as substituições necessárias e considerando $\gamma = -e/m$ é a razão carga massa do elétron obtém-se a equação 21.

$$\frac{d\mathbf{J}}{dt} + \frac{\mathbf{J} - \sigma_0 \vec{E}}{\tau} + \gamma(\vec{B} \times \mathbf{J}) = 0 \quad (21)$$

A equação 21 pode ser escrita como uma equação matricial onde definimos a matriz β como:

$$\beta = \gamma \vec{B} \times = \gamma \begin{pmatrix} 0 & -B_z & B_y \\ B_z & 0 & -B_x \\ -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Assim, a equação 22 torna-se uma equação diferencial e matricial na forma mostrada na equação 23, onde $A_{(t)} = \sigma_0 \mathbf{E}_{(t)}/\tau$.

$$\frac{d\mathbf{J}}{dt} + \left[\frac{1}{\tau} + \beta \right] \mathbf{J} = A_{(t)} \quad (23)$$

cuja solução geral é a função $\mathbf{J}(t)$ dada por:

$$\mathbf{J}(t) = U(t, 0)\mathbf{J}(0) + \int_0^t U(t, t')A(t')dt \quad (24)$$

Onde o termo $U(t, t')$ é uma matriz de evolução temporal, que é solução da equação homogênea 25:

$$\frac{dU(t, t')}{dt} + \left[\frac{1}{\tau} + \beta \right] U(t, t') = 0 \quad (25)$$

Sendo a matriz β independente do tempo $U(t, t')$, adquire a forma da equação 26:

$$U(t, t') = \exp \left[- \left(\frac{1}{\tau} + \beta \right) (t - t') \right] \quad (26)$$

Combinando as equações 24 e 26 é possível calcular as componentes de J para diversas combinações de campos. Em uma configuração onde \vec{E} e \vec{B} são independentes do tempo, a equação 24 pode ser escrita na forma da equação 27:

$$J(t) = \frac{\sigma_0}{\tau} \left(\frac{1}{\tau} + \beta \right)^{-1} \cdot \vec{E} - \frac{\sigma_0}{\tau} \exp \left[- \left(\frac{1}{\tau} + \beta \right) t \right] \left(\frac{1}{\tau} + \beta \right)^{-1} \cdot \vec{E} \quad (27)$$

Analisando a função $J(t)$ percebe-se que a primeira parte é independente de t e que o segundo termo varia de forma exponencial e decai rapidamente para um valor de t suficientemente longo. Logo, para t tendendo ao infinito, temos a solução para o estado estacionário.

$$J(\infty) = \frac{\sigma_0}{\tau} \left(\frac{1}{\tau} + \beta \right)^{-1} \cdot \vec{E} \quad (28)$$

2.2.2 Efeito Hall na formulação de Drude

Em Nussenzveig (1997), vemos que ao aplicar um campo magnético $\vec{B} = B\hat{z}$ perpendicular a um campo elétrico \vec{E} em um condutor metálico percorrido por uma corrente elétrica i de densidade J , os elétrons ficam sujeitos a uma força magnética igual a $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$. Esta força leva a separação entre as cargas positivas e negativas como mostrado na figura 2.8:

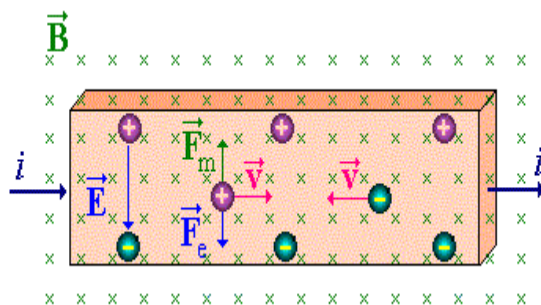


Figura 2.8: Efeito Hall

Fonte: <http://ensinoadistancia.pro.br/EaD/Eletromagnetismo/EfeitoHall/EfeitoHall.html>

Este efeito passou a ser conhecido como efeito Hall em homenagem ao Físico Edwin Hall, que o observou em 1879. A tensão que surge em função do acúmulo de cargas é chamada de tensão de Hall.

Halliday Resnick (2016) afirma que Hall utilizou o efeito por ele observado para determinar o sinal dos portadores de carga no condutor, o que para um metal seria óbvio se o mesmo não tivesse sido feito 20 anos antes da descoberta do elétron.

Santos (2015) afirma que sensores magnéticos são utilizados em muitas aplicações tecnológicas importantes que vão de aparelhos simples até máquinas complexas. Dentre as opções de sensores magnéticos, destacam-se os sensores de efeito Hall. As vantagens desse sensor é que apresentam pouco ruído (interferência) e baixo custo de aquisição. A figura 2.9, mostra um exemplo desse tipo de sensor.



Figura 2.9: Sensor de Efeito Hall linear A1302

Fonte: <https://www.eletoindex.com.br/sensor-de-efeito-hall-linear-a1302.html>

Oliveira e Jesus (2011) demonstram como descrever as componentes das densidades de correntes J_x e J_y utilizando a formulação obtida através do modelo de Drude. Sendo E_x e E_y as componentes de interesse do campo elétrico e B_z para o campo magnético, temos:

$$\vec{E} = (E_x, E_y, 0) \quad (29)$$

$$\vec{B} = (0, 0, B_0) \quad (30)$$

A equação matricial 31 fornece as densidades de correntes J_x , J_y , e J_z .

$$\begin{pmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{pmatrix} = \frac{\sigma_0 \tau^2}{1 + \gamma^2 \tau^2 B_0^2} \begin{pmatrix} 1/\tau^2 & \gamma B_0/\tau & 0 \\ -B_0/\tau & 1/\tau^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\tau^2} + \gamma^2 B_0^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{pmatrix} \quad (31)$$

Para a componente J_x temos ω é a frequência angular.

$$J_x = \frac{\sigma_0 \tau^2}{1 + (\omega_c \tau)^2} (E_x + \omega_c \tau E_y) \quad (32)$$

A componente y da densidade de corrente é dada pela equação 33:

$$J_y = \frac{\sigma_0 \tau^2}{1 + (\omega_c \tau)^2} (E_y - \omega_c \tau E_x) \quad (33)$$

O termo $\omega_c = \gamma B_0$ é a chamada frequência de cíclotron do elétron no campo magnético e para o sistema mostrado na figura 3 a não há densidade de corrente $J_z = 0$.

O efeito Hall leva a um aumento na resistividade do material, pois o acúmulo de cargas eleva a tensão de Hall até um ponto em que a corrente na direção y vai a zero e $J_z = 0$. O coeficiente Hall R_h é função apenas da densidade eletrônica do material, logo é uma propriedade típica ao próprio material e não depende de outros fatores. Este coeficiente pode ser determinado pela equação 34, onde n é a densidade eletrônica e e é uma constante:

$$R_h = \frac{1}{ne} \quad (34)$$

Segundo os autores, o modelo de Drude ainda é muito útil para situações onde um tratamento matemático mais simples pode ser aplicado, além de possuir o mérito de ser o primeiro modelo microscópico para a condução de eletricidade nos metais. Contudo, os avanços em Física experimental deixaram claro que outras formulações mais sofisticadas seriam necessárias para descrever o comportamento dos portadores de carga nos sólidos metálicos.

2.2.3 Corrente induzida para campo elétrico dependente do tempo

O formalismo matricial pode ser utilizado para determinar a corrente J para um campo elétrico variável no tempo, como mostrado na equação 35:

$$E(t) = E(\omega)e^{-i\omega t} \quad (35)$$

Utilizando a equação 35 e desconsiderando o campo magnético variável associado, chegamos à densidade de corrente $J(t)$:

$$J(t) = J(0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\sigma_0 E(\omega)}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{(t-t')}{\tau}} \cdot e^{-i\omega t'} dt' \quad (36)$$

Resolvendo a integral da equação 36 e fazendo as manipulações necessárias, chegamos à equação 37:

$$J(t) = \left(J(0) - \frac{\sigma_0 E(\omega)}{1 - i\omega\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\sigma_0 E(\omega)}{1 - i\omega\tau} e^{-i\omega t} \quad (37)$$

A primeira parte da equação 37 representa a chamada corrente transiente que decai exponencialmente com o tempo, já a segunda parte representa o componente estacionário da corrente. A solução estacionária pode ser escrita na forma da equação 38:

$$J(\omega) = \sigma(\omega)E(\omega) \quad (38)$$

cuja condutividade $\sigma(\omega)$ é dada pela equação 39:

$$\sigma(\omega) = \frac{\sigma_0}{1 - i\omega\tau} \quad (39)$$

2.2.4 Densidade de corrente para campo magnético variável

A equação 31 permite calcular a densidade de corrente para um campo magnético uniforme B_0 . No entanto, é possível utilizar o modelo do formalismo matricial obtido com o modelo de Drude para determinar a densidade de corrente para campos magnéticos oscilantes.

Sejam os campos magnético (variável) e elétrico (constante) a que um metal está sujeito e apresentem a seguinte configuração:

$$\mathbf{B} = B_1 \cos(\omega t) \cdot \mathbf{i} + B_2 \sin(\omega t) \cdot \mathbf{j} + B_0 \cdot \mathbf{k} \quad (40)$$

$$\mathbf{E} = E_0 \mathbf{k} \quad (41)$$

A equação 40 mostra que o campo magnético apresenta uma componente constante ao longo do eixo z e uma rotação em torno de xy . Um sistema com a configuração descrita acima apresenta solução para a densidade de corrente na forma da equação 42 mostrada abaixo:

$$J(t) = \frac{\sigma_0 \tau E_0}{1 + [\omega_1^2 + (\omega - \omega_C)^2] \tau^2} \left(\frac{(\omega - \omega_C) \cdot \omega_1 \tau}{1 + (\omega - \omega_C)^2 \tau^2} \right) \quad (42)$$

2.3 Modelo do Gás de Fermi (Gás Quântico de Elétrons)

Kittel (2006) mostra que o uso da teoria clássica em termos de elétrons livres levou a grandes avanços na compreensão das propriedades dos metais, como a demonstração da Lei de Ohm e a relação entre condutividade térmica e elétrica. Entretanto, a teoria clássica não consegue explicar de forma satisfatória fenômenos como a capacidade térmica e a suscetibilidade magnética dos elétrons de condução.

As dificuldades listadas acima levaram os físicos a desenvolver teorias alternativas ao modelo clássico, e com o surgimento da Mecânica Quântica foi possível elaborar um formalismo muito mais sofisticado, capaz de corroborar com os dados experimentais.

O gás de Fermi refere-se a um gás de elétrons livres sujeitos ao princípio da exclusão de Fermi. Este sistema, diferentemente do modelo de Drude onde a equação do movimento para o elétron é obtida através de considerações puramente clássicas, um gás de Fermi é descrito através das equações da mecânica quântica onde o comportamento de um elétron é analisado através de sua função de onda $\psi(x)$.

2.3.1 Gás de elétrons em uma dimensão

Considerando um gás de elétrons livres movendo-se em uma dimensão, para um elétron desse gás que possua massa m e esteja confinado sobre uma linha de comprimento L por infinitas barreiras. Se a função de onda desse elétron é dada por $\psi(x)$, que é uma solução da equação de Schroedinger mostrada na equação 43:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x) \quad (43)$$

Usando o termo orbital para diferenciar uma solução da equação de Schroedinger para um sistema de apenas um elétron e um sistema com N elétrons, assim podemos dizer que para N elétrons teremos N orbitais, cada um representando uma solução. Considerando que as condições de contorno $\psi(0) = 0$

e $\psi(L) = 0$ estabelecidas devido à barreira de potencial, são satisfeitas no caso em que a função de onda seja do tipo seno e seu comprimento com um número inteiro N de meio comprimento de onda variando entre 0 e L , pode ser escrita como:

$$\psi(N) = A \cdot \left(\frac{2\pi}{L} x\right) \quad (44)$$

onde L pode ser escrito na forma $\frac{1}{2} n \lambda_n = L$, sendo 44 uma solução da equação 43, a energia E_n do sistema pode ser escrita na forma mostrada na equação 45:

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \quad (45)$$

Para acomodar n elétrons sobre L , o Princípio da Exclusão de Pauli deve ser levado em conta. Este princípio afirma que dois elétrons não podem possuir os quatro números quânticos iguais, assim cada orbital só pode ser preenchido por um elétron. Já para um sólido unidimensional, os números quânticos são n e m_s , onde n é qualquer inteiro positivo e m_s é o número quântico magnético que pode assumir valores iguais a $+1/2$ e $-1/2$ que dependem do spin do elétron. Logo, um par de orbitais que apresentem o mesmo número quântico n podem acomodar dois elétrons com spins de sentidos opostos. Alguns orbitais podem ter a mesma energia, o número desses orbitais é chamado de degeneração do orbital. O nível de energia mais alto n_f ocupado em um sistema de N elétrons apresenta uma energia E_f , esta energia é calculada pela equação 46:

$$E_f = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{N\pi}{2L}\right)^2 \quad (46)$$

2.3.2 Gás de elétrons em três dimensões

Segundo Oliveira e Jesus (2011) é possível formular um modelo tridimensional para um gás quântico de elétrons (gás de férmions). Este modelo corrige inconsistências teorias e observação, o que não era possível com os modelos clássicos. No modelo tridimensional do gás de elétrons (Modelo de Sommerfeld), os elétrons do gás são considerados plenamente livres e encerrados em um recipiente de volume $V = L^3$, no qual não são consideradas colisões entre partículas de natureza distinta dos próprios elétrons. A equação de onda de Schroedinger para uma partícula livre em movimento no espaço tridimensional com

coordenadas do tipo (x, y, z) é dada por:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \cdot \psi(x, y, z) = E\psi(x, y, z) \quad (47)$$

Com funções de ondas periódicas obedecendo as condições de Born-Von Karman, temos:

$$\psi(x, y, z + L) = \psi(x, y, z) \quad (48)$$

$$\psi(x, y + L, z) = \psi(x, y, z) \quad (49)$$

$$\psi(x + L, y, z) = \psi(x, y, z) \quad (50)$$

A forma normalizada das soluções em três dimensões da equação 47 é dada pela função 51:

$$\psi(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{V}} e^{ik_x x} e^{ik_y y} e^{ik_z z} = \frac{1}{\sqrt{V}} e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}} \quad (51)$$

Na equação 51, o \mathbf{k} é o vetor de onda que tem seu módulo relacionado ao comprimento de onda λ pela equação 52:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (52)$$

As auto energias E_k são dadas pela equação 53 mostrada abaixo:

$$E_k = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m} (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) \quad (53)$$

Na equação 53, as componentes de são os números quânticos relativos ao problema juntamente com o número quântico magnético m_s , e os módulos das componentes k_x , k_y e k_z são dados por:

$$k_x = \frac{2\pi n_x}{L}, k_y = \frac{2\pi n_y}{L} \text{ e } k_z = \frac{2\pi n_z}{L} \quad (54)$$

Para o estado fundamental, os orbitais de um sistema de N elétrons é representado por um ponto da chamada esfera de Fermi figura 2.10, onde a energia na superfície da esfera é conhecida como energia de Fermi (Kittel, 2006).

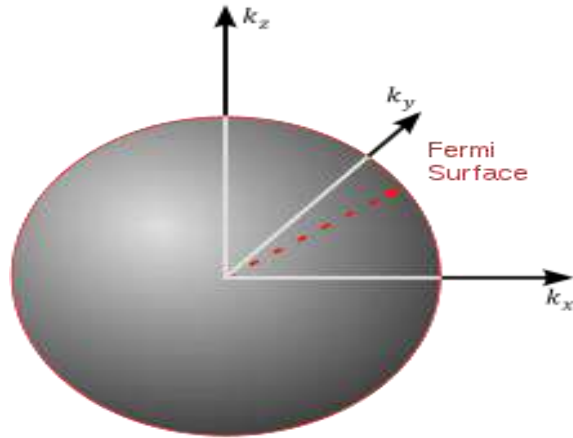


Figura 2.10: Esfera de Fermi

Fonte: http://fisica.ufpr.br/kleber/teoria_de_bandas_1_pb.pdf

Os vetores que pertencem a superfície da esfera possuem módulo k_f e a energia associada é dada por:

$$E_f = \frac{\hbar^2 k_f^2}{2m} \quad (55)$$

Para cada elemento de volume $(2\pi L)^2$ há um conjunto de componentes k_x , k_y e k_z do vetor de onda e para uma esfera de volume total igual a $4\pi k_f^3/3$ temos um número N de orbitais igual a:

$$N = 2 \cdot \frac{4\pi k_f^3/3}{(2\pi L)^3} = \frac{V}{3\pi^2} k_f^3 \quad (56)$$

Isolando k_f na equação 55 e substituindo o valor encontrado na equação 56, nos leva a relacionar a energia de Fermi com a concentração de portadores de elétrons como é mostrado na equação 57:

$$E_f = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (57)$$

De posse do vetor de Fermi $k_f = (3\pi^2 n)^{1/3}$ obtido com a equação 55 é possível determinar a velocidade de Fermi v_f e a temperatura de Fermi T_f , que são quantidades de interesse prático.

$$v_f = \frac{\hbar^2 k_f^2}{2m} \quad (58)$$

$$-T_f = \frac{E_f}{k_B} \quad (59)$$

A energia U do estado fundamental do gás é dada pelo somatório das energias do estado zero até k_f e é calculado por:

$$U = 2 \sum_{k < k_f} \frac{\hbar^2}{2m} k^2 \quad (60)$$

3.3.3 Densidade de Estados

Utilizando a equação 56 que determina a quantidade N de orbitais por intervalo de energia $D(E)$ que é chamada de densidade de estados, o valor de $D(E)$ é determinado fazendo a derivada de N em relação a E .

$$D(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \cdot E^{1/2} \quad (61)$$

Fazendo as manipulações necessárias, a equação 61 pode ser escrita de forma mais simplificada na equação 62:

$$D(E) = \frac{3N}{2E} \quad (62)$$

A equação 62 é válida apenas para elétrons livres, quando houver interação entre os elétrons e a os componentes da rede cristalina. A densidade de elétrons assumem formas mais complexas.

2.3.4 Capacidade térmica para o gás quântico

Segundo Kittel (2006), a teoria clássica prevê que para um conjunto de N elétrons livres, a capacidade térmica C_{el} dos elétrons é dada desse conjunto e deve ser igual a:

$$C_{el} = 3NK_b T \quad (63)$$

onde K_b é a constante de Boltzmann e T é a temperatura absoluta. No entanto, evidências experimentais mostram que a contribuição dos elétrons para a capacidade térmica é extremamente abaixo do valor previsto teoricamente.

A compreensão sobre a forma com que os elétrons contribuem para o calor específico, bem como expressão correta para determina-lo, foi possível através da descoberta do princípio da exclusão de Pauli e da distribuição de Fermi-Dirac. O princípio da exclusão de Pauli não permite que todos os elétrons sejam

termicamente excitados; os elétrons excitados são aqueles cujos orbitais pertencem a uma faixa de energia iguais a $K_b \cdot T$ com valor médio igual à energia de Fermi. A capacidade térmica para os elétrons livres C_{el} é calculada pela equação 64. O termo T_f é a chamada temperatura de Fermi mostrada na equação 59 e representa a energia de Fermi em função da temperatura.

$$C_{el} = \frac{1}{3} \pi^2 N K_B \cdot \frac{T}{T_f} \quad (64)$$

2.3.5 Condutividade elétrica para o gás quântico

Podemos determinar a condutividade elétrica de um metal utilizando o modelo de Drude, Oliveira e Jesus (2011). No entanto, este modelo é fundamentado sobre a teoria clássica, considerando um tratamento quântico para o gás de elétrons, a equação da condutividade elétrica deve apresentar diferenças fundamentais em relação ao resultado clássico. O resultado quântico associa a condutividade elétrica aos elétrons na superfície de Fermi, a equação de σ é mostrada na equação 64.

$$\sigma = \frac{e^2}{4\pi^3 \hbar^2} \int_{E=E_f} \frac{v_x^2(E)}{v(E)} \tau(E) dS_E \quad (64)$$

O termo $\tau(E)$ é o tempo de relaxação definido no modelo de Drude para os elétrons livres, v_x é a velocidade do elétron na direção x . A equação clássica para a condutividade pode ser obtida como um caso particular da equação 64. Seja a equação 64 para a condutividade de sistema quântico tridimensional de elétrons livres, podemos chegar à equação clássica para a condutividade σ , considerando $(v_x^2 = v_y^2 = v_z^2)/3$ a integral da equação 64 pode ser reescrita como:

$$\int_{E=E_f} \frac{v_x^2(E)}{v(E)} \tau(E) dS_E = \frac{1}{3} \int v_f \tau dS_E = \frac{1}{3} v_f \tau (4\pi k_f^2)$$

$$\int_{E=E_f} \frac{v_x^2(E)}{v(E)} \tau(E) dS_E = \frac{\hbar k_f^3 \tau 4\pi}{3m} = \frac{4\pi^3 \hbar \tau n}{m} \quad (65)$$

Substituindo $k_f^3 = 3\pi^2 n$, onde m é a massa do elétron e n a densidade eletrônica chegamos à equação 66. O lado direito da equação é a condutividade elétrica dos metais obtida no modelo de Drude.

$$\int_{E=E_f} \frac{v_x^2(E)}{v(E)} \tau(E) dS_E = \frac{ne^2\tau}{m} \quad (66)$$

2.4 Teoria ondulatória da matéria e bandas de energia

2.4.1 Ondas de matéria

A descoberta do efeito de difração de elétrons sobre planos cristalinos permitiu desvendarmos a estrutura dos materiais como vemos em Kitell (2006) e este é apenas um dos exemplos de como a formulação ondulatória da matéria forneceu o ferramental adequado para a solução de diversos problemas de grande interesse da Física. Esta interpretação atribui um comprimento de onda λ para o movimento das partículas, e a evolução de um sistema quântico obedece a uma determinada função de onda ψ que é obtida quando resolvemos a equação de Schroedinger.

Halliday Resnick (2016) afirmam que a partir de ideias relativas a simetrias na natureza De Broglie, pode-se estender o conceito de dualidade onda-partícula de forma a postular a existência de um comprimento de onda para partículas como elétrons. A equação 63 fornece o chamado comprimento de onda de De Broglie, onde λ é o comprimento de onda de De Broglie, p é o momento linear do elétron e h é a constante de Planck:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (67)$$

2.4.2 Bandas de energia

Nussenzveig (1997) mostra que uma rede cristalina apresenta um potencial elétrico semelhante ao da figura 2.11, esta é a configuração para o movimento ao longo de uma fileira de íons positivos.

Este potencial elétrico apresenta forte periodicidade acompanhando a

periodicidade da própria rede, e tal regularidade proporciona um efeito típico ao movimento ondulatório, onde são formadas faixas de comprimento de onda com propagação proibida.

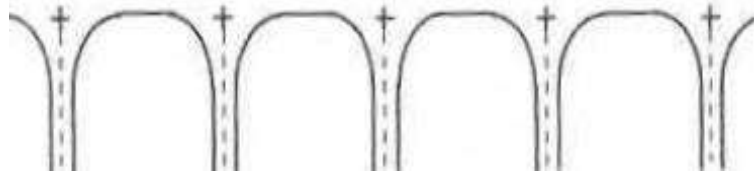


Figura 2.11: Potencial Periódico da rede
Fonte: Adaptado Física Básica 3

A relação de De Broglie mostra que o comprimento de onda dos elétrons depende de suas energias, logo os intervalos proibidos são aqueles que não podem existir níveis de energias para os elétrons. A existência de níveis de energia permitidos e proibidos leva os estados quânticos a agruparem-se em um espectro de bandas onde as bandas de energia são separadas por intervalos proibidos onde não existem níveis.

Eisberg e Resnick (1979) mostram que o potencial de um elétron, apesar de suavizado devido aos íons de uma rede, apresenta grande variação ao longo desta, no entanto, a periodicidade desse potencial causa o efeito de mudar a amplitude das ondas associadas à partícula, tornando-a uma amplitude que varia com a amplitude da rede, outra característica variável. Segundo os autores, o físico suíço Felix Bloch demonstrou a função $\psi_k(\mathbf{r})$, solução da equação de Schrodinger, para o potencial periódico e deve ter a forma mostrada na equação 68, que representa o chamado teorema de Bloch.

$$\psi_k(\mathbf{r}) = u_k(\mathbf{r})e^{ik \cdot \mathbf{r}} \quad (68)$$

Kittel (2006) demonstra que a autofunção da partícula sujeita a um potencial periódico é dado pelo produto de uma função semelhante a equação 68, que possui a periodicidade da rede e \mathbf{T} é um vetor de translação por uma função típica de ondas planas como a equação 69.

$$u_k(\mathbf{k}) = u_k(\mathbf{r} + \mathbf{T}) \quad (69)$$

$$\varphi = e^{ikr} \quad (70)$$

O referido autor afirma que, utilizando a ideia das bandas de energia e o princípio da exclusão de Pauli, é possível entender a diferença entre condutores isolantes e semicondutores.

2.4.3 Bandas em materiais isolantes

Em materiais isolantes, as bandas de energia mais baixas possuem seus níveis de energia preenchidos com dois elétrons em conformidade com o princípio de Pauli, e o nível mais alto preenchido (banda de valência) está separado do nível mais baixo vazio (banda de condução) por uma faixa proibida ou gap, como é mostrado na figura 2.12.



Figura 2.12: Banda para um isolante

Fonte: adaptado de https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/electronica-basica_capitulo_01_2014.pdf)

Nos isolantes, os elétrons mantêm-se fortemente ligados à rede, pois os elétrons não possuem energia suficiente para transpor o intervalo proibido e passar da banda de valência para banda de condução.

2.4.4 Bandas em metais

Nos metais, a banda de valência onde existem elétrons está apenas parcialmente preenchida até um nível ε_f , que é a energia de a figura 2.13 mostra a banda de energia em um material condutor, nessa banda os elétrons migram facilmente da banda de valência para a banda de condução.

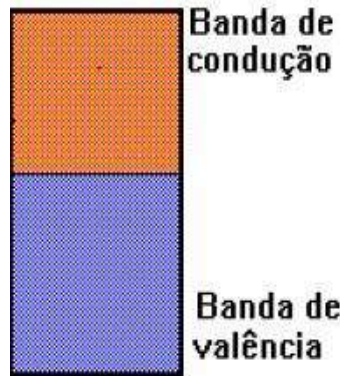


Figura 2.13: Banda para um condutor

Fonte: adaptado de https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/electronica-basica_capitulo_01_2014.pdf)

Nussenzveig (1997) afirma que, para uma rede cristalina perfeitamente periódica, os elétrons se movem livremente e suas ondas de matéria associadas não sofreriam nenhum espalhamento. Assim, teríamos uma condutividade σ tendendo ao infinito e este seria um condutor perfeito.

Entretanto, as experiências mostram que não existem cristais com redes cristalinas perfeitas, uma vez que sempre serão encontradas descontinuidades (espaços vazios) ou impurezas (íons que substituem átomos da rede cristalina) que espalham as ondas e geram a chamada resistividade residual $\rho_0 > 0$. Com o crescimento da temperatura T , os íons da rede vibram com maior intensidade contribuindo para o espalhamento das ondas e o aumento do valor de ρ .

As vibrações de uma rede cristalina também estão relacionadas a ondas sonoras que, quanticamente, se referem ao modelo dos fônons. As interações da rede cristalina levam ao fenômeno conhecido como efeito Joule, que consiste na dissipação de energia na forma de calor devido à passagem de corrente elétrica.

2.4.5 Bandas em semicondutores

Em Nussenzveig (1997) vemos que um cristal semiconductor puro (intrínseco) apresenta comportamento semelhante ao de um isolante para baixas temperaturas com a banda de valência totalmente preenchida e a banda de condução vazia. Porém, o intervalo de energias proibidas (gap) é consideravelmente menor comparado com o dos isolantes, permitindo que a temperatura ambiente e sua condutividade ρ sejam da ordem de 10^{10} , que é a condutividade dos isolantes:



Figura 2.14: Banda de energia para o semicondutor.

Fonte: adaptado de https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/eletronica-basica_capitulo_01_2014.pdf)

Com o aumento da temperatura, o número n de portadores e a resistividade σ aumentam, que é o efeito inverso ao dos metais. Isso ocorre porque a variação de n com T é muito maior para semicondutores, levando ao predomínio do aumento da condutividade.

2.4.6 Dopagem de semicondutores

Segundo Eisberg e Resnick (1979) a condutividade de um cristal semicondutor pode ser modificada com a adição de impurezas em um processo conhecido como dopagem. Este processo consiste em substituir um átomo do material semicondutor, silício por exemplo, por uma substância doadora ou aceitadora de elétrons. Os semicondutores dopados dividem-se nos tipos N e P.

Um átomo de silício apresenta quatro elétrons em sua camada de valência, logo para atingir a estabilidade são necessárias quatro ligações covalentes. Temos um semicondutor do tipo N figura 2.15 (N significa negativo); quando em um cristal, um átomo de silício é substituído por um íon de fósforo, por exemplo, cuja valência é igual a cinco, este íon realiza quatro ligações com átomos da rede, e o quinto elétron não faz ligação e permanece apenas fracamente ligado ao núcleo atômico e acaba atuando como um “elétron livre”. Assim, quanto maior o número de átomos de fósforo acrescentados, maior será o número de portadores livres, formando uma nuvem eletrônica.

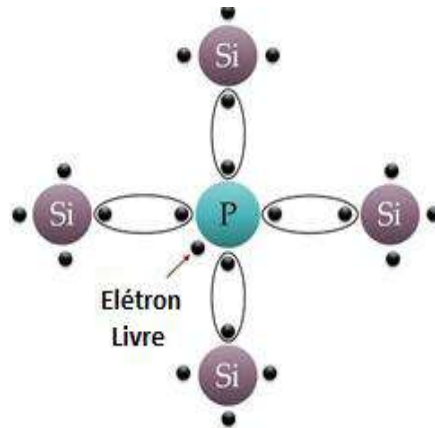


Figura 2.15: Semicondutor tipo N.

Fonte: <https://electronicsdesk.com/difference-between-p-type-and-n-type-semiconductor.html>

A figura 2.16 mostra a banda de energia para um semicondutor tipo N ou seja, dopado com impurezas do tipo doadoras. A imagem mostra o nível tracejado o qual cede elétrons para a banda de condução.



Figura 2.16: Banda de energia para o condutor tipo N.

Fonte: O Autor

Considerando um cristal de silício, onde um dos átomos foi substituído por um átomo de boro cuja valência é igual a 3, este átomo realiza ligações apenas com três outros átomos do cristal, levando ao aparecimento de uma lacuna devido à ausência de um elétron em uma das ligações do silício–boro. Assim, apenas uma pequena quantidade de energia é necessária para que um elétron da ligação silício-silício se mova em direção à lacuna preenchendo-a e mudando a lacuna de posição. Semicondutores dopados com átomos de substâncias aceitadoras são chamados de semicondutores do tipo P, onde P significa positivo e indica que os portadores de carga positiva (os buracos) estão em maior número que os elétrons da banda de condução.

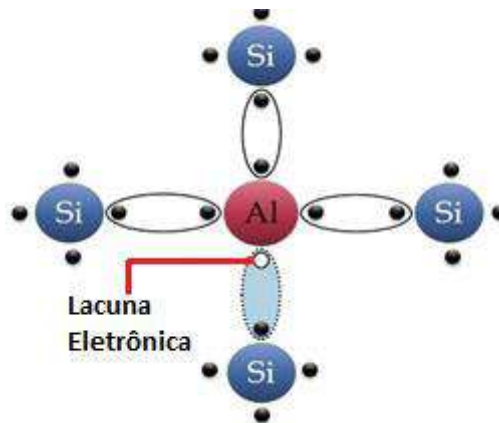


Figura 2.17: Semicondutor tipo P.

Fonte: <https://electronicsdesk.com/difference-between-p-type-and-n-type-semiconductor.html>)

A figura 2.18 mostra a banda de energia para um semicondutor tipo P ou seja, dopado com impurezas do tipo aceitadoras. A imagem mostra o nível tracejado o qual, recebe elétrons da banda de valência criando os buracos ou lacunas.

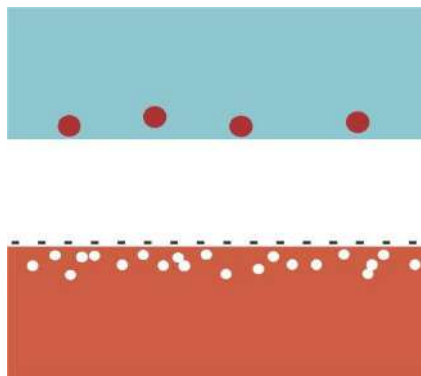


Figura 2.18: Banda de energia para o semicondutor tipo P.

Fonte: O Autor

2.5 Dispositivos semicondutores

Os dispositivos semicondutores tornaram-se a peça fundamental da tecnologia dos circuitos no século XX, uma vez que permitiram a miniaturização das conexões com o surgimento dos circuitos integrados, onde um número surpreendente de componentes é colocado em uma pastilha de material semicondutor. Levaram à melhoria e surgimento de novas tecnologias que mudaram a sociedade, tanto na forma de produzir com máquinas inteligentes que salvam vidas humanas realizando trabalhos perigosos, quanto na maneira de as pessoas se relacionarem através das tecnologias de comunicação, que encurtam distâncias e conectam pessoas em um nível que talvez nunca tenha se imaginado.

A Física, em especial a mecânica quântica e seus avanços na década de 20, foram fundamentais no desenvolvimento da eletrônica. Swart (2000) afirma que cientistas como Bohr, De Broglie, Heisenberg e Schroedinger conduziram a um melhor entendimento da matéria, o que permitiu um grande desenvolvimento de teoria quântica em sólidos, conceitos de bandas de energia, mecânica estatística e, principalmente, a melhor compreensão das características dos materiais semicondutores.

Essas conquistas da Física teórica tiveram desdobramentos experimentais que levaram a avanços tecnológicos os quais tornaram possível o estado atual da eletrônica com desdobramento nas mais diversas áreas da economia. A seguir fazemos uma descrição de componentes eletrônicos fundamentais no estágio atual da tecnologia.

2.5.1 Diodo retificador

Se doparmos um cristal com substâncias aceitadoras e doadoras temos a chamada junção PN. Esta junção é utilizada na maioria dos dispositivos semicondutores e é a base para a produção de um componente eletrônico importantíssimo: o diodo.

Halliday e Resnick (2016) comentam que os diodos retificadores são dispositivos eletrônicos semicondutores, cuja função é transformar tensões alternadas em tensões contínuas, e são amplamente utilizados já que as tensões das redes de abastecimento são alternadas e as tensões dos aparelhos de uso domésticos são contínuas; logo, essa conversão é extremamente necessária.

O funcionamento dos retificadores baseia-se no fato de que, aplicando-se uma tensão sobre a junção PN, fazendo-a adquirir uma polarização onde a região P torne-se positiva em relação a região N e uma corrente de considerável valor atravessa a junção, se a junção for polarizada de forma inversa, a corrente que a atravessa tem intensidade praticamente igual a zero. Um retificador funciona como chave para a polarização direta (com resistência zero) e fechadura para a polarização inversa (com resistência infinita).

A figura 2.19 mostra o valor de tensão de entrada para um diodo semicondutor cuja tensão média é igual a zero; e a tensão de saída (retificada), cujo valor médio é diferente de zero.



Figura 2.19: Tensões de entrada e saída em um diodo retificador

Fonte: Adaptado Fundamentos da Física 4, pág. 285.

A polarização direta é mostrada na figura 2.20, que ligando uma bateria junção PN com o terminal positivo ao lado P e o terminal negativo ao lado N, essa configuração torna o lado P mais positivo e o lado N mais negativo. Esse efeito diminui a barreira de potencial bem como a zona de depleção. Como a última apresenta um número de portadores de carga muito baixo, esta é considerada uma região de alta resistência, logo o estreitamento de seu comprimento acarreta uma redução drástica da resistência do diodo.

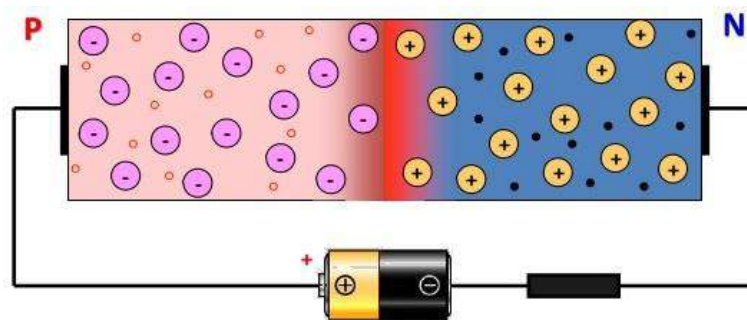


Figura 2.20: Polarização Direta de um diodo formado por uma junção PN

Fonte: <https://pt.slideshare.net/evandrogaio/quarta-parte-do-curso-de-eletronica-hackerspaceiv-semicondutor>)

A polarização inversa é mostrada na figura 2.21. Nesta configuração, o terminal positivo da bateria é ligado ao lado N do diodo e o terminal negativo é ligado ao lado P do diodo. Esta polarização leva a efeitos inversos aos da polarização direta, logo, temos o aumento da barreira de potencial e aumento da zona de depleção. Assim, a resistência torna-se elevada e a corrente que percorre o diodo é desprezível.

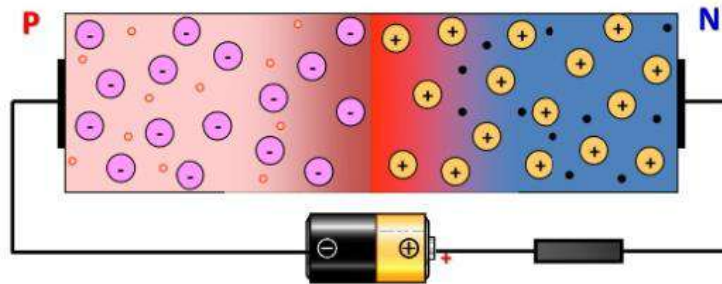


Figura 2.21: Polarização inversa de um diodo formado por uma junção PN

Fonte: <https://pt.slideshare.net/evandrogaio/quarta-parte-do-curso-de-eletronicahackerspaceiv-semicondutor>

2.5.2 Emissão de Luz com Diodo (LED)

Em semicondutores como o arsenieto de gálio, quando um elétron da banda de condução preenche uma lacuna da banda de valência ocorre a emissão de um fóton com energia E_f , dada pela relação de Planck.

Para o semicondutor emitir uma quantidade considerável de luz basta polarizar uma junção PN altamente dopada, levando a uma diminuição drástica da largura da zona de depleção e levando a muitas transições e emissão de luz. Os diodos emissores de luz, mais conhecidos como LED'S figura 2.22, são largamente utilizados e representaram um grande avanço, haja vista que possuem durabilidade muito maior e necessitam de menos energia que as antiquadas lâmpadas incandescentes.



Figura 2.22: Led tipicamente utilizado em experimentos de eletrônica

Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/led-difuso-5mm-vermelho.html>

2.5.3 Transistor

O trabalho de Chiquito e Lanciott (1998) descreve a descoberta do transistor. Segundo os autores, o físico americano Willian Schokley (1910-1989), chefe da

equipe de estado sólido dos laboratórios da *Bell Telephones* (gigante americana das telecomunicações), estava disposto a encontrar um substituto para válvulas eletrônicas baseado em materiais com propriedades semicondutoras.

Em 1947, o pesquisador dos laboratórios Bell John Barden (1908-1991) após propor soluções para questões relativas a divergências entre os dados observados e a teoria disponível para os semicondutores; Barden, em parceria com Walter Brattain (1902-1987), também pesquisador do laboratório Bell, realizam experimentos com contatos metálicos e materiais semicondutores que os levam a observar pela primeira vez o chamado efeito transistor que consistia na amplificação de um sinal elétrico. Surgia então o dispositivo que passou a ser conhecido como transistor de contato.

O item A da figura 2.23 mostra a famosa fotografia do primeiro transistor fabricado nos Laboratórios Bel e o item B mostra os três pesquisadores responsáveis pela descoberta.

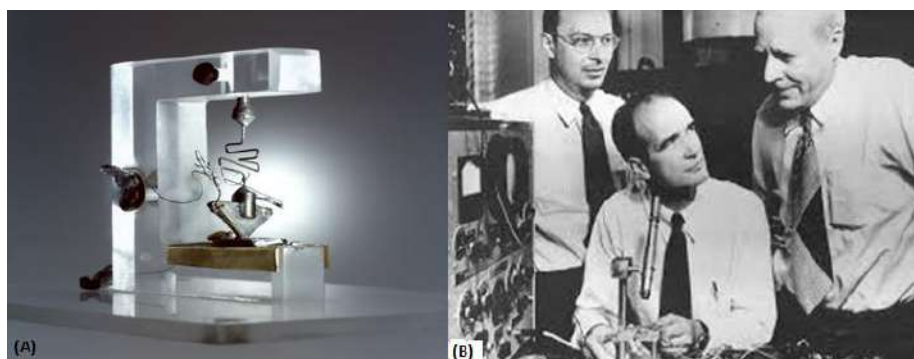


Figura 2.23: Item A primeiro Transistor construído nos Laboratórios Bell e no Item B equipe de cientistas vencedores do prêmio Nobel de Física, no ano de 1956

Fonte: https://www.cleveland.com/books/2012/04/in_the_idea_factory_jon_gertne.html

Os autores afirmam que transistor de contato não correspondeu às expectativas iniciais devido a problemas de estabilidade, o que dificultava as aplicações práticas em circuitos. Apesar de não substituírem as válvulas, os transistores de contato foram aplicados em diversos equipamentos eletrônicos. A definitiva substituição das válvulas pelos transistores só ocorreu em 1949, quando William Shockley aperfeiçoou a invenção de Barden e Brattain inventando o transistor bipolar de junção, que utilizava materiais semicondutores dopados com impurezas doadoras e aceitadoras.

Biase e Melo (1975) definem um transistor como um bloco de material

semicondutor formado pela combinação de duas junções PN. Um transistor de junção é dividido em três partes distintas, que podem ser: PNP ou NPN. A figura 2.24 mostra um circuito com transistor do tipo NPN, as três regiões do dispositivo são chamadas de emissor, base e coletor, respectivamente.

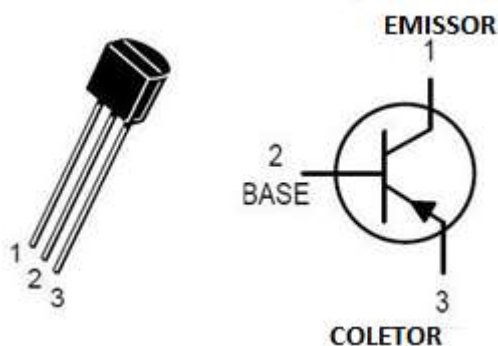


Figura 2.24 Transistor NPN

Fonte: <https://robotica.store/produto/transistor-pnp-bc327-1-unidade/?v=19d3326f3137>

Vemos em Eisberg e Resnick (1979) que, se a junção emissor-base é polarizada diretamente, temos uma baixa resistência à passagem de corrente neste trecho do dispositivo; já a junção base-coletor é polarizada inversamente, elevando a resistência nessa região do dispositivo. No entanto, a tensão aplicada no emissor leva ao movimento de elétrons que chegam à base e são atraídos pela diferença de potencial entre a base e o coletor, assim uma corrente de valor considerável também percorre o coletor.

O transistor permite que uma corrente de valor igual percorra o emissor e o coletor, mas como as polaridades nas extremidades do dispositivo são diferentes temos uma tensão de saída muito superior à tensão de entrada. O transistor representou uma mudança nos rumos da tecnologia eletrônica ao substituir as válvulas termiônicas por circuitos baseados em materiais semicondutores que economizavam espaço e energia, permitindo uma capacidade de processamento muito superior.

2.5.4 Circuitos integrados (Chips)

Platt (2015) afirma que o conceito de integrar componentes eletrônicos sobre uma pastilha semicondutora surgiu com o cientista Geoffrey W. A. Dummer (1909-2002), mas o primeiro a construir um circuito integrado funcional foi o Físico Jack Kilby (1923-2005), em 1958, na *Texas Instruments*. O circuito de Kilby usava

germânio, que era o material semiconductor mais usado na época, no entanto, o uso do germânio acarretava diversos problemas de fabricação. Os circuitos integrados tornaram-se comerciais com a versão criada por Robert Noyce (figura 2.25), que patenteou o chip de circuito integrado baseado em silício.

As primeiras aplicações para os chips foram para o uso militar. Eles foram colocados nos mísseis Minuteman, que necessitavam de componentes eletrônicos pequenos e leves. Hoje, com a evolução nessa tecnologia que os tornou cada vez menores, eles estão presentes nos mais diversos aparelhos: de computadores de uso científico e industrial até simples smartphones, usados por pessoas comuns todos os dias no mundo inteiro.



Figura 2.25: Robert Noyce, criador do chip baseado em silício e um dos fundadores da INTEL.

Fonte: <http://nerdwayoflifegroup.blogspot.com/2011/12/nerd-news-google-homenageia-fisico.html>)

Na década de 60, os chips de integração média poderiam comportar dezenas de milhares de transistores; já os chips de larga integração, que surgiram nos anos 70, eram compostos de milhões de transistores. Hoje são produzidos chips na escala dos nanômetros e os circuitos integrados podem conter milhões de transistores. A forma impressionante com que a quantidade de componentes de um circuito integrado aumentava levou Gordon Moore a postular o princípio que passaria a ser conhecido como Lei de Moore.

O químico e Co-fundador da Intel Corporation Gordon Moore em matéria publicada na *Electronics Magazine* de abril de 1965 afirmou que “A cada ano, a quantidade de transistores por chip irá dobrar de tamanho, sem alteração em seu preço”. Essa frase também pode ser interpretada do ponto de vista da capacidade de processamento, pois se o número de transistores dobra, a velocidade de

processamento também dobra.

O gráfico da figura 2.26 mostra como a evolução dos processadores esteve próxima das previsões de Moore, a linha pontilhada e evolução dos valores reais de aumento na capacidade de processamento e a linha contínua é a previsão feita pela lei do Moore, o gráfico também mostra o aumento no número da ordem de grandeza no número de componentes em um circuito, que passou de milhares na década de 70 para bilhões nos dias atuais.

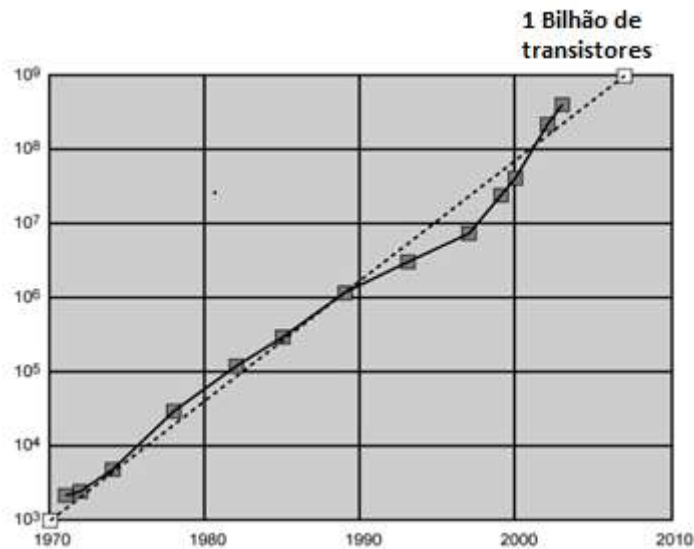


Figura 2.26: Previsões da Lei de Moore e evolução real no número de componentes em um circuito.

Fonte: <http://producao.virtual.ufpb.br/books/edusantana/old-arq/livro/livro.chunked/ch01s07.html>

A lei de Moore foi confirmada durante muitos anos, mas ela começa a dar sinais de seu limite, pois o aumento de número de componentes em um chip requer a redução no tamanho desses componentes, o que leva a concluir que a fronteira a ser desbravada nos próximos anos para o desenvolvimento da microeletrônica é a computação quântica. Essa linha de pesquisa promete construir máquinas que funcionem utilizando os princípios da Mecânica Quântica, como a superposição de estados, permitindo uma capacidade de processamento inalcançável para os computadores de hoje.

Capítulo 3

Fundamentos de Robótica

3.1 Robótica: multidisciplinaridade e aplicações

A robótica é uma área da tecnologia fortemente multidisciplinar. Segundo Carrara (2015), ela abrange em maior grau a mecânica, a eletrônica e a computação, mas a microeletrônica, a teoria de controle, a inteligência artificial e a teoria da produção também contribuem de forma importante.

A robótica saiu do ambiente de pesquisa acadêmica para o meio industrial, em especial para a indústria automobilística. A figura 3.1 mostram exemplos de robôs atuando na fabricação de automóveis: o item A mostra dois robôs realizando uma solda a laser em um motor, e o item B figura 3.1 mostra um conjunto de robôs em uma linha de montagem ajustando peças.



Figura 3.1: Item A robô utilizado em solda e item B robôs realizando montagem.

Fonte: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2017/08/epoca-negocios-industria-instala-15-mil-robos-por-ano.html>

Carrara (2015) afirma que o uso dos robôs dentro das fábricas acabou eliminando atividades perigosas que antes eram realizadas por seres humanos, além de aumentar a qualidade e a produtividade na indústria.

Além da indústria, podemos encontrar robôs nos mais diversos ramos das atividades econômicas, tais como vemos aplicações na: educação, saúde, transporte, pesquisa científica, entre outros. Na figura 3.2 vemos o *Da Vinci XI* um robô utilizado em cirurgias de alta complexidade.



Figura 3.2: A cirurgia robótica garante máxima esterilização, visibilidade detalhada, além da precisão de movimentos

Fonte: <https://www.leforte.com.br/centro-de-cirurgia-robotica/davinci-3/>

3.2 Robôs industriais

Este capítulo tem o objetivo de abordar os princípios básicos da robótica, por isso limitaremos o texto aos robôs de uso industriais, também conhecidos como braços robóticos. Utilizando a definição de Carrara (2015), este autor afirma que um robô é composto pelos seguintes elementos: um circuito eletrônico computadorizado de controle e um mecanismo articulado denominado manipulador, e em muitos casos sensores que ajudam o robô a interagir com o meio.

3.2.1 Sistemas de Controle

Segundo Carrara (2015), os sistemas de controle em robôs são formados por um conjunto de hardware e software. O conjunto capta sinais de entrada e os transforma em uma ação pré-programada. A programação de um robô é feita em softwares específicos e para seu desenvolvimento podem ser utilizados computadores pessoais, microcontroladores ou uma combinação dos dois; a escolha de como a programação é feita depende da necessidade e disponibilidade de memória no hardware de controle. O hardware pode conter diferentes tipos de motores, receptores e amplificadores de sinal e sensores estão entre os principais componentes de um robô.

Um sistema de controle típico é o de malha fechada ou retroativo. Neste sistema, a saída depende da comparação entre o sinal captado por um conjunto de sensores, uma referência gravada na programação, a relação entre o sinal captado e a referência determinam a ação tomada pelo robô que em geral se converte em

movimento de seus atuadores (garras, pinças, rodas). A figura 3.3 mostra o diagrama de blocos para um circuito de malha fechada.

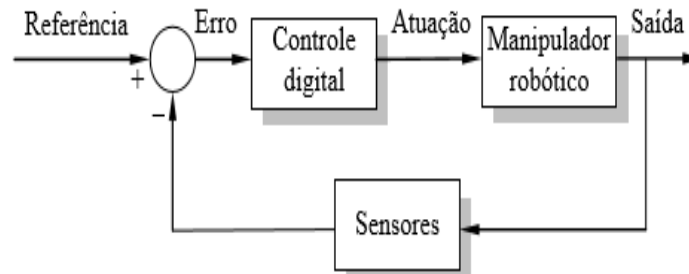


Figura 3.3: Controle em malha fechada.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-de-blocos-do-controle-em-malha-fechada-de-um-manipulador-robotico_fig15_282651875

3.2.2 Componentes de um braço robótico

Segundo Júnior e Santos (2015) os componentes principais de um braço robótico são braço e punho. O braço é formado por juntas de movimento onde os acionadores (motores) são instalados e é fixado por uma extremidade a uma base; na outra extremidade temos o punho, onde se localiza o órgão terminal ou efetuator final responsável por realizar a ação característica do robô, que pode ser uma ferramenta de solda, uma garra ou parafusador. A figura 3.4 mostra um robô industrial onde todos esses elementos são apresentados.

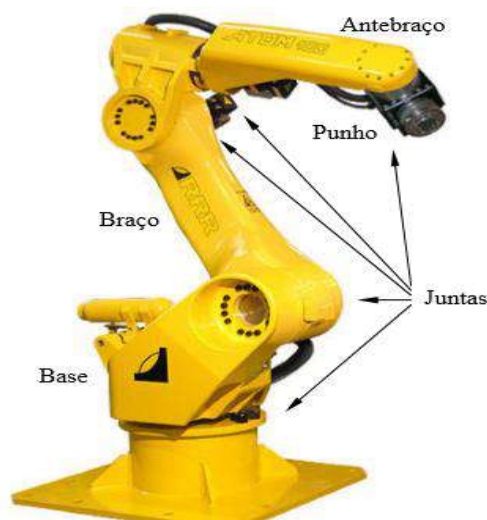


Figura 3.4: Braço Robótico

Fonte: <https://www.pinterest.pt/pin/369928556891463715/?autologin=true>

3.2.3 Graus de liberdade

Os movimentos do robô no espaço bi ou tridimensional são determinados pelo somatório dos graus de liberdade das juntas do robô, onde cada junta apresenta um ou dois graus de liberdade. Quando o movimento ocorre apenas em um eixo, a junta apresenta apenas um grau de liberdade. Conforme aumentamos o número de graus de liberdade, a cinemática do robô se torna mais complexa. A figura 3.5 mostra um braço robótico com seis graus de liberdade:

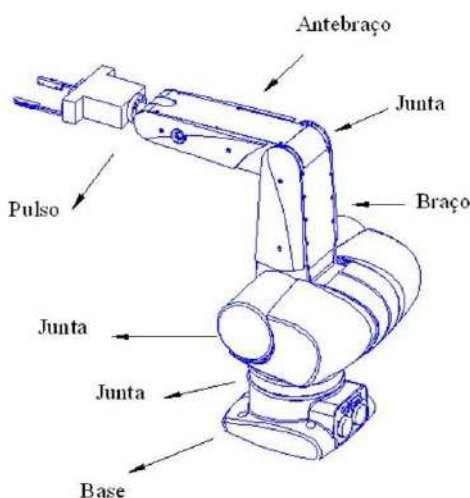


Figura 3.5: Braço robótico com destaque para as juntas de movimento.

Fonte: https://pt.made-in-china.com/co_weili-robot/product_Intelligent-Soldering-Welding-Robot-Arm-Manipulator-for-Industrial-Production_eynurnguy.html.

3.2.4 Cinemática Direta e Inversa

Segundo Júnior e Santos (2018), a cinemática direta consiste na modelagem matemática capaz de determinar as coordenadas do efetuador robótico em qualquer instante, quando são conhecidos os ângulos das juntas. A cinemática inversa é a modelagem que permite calcular os ângulos das juntas de forma que o robô ou efetuador movimente-se nas coordenadas desejadas. A figura 3.6 representa um braço robótico de comprimento R com apenas 1 grau de liberdade e que pode se mover no plano xy .

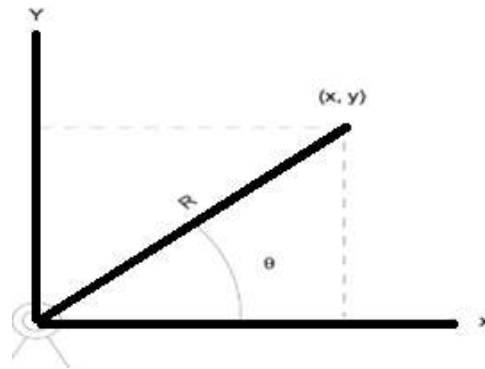


Figura 3.6: Movimento do Braço no plano xy
Fonte: Adaptado de Júnior e Santos (2018).

As equações referentes à cinemática direta podem ser facilmente calculadas e essas fornecem as coordenadas de x e y através de funções trigonométricas que dependem do ângulo θ , $x = R \cdot \cos\theta$ e $y = R \cdot \sin\theta$.

Variando os valores de θ é possível determinar as coordenadas xy . Sabendo os valores de xy , que devemos atingir o trabalho da cinemática inversa é encontrar quais valores de θ correspondem às coordenadas desejadas. Essa tarefa pode ser realizada com o auxílio da função arco tangente, essa equação fornece o valor de θ e função de x e y $\theta = \text{Atan}\left(\frac{x}{y}\right)$.

3.2.5 Motores Elétricos

Os motores elétricos utilizados em robôs também são chamados de acionadores. Robôs de médio e pequeno porte costumam utilizar: motores de corrente contínua, servo-motor ou motores de passo; estes acionadores apresentam alta precisão, porém baixa velocidade e potência quando comparados aos acionadores que utilizam fluidos os acionadores hidráulicos.

3.2.5.1 Servomotor

Júnior e Santos (2018) afirmam que os primeiros motores elétricos a substituir os acionamentos hidráulicos foram os motores de corrente contínua DC. O tipo mais comum de motor DC é o de núcleo de ferro, que consiste em uma carcaça contendo um campo magnético e um rotor feito de bobinas montadas em ranhuras de um núcleo de ferro, conectadas por um comutador laminado. Escovas montadas neste comutador levam a corrente elétrica para as bobinas. A figura 3.7 mostra um motor

de núcleo de ferro com suas partes componentes, onde se destacam:

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. Flange | 6. Escovas de metal |
| 2. Ímã permanente | 7. Comutador |
| 3. Carcaça | 8. Conectores |
| 4. Eixo | 9 Tampa |
| 5. Enrolamento | |

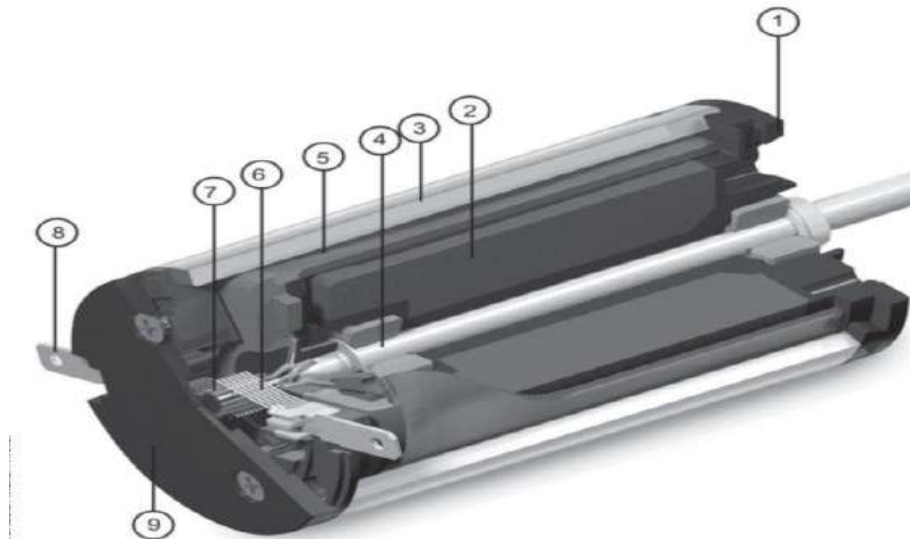


Figura 3.7: Motor de corrente contínua.

Fonte: Adaptado de Júnior e Santos (2018).

Os servomotores são motores de corrente contínua ligados a um redutor de velocidade e um sensor de posição. Estes motores operam com sinais trifásicos e utilizam um sinal do tipo PWM (Modulação por largura de pulso). Os servomotores com redução ainda apresentam baixo volume, pequeno diâmetro e alta precisão. O tipo de servo motor mais utilizado em sistemas robóticos são o servomotor DC sem escovas, mostrado na figura 3.8.

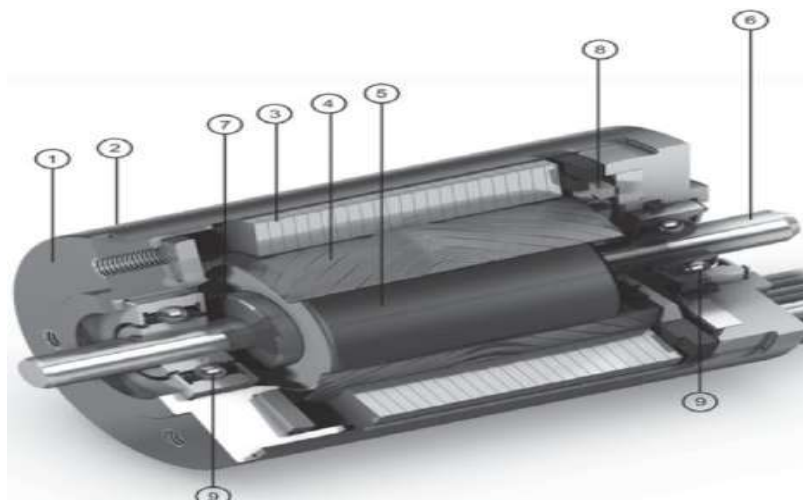


Figura 3.8: Servomotor DC sem escovas.

Fonte: Adaptado de Júnior e Santos (2018).

1. Flange
2. Carcaça
3. Chapa de aço alumínio
4. Enrolamento
5. Ímã permanente
6. Eixo
7. Anéis balanceados
8. Sensor de efeito Hall
9. Rolamento

No início dos anos 2000, a Universidade Federal de Santa Catarina desenvolveu um robô chamado Roboturbo figura 3.9, aplicado a operações de soldagem e em pás de turbinas hidráulicas de grande porte. Turbinas hidráulicas sofrem erosão por cavitação e devem receber manutenção constante, no entanto, o pouco espaço disponível entre as turbinas dificulta a execução da operação de solda por um humano, assim a solução encontrada foi a utilização de um pequeno robô com grande mobilidade.



Figura 3.9: Roboturbo desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina
Fonte: <https://www.flickr.com/photos/vieira/190363521>

O acionamento das juntas desse robô são servomotores de corrente contínua com escovas com potências que variam entre 20W (nas juntas do punho e na junta do braço articulado), 90W (na junta intermediária do braço articulado e no acionamento do trilho) e 150W (na junta de base do braço articulado). A escolha desse tipo de servomotor se deu por sua capacidade de operar com torque em alta velocidade.

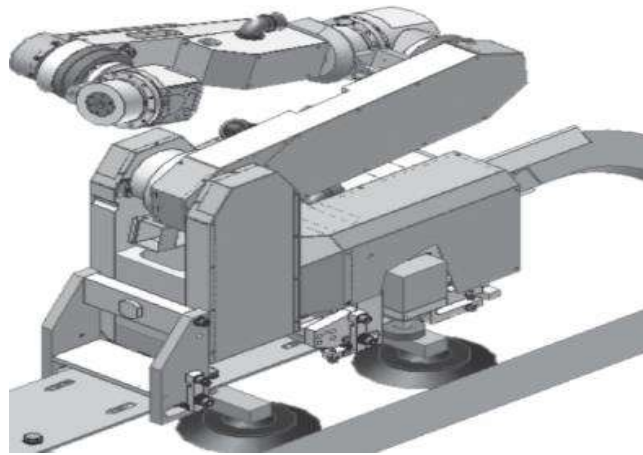


Figura 3.10: Robô turbo
Fonte: Adaptado de Júnior e Santos (2018),

3.2.6 Sensores

Russell e Norving (2004) afirmam que os sensores são o meio pelo qual os robôs percebem o ambiente. Os sensores podem ser divididos em ativos e passivos, onde sensores passivos captam a energia vinda de outras fontes. Exemplos desses sensores são os sensores de temperatura sensores de movimento 3.11.



Figura 3.11: Sensor de Temperatura (Passivo)

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-temperatura/modulo-chave-termica-sensor-de-temperatura-termistor-arduino-k275-4698.html>

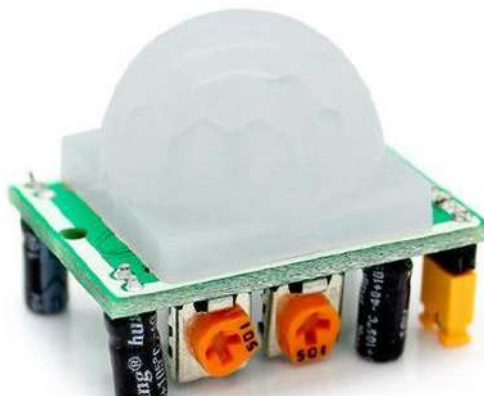


Figura 3.12: Sensor de Movimento (Passivo)

Fonte: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-movimento-presenca-pir>

Os sensores ativos enviam energia para o ambiente e captam sua reflexão, assim conseguindo extrair informações do entorno. Em geral, os sensores ativos fornecem mais dados, porém são sujeitos a interferências e apresentam um maior consumo de energia. Exemplos de sensores ativos são o: sensor ultrassônico figura 3.13, que funciona enviando uma onda na faixa do ultrassom e captando sua reflexão com a medida do tempo de ida e volta, sendo possível determinar a distância do robô e o objeto sobre o qual a onda refletiu; e o sensor de cor figura 314, que funciona de forma semelhante, porém a onda emitida é uma onda eletromagnética.



Figura 3.13: Sensor ultrassônico (Ativo)

Fonte: <https://www.generationrobots.com/en/401575-hc-sr04-sonar-sensor.html>



Figura 3.14: Sensor de Cor do LEGO EV3

Fonte: <https://quenembanana.com/loja/sensor-de-cor-robotica-lego-45506-ev3/>.

Uma categoria de sensores fundamental são os sensores proprioceptivos, que fornecem informações ao robô de seu próprio estado. Um exemplo desses sensores são os decodificadores de eixos que contam o número de revoluções de um motor. Os sensores inerciais reduzem a margem de erro na determinação da posição do robô e em braços robóticos os sensores de torque e força são de grande importância quando o robô deve manipular objetos frágeis ou com forma desconhecida.



Figura 3.15: Sensor de Torque ATI produzido pela *Direct Industry* e ao lado um braço robótico executando movimento de alta precisão.

Fonte: <https://www.directindustry.com/pt/prod/ati-industrial-automation/product-24443-974313.html>

A figura 3.15 mostra um robô equipado com sensores de torque e força segurando um copo plástico cheio de cerveja, a garra mecânica deve segurar com a força adequada de forma a não deformar o copo e movimentá-lo sem derrubar o líquido.

Capítulo 4

Robótica Educacional aplicada ao ensino de Física: revisão de literatura

Uma análise histórica comprova que as sociedades são fortemente modificadas pelas transformações tecnológicas de seu tempo, como exemplo podemos citar a entrada das máquinas no ambiente fabril. Tal evento gerou uma convulsão social que culminou na transformação da relação de trabalho, na qual muitos operários perderam seus empregos para as máquinas que realizavam as tarefas em menor tempo sem ter que parar para descansar e nem recebiam salário.

No século XX, as tecnologias de comunicação e informação aumentaram drasticamente a velocidade de propagação de dados, permitindo que o conhecimento fosse transmitido de forma inédita na história, além de modificar a forma como as pessoas se relacionam. Atualmente, o novo paradigma é o das máquinas inteligentes, a automação e a inteligência artificial já são facilmente encontradas nos mais variados ambientes de trabalho, realizando desde operações de solda e montagem na indústria até funções burocráticas em ambientes corporativos.

Considerando as transformações e possibilidades proporcionadas pela tecnologia, e objetivando preparar os alunos para enfrentar os desafios da sociedade tecnológica que se apresentam, muitas escolas têm incluído elementos de tecnologia em seus currículos, nos quais se destacam os programas em que são introduzidos fundamentos de robótica e programação de computadores, temas centrais no debate acadêmico e profissional do século XXI.

4.1 Robótica na Educação

Segundo Blikstein e Silva (2020), os robôs entram no ambiente escolar, a partir de trabalhos de diferentes pesquisadores, inspirados pelo trabalho de Seymour Papert, pesquisador do *Massachusetts Institute of Technology (MIT) Media Lab*. Papert foi um dos fundadores do departamento de inteligência Artificial do MIT e um pioneiro no uso de computadores na educação de crianças, desenvolvendo a linguagem de programação que Logo tinha o objetivo de ensinar programação computacional para crianças. Cysneiros (1999) afirma que o uso da linguagem logo

diminuí-o muito, devido ao desenvolvimento de novos softwares de para ensino de programação o Logo tem uma importância histórica por ter iniciado a migração da programação de computadores do ambiente profissional e universitário para o universo escolar.

A robótica educacional é definida por Silva (2009) como “*o ambiente de aprendizagem em que o professor ensina ao aluno a montagem, automação e controle de dispositivos mecânicos que podem ser controlados pelo computador é denominado de Robótica Pedagógica ou Robótica Educacional*”. O autor afirma que a Robótica Pedagógica se trabalha a partir de um sofisticado processo interdisciplinar, expondo os alunos a uma riquíssima experiência de aprendizagem.

4.2 Levantamento das dissertações do MNPEF

Com o objetivo de conhecer as propostas de aplicação da Robótica Educacional ao Ensino de Física, realizamos um levantamento no banco de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), oferecido pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) tabela 4.1, o qual demonstrou um número bastante significativo de trabalhos que têm como objeto de pesquisa propostas de introdução da Robótica como ferramenta potencializadora da aprendizagem em Física.

O levantamento foi realizado no mês de dezembro de 2019, entre os dias 10 e 12. A busca partiu dos seguintes materiais - “Robótica Educacional”, “Ensino de Física e Robótica”. Durante a análise dos trabalhos encontrados, duas características chamaram atenção: a atualidade dos trabalhos, que variavam entre o ano 2015 e 2019, mostrando como essa área de pesquisa vem sendo amplamente explorada em trabalhos do MNPEF; e a variedade dos temas abordados, uma vez que podemos encontrar a Robótica como instrumento facilitador do ensino de Cinemática ao Eletromagnetismo e Física Moderna.

Observamos também que, apesar da variedade de temas abordados, estes trabalhos costumam abordar a Robótica a partir de duas frentes: usando os kits Lego EV3 e NXT, que são recursos de altíssima qualidade, porém de elevado valor de aquisição, tornando-os inviáveis à maioria das escolas brasileiras, ou utilizando a plataforma de prototipagem baseada no microcontrolador Arduino, que consiste em um conjunto de *hardware* e *software* livres.

Título do Trabalho	Nome do Autor	Instituição de origem	Ano
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA CINEMÁTICA ATRAVÉS DA ROBÓTICA EDUCACIONAL	Adriano Fonseca Silva	Universidade Federal do Goiás	2015
ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA	Ana Paula Stoppa Rabelo	Universidade Federal de Goiás	2016
ROBÓTICA APLICADA AO ENSINO DE RESISTORES	Geislana Padeti Ferreira Duminelli	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	2016
ROBÓTICA EDUCACIONAL COM ARDUINO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA	Deymes Silva de Aguiar	Universidade Estadual do Vale do Acaraú	2017
EXPERIÊNCIA DE BAIXO CUSTO EM CINEMÁTICA E DINÂMICA UTILIZANDO UM CARRINHO ROBÔ ARDUINO NO PLANO	Heleno Soares de Oliveira	Universidade Federal de Rondônia	2017
<i>CRIAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO ROBÓTICA EDUCACIONAL E GAMIFICAÇÃO EMPREGANDO O KIT EV3 LEGO</i>	Marcos Fabricio Campos Tavares	Universidade Federal de Alfenas	2019
ROTEIRO DE EXPERIMENTOS SOBRE MOVIMENTO CIRCULAR UTILIZANDO ROBÓTICA EDUCACIONAL	Luiz Clementino Neto	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	2019

Tabela 4.1: Dissertações do MNPEF com Robótica Educacional como tema
Fonte: O Autor

Na dissertação de Silva (2015), cujo título é “**Uma proposta de sequência didática para o ensino da cinemática através da robótica educacional**”, o autor utiliza um kit Lego Mindstorm NXT 9797 como ferramenta motivadora para o estudo da cinemática, e diferentemente de outras propostas, não tem o objetivo de ensinar a robótica. Nela apenas são apresentados os componentes principais do kit e suas programações básicas necessárias ao estudo da Física.

Na dissertação de Rabelo (2016), intitulada **“Robótica educacional no ensino de física”**, o autor utilizou um kit **Legu Mindstorms NXT para ensinar conceitos de Mecânica para alunos de ensino médio técnico**”. O pesquisador observou que, durante a realização dos experimentos, o uso da Robótica teve ótima aceitação por parte dos alunos que participaram das atividades de forma bastante motivada e conseguiram compreender os conceitos trabalhados.

Duminelli (2016), na dissertação **“Robótica aplicada ao ensino de resistores”**, mostra o resultado da aplicação de uma sequência didática para o ensino de resistores ôhmicos e não ôhmicos, onde um circuito eletrônico foi produzido especificamente para essa atividade e esse circuito foi utilizado para a construção de um carro-robô com sensores de temperatura e luminosidade instalados. Os princípios físicos envolvidos nessa tecnologia foram discutidos com os alunos e fizeram a ponte necessária para abordar os resistores.

Aguiar (2017) desenvolveu no MNPEF o produto educacional **“ROBÓTICA EDUCACIONAL COM ARDUINO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA”**, onde a robótica foi trabalhada de forma que as aulas abordassem temas de Física bastante diversos como: eletromagnetismo, ondas, mecânica e Física Moderna. O produto foi dividido em oito encontros em que, ao final de todos, um conjunto de questões era proposta à turma, fez-se a opção pelo uso do microcontrolador Arduino como plataforma para a robótica. O Arduino permitiu abordar elementos de eletrônica e programação de computadores. Os alunos montaram robôs seguidores de linha e desviadores de obstáculos, que foram utilizados em experimento, tais como subir planos inclinados e puxar pequenas cargas.

Oliveira (2017), na dissertação **“Experiência de baixo custo em cinemática e dinâmica utilizando um carrinho robô arduino no plano”**, fundamentado na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, elabora uma prática para ensino dos movimentos uniforme e variado com o uso de um carrinho robô a partir de uma placa Arduino e utilizando as linguagens Python e Processing. O projeto foi dividido em três partes: na primeira, o conteúdo foi exposto aos alunos de forma teórica onde foi usado o software de simulação applet; em seguida, o conteúdo foi trabalhado de forma experimental utilizando o carrinho Motor Arduino e na terceira parte foram elaborados relatórios com gráficos. O autor afirma que o projeto

apresentou bons resultados, pois os alunos relataram estar motivados e que conseguiram aprender de forma melhor com o uso do carrinho robô.

Tavares (2019), na dissertação “**Criação e aplicação de uma sequência didática utilizando robótica educacional e gamificação empregando o KIT EV3 LEGO**”, investigou as potencialidades e limitações do uso de um kit de robótica Lego EV3 atrelada a uma metodologia de Gamificação na elaboração de uma sequência didática. A pesquisa foi realizada com um total de 60 alunos de uma escola de Ensino Médio técnico-profissional, divididos em dois grupos classificados como turma x e turma y. Os dados coletados após a aplicação da sequência mostraram que a Robótica Gamificada associada ao Ensino de Física influenciou positivamente o desempenho dos participantes da pesquisa, ajudando na retenção dos conteúdos trabalhados e introduzindo um fator motivador que desenvolveu nos discentes o “espírito pesquisador”.

Neto (2019), na dissertação “**Roteiro de experimentos sobre movimento circular utilizando robótica educacional**”, propõe uma abordagem do estudo dos movimentos de maneira mais lúdica e com menos abstrações. Para a realização da pesquisa, foi desenvolvido um robô com auxílio de integrantes do laboratório de Automação e Robótica da UFRN e a aplicação da sequência didática mostrou a importância de metodologias que façam do aluno protagonista de seu próprio conhecimento. Os resultados obtidos mostraram como a robótica pode tornar as aulas mais lúdicas e participativas.

O levantamento das dissertações do MNPEF abordando a Robótica como ferramenta mediadora do ensino de Física mostra a relevância e atualidade do tema e se mostrou um fator motivador para o desenvolvimento de uma sequência didática onde os conteúdos de Física do estado seriam relacionados com aplicações em eletrônica e robótica, esta sequência didática contaria com uma aula teórica de introdução a Robótica e uma aula prática onde os alunos teriam a oportunidade de montar um pequeno robô explorador equipado com um sensor ultrassônico permitindo que o robô desvie de obstáculos. Acreditamos que a conexão da Física com a tecnologia através da Robótica possa mostrar-se como um elemento inovador e motive os estudantes para o aprendizado da Física.

Capítulo 5

Aplicação do produto

A aplicação do produto educacional foi realizada em uma escola do município de Imperatriz figura 5.1, localizada no estado do Maranhão. Segundo o site oficial da prefeitura de Imperatriz, a cidade é localizada às margens do Rio Tocantins e distante 629,5 km da capital, São Luís. A segunda maior cidade do Estado do Maranhão completou 165 anos de sua fundação em 16 de julho de 2017. Geograficamente, Imperatriz faz fronteira com Cidelândia, São Francisco do Brejão, João Lisboa, Davinópolis, Governador Edison Lobão e possui cerca de 160 bairros, além de 1.367,90 km² de área total. A cidade de Imperatriz corresponde a aproximadamente a 0,46% do território do Estado do Maranhão. Porém, a cidade já possuiu área total de 13.352 km² no ano de 1980, antes de desmembramentos de outros municípios.



Figura 5.1: Vista Aérea de Imperatriz

Fonte: <https://www.vozdobico.com.br/maranhao/operacao-imperatriz-em-paz-e-desencadeada-pela-policia-militar/attachment/imperatriz-ma/>

Com aproximadamente 260 mil habitantes, o município de Imperatriz teve sua ocupação acelerada após a abertura das rodovias Belém - Brasília, que corta o Oeste Maranhense no território do município; BR-226, que liga Teresina à Região Tocantina, e BR-222, que liga a região do Mearim às terras devolutas do Alto Pindaré; o que permitiu mais fácil comunicação rodoviária entre Imperatriz e Belém, São Luís, Anápolis, Brasília, Goiânia, São Paulo, todo o Centro-Oeste e o Nordeste. Imperatriz apresenta-se como entreposto comercial e de serviços, no qual se

abastecem mercados locais em um raio de 400 km, e forma com Araguaína-TO, Marabá-PA, Balsas-MA e Açailândia-MA uma importante província econômica. O município situa-se na área de influência de grandes projetos, como a mineração da Serra dos Carajás (Marabá/Parauapebas), a mineração do igarapé Salobro (Marabá/Parauapebas), a Ferrovia Carajás/Itaqui, a Ferrovia Norte-Sul, as indústrias guzeiras (Açailândia) e a indústria de papel e celulose Suzano (localizada na Estrada do Arroz). Imperatriz ocupa a posição de segundo maior centro político, cultural e populacional do estado, segundo maior PIB do Estado do Maranhão e 165º do Brasil com PIB de R\$ 5.039.597,00 milhões. E, por ter se tornado polo universitário, comercial e de serviços de saúde, Imperatriz recebe cerca de 700 mil pessoas de cidades vizinhas dos estados do Maranhão, Pará e Tocantins.

O produto educacional foi aplicado na escola pública estadual Centro de Ensino Urbano Rocha figura 5.2, durante o ano de 2019. Esta escola é localizada na Rua Maranhão, Bairro Nova Imperatriz.



Figura 5.2: Área Externa e Sala de aula do CE Urbano Rocha.

Fonte: O Autor

A aplicação do produto educacional ocorreu entre os dias 11 e 29 de novembro de 2019 em uma turma do terceiro ano (concluintes do ensino médio) no turno vespertino. A turma era composta por 25 alunos, que é um número baixo para o padrão da cidade, além disso a turma composta por alunos com grandes dificuldades em Matemática básica, sérios problemas de indisciplina e uma motivação para o estudo notoriamente baixa.

5.1 Roteiro da Aplicação

As ações ocorreram em cinco encontros. A primeira aula foi denominada encontro zero e nesta aula foi explicado aos alunos como seria desenvolvido o projeto no decorrer dos outros quatro encontros. Os outros quatro encontros serão denominados de aula 1, aula 2, aula 3, e aula 4 e tratara respectivamente de: Introdução à Física do Estado Sólido, Semicondutores e Aplicações, Introdução à Robótica e Montagem do Robô Explorador.

5.1.1 Encontro 0.

O encontro 0 consistiu apenas de uma breve conversa com a turma para explicar o roteiro do projeto que seria aplicado durante os quatro encontros seguintes. Explicamos que se tratava de uma pesquisa para pós-graduação e que as atividades desenvolvidas não seriam usadas para compor a nota da avaliação bimestral. Foi informado que os alunos teriam aulas sobre temas de tecnologia, envolvendo atividades práticas de robótica e introdução à programação de computadores.

5.1.2 Aula 1: Introdução à Física do Estado Sólido

Começamos a aula problematizando o conteúdo com questionamentos que suscitassem a curiosidade e a motivação da turma. Essa etapa configurou-se de suma importância por privilegiar tanto um aspecto diagnóstico por parte dos alunos acerca do referido assunto, como para criar motivação em relação aos temas trabalhados.

A primeira aula foi intitulada Introdução à Física do Estado Sólido e teve como objetivos:

- i. Trabalhar temas relacionados a sólidos cristalinos, redes e células unitárias, condução de eletricidade do ponto de vista do modelo dos elétrons livres;
- ii. Diferenciar materiais em isolantes e condutores.

Optamos por, nesse primeiro momento, abordar todos os conteúdos de um ponto de vista “clássico”, logo os elementos de Física moderna e contemporânea

que poderiam ser utilizados na descrição de fenômenos como a condução elétrica não foram apresentados. É importante ressaltar que, com exceção dos conteúdos referentes a sólidos cristalinos, redes e células unitárias, os outros temas já são conhecidos dos alunos de outras etapas de ensino.

Começamos a aula definindo um sólido cristalino como um material cujos átomos estão dispostos em uma estrutura periódica e tridimensional que se repete ou é periódica. Podemos dizer que em um cristalino existe ordem de longo alcance e, quando ocorre um processo de solidificação, os átomos se posicionam em um padrão tridimensional.

Após definirmos e mostrarmos imagens com sólidos cristalinos, introduzimos o conceito de células unitárias que foram definidas como uma estrutura básica dentro de um cristalino e define a estrutura com base em sua geometria e das posições atômicas em seu interior. A figura 5.3 mostra as três células unitárias típicas: hexagonal compacta (HC), cúbica de corpo centrada (CCC) e cúbica de face centrada (CFC).

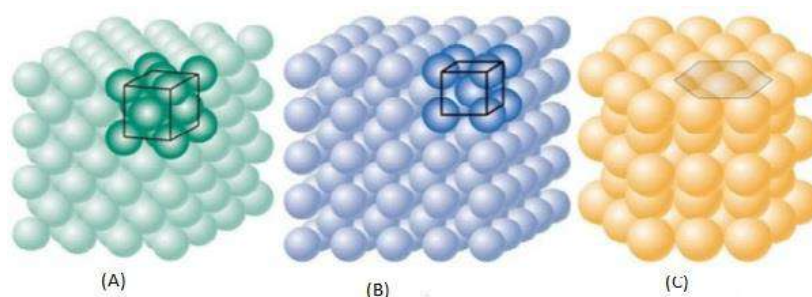


Figura 5.3: Estruturas cristalinas (A) CFC, (B) CCC e (C) HC.
Fonte: <https://pt.slideshare.net/NayaraNeres/deformao-por-deslizamento>.

A aula continuou com uma exposição a respeito das propriedades elétricas dos materiais sólidos, onde utilizamos o modelo da nuvem de elétrons livres para diferenciar materiais em isolantes e condutores. Segundo este modelo, os metais apresentam em sua superfície um grande número de elétrons fracamente ligados ao núcleo atômico, esses são elétrons da última camada e, devido à grande distância entre esses elétrons e o núcleo atômico, a atração coulombiana é muito baixa, conferindo assim aos metais um grande número de elétrons que entram facilmente em movimento quando submetidos a uma diferença de potencial elétrico.

Após a explicação sobre o modelo dos elétrons livres, apresentamos a classificação dos condutores em primeira, segunda e terceira ordem, que apesar de

estar presente em alguns livros didáticos, não costumam ser abordados no Ensino Médio. Nesta classificação, os metais em geral são classificados como condutores de primeira ordem, pois os portadores de carga são os elétrons; já os fluidos líquidos e gasosos são classificados como condutores de segunda e terceira ordem, respectivamente. Nestes condutores, os portadores de carga não são elétrons e sim os íons dissolvidos no fluido.

Após os materiais condutores abordamos os materiais isolantes, que definimos como isolantes devido ao fato de não possuírem a nuvem eletrônica que é típica dos condutores. Em seguida, foram mostradas diversas imagens de materiais com propriedades isolantes elétricos.

Terminamos o primeiro encontro falando brevemente sobre materiais semicondutores e sua importância, que são o assunto principal da próxima aula.

5.1.2.1 Análise da aula 1

Apesar da turma não dominar a maioria dos temas trabalhados, essa aula não pareceu motivá-los, e grande parte dos alunos continuaram com seus comportamentos típicos, com conversas paralelas e dispensando pouca atenção ao professor; alguns, inclusive, se recusavam a participar dos momentos de interação propostos pelo mesmo.

Chamou a atenção o fato de conceitos muito básicos como o de átomos e suas subpartículas ainda eram de difícil compreensão, alguns alunos não conseguiam estabelecer a diferença entre átomo, elétron, próton e nêutron, o que impossibilita a esse aluno a compreensão de como a matéria sólida se organiza para possibilitar propriedades como a condução de eletricidade.

Quando foi tratada a diferença entre isolantes e condutores a experiência cotidiana permitiu a eles diferenciar facilmente os materiais condutores de eletricidade e isolantes, eles conseguiam exemplificar e até dar exemplos de aplicação de isolantes, como no isolamento de fios condutores e também conseguiam identificar facilmente o cobre como metal mais comumente utilizado na condução de eletricidade em fios residenciais.

Ainda sobre o conceito de condução de eletricidade a noção de nuvem eletrônica era desconhecido pela maior parte da turma, apenas dois alunos se

recordavam de forma bastante superficial deste conceito.

Em determinado momento da aula eles foram questionados sobre o fenômeno da supercondutividade, mas nenhum aluno conseguiu elaborar uma resposta satisfatória capaz de explicar basicamente esse fenômeno.

Uma explicação possível para o resultado pouco satisfatório foi que, apesar de abordar temas diferentes, bastante ilustrada com imagens e fortemente contextualizada, a aula consistiu de uma exposição dialogada aos moldes tradicionais sem um elemento novo que realmente capturasse a atenção e o interesse da turma.

5.1.3 Aula 2: Bandas de energia, semicondutores e dispositivos

A aula 2 foi elaborada com os seguintes objetivos:

- Conhecer de forma qualitativa a teoria das bandas de energia;
- Compreender a condução de eletricidade do ponto de vista das bandas de energia;
- Entender a importância e as aplicações dos materiais semicondutores nos dispositivos eletrônicos.

Começamos a segunda aula questionando a turma a respeito da condutividade elétrica, tema que havia sido trabalhado na aula anterior. Após algumas perguntas e respostas por parte da turma, ressaltamos que a interpretação dada para o fenômeno da condução eletrônica que eles conheciam fundamentava-se em uma visão “clássica” do fenômeno, e a mesma falhava em determinados pontos como conseguir explicar de forma satisfatória a existência de materiais semicondutores. Logo, uma teoria mais completa é necessária para contornar essas dificuldades.

Após essas considerações, apresentamos à turma o modelo das bandas de energia. Definimos uma banda como o desdobramento dos níveis de energia quando os átomos estão muito perto. Através da teoria das bandas podemos classificar os materiais em isolante, condutores ou semicondutores, e neste modelo a condutividade do material depende da largura da banda proibida formada por níveis de energia que o elétron não pode ocupar. Para ilustrar esta definição de banda de energias e as diferenças de condutividade elétrica dos materiais

apresentamos aos alunos a figura 5.4. Esta figura representa um modelo relativamente simples da definição de bandas de energias.

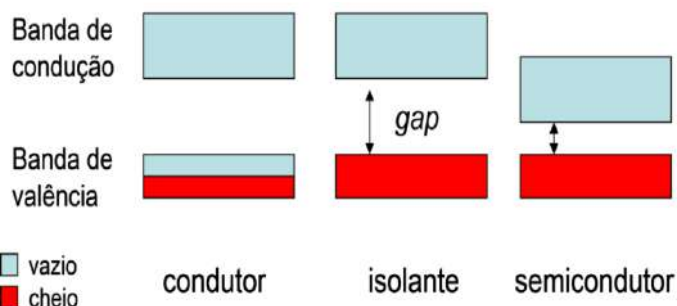


Figura 5.4: Esquema ilustrativo do Modelo de bandas de energia para isolantes condutores e semicondutores

Fonte: <https://sites.google.com/site/marcioperon/ufscar/pesquisa/semicondutores>

Após esse momento, os alunos foram apresentados de maneira mais formal aos materiais semicondutores. Estes materiais foram definidos como portadores de condutividade elétrica intermediária entre os isolantes e os condutores. Após essa etapa, enfatizamos que um semicondutor se comporta como isolante, no entanto, através do processo de “dopagem” da substância, podemos transformar um semicondutor em um condutor com a condutividade que desejarmos.

Definimos a dopagem de um cristal como o processo de introdução de átomos ou íons na estrutura cristalina de um semicondutor, levando a alteração das propriedades do material e tornando-o um condutor. Neste momento, demonstramos qualitativamente como a dopagem pode “produzir” artificialmente elétrons livres ou lacunas que funcionam como portadores de carga dentro da estrutura.

A figura 5.5 foi mostrada para os alunos, a qual demonstra um cristal de silício dopado com fósforo, resultando em um elétron livre, e o silício dopado com boro que produz uma lacuna que atua como uma carga positiva em movimento na superfície cristalina.

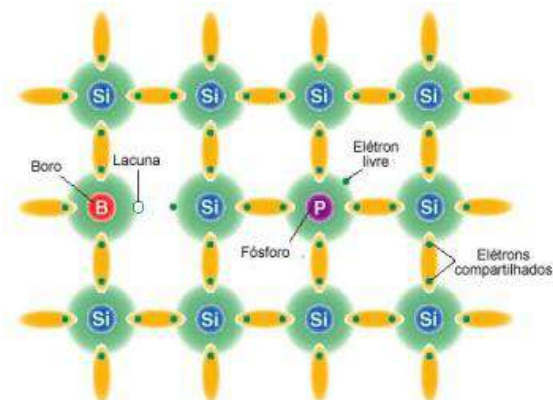


Figura 5.5: Silício dopado com fósforo e boro.

Fonte: <https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>

Após essa etapa, discutimos sobre as gigantescas transformações tecnológicas proporcionadas pelos materiais semicondutores, falamos sobre o transistor e mostramos como ele substituiu as válvulas que apresentavam diferentes dificuldades, como desperdiçar muita energia na forma de calor, além de queimarem facilmente. Diferentemente, os transistores apresentavam grande confiabilidade, além de permitirem a miniaturização dos componentes elétricos, tornando os circuitos cada vez menores. A figura 5.6 mostra a evolução dos eletrônicos ao longo dos anos.



© Can Stock Photo - csp21192520

Figura 5.6: Televisão com circuitos de válvulas e televisor baseado em circuitos transistorizados

Fonte: <https://www.canstockphoto.com.br/evolu%C3%A7%C3%A3o-televis%C3%A3o-21192520.html>

A aula 2 segue com uma exposição sobre diodos. Apresentamos suas aplicações como retificadores de corrente, leds e conversores de sinal. Mostramos que um diodo consiste na junção de duas pastilhas semicondutoras, uma dopada com substâncias aceitadoras e outra com substâncias doadoras e que um diodo também é conhecido como junção NP.

A aula continuou com uma explicação sobre os circuitos integrados figura 5.7. Definimos como um circuito é formado por milhares de componentes como diodos, transistores, resistores e capacitores, todos fabricados juntos sobre uma pastilha semicondutora de silício.

Algumas vantagens dos circuitos integrados são: circuitos menores e leves, maior densidade de componentes, dissipam menos energia em forma de calor, são mais fáceis e baratos de fabricar.

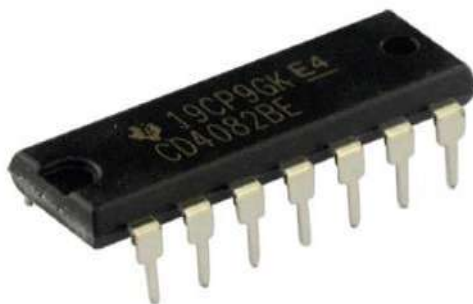


Figura 5.7: Exemplo de circuito integrado

Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/circuito-integrado-cd4070.html>

A aula terminou com uma apresentação de componentes eletrônicos para manipulação e uma conversa sobre os avanços em eletrônica e microeletrônica presentes nas diversas tecnologias usadas por muitas pessoas todos os dias. Usamos esse momento para fazer o gancho da aula seguinte, onde fizemos uma pequena introdução à robótica.

5.1.3.1 Análise da aula 2

O conceito de bandas de energia não costuma ser explorado no curso médio e como foi constatado por alguns questionamentos feitos no início da aula, esse era um conceito físico desconhecido para toda a turma. Apesar da complexidade do assunto, a figura 43 se mostrou satisfatoriamente útil na tarefa de explicar as diferenças entre materiais condutores, isolantes e semicondutores permitindo uma transposição didática em que as definições referentes à condutividade tornaram-se de fácil compreensão.

Quando abordamos a técnica de dopagem de semicondutores a conexão entre a Física e a Química foi feita rapidamente, um aluno chegou a comentar, "agora parece que estamos numa aula de química". Este momento foi aproveitado para comentar que as diferenças entre as ciências não são tão rígidas e é comum

até as linhas de pesquisas se entrelaçarem.

Ainda em relação à dopagem de materiais semicondutores dois alunos questionaram se aumentando em muito o número de elétrons livres ou de lacunas o material se tornaria um supercondutor?. Esta intervenção permitiu explorar brevemente o fenômeno da supercondutividade e enfatizar que ele depende fortemente de outras variáveis.

Antes de falarmos das aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores contamos um pouco da história das principais descobertas desse campo científico, falamos sobre Thomas Edison e as válvulas termiônicas, os descobridores do transistor, o laboratório Bell até o crescimento da região conhecida como Vale do Silício. Nesta parte da aula a abordagem histórica da ciência mostrou-se muito proveitosa para a prática de ensino, o envolvimento da turma foi bastante evidente, com muitas perguntas e tecendo considerações.

Apesar da aula 2 termos trabalhado os temas complexos como dopagem de materiais e tecnologias de semicondutores, a aula mostrou-se mais produtiva, com os alunos mais motivados e interagindo nos momentos propostos.

Podemos destacar o momento no qual introduzimos os temas de tecnologias, no qual a turma se mostrou bastante receptiva, fazendo perguntas e comentários. Quando abordamos os circuitos integrados (chip's), além dos exemplos mostrados nos slides, os alunos puderam manipular diferentes modelos que foram levados para a sala, o que despertou um real interesse pelo componente.

O componente de aplicação tecnologia do assunto aliado a abordagem histórica da ciência pode justificar o melhor resultado, uma vez que essa contextualização parece ter conectado os alunos a seus conhecimentos prévios e despertado sua curiosidade em relação aos assuntos trabalhados em sala de aula.

5.1.4 Aula 3: Introdução à Robótica

Na aula 3 foi realizada uma pequena introdução à Robótica figura 5.8, cujos objetivos do encontro foram:

- Conceituar Robótica;
- Conhecer as principais aplicações da Robótica;
- Conhecer e compreender os principais componentes de um robô, além dos princípios físicos envolvidos.

Começamos apresentando a origem da palavra Robô, que deriva do termo *robota* e tem sua origem na peça teatral do escritor Tcheco Karel Capek. No conto de Capek, homens artificiais são criados para substituir os seres humanos em trabalhos pesados. Nessa primeira versão, os robôs eram seres biológicos criados artificialmente, e os robôs mecânicos surgiram em obras de ficção posteriores.

Em seguida, mostramos uma definição normal de Robótica além das suas primeiras aplicações, que consistiram em braços teleoperados para manuseio de materiais perigosos na pesquisa nuclear.

Depois desse momento introdutório, classificamos os robôs em algumas categorias básicas: manipuladores, representados em sua maioria pelos braços robóticos típicos do ambiente industrial; veículos autônomos, os quais têm os drones com diversas aplicações do uso militar até a pulverização de lavouras como seus principais representantes, e por fim mostramos os robôs humanoides, que a partir de designer inspirados em características humanas permitem que os robôs se movam em superfícies que antes não seria possível com os modelos tradicionais, além de permitir um nível de interação homem-máquina que só poderia ser imaginado na ficção.

Debatemos alguns minutos sobre o novo e desafiador ambiente de trabalho criado com as possibilidades permitidas pelas tecnologias de robótica, automação e inteligência artificial. Continuamos a aula apresentando os elementos de um sistema robótico que dividimos como: controle, sensores e atuadores.

O controle foi definido como um sistema formado por *hardware* e *software*. As regras de funcionamento para o sistema são escritas no *software* e gravadas no *hardware* e, a partir das informações obtidas pelos sensores, o robô toma uma decisão.



Figura 5.8: Aula de introdução à Robótica
Fonte: Próprio autor

Aproveitamos o momento em que falamos sobre *hardware* para apresentar o microcontrolador Arduino, que é uma plataforma de prototipagem muito comum em trabalhos de robótica educacional. A figura 5.9 a versão do Arduino que foi apresentada aos alunos.

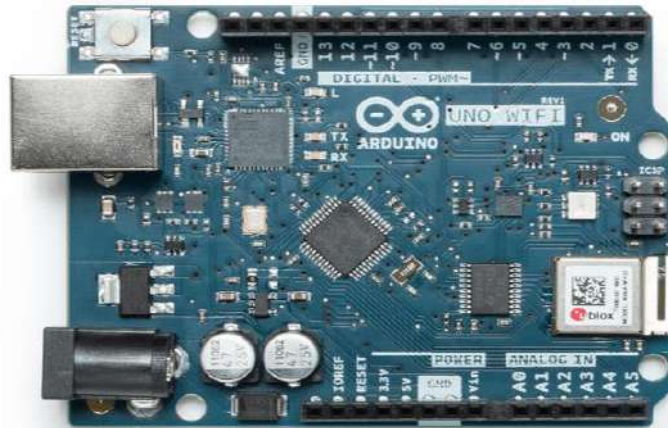


Figura 5.9: Apresentação do Microcontrolador Arduino

Fonte: <https://www.embarcados.com.br/conheca-o-novo-arduino-uno-wifi/>

5.1.5 O que é um Arduino?

Blum (2016) afirma que o Arduino é uma plataforma para criação de protótipos (prototipagem) microcontroladora que ligado a sensores, atuadores e outros módulos adicionais (*Shields*), pode ser transformado em elemento de controle programável de qualquer tipo de sistema. O Arduino é um hardware *open source* (livre), isso significa que os arquivos do projeto da placa, diagramas e código-fonte podem ser baixados gratuitamente. A licença *open source* permite que Arduinos genéricos sejam fabricados e comercializados contanto que o devido crédito seja fornecido.

Características Básicas do Arduino

Nesta dissertação a placa utilizada foi o Arduino Uno, porem existem diversas versões do Arduino no entanto todas elas partilham algumas características e funções básicas que são:

- Microcontrolador Atmel
- Interface(s) de programação /comunicação USB
- Regulador de tensão e conexões de alimentação
- Pinos de interrupção de E/S

- Leds de depuração, energia e RX/TX
- Botão de reset
- Conectores de programação serial

A figura 5.10 mostra um Arduino Uno com destaque nos elementos anteriormente citados

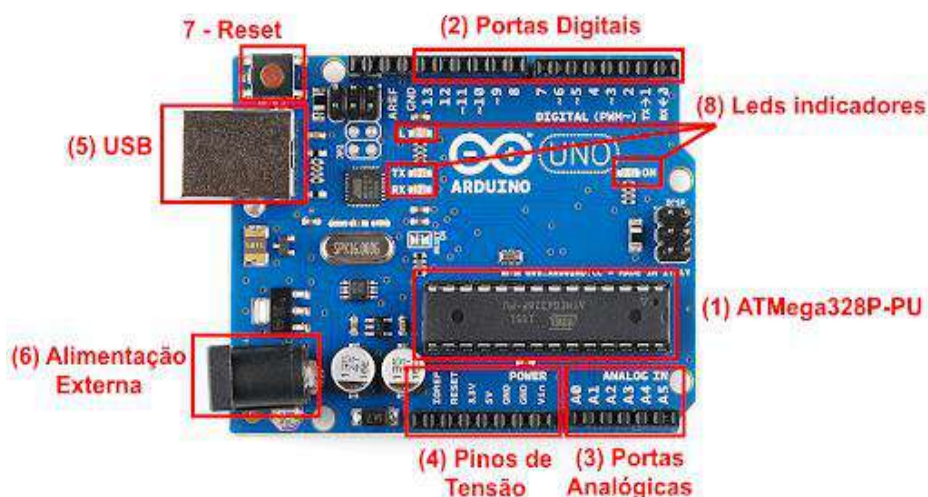


Figura 5.10: Microcontrolador Arduino Uno
Fonte: <http://aprendendofisica.pro.br/pmwiki.php/Main/ArduinoUno>

5.1.6 Microcontrolador Atmel

O microcontrolador é responsável por manter a totalidade do código executado e executar os comandos especificados. Através da linguagem de programação do Arduino se pode ter acesso aos periféricos do controlador como: conversores analógicos digitais, pinos de entrada e saída além de interfaces seriais e barramentos de comunicação. Os programas escritos para rodar no ATmega em C ou *Assembly* e programados por meio da interface ICSP. Para o Arduino é possível programar direto através de uma conexão usb sem a necessidade de um programador separado, isso é possível graças ao sistema de inicialização do Arduino que é carregado de fábrica no ATmega.

Pinos de entrada e saída E/S

Todos os pinos do Arduino podem servir como entradas e saída digitais, os pinos também podem funcionar como entradas analógicas capazes de medir tensões entre 0 e 5V. Os pinos também podem ser utilizados em funções específicas como interfaces de comunicação serial, modulação por largura de pulso e interrupções externas.

A alimentação do Arduino pode ser feita a partir da conexão USB quando a placa está conectada ao computador o qual fornece ao Arduino uma tensão de 5V.

Desconectando a placa do computador ela pode ser alimentada por fontes com tensão entre 6 e 20V no entanto por medidas de segurança aconselha-se o uso de tensões entre 7 e 12V.

A interface de desenvolvimento do Arduino pode ser baixada gratuitamente no endereço www.arduino.cc que é o site oficial do projeto Arduino. Na página de downloads é possível baixar a versão mais atual e também podem ser encontradas versões anteriores da IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) e escolher além de escolher a versão adequada ao sistema operacional adequado como é mostrado na figura 5.11.



Figura 5.11: Página de download do Arduino
Fonte: www.arduino.cc

Após o download o arquivo deve ser descompactado e dentro dele estará a IDE do Arduino. Com a IDE já baixada é possível conectar o Arduino ao computador via conexão USB Figura 5.12. O programa escrito na IDE pode ser transferido a placa via a conexão USB que também é responsável por fornecer uma tensão de 5V alimentando o sistema.

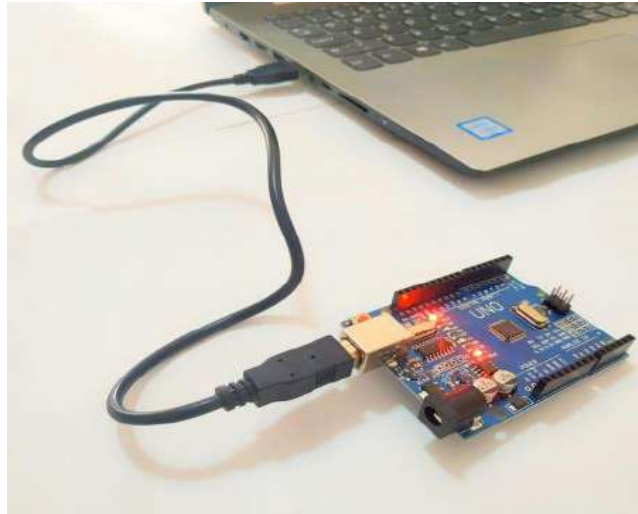


Figura 5.12: Arduino conectado ao computador através USB.

Fonte: O Autor

Um programa escrito na IDE do Arduino pode ser dividido em duas partes: setup e loop. As instruções no setup são rodadas uma única vez e em geral referem-se à configuração de pinos e a criação de variáveis já os comandos referentes ao loop se repetem enquanto o Arduino estiver ligado, a figura 5.13 mostra um programa feito com o objetivo de fazer um LED piscar.

```
Liga_Led | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Liga_Led$
int LED=13;//LED da porta 13

void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT);//Definindo o pino 13
  //como saída
}

void loop(){
  digitalWrite(LED, HIGH);//Liga o led
  delay(1000);
  digitalWrite(LED, LOW);//Desliga o Led
  delay(1000);
}
```

Figura 5.13: Exemplo de programa escrito em *Prossing* IDE do Arduino

Fonte: O autor

Algumas placas de circuito foram levadas para a sala para que os alunos pudessem manipulá-las, como mostra a figura 5.14.



Figura 5.14: Alunos sendo apresentados ao Arduino

Fonte: Próprio Autor

Após a apresentação do *hardware*, mostramos o ambiente de programação do Arduino e explicamos o que é uma linguagem de programação, qual a importância das diferentes linguagens de programação e aproveitamos para debater um pouco sobre a importância do conhecimento de programação para as mais diferentes atividades no mundo do trabalho contemporâneo. Em seguida, mostramos vários pequenos exemplos de programas escritos no IDE do Arduino, inclusive o programa usado no robô da prática que viria a ser realizada.



Figura 5.15: Apresentação da tela de abertura da IDE do Arduino.

Fonte: Próprio Autor

Continuamos a aula apresentando os alunos aos sensores e atuadores e explicamos que a função dos sensores é perceber o ambiente entorno do robô, enquanto a função dos atuadores é reagir aos estímulos dos sensores com base nas regras gravadas no *software*. A figura 5.16 mostram o sensor ultrassônico utilizado e

o circuito de potência que é ligado aos motores.



Figura 5.16: Alunos com sensor ultrassônico e circuito de potência (Ponte H)

Fonte: Próprio autor.

5.1.4.1 Análise da aula 3

A Robótica mostrou-se um grande motivador, um aluno afirmou que esta era a aula de Física mais interessante que já tinha participado, outra aluna disse que estudar robôs lhe parecia algo muito distante e que a aula mudou isso.

Além dos elementos da Física que são facilmente abordados quando contextualizados com a robótica, exibimos um vídeo onde eram mostrados robôs de alta tecnologia que permitiu realizarmos um pequeno debate sobre os rumos da tecnologia e do trabalho. A turma mostrou-se profundamente interessada quando foram abordadas questões referentes às oportunidades profissionais relacionadas à robótica, automação e programação. Alguns alunos chegaram a expressar a vontade de cursar engenharia.

Enquanto os alunos manipulavam os componentes eletrônicos (que muito contribuiu para o envolvimento na atividade) que lhes eram apresentados, foram feitas perguntas sobre conteúdos anteriores como circuitos elétricos, e eles reconheciam elementos como receptores, resistores e geradores, que haviam sido estudados apenas teoricamente.

Essa aula mostrou-se extremamente produtiva, visto que os alunos participaram de forma bastante ativa, fazendo perguntas e demonstrando grande interesse no tema trabalhado. Um aluno questionou por que não poderiam ter mais aulas com práticas, nesse momento à turma foi consultado se era do interesse deles que mais atividades práticas fossem realizadas, e todos concordaram que sim.

Vale apenas lembrar que essa não foi uma aula na sua totalidade prática, era uma aula teórica a qual a turma tinha contato com equipamentos/dispositivos eletrônicos que seriam utilizados no próximo encontro.

5.1.5 Aula 4: Montagem do robô explorador

As aulas teóricas apresentaram elementos de Física do Estado Sólido com especial atenção aos dispositivos semicondutores. Quando foram abordadas as aplicações tecnológicas possibilitadas pelas pesquisas desta área da Física, a Eletrônica e a Microeletrônica ganham grande destaque permitindo conectar os temas trabalhados com várias tecnologias de uso comum no dia a dia dos alunos.

Os temas relativos à eletrônica fizeram a ponte necessária para realizarmos uma pequena introdução à Robótica, onde conceitos como sensores, atuadores, automação e inteligência artificial, bem como elementos de discussão sobre as mudanças no mundo do trabalho e perspectivas para o futuro puderam ser debatidos.

A quarta aula consistiu de uma prática experimental, onde a turma foi dividida em cinco equipes de 5 alunos com a tarefa de montar um pequeno robô explorador que desvia de objetos. Essa prática proporcionou aos alunos manipularem placas de circuito produzidas com materiais semicondutores, aplicações diretas da Física trabalhada nas aulas 1 e 2, além de conectar a teoria física com a robótica que utilizamos como elemento motivador de aprendizado.

Na perspectiva de uma prática experimental que pudesse englobar tudo que havia sido trabalhado na teoria, foi elaborada uma aula onde os alunos puderam montar um pequeno carrinho robô autônomo, capaz de desviar de obstáculos. Na figura 5.17 (A), observa-se a configuração final do carrinho montado. Na figura 5.17(B), apresentamos as partes que compõem o carrinho como : ponte H, Arduino Uno, sensor ultrassônico, e baterias de 9v.

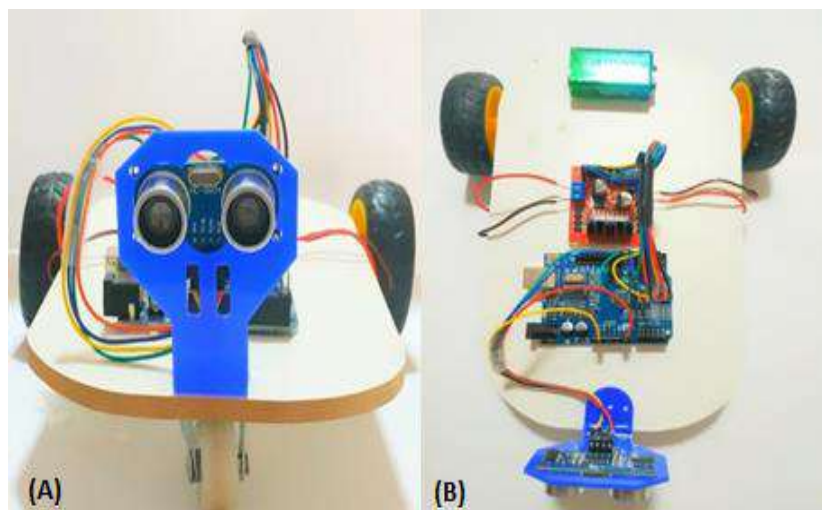




Figura 5.17: Robô Explorador.

Fonte: Próprio Autor

A turma foi dividida em 4 equipes, cada uma delas recebeu um kit de montagem com os seguintes componentes: um Arduino Uno, um ponte H, um sensor ultrassônico e dois motores com caixa de redução e rodas, uma base de MDF, uma roda boba, um rolo de fita dupla face, um rolo de fita transparente, um suporte para o sensor, uma bateria de 9 V e um conjunto de fios para as conexões entre os elementos. A tabela 5.1 lista os componentes acompanhados de uma imagem de cada item e além de uma breve explicação de suas funções.

ITEM	IMAGEM
<p>Arduino Uno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamanho: 5,3cm x 6,8cm x 1,0cm • Microcontrolador: ATmega328 • Tensão de operação: 5V • Tensão de entrada: 7-12V • Tensão de saída: 6V-20V • Memória Flash: 32Kb 	
<p>Sensor Ultrassônico: Emite ondas de alta frequência e, a partir do tempo de reflexão, o algoritmo gravado no arduino pode determinar a distância entre o robô e os objetos a sua volta.</p> <p>Tensão de operação: 5VDC Corrente de operação: 15mA Faixa de detecção (ângulo): $\pm 15^\circ$</p>	

<p>Alcance: 2cm a 4m Margem de erro: $\pm 3\text{mm}$</p>	
<p>Driver Motor Ponte H L298n: é um circuito especial que permite realizar a inversão da direção (polaridade) da corrente que flui através de uma carga. É muito utilizada, por exemplo, para controlar a direção de rotação de um motor DC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de Operação: 4~35v • Chip: ST L298N • Controle de 2 motores DC ou 1 motor de passo • Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max • Tensão lógica: 5v • Corrente lógica: 0~36mA • Limites de Temperatura: -20 a +135°C • Potência Máxima: 25W 	
<p>Motor Com Caixa de Redução: A caixa de redução do motor tem a função de reduzir sua rotação mantendo um elevado torque. As rodas traseiras do robô são acopladas ao eixo do motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de alimentação recomendada: 4,5V • Corrente em aberto: 190mA • Corrente com máxima carga: 250mA • Corrente de <i>Stall</i>: 1.2A @ 6V (0.6A @ 3V) • Relação da caixa de redução: 48:1 • Velocidade: 140RPM @ 4,5V sem carga • Torque: 800 gf.cm 	
<p>Bateria de 9 Volts: A bateria foi utilizada como fonte de tensão para alimentar o sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grafite Super Condutivo • Alcalina • Tensão 9V 	

<p>Conexões elétricas: Foram utilizados Jumpers do tipo macho fêmea para conectar sensor e ponte H ao arduino.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secção do Fio Condutor: 24 AWG. • Comprimento do fio: 20 centímetros. • Largura do Conector: 2,45 milímetros. 	
<p>Base de MDF: Foi utilizado um pedaço de MDF com dimensões iguais a 15cm e 20cm para fixar os motores e usado como base para os outros componentes.</p>	
<p>Roda “Boba”: Essa roda é colocada à frente do motor e não está acoplada a nenhum motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro da Roda: 30,8mm • Altura: 40mm • Peso: 33g 	

Tabela 5.1: Materiais utilizados na construção do robô.
Fonte: O autor

O microcontrolador arduino foi escolhido como plataforma de prototipagem por seu grande escopo de aplicações e baixo custo de aquisição. Foram estudados diferentes aspectos da montagem de circuitos com o mesmo, bem como aspectos de sua programação, com ênfase aos principais componentes do robô.

O robô utilizado na referida atividade experimental consiste em um circuito onde uma ponte H é conectada aos motores e ao Arduino uno, um sensor ultrassónico conectado ao Arduino como também uma bateria de 9 volts para fornecer a tensão necessária ao sistema. O circuito foi montado sobre uma base de MDF, e a função do sensor é emitir as ondas na faixa do ultrassom, captar as ondas refletidas a partir do tempo entre a onda emitida e a refletida e determinar a distância entre o robô e os obstáculos ao seu redor, o circuito utilizado no robô é mostrado na figura 5.18.

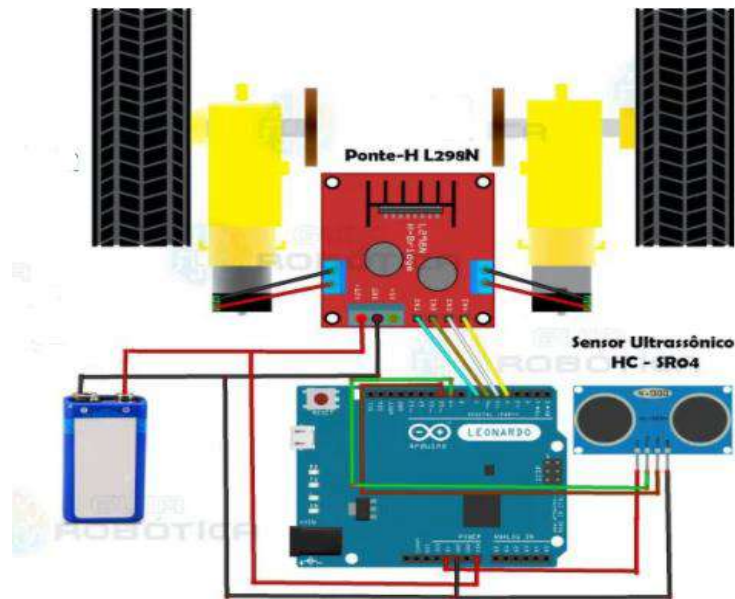


Figura 5.18: Circuito do robô

Fonte: <https://www.marlonnardi.com/p/universo-robos-1-como-fazer-um-robo-que.html>

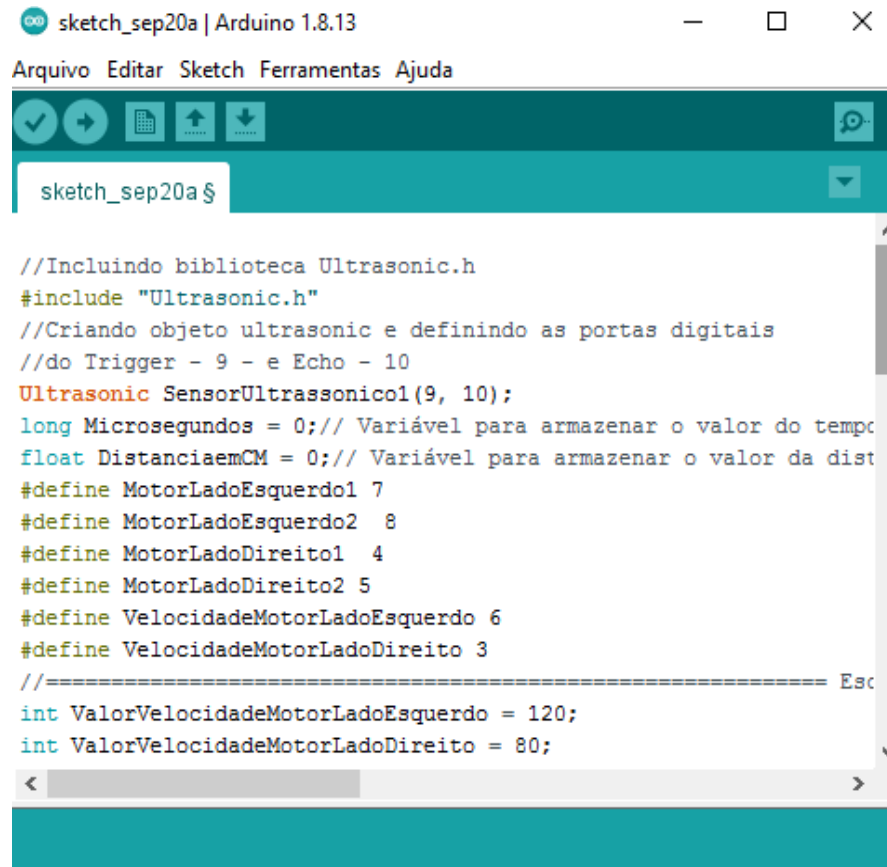
O programa utilizado no robô foi desenvolvido no ambiente de desenvolvimento do Arduino (IDE), que apresenta uma linguagem de programação muito semelhante a linguagens como C, C++.

Funcionamento do Programa Usado no Robô

Antes do Setup

- i. Incluímos a biblioteca do senso ultrassônico
- ii. A função ultrassônico é utilizada para declarar o objeto sensor ultrassônico que permite ativar o sensor ultrassônico ligado nos pinos 9 e 10.
- iii. Declaramos uma variável do tipo **long** chamada microssegundo e ela armazena o tempo de ida e volta do som.
- iv. Declaramos uma variável do tipo **float** chamada distancia em cm para armazenar o valor de distância fornecido para o sensor.
- v. Em seguida é feito o mapeamento de *hardware* onde especificamos em quais pinos a Ponte H e os motores estão ligados.
- vi. O comando **#define** é utilizado para nomear os pinos e tornar o código mais legível, este comando não ocupa espaço na memória.
- vii. Definimos os pinos 3 e 6 como responsáveis pelo controle da velocidade dos motores pois estes são pinos do tipo PWM (modulação por largura de pulso).

- viii. As variáveis inteiras *valorvelocidademotordoladoesquerdo* e *valorvelocidademotordoladodireito* para ajustar a velocidade do motor.



```
sketch_sep20a | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_sep20a $
//Incluindo biblioteca Ultrasonic.h
#include "Ultrasonic.h"
//Criando objeto ultrasonic e definindo as portas digitais
//do Trigger - 9 - e Echo - 10
Ultrasonic SensorUltrassonicol(9, 10);
long Microsegundos = 0;// Variável para armazenar o valor do tempo
float DistanciaemCM = 0;// Variável para armazenar o valor da dist
#define MotorLadoEsquerdo1 7
#define MotorLadoEsquerdo2 8
#define MotorLadoDireito1 4
#define MotorLadoDireito2 5
#define VelocidadeMotorLadoEsquerdo 6
#define VelocidadeMotorLadoDireito 3
//===== Esc
int ValorVelocidadeMotorLadoEsquerdo = 120;
int ValorVelocidadeMotorLadoDireito = 80;
```

Figura 5.19: Declaração de funções de variáveis do Programa.

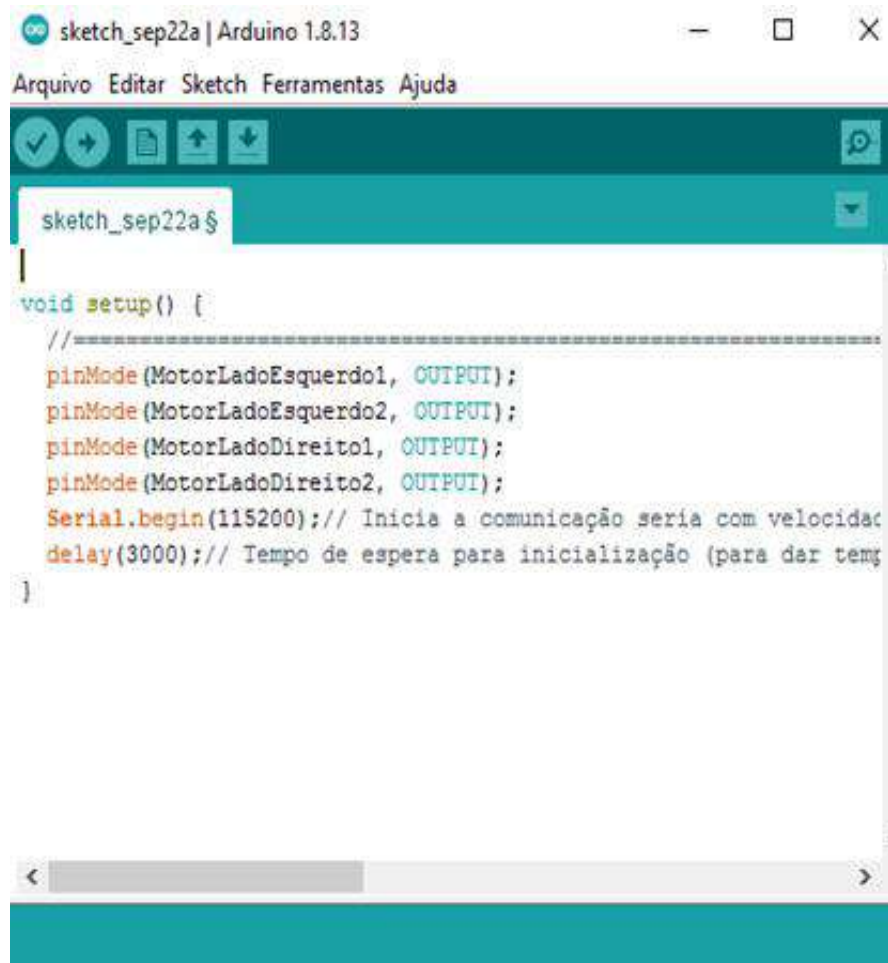
Fonte: O Autor

Setup do Programa

A figura 5.19 mostra o **setup** do programa os motores são colocados como saída de corrente e a função **serial.begin** inicia a comunicação serial do Arduino com 115200 bits por segundo. Esse trecho do programa mostra os motores do lado esquerdo e lado direito definidos como saída de corrente.

i Dentro do *setup* definimos os pinos que serão utilizados estes foram todos colocados como saída de corrente *output*.

li A velocidade de comunicação serial definida foi de 115200 bits e em seguida foi definido um atraso de 3s para a inicialização do código.



```
sketch_sep22a | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_sep22a $
void setup() {
  //=====
  pinMode(MotorLadoEsquerdo1, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoEsquerdo2, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoDireito1, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoDireito2, OUTPUT);
  Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial com velocidade
  delay(3000); // Tempo de espera para inicialização (para dar temp
}
```

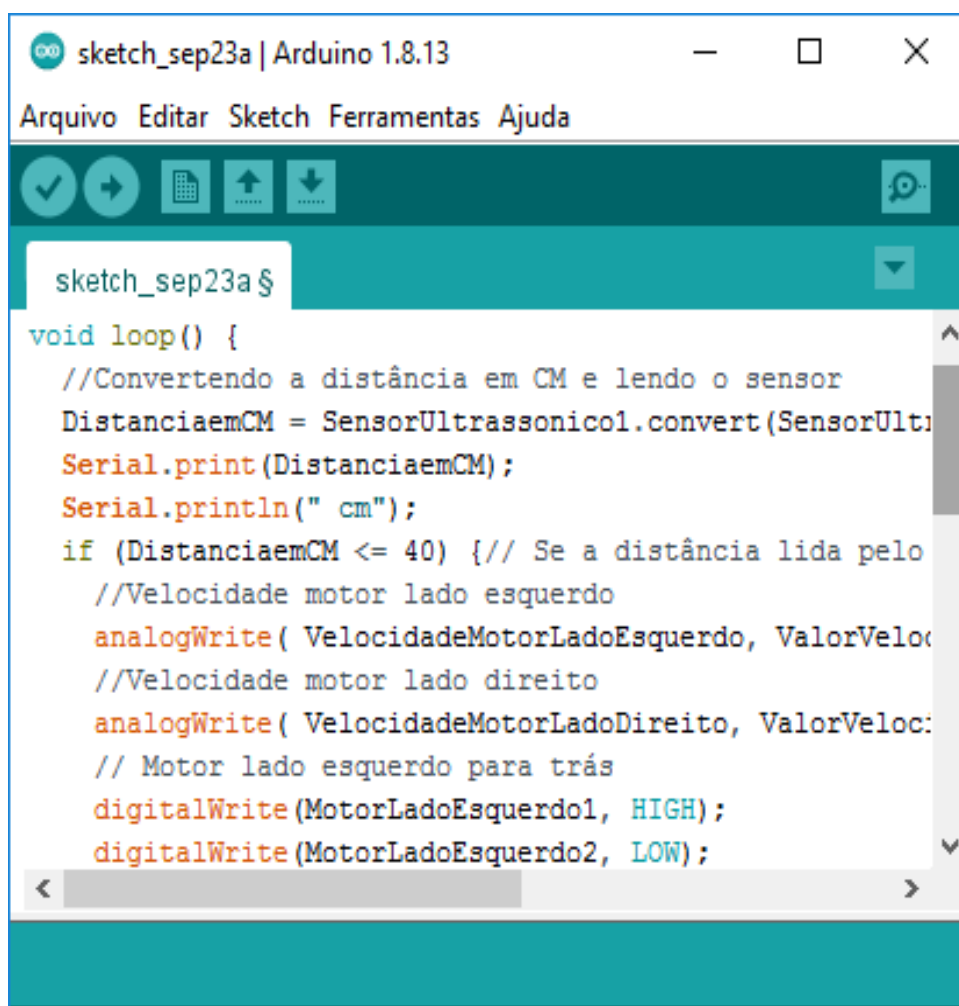
Figura 5.20: Setup do Programa os Motores São Definidos Como Saída de Corrente.
Fonte: O Autor

Loop do Programa

A figuras 5.21 mostra o **loop** do programa onde as estruturas de condicionais estão definidas. Para obstáculos detectados a distâncias menores ou iguais a 40cm o motores param e em seguida o robô se move lateralmente para a direita e testa novamente a distância se não houver obstáculo ele segue em frente havendo obstáculo ele se movimenta para a esquerda e volta a testar a distância.

- i. Dentro do *void loop* a primeira linha mostra o comando que converte a distância para centímetros com base no tempo fornecido pelo sensor. Nas linhas seguintes temos os comandos que mostram como o robô desvia de obstáculo.
- ii. Utilizando o comando *if* definimos que caso o robô detecte um obstáculo menor que 40 cm ele vai para trás durante 7 segundos e após esse período o motor do lado direito gira para a frente e o motor do lado esquerdo gira para trás levando o robô a se mover para o lado direito durante 2 segundos.

- iii. Utilizando o comando *else* definimos que caso a distância seja maior que 40 cm os dois motores continuam ligados e girando para frente.



```
sketch_sep23a $
void loop() {
  //Convertendo a distância em CM e lendo o sensor
  DistanciaemCM = SensorUltrassonico1.convert(SensorUltrassonico1);
  Serial.print(DistanciaemCM);
  Serial.println(" cm");
  if (DistanciaemCM <= 40) { // Se a distância lida pelo sensor for menor ou igual a 40 cm
    //Velocidade motor lado esquerdo
    analogWrite( VelocidadeMotorLadoEsquerdo, ValorVelocidade);
    //Velocidade motor lado direito
    analogWrite( VelocidadeMotorLadoDireito, ValorVelocidade);
    // Motor lado esquerdo para trás
    digitalWrite(MotorLadoEsquerdo1, HIGH);
    digitalWrite(MotorLadoEsquerdo2, LOW);
  }
}
```

Figura 5.21: No Loop do Programa Temos o Trecho do Programa é Repetido Continuamente.

Fonte: O Autor

Após uma explicação geral de como seria a atividade, os alunos deveriam dividir as atribuições dentro da equipe. As instruções de montagem foram divididas da seguinte forma: montagem da estrutura, conexões eletrônicas, verificação antes dos testes, testes e correções de problemas.

A turma iniciou a montagem pela parte estrutural fixando a roda frontal com a fita e os motores com cola na base de MDF figura 5.22.



Figura 5.22: Fixando os motores e rodas na base de MDF.

Fonte: Próprio Autor

Após a montagem da estrutura, passamos às partes eletrônicas. Os alunos fizeram as conexões entre a ponte H, os motores e o arduino; em seguida, conectaram o sensor ultrassônico ao arduino. Toda a parte eletrônica foi fixada a base de MDF utilizando uma fita dupla face figura 5.23.



Figura 5.23: Montagem do robô Explorador I

Fonte: Próprio Autor

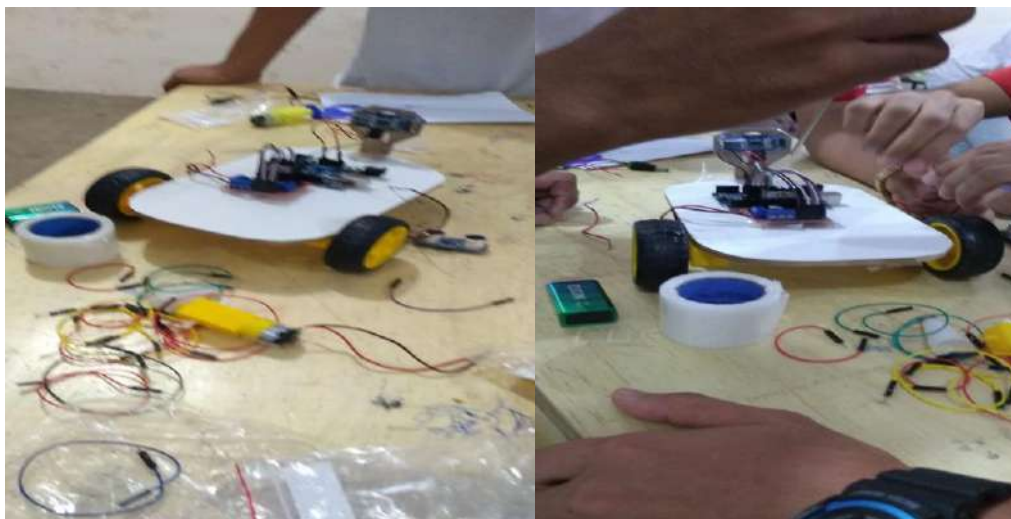


Figura 5.24: Montagem do robô explorador II
Fonte: Próprio Autor

Ao longo da montagem foi possível discutir a Física envolvida no funcionamento do robô. Debates sobre a inversão do sentido da rotação do motor com a mudança de sentido da corrente elétrica, reflexão do som e a faixa do ultrassom utilizada pelo sensor. O algoritmo foi gravado previamente na placa e a turma recebeu uma breve explicação de seu funcionamento (figura 5.24).

À medida que as equipes terminavam as montagens, testávamos os robôs e corrigíamos as eventuais falhas. O erro mais comum era no momento de conectar os cabos nos motores ao circuito de potência que os controla (ponte H), a polaridade dos motores devia ser colocada de forma inversa para que eles girassem no mesmo sentido. Não fazendo isso, tínhamos uma roda girando para frente e outra para trás.

Os alunos mais uma vez mostraram-se fortemente motivados a participar da atividade proposta e mesmo os alunos que apresentavam os problemas de indisciplina mais sérios realizaram as atividades sem problemas.

A prática permitiu que os alunos vivenciassem um experimento científico de caráter multidisciplinar que envolvesse os conteúdos de Física e a robótica como um elemento novo e motivador. Apesar de o robô ser utilizado para contextualizar conteúdos referentes à Física Moderna (Física do Estado Sólido, Materiais e Dispositivos Semicondutores e Aplicações), ficou claro que ele poderia ser adaptado de forma muito simples para ser utilizado em aulas de Física com temas diferentes, como por exemplo: o circuito poderia ser utilizado em aulas de eletromagnetismo e com uso da ponte H podemos mostrar o efeito da inversão do sentido da corrente na rotação dos motores; o sensor ultrassônico pode ser utilizado para exibir aplicações

tecnológicas da teoria ondulatória e em aulas de dinâmica o carrinho pode ser utilizado para arrastar objetos sobre uma superfície plana ou inclinada e anotarmos o efeito da inclinação sobre o movimento.

Considerações Finais

Os estudos das questões referentes à tecnologia educacional serviram como eixo articulador na relação entre a área da Física e a área pedagógica. A vivência no magistério e as diversas situações do cotidiano escolar como motivação e desafio para pesquisar e produzir um material na forma de sequência didática que pudesse inserir temas como estruturas cristalinas, condução elétrica em materiais semicondutores, explorando conceitos de lacunas e impurezas. Estes conceitos são mostrados junto a suas aplicações tecnológicas em eletrônica e microeletrônica que são utilizados como ponte para uma aula de introdução à Robótica, na qual trabalhamos questões referentes a teoria de controle, sensores e atuadores em aplicações diversas da Robótica. A última aula da sequência didática consistiu em uma prática onde a turma foi dividida em equipes que realizaram a montagem de um pequeno robô explorador utilizando o microcontrolador Arduino.

As atividades práticas da sequência didática foram planejadas a partir da teoria sociointeracionista de Vygotsky, onde tentamos levar em consideração os conhecimentos prévios as vivências e origem social dos alunos na elaboração da sequência didática.

O conteúdo da sequência didática foi apresentado de forma progressiva e buscando a maior interação possível entre o professor e os alunos sendo que eles tinham liberdade para realizar questionamentos a qualquer momento. A contextualização a partir das aplicações em eletrônica se mostrou bastante eficiente para facilitar a conexão dos alunos com a aula. A aula teórica de robótica também funcionou como esperado como elemento motivador e potencializador de ensino.

O componente prático da sequência didática é baseado na plataforma de prototipagem Arduino, a prática foi pensada em uma perspectiva de proporcionar um kit de baixo custo e que possibilitasse uma variedade de aplicações com materiais que pudessem ser encontrados facilmente, essa foi a razão da escolha desse microcontrolador.

O kit elaborado para a montagem do robô conta com motores e sensores abrindo a possibilidade de outras práticas tanto, em aulas de Física utilizando o sensor ultrassônico e o Arduino para experimentos de aquisição de dados, como em práticas de Robótica e Programação construindo outros modelos robóticos.

Por fim, esperamos que este trabalho contribua para a pesquisa em Ensino de Física e produção de atividades práticas que explorem a produção de materiais didáticos com o objetivo de mesclar aulas de Física com aplicações tecnológicas, como Robótica, Eletrônica e Programação, além da produção de materiais para laboratórios didáticos de baixo custo.

Referências

1. BELAN, Marcos Paulo. O ensino de Física contextualizado ao século XXI. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, nº 4, (2017). Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180611172017000400101&script=sci_abstract&tlng=pt> Acesso em: 20 Nov.2019
2. BRASIL. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. Diário oficial da união, 20 de dezembro de 1996.
3. BRITO, Glaucia da Silva. **Inclusão digital do profissional professor: entendendo o conceito de Tecnologia**. 30º Encontro Anual da ANPOCS, 24 a 28 de outubro de 2006; GT24. Disponível em: <http://anpocs.org/index.php/encontros/pape rs/30-encontro-anual-da-anpocs/gt-26/gt24-14/3475-gbrito-inclusao/file> Acesso em: 10 abril, 2020.
4. BUENO, Natalia de Lima. **O desafio da formação do educador para o ensino fundamental no contexto da educação tecnológica**. Dissertação de Mestrado.PPGTECEFETPR,Curitiba,1999.Disponível em:<https://rioei.org/historico /deloslectores/254lima.pdf> Acesso em:5 de mar. 2019
5. BLUM, Jeremy. **Explorando o Arduino: técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.
6. CALLISTER, J.; WILLIAM, D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**, 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
7. CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado**. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1991.
8. CHIQUITO, ADENISON, JR LANCIOTTI, Francesco. **O Transistor 50 Anos** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 20, nº 4, 1998. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_309.pdf> Acesso em:15 de mai. 2018
- 9 COELHO, Luana. PISONI, Silene Pisoni. **Vygotsky: sua teoria e a influência na educação**. Disponível em:<http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/eped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teorja_e_a_influencia_na_educacao.pdf> Acesso em :12 abr. 2019
- 10 COSTA, Luciano Gonsalves; BARROS, Marcelo Alves. **O ensino da Física no Brasil: problemas e desafios**. XX Congresso Nacional de Educação. EDUCERE.Disponível em:<https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042_8347.pdf> Acesso em:10 mai. 2019
- 11 CUNHA (2006), SILVIO LUIZ SOUZA, **Reflexões Sobre o EAD no Ensino de Física**. Disponível em:< <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n2/a05v28n2.pdf>> Acesso em:20 mar. 2019
- 12 CYSNEIROS. Paulo Gileno. Papert, Seymour M. (1994). **A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática**. Trad. Sandra Costa, do original (1993) The Children's Machine. NY, Basic Books. Consultoria, revisão e

supervisão técnica de Maria Carmen Silveira Barbosa (da Faculdade de Educação da UFRGS). Porto Alegre, Artes Médicas, 210pp. Disponível em: <https://portal.seer.ufba.br/index.php/entreideias/article/view/2971> Acesso em: 13 jan. 2019

- 13 DE AGUIAR, DEYMES SILVA. Robótica educacional com arduino como ferramenta didática para o ensino de física. Guia de atividades. produto educacional do MNPEF polo 56. Disponível em: https://ifce.edu.br/sobral/campus_sobral/cursos/posgraduacoes/mestrado-1/mnpef/arquivos/4-produto-educacional-robotica-educacional-com-arduino-como-ferramenta-didatica.pdf Acesso em: 30 abr. 2019
- 14 D'ABREU, João Vilhete Viegas et al. Uma experiência de implementação de robótica e computação física no Brasil. In: _____. E SILVA, Rodrigo Barbosa, BLISKSTEIN, Paulo (Org.) **Robótica educacional: experiências inovadoras na educação brasileira**. Porto Alegre: PENSO, 2020. Série Tecnologia e inovação na educação brasileira.
- 15 DE OLIVEIRA, Helene Soares. Experiência de baixo custo em cinemática e dinâmica utilizando um carrinho robô arduino no plano. Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), através do Polo do Campus de JiParaná, da Universidade Federal de Rondônia. Disponível em: <http://www.mnpef.unir.br/uploads/79749638/Produtos%20Educativos%20%20turmas%202013%20e%202014/Produto%20Educativo%20Helene%20%20versao%20final.pdf> Acesso em: 25 fev. 2019
- 16 DUMINELLI, Geislana Padeti Ferreira. **Robótica aplicada ao ensino de resistores**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2316/1/roboticaaplicadaaensinoresistores.pdf> Acesso em: 30 set. 2019
- 17 EISBERG, Robert. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Trad. Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Campus, 1979.
- 18 FINO, Carlos Nogueira. Vygotsky e a zona de desenvolvimento proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. In: _____. Revista Portuguesa de Educação, vol. 14, nº 2, pp. 273-291. Disponível em: <https://digituma.uma.pt/handle/10400.13/799> Acesso em: 23 jan. 2019
- 19 FONSECA, Monaliza et. al. O laboratório virtual: Uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, 4503 (2013). Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172013000400014 Acesso em: 14 de mai.
- 20 FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

- 21 GASPAR, Alberto. Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor. Departamento de Física e Química - Faculdade de Engenharia UNESP – Universidade Estadual Paulista, São Paulo: Guaratinguetá. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000155&pid=S1516-7313201200040000800015&lng=pt> Acesso em: 17 out. 2019
- 22 GASPAR, Alberto. Atividades experimentais no ensino de Física: uma visão baseada na teoria de Vygotsky. São Paulo :Editora Livraria da Física 2014.
- 23 RICARDO, Elio Carlos. Problematização e contextualização no ensino de física. In: _____ CARVALHO, Anna Maria Pessoa de [et al]. **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- 24 KITTEL, Charles. **Introdução à Física do estado sólido**. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- 25 MARTINS, Alisson Antonio; GARCIA, Nilson Marcos Dias. Ensino de Física e Novas Tecnologias de Informação e Comunicação: Uma Análise da Produção Recente. Disponível em:<<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0529-1.pdf>> Acesso em: 15 mar. 2019.
- 26 MELLO, Hilton Andrade de. BIASI, Ronaldo Sergio de. Introdução à física dos semicondutores. São Paulo: Edgard Blücher; Brasília, INL, 1975.
- 27 MOREIRA, MARCO ANTONIO. Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- 28 MOREIRA, M. A. GRANDES DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 113, 7ago.2017< <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074> > Acesso em: 30 out. 2019.
- 29 MOREIRA, MARCO ANTONIO. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados São Paulo Vol 32 N°94 2018 Disponível em:<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142018000300073&lng=pt&tlng=pt> Acesso em: 10 set. 2019.
- 30 NETO, Luiz Clementino. **Roteiro de experimentos sobre movimento circular utilizando robótica educacional**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. MNPEF. Disponível em:<<https://ifce.edu.br/sobral/campus-sobral/cursos/posgraduacoes/mestrado-1/mnpef/arquivos/4-produto-educacional-robotica-educacional-com-arduino-como-ferramenta-didatica.pdf>> Acesso em: 05 mar. 2018.
- 31 NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica**. 3 Mecânica. 5 ed. Rio de Janeiro: Blucher, 2013.
- 32 NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica**. 4 Eletromagnetismo. 5

- ed. Rio de Janeiro: Blucher, 2013.
- 33 Oliveira, I. S., Jesus, V. L. B, **Introdução à Física do Estado Sólido**. ed. Livraria da Física (2011)
- 34 PARAMETROS CURRICULARES NACIONAIS PARA O ENSINO MEDIO. Brasil: Ministério da Educação/SEM, 1999.
- 35 PLATT, Charles. **Eletrônica para Makers**: um manual prático para o novo entusiasta de eletrônica. São Paulo: Novatec, 2016.
- 36 RABELO, Ana Paula Stoppa. **Robótica educacional no ensino de física**. Universidade Federal de Goiás Regional Catalão. Disponível em: <<https://files.cercomp.ufg.br/web/up/607/o/AnaPaulaProduto.pdf> > Acesso em:
- 37 REGO, Teresa Cristina. Vygotsky: **Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 23.ed. Petrópolis: RJ, Vozes, 2012 (Educação e conhecimento)
- 38 R. Resnick, D. Halliday: **Fundamentos de Física**, v.4, 10ª ed., Livros Técnicos e Científicos Editora 2016.
- 39 RUSSELL, Stuart, NORVING, Peter. **Inteligência artificial**: Tradução da segunda edição. Tradução de Publicar e Consultoria. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- 40 SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino da Física. In: _____ CARVALHO, Anna Maria Pessoa de [et al]. **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. – (Coleção Ideias em Ação).
- 41 SILVA, Alzira Ferreira da. **Roboeduc**: uma metodologia de aprendizado com robótica educacional. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRN. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp115615.pdf>> Acesso em: 23 mar. 2019.
- 41 SILVA, Adriano Fonseca. **Uma proposta de sequência didática para o ensino da cinemática através da robótica educacional**. Dissertação de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás Regional Catalão. (2015) Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/web/up/607/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Adrino_Fonseca_Silva.pdf Acesso em: 13 mai. 2019.
- 42 SWART, Jacobus. W. **Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas**. CCS e FEECUNICAM. 2000. Disponível em: <https://www.ccs.unicamp.br/cursos/ee941/download/cap01.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2020.
- 43 TAVARES, MARCOS FABRÍCIO CAMPOS. **Criação e aplicação de uma sequência didática utilizando robótica educacional e gamificação**

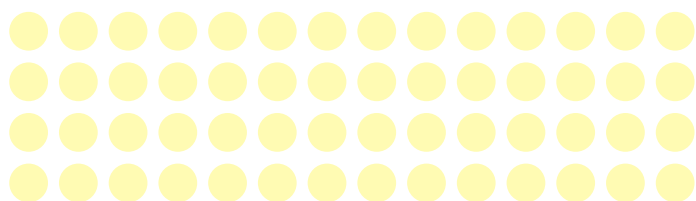
empregando o KIT EV3 LEG. Mestrado Profissional em Educação Física. (2019)Disponívelem:<<https://www.unifalmg.edu.br/mnpef/system/files/imce/Produto%20Marcos%20Fabricio.pdf>> Acesso em:16 nov.2019.

44 VYGOTSKY, L.S. **A construção do pensamento e da linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 228-9.

45 VYGOTSKI,L.S. **A formação social da mente:** o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Org. Michael Cirle. [et.al]: trad. José Capola Netto, Luís Silveira Menna Barreto, Solange Castro Afeche. 6.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998. (Psicologia e Pedagogia).

**A UTILIZAÇÃO DA ROBÓTICA EDUCACIONAL COMO FERRAMENTA
POTENCIALIZADORA PARA O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM
FÍSICA**

Produto Educacional

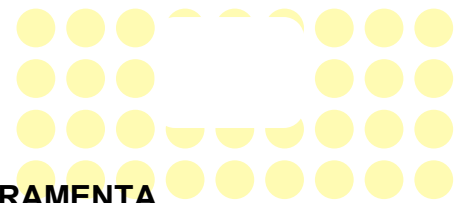


RO
BO
TI
CA

GEORDANY MELO CORREA COELHO

Araguaína, TO
2020





**A UTILIZAÇÃO DA ROBÓTICA EDUCACIONAL COMO FERRAMENTA
POTENCIALIZADORA PARA O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM
FÍSICA**

GEORDANY MELO CORREA COELHO

PRODUTO EDUCACIONAL

Produto Educacional desenvolvido como parte do Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física, Pólo UFT Araguaína. Orientadora: Liliana Yolanda Ancalla Dávila

Araguaína, TO

2020

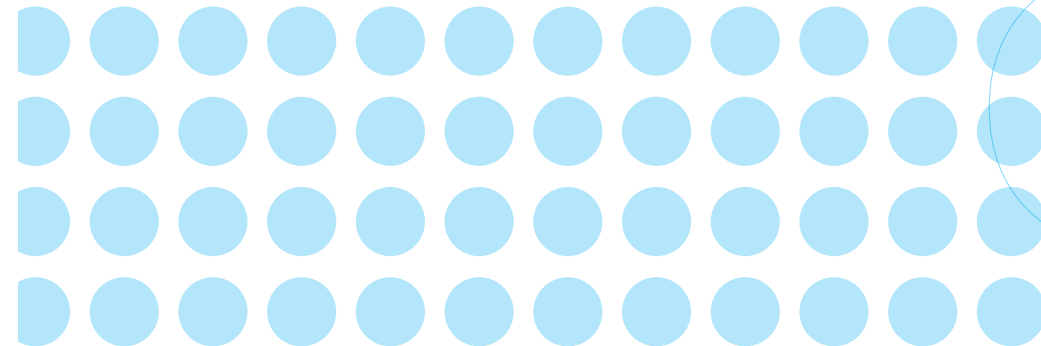


SUMÁRIO



APRESENTAÇÃO	4
INTRODUÇÃO	5
AULA 1: Física do Estado Sólido	6
AULA 2: Bandas de Energia Semicondutores e Aplicações	10
AULA 3: Introdução à Robótica	17
AULA 4: Montagem do Robô Explorador	27
REFERÊNCIAS	32

RO
BO
TI
CA



LISTA DE FIGURAS



Figura 1: Estruturas cristalinas CCC, CFC e HC	6
Figura 2: Célula unitária e estrutura cristalina do cristal de NaCl	7
Figura 3: Diferentes tipos de metais	8
Figura 4: Esquema de uma lâmpada fluorescente onde temos um fluido condutor. 8	
Figura 5: Exemplos de materiais condutores.	9
Figura 6: Representação de bandas	10
Figura 7: Estrutura de silício puro.....	11
Figura 8: Silício dopado com fósforo	11
Figura 9: Silício dopado com Boro	12
Figura 10: Circuito com diodos PN e NP	13
Figura 11: Exemplo de diodos.....	13
Figura 12: Diferentes modelos de transistor.....	13
Figura 13: Circuito integrado	14
Figura 14: Robôs realizando solda em montadora e robô utilizado	17
Figura 15: Braço robô na ISS	17
Figura 16: Carro autônomo do Google.....	18
Figura 17: Robô Curiosity NASA.....	18
Figura 18: Veículo aéreo não tripulado de uso militar	18
Figura 19: Robôs humanoides da <i>Boston Dynamics</i>	19
Figura 20: Duas versões do Robô Spotmine da <i>Boston Dynamics</i>	19
Figura 21: Sensor Piezoelétrico e Sensor Térmico para Arduino	20
Figura 22: Sensor Ultrassônico	20
Figura 23: Braço Robótico realizando movimento complexo.....	21
Figura 24: Servo motor tipicamente utilizado em atividades de robótica educacional 22	
Figura 25: Exemplo de motor de passo.....	22
Figura 26: Motor de corrente contínua com caixa de redução e a direita temos uma ponte h (circuito de potencia) utilizado para o controle da polaridade do circuito.	23
Figura 27: Exemplos de Garras Robóticas (pinça mecânica).....	23
Figura 28: Braços robóticos com pinça mecânica e com garra de sucção.....	23
Figura 29: Arduino uno.....	25

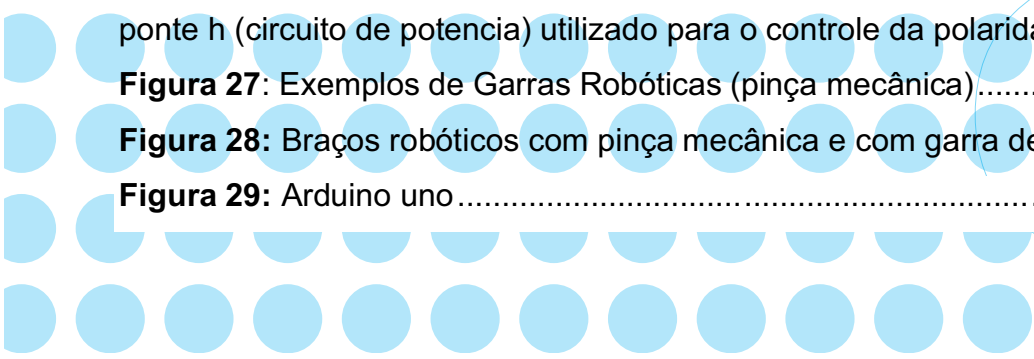
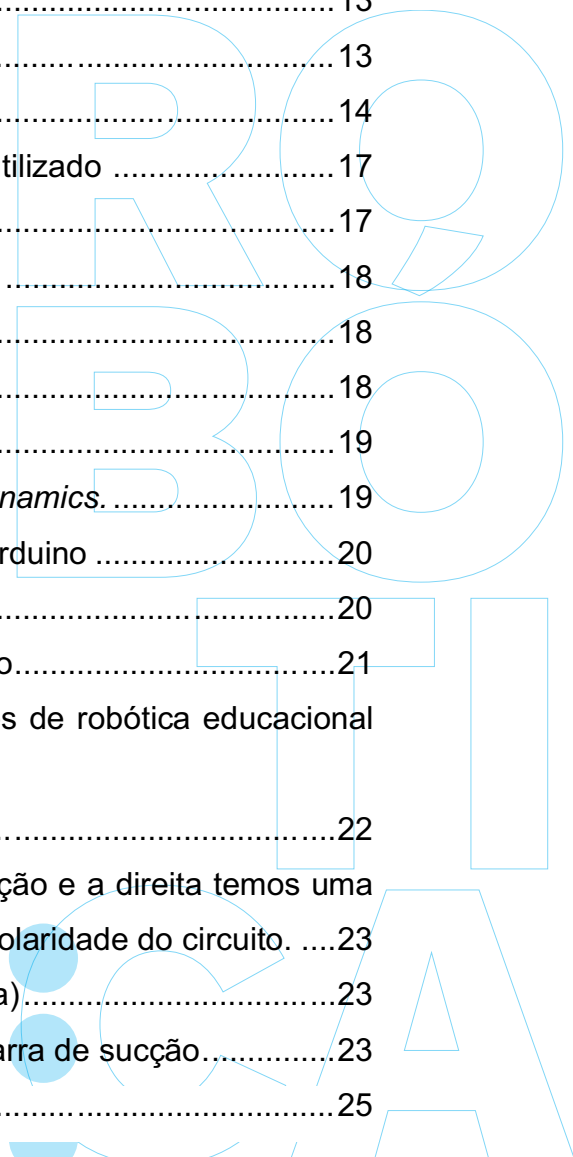
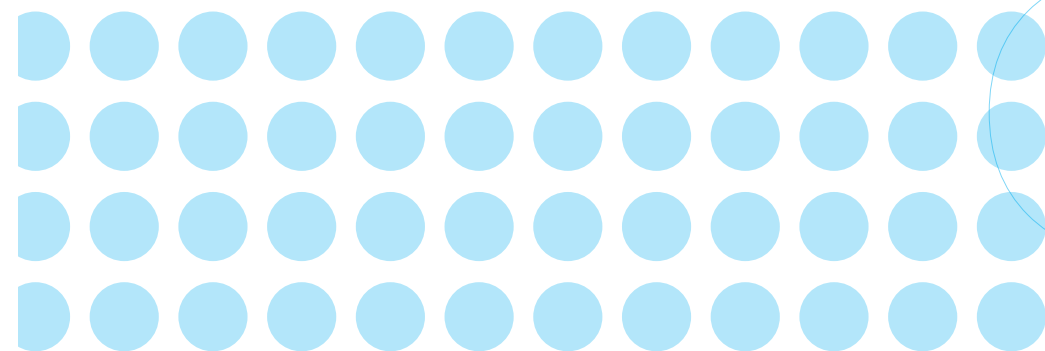




Figura 30: IDE do Arduino.....	26
Figura 31: Programa Pisca <i>LED</i>	30
Figura 32: Circuito do robô	34
Figura 33: Placa de MDF.....	34
Figura 34: Motores de corrente continua.....	35
Figura 35: Motores com rodas presos ao <i>MDF</i>	35
Figura 36: Roda Dianteira presa ao <i>MDF</i>	36
Figura 37: Fios ligados ao Arduino uno.....	37
Figura 38: Fios ligados à ponte H.....	37
Figura 39: Conexão Arduino ponte H.....	38
Figura 40: Sensor ultrassônico.....	38
Figura 41: Sensor ultrassônico preso ao suporte plástico.....	39
Figura 42: Conexão sensor, Arduino e ponte H.....	39
Figura 43: Robô montado.....	40
Figura 44: Arduino ligado ao computador via <i>USB</i>	40
Figura 45: Declaração de funções de variáveis do programa.....	41
Figura 46: <i>Setup</i> do programa.....	42
Figura 47: No <i>Loop</i> do programa temos o trecho do programa é repetido continuamente.....	43

ROBÔ
BOTI
CA



APRESENTAÇÃO

Este produto tem como objetivo, apresentar uma proposta de ensino de Física através de uma sequência didática onde as teorias sejam apresentadas junto com os avanços tecnológicos permitidos por esta ciência, bem como uma atividade experimental capaz de interligar os diferentes temas de Física com tecnologias contemporâneas.

As aulas dessa sequência estão organizadas em quatro encontros, no entanto é possível adequar para períodos mais longos ou até mais curtos dependendo das necessidades do professor e dos alunos:

Aula 1: Introdução a Física do estado sólido.

Aula 2: Bandas semicondutores e aplicações.

Aula 3: Introdução a Robótica.

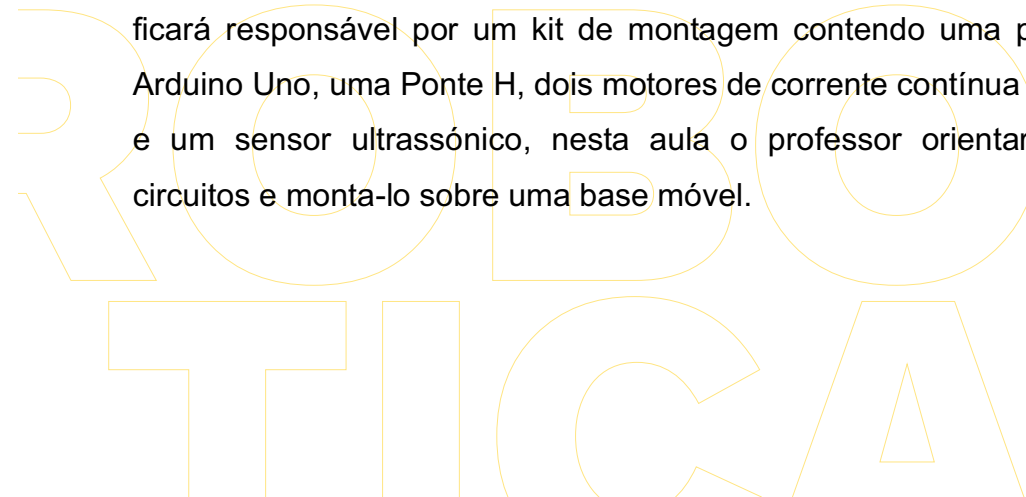
Aula 4: Montagem do Robô.

Esta sequência didática começa trabalhando a Física do Estado sólido. São tratados os seguintes temas: estruturas cristalinas, células unitárias e condução de eletricidade nos sólidos segundo o modelo dos elétrons livres.

Na aula 2, trabalhamos o modelo das bandas de condução, discutimos a dopagem de materiais semicondutores e as aplicações derivadas desses materiais.

Na aula 3, temos uma leve introdução à robótica onde é feito um histórico mostrando as origens dessa ciência, seus usos na indústria, pesquisa científica e militar e as promessas dessa área do conhecimento no futuro

A aula 4, consiste em uma aula prática de Física e Robótica, onde os alunos divididos em equipes e sob a orientação do professor, farão a montagem de um robô explorador. A turma será previamente dividida em equipes de 5 alunos, cada grupo ficará responsável por um kit de montagem contendo uma placa de prototipagem Arduino Uno, uma Ponte H, dois motores de corrente contínua com caixa de redução e um sensor ultrassônico, nesta aula o professor orientará como conectar os circuitos e monta-lo sobre uma base móvel.



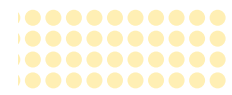
INTRODUÇÃO

A relação entre Física e tecnologia sempre foi muito próxima e são vários os exemplos que podem ser citados como: ainda durante a antiguidade o matemático Arquimedes (288-212) já construía suas “engenhocas” com base em princípios mecânicos descobertos por ele mesmo, os estudos de ótica levaram as lentes corretivas e aos telescópios e sem a termodinâmica que demonstram as relações entre calor e trabalho não teríamos os motores de combustão e nem ao menos teríamos passado pela revolução industrial, pois as máquinas a vapor eram construídas a partir dos avanços permitidos pela termodinâmica.

As descobertas no campo da eletricidade levaram a avanços tecnológicos em todas as áreas da atividade humana, dentre os muitos físicos com contribuições importantes podemos destacar: os físicos Michael Faraday (1791-1867) com a descoberta do fenômeno de indução eletromagnética que teria como grande aplicação o motor elétrico de indução, Simon Ohm (1789-1854) e o efeito da resistência que é usado para controlar a passagem de corrente dentro de circuitos, Nicola Tesla (1856-1943) e os estudos das correntes alternadas que levaram a transmissão de eletricidade a longas distancias e James Clark Maxwell (1831-1879) que estabeleceu a equivalência entre a luz e as outras ondas eletromagnéticas que viriam a permitir o desenvolvimento das comunicações sem fio .

O efeito termiônico foi descoberto ainda no século XIX pelo engenheiro Thomas Edson (1847-1931), essa descoberta permitiu que o desenvolvimento das válvulas termiônicas as quais até a primeira metade do século XX foram à base dos aparelhos eletrônicos. Apesar de em algumas aplicações persistir o uso das válvulas, hoje elas são consideradas tecnologia ultrapassada e a eletrônica e a microeletrônica tem como base os componentes desenvolvidos a partir de materiais semicondutores.

A Física teve grande importância na mudança do paradigma do uso das válvulas para o dos semicondutores. Teorias como a Mecânica Quântica e a Física do Estado Sólido lançaram luz sobre a estrutura da matéria e permitiram uma nova e melhor compreensão de como ocorre a condução de eletricidade nos sólidos, levando a descobertas e pesquisas com semicondutores como o silício o qual levou



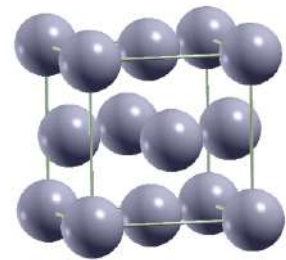
ao desenvolvimento de componentes importantíssimos como o transistor responsável por uma revolução tecnológica sem precedentes.

Considerando o exposto, fica clara a necessidade de praticar um ensino de Física mais conectado com os avanços tecnológicos. Os jovens estudantes do século XXI devem conhecer as teorias e as aplicações por elas permitidas para uma melhor compreensão e impacto do papel da ciência em nossa sociedade. A teoria, conceitos da tecnologia e aplicação, serão expostas na forma de uma sequência didática, levando em consideração a teoria de Vygotsky.

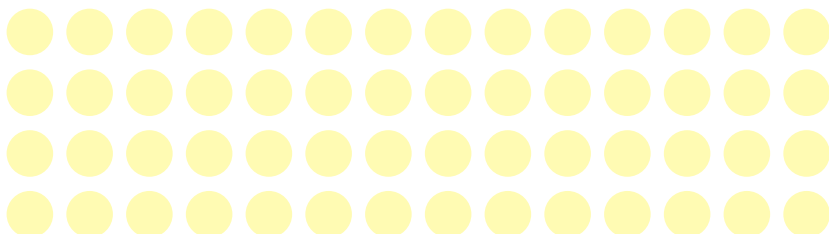
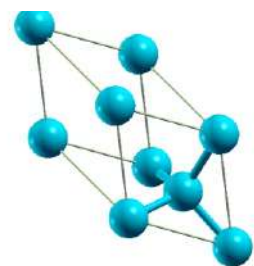
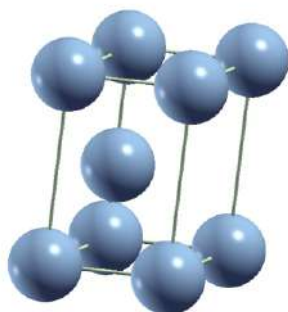
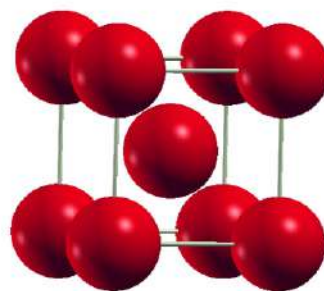
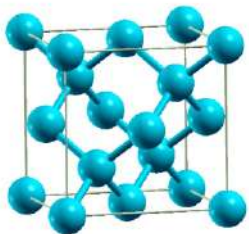
ROBÓ TICA



AULA 1



Física do Estado Sólido



AULA 1: Física do Estado Sólido

Orientações ao Professor

Tempo Estimado	Temas Trabalhados	Objetivos
100 minutos	<ul style="list-style-type: none"> Estruturas cristalinas e células unitárias Condução Elétrica: Modelo dos elétrons livres 	<p>Conhecer os conceitos de estrutura cristalina e células unitárias.</p> <p>Compreender a teoria da condução baseada no modelo dos elétrons livres.</p>

Sólidos e Estrutura Cristalina

Temos um sólido cristalino quando os átomos estão dispostos em uma estrutura periódica e tridimensional que se repete ou é periódica. Podemos dizer que em um cristalino existe ordem de longo alcance e quando ocorre um processo de solidificação os átomos se posicionam em um padrão tridimensional.

Todos os metais e algumas cerâmicas apresentam estruturas cristalinas, a compreensão desses agrupamentos de átomos é importante, pois permite entender as propriedades físicas e químicas dos materiais e a partir delas podemos criar diferentes aplicações para os materiais.

As redes cristalinas podem ser subdivididas em unidades menores, pequenos agrupamentos atômicos que formam o que conhecemos como células unitárias. A figura 1 mostra os três tipos de células unitárias mais comuns, que são: cúbica de face centrada (CFC), cúbica de corpo centrado (CCC) e hexagonal compacta (HC).

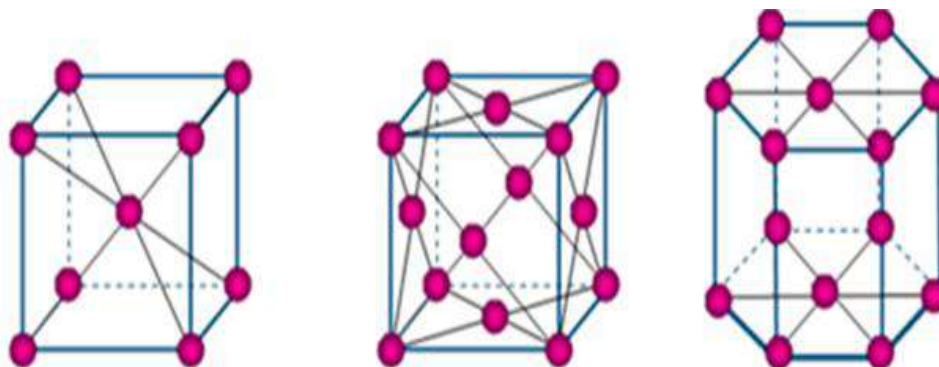


Figura1: Estruturas cristalinas CCC, CFC e HC.

Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/ligacoes-metalicas-as-propriedades>.

Células Unitárias

As redes cristalinas podem ser subdivididas em unidades menores, pequenos agrupamentos atômicos que formam o que conhecemos como células unitárias. A figura 2 mostra uma célula unitária CFC, essa estrutura pode representar um cristal de NaCl, as esferas azuis são os íons que formam o cristal.

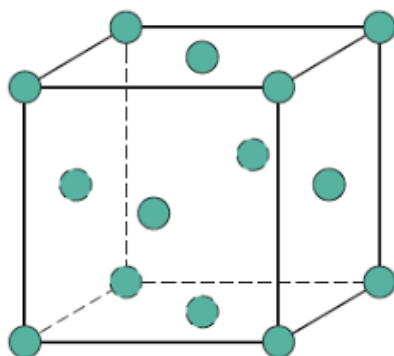


Figura 2: Célula unitária e estrutura cristalina do cristal de NaCl,
Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/cloreto-sodio.htm>

A célula unitária representa uma estrutura básica dentro da estrutura cristalina e define a estrutura com base em sua geometria e das posições atômicas em seu interior. Uma estrutura cristalina pode ser representada por mais de um tipo de célula unitária, no entanto, em geral se escolhe a célula com mais alto grau de simetria.

Propriedades Elétricas dos Sólidos:

Os materiais sólidos podem ser classificados do ponto de vista elétrico com base em sua resistividade elétrica ρ , que no SI tem como unidade de medida o Ohm-metro. Medindo a resistividade de diferentes materiais em temperatura ambiente podemos dividi-los em três categoriais diferentes: isolantes, condutores e semicondutores. A condução elétrica nos sólidos pode ser explicada do ponto de vista clássico a partir do modelo dos elétrons livres.

Modelo dos Elétrons Livres:

A condução de eletricidade pode ser explicada a partir do modelo dos elétrons livres ou nuvem eletrônica: Nos materiais considerados bons condutores como a

grafita e os metais em geral podemos encontrar um grande número de elétrons com elevada mobilidade formando o que chamamos de nuvem eletrônica, estes pertencem a última camada do átomo, logo a força de ligação entre eles e o núcleo é mais fraca e quando o sólido é submetido a uma diferença de potencial (ddp), estes portadores de carga entram facilmente em movimento ordenado originando uma corrente elétrica. A figura 3 mostra diferentes tipos de condutores metálicos.



Figura 3: Diferentes tipos de metais

Fonte: <https://www.galvaminas.com.br/blog/metal-5-tipos-presentes-em-objetos-de-uso-cotidiano>

Materiais como os metais e grafites são considerados condutores de primeira ordem, pois nestes os portadores de carga são os elétrons livres descritos acima. Já as correntes elétricas que ocorrem em fluidos líquidos são causadas por íons positivos e negativos que entram em movimento ordenado quando o fluido é submetido a uma ddp, assim classificamos os fluidos líquidos como condutores de segunda espécie. Nos fluidos gasosos como nas lâmpadas fluorescentes, figura 4, os portadores de carga podem ser tanto íons positivos e negativos como elétrons, estes fluidos são chamados de condutores de terceira classe.

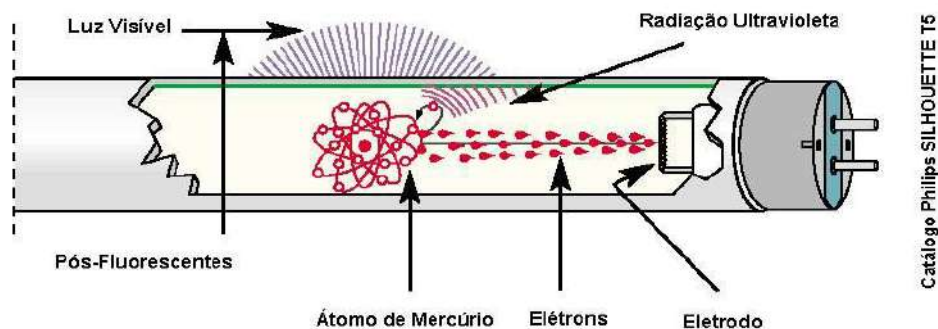
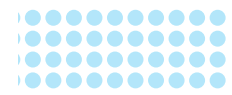


Figura 4: Esquema de uma lâmpada fluorescente onde temos um fluido condutor.

Fonte: <http://principo.org/pontificia-universidade-catlica-do-rio-grande-do-sul-departamen.html?page=4>



Os materiais considerados isolantes não apresentam essa nuvem eletrônica pois seus elétrons da última camada estão ligados fortemente ao núcleo garantindo assim pouca mobilidade. Exemplos de isolantes são: o plástico comum, borracha e madeira figura 5 mostra alguns objetos feitos com materiais isolantes.



Figura 5:Exemplos de materiais isolantes.

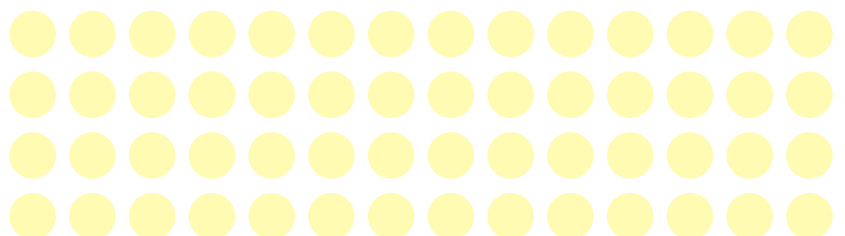
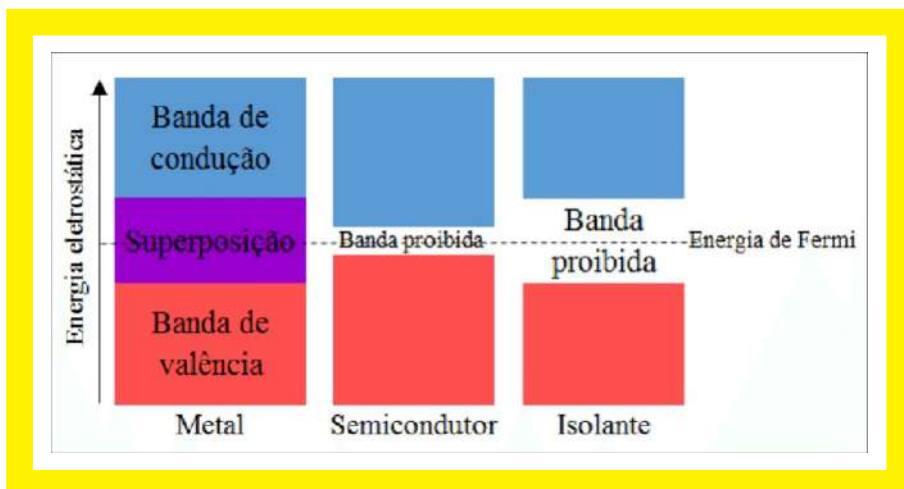
Fonte:<https://www.mecanicaindustrial.com.br/materiais-isolantes-utilizados-em-engenharia-eletrica>

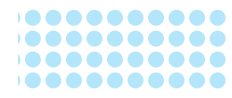
ROBÓ
TICA



AULA 2

Bandas de Energia Semicondutores e Aplicações





AULA 2: Bandas de Energia Semicondutores e Aplicações

Orientações ao Professor

Tempo Estimado	Temas Trabalhados	Objetivos
100 minutos	<ul style="list-style-type: none">• Bandas de energia• Semicondutores e aplicações tecnológicas	<p>Conhecer o modelo de bandas de energia.</p> <p>Compreender a dopagem de semicondutores e suas aplicações em eletrônica.</p>

Bandas de Energia

A Física moderna explica as propriedades elétricas dos corpos a partir do modelo das bandas de energia, quando os átomos estão próximos como em uma rede cristalina não tratamos mais de átomos individuais, ao invés disso tratamos com sistemas atômicos. Considerando uma rede com N átomos e cada nível se desdobram em $2N$ níveis de energia logo esses níveis formam uma banda de energia. As bandas de energia são separadas por bandas proibidas os quais são níveis de energia que nenhum elétron pode ocupar. As propriedades elétricas de um material sólido são consequência de sua estrutura de bandas eletrônicas a condutividade elétrica de um material é função da largura da banda proibida. Dependendo das características dessa banda um sólido pode ser classificado como: condutor, isolante ou semicondutor. A figura 6 é uma representação da estrutura de bandas para os três tipos de materiais possíveis isolantes, condutores e semicondutores.

ROBÓ TICA



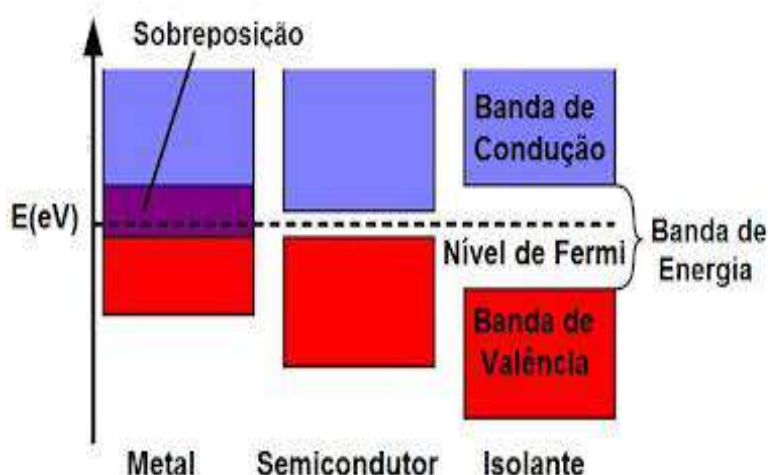


Figura 6: Representação de Bandas de Energia.

Fonte: <https://sites.google.com/site/lablafea/celulas-solares>

Semicondutores

Semicondutores são sólidos com condutividade elétrica intermediária entre isolantes e condutores. A distância entre a banda de valência (última banda ocupada) e a banda de condução (nível mais baixo da primeira banda) é bem menor que nos isolantes, logo uma agitação se a energia cinética dos elétrons sofrer uma variação há uma probabilidade alta de o elétron passar da banda de valência para a banda de condução.

Semicondutores Dopados

O processo de dopagem permite que átomos (impurezas) sejam acrescentados a estrutura de um cristal semicondutor, e assim é possível variar sua resistividade tornando o condutor no nível que for desejado. Os semicondutores dopados podem ser divididos nos tipos N ou P.

Semicondutores tipo N e P

Em um cristal de silício puro, cada átomo está ligado a outros quatro átomos vizinhos. Os elétrons dessa ligação ocupam a banda de valência desse material. A figura 7 é uma representação dessa ligação.

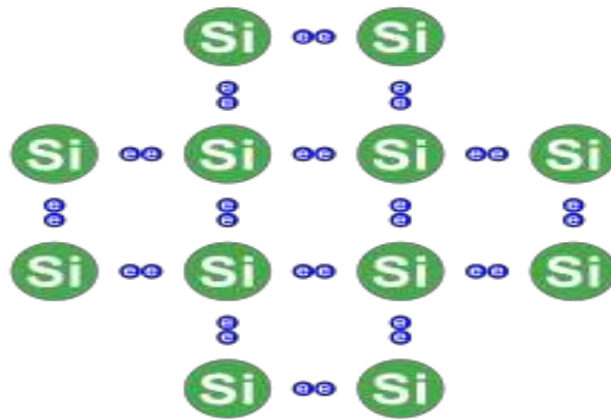


Figura 7: Estrutura de silício Puro. Os átomos de silício são as bolinhas verdes e os pontos azuis representam as ligações entre átomos.

Fonte: <http://www.eletronpi.com.br/ce-024-semicondutor.aspx>

A substituição (dopagem) de um átomo de fósforo por um átomo de silício que possui valência 5, deixando um elétron “sobrando” e este passa a se comportar como um elétron livre na superfície de um metal pois este está fracamente ligado a rede cristalina. Os elétrons das ligações entre átomos de silício pertencem à banda de valência e quando um desses elétrons está livre para se mover ao longo do material, dizemos que ele passou da banda de valência para a banda de condução. Os semicondutores dopados com átomos doadores de elétrons são chamados de semicondutores do tipo N de negativos porque os portadores de carga são elétrons e estes apresentam cargas negativas, um cristal de silício dopado com fósforo é mostrado na figura 8.

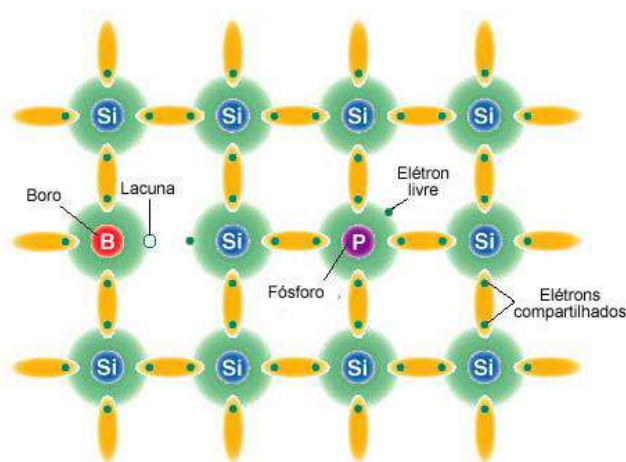


Figura 8: Cristal de Silício dopado com átomos de Boro e Fosforo.

Fonte: <http://eletronicaled.blogspot.com/2015/03/introducao-para-entendercomo-os-diodos.html>

A figura 8 também mostra um cristal de silício dopado com boro que apresenta valência igual a 3. Com essa substituição fica faltando um elétron em uma ligação levando a criação de um buraco na banda de valência. O buraco pode ser preenchido por um elétron de outra ligação vizinha, fazendo com que o buraco se desloque no sentido contrário ao do movimento dos elétrons, comportando-se como uma partícula carregada com carga positiva, por isso esse semicondutor é chamado de semicondutor P de positivo.

Dispositivos Semicondutores

Diodo NP /PN

O diodo é o componente mais simples da eletrônica e é formado pela junção de um semicondutor tipo P e outro do tipo N. Se uma bateria for ligada a um cristal NP de forma que o contato do polo positivo desta bateria com o lado N e o do polo negativo com o lado P, essa ligação impede a passagem de corrente, a junção NP se comporta como um material de alta resistência. Porém, invertendo a polaridade a corrente passará facilmente pelo cristal NP. A figura 9 mostra a representação de um diodo semicondutor e na figura 10 temos exemplos de diodos.

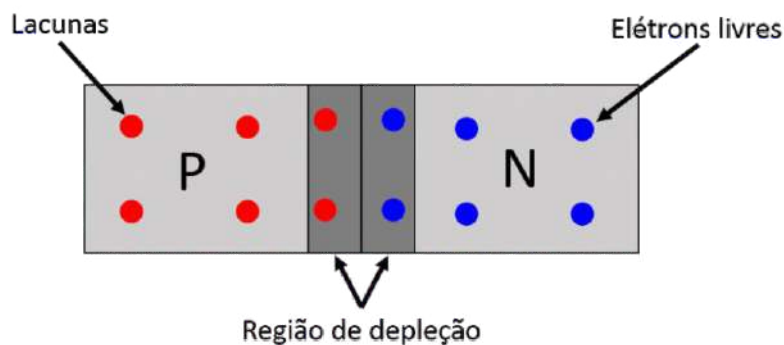


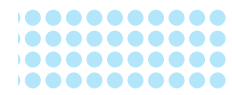
Figura 9: Diodo NP Mostrando as Lacunas e Elétrons Livres.

Fonte: <http://www.vandertronic.com/index.php/diodos/?print=print>



Figura 10: Exemplo de diodos

Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/diodo-de-silicio-ou-germanio/>



Transistor

O transistor é considerado por muitos o principal componente da eletrônica moderna ele é formado por um cristal semiconductor formado a partir da junção de semicondutores NPN ou PNP e pode ser utilizado para produzir e amplificar sinais e também em operações de chaveamento. Dentre os tipos de transistores os mais utilizados são os bipolares e os de efeito de campo, a figura 11 mostra alguns exemplos de transistores.



Figura 11: Diferentes modelos de transistor

Fonte: <https://www.indiamart.com/proddetail/electronic-transistors-4263638173.html>

Circuito Integrado

A teoria dos circuitos integrados remonta os anos 20, porém os primeiros circuitos integrados foram desenvolvidos nos anos 50 e na década 70 eles passaram a ser comercializados e difundidos no meio industrial graças a avanços permitidos por pesquisadores do Vale do Silício. Um circuito integrado é formado por milhares de componentes como diodos, transistor, resistores e capacitores todos fabricados juntos sobre uma pastilha semicondutora de silício. Esses circuitos costumam ser chamados de chip. A figura 12 mostra um circuito integrado.

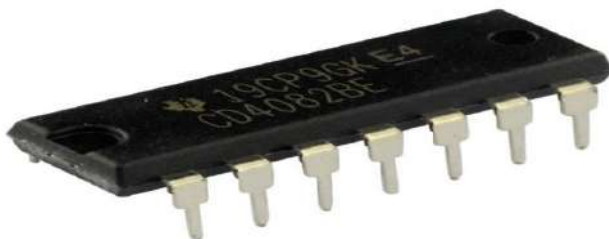
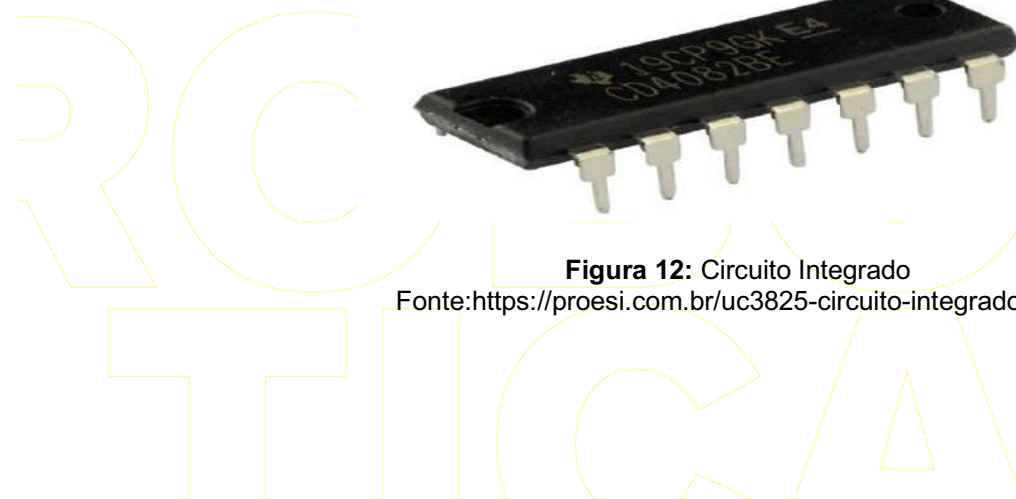


Figura 12: Circuito Integrado

Fonte: <https://proesi.com.br/uc3825-circuito-integrado.html>



Os circuitos integrados foram responsáveis por uma grande revolução na eletrônica, dando origem a microeletrônica permitindo passarmos dos circuitos a válvulas aos pequenos e complexos microchips. Os avanços em eletrônica derivados dos semicondutores nos deram os microcomputadores e mudaram a sociedade de forma irreversível, alterando as relações pessoais e de trabalho e conduzindo a novas formas de comunicação.

As principais vantagens no uso dos circuitos integrados são:

- Circuitos menores e leves;
- Maior densidade de componentes;
- Dissipar energia em forma de calor.

Questões para avaliação 1:

- 1) Explique o que é um sólido cristalino?
- 2) Explique o que é uma célula unitária?
- 3) Quais os tipos de estruturas cristalinas?
- 4) Do ponto de vista elétrico como os materiais podem ser divididos?
- 5) Como a teoria das bandas de energia explica a condução da eletricidade nos sólidos?
- 6) Do ponto de vista tecnológico qual a importância dos semicondutores?
- 7) O que são semicondutores dopados?
- 8) O que é e qual a importância de um diodo?
- 9) O que é um transistor?
- 10) O que é um circuito integrado?

AULA 3: Introdução a Robótica

Orientações ao Professor

Tempo Estimado	Temas Trabalhados	Objetivos
100 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Conceituar Robótica • Tipos de Robôs • Sensores e Atuadores 	<p>Conhecer a robótica e suas aplicações para além do senso comum.</p> <p>Compreender a relação da Física com a robótica.</p>

Introdução A Robótica

Os robôs já estão no imaginário popular há bastante tempo e a ficção científica contribuiu imensamente para sua popularidade. Temos diversos exemplos como os livros de Isaac Asimov que já na década de 1950 assustavam e encantavam com um mundo povoado por robôs que se voltavam contra nós, com a possibilidade da humanidade ser subjugada pelos robôs. Essa ideia foi reexplorada por Hollywood diversas vezes e vimos o apocalipse das máquinas ocorrerem de formas diferentes em Matriz e o Exterminador do Futuro. Nem todos os robôs da ficção querem nos matar, muitos são até adoráveis como o pequeno Wall-E deixado na terra para organizar as montanhas de lixo produzidas pelos humanos, os mais velhos vão se lembrar de Rosy, a empregada robô de “Os Jetsons” um modelo ultrapassado que jamais seria trocado, pois já era parte da família.

A palavra robô é derivada do termo robota e surge ainda na segunda década do século XX na peça teatral do escrito Tcheco Karel Capek, neste conto homens artificiais foram criados para substituir os homens no trabalho, é curioso que já nesta primeira aparição os robôs se voltaram contra a raça humana e acabaram por destruir seus criadores. Em 1926 no filme Metrópoles os robôs passaram a ser representados como seres mecânicos ao invés de biológicos.

Durante a Segunda Guerra Mundial nos Estados Unidos o chamado projeto Manhattan tinha o objetivo de construir uma arma nuclear, uma das dificuldades enfrentadas pelos cientistas e engenheiros envolvidos no projeto era manipular os materiais radioativos, essa dificuldade foi superada com a invenção do primeiro robô telemanipulado que consistia em um braço robótico, operado a distância por um

controle semelhante a um *joystick*. A pós 2ª guerra mundial muitos países passaram a investir em energia nuclear e os braços robóticos controlados a distância foram largamente difundidos, e não demorou para outros ramos da atividade econômica passarem a fazer uso dos robôs em muitas atividades diferentes. Os robôs podem ser classificados em três categorias básicas: manipuladores, veículos não tripulados e os humanoides.

Manipuladores

Os robôs manipuladores ou braços robóticos são o tipo mais comum de robô industrial e estimasse em torno de um milhão em atividade ao redor do mundo em diferentes atividades produtivas. Em geral os robôs manipuladores estão fixos ao seu local de trabalho e apresentam um conjunto de articulações controláveis permitindo que se realizem uma série de movimentos. Os braços robóticos costumam ser utilizados para realizar tarefas que são perigosas aos seres humanos como as atividades de solda da indústria automobilística ou na indústria nuclear. A figura 13 mostra robôs em operação na indústria automotiva.



Figura 13: Robôs realizando solda em montadora e robô utilizado

Fonte: <http://tpnews.com.br/2015/10/producao-de-veiculos-cai-421-em-setembro-informa-anfavea/>

Os braços robóticos também são muito utilizados em trabalhos científicos para a manipulação de substâncias perigosas e até em operações no espaço como os acoplados a Estação Espacial Internacional (ISS) como mostrado na figura 14.



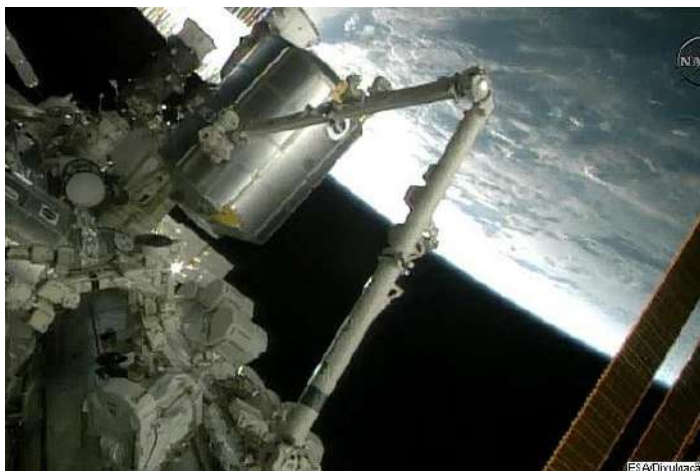


Figura 14: Braço robô na ISS

Fonte: <https://astronomianaitaa.blogspot.com/2011/03/braco-robotico-anexa-modulo-do.html>

Robô Móvel

Robôs móveis podem se deslocar pelo ambiente utilizando rodas, esteiras ou pernas e suas aplicações incluem ser utilizados para entregas em supermercados e hospitais ou para mover cargas de grande peso. Exemplos importantes de robôs móveis são os veículos terrestres não tripulados que são veículos que podem ser controlados remotamente ou podem ser autônomos sendo controlados por inteligência artificial. A figura 15 mostra o protótipo de carro autônomo do Google.



Figura 15: Carro autônomo do Google

Fonte: <https://olhardigital.com.br/carros-e-tecnologia/noticia/carro-autonomo-do-google-ja-tem-mais-de-300-anos-de-experiencia-em-direcao/62800>

Outro exemplo de robô móvel e autônomo é o Curiosity que foi enviado a Marte, como é mostrado na figura 16.





Figura 16: RobôCuriosity NASA

Fonte:<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/11/1/nasa-se-prepara-para-lancar-robot-curiosity-marte.html>

Existem também os veículos aéreos não tripulados muito conhecidos pelo uso militar como o mostrado na figura 17.



Figura 17: Veículo aéreo não tripulado de uso militar

Fonte:<https://canaltech.com.br/seguranca/Robos-voadores-conheca-um-pouco-sobre-a-tecnologia-dos-drones-militares/>

Robôs Humanoides

Os robôs humanoides estão no imaginário coletivo das pessoas e são muitos os representantes dessa categoria que podemos encontrar no cinema e na TV, como o R2D2 de Guerra nas Estrelas ou os androides de Transformes. Esses robôs tem uma aparência que imita o corpo humano, atualmente os pesquisadores passaram a utilizar o corpo humano como inspiração e isso possibilitou avanços em design permitindo a criação de robôs mais ágeis e capazes de realizar movimentos mais complexos. Na figura 18 temos imagens do robô Atlas, fabricado pela Boston Dynamics que é uma divisão do Google.



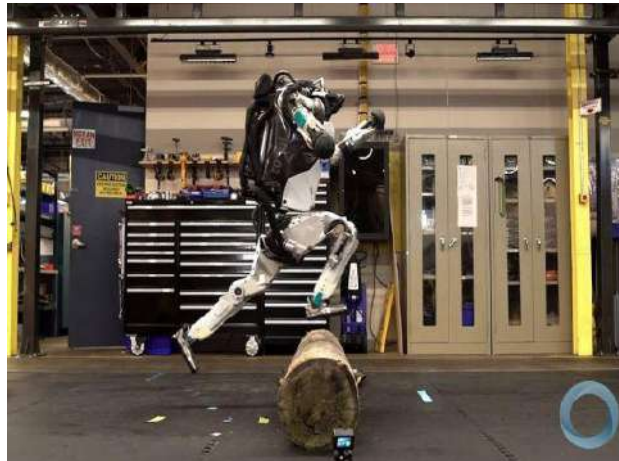


Figura 18: Robôs humanoides da Boston Dynamics
 Fonte: <https://aventar.eu/2018/10/12/robot-atlas-a-fazer-parkour/>

Atualmente robôs também estão sendo construídos imitando animais buscando maior versatilidade de movimentos.



Figura 19: Duas versões do Robô Spotmine da Boston Dynamics.
 Fonte: <https://www.engadget.com/2017/11/13/spot-mini-four-legged-boston-dynamics-robot/>

Sensores na Robótica

Sensores são utilizados para os robôs perceberem o ambiente, eles podem ser divididos em sensores passivos e sensores ativos. Sensores passivos captam a informação do ambiente e envia ao robô, as figuras 20A e 20B mostram os sensores de temperatura e um sensor piezoelétrico respectivamente, que são exemplos de sensores passivos.



Figura 20: 20A Sensor Piezoelétrico e 20B Sensor Térmico para Arduino
 Fonte: <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-como-utilizar-o-piezo-element-com-arduino>

Os Sensores ativos mandam energia para o ambiente e interpretam as informações quando essa energia é refletida e volta para o sensor, estes sensores fornecem mais informações porém apresentam maior risco de interferência quando muitos sensores desse tipo são utilizados ao mesmo tempo. O item A da figura 22 mostra um sensor tipicamente usado em experimentos de robótica educativa, são os sensores ultrassônicos que utilizam a reflexão de sons na faixa do ultrassom para medir distâncias, o item B da figura 21 mostra o funcionamento deste sensor: o ultrassom é emitido atinge um obstáculo e é refletido e captado pelo receptor. Através da medida do tempo entre a onda emitida e a onda refletida, e de posse do valor da velocidade do som, o software consegue determinar a distância entre o objeto e o sensor.

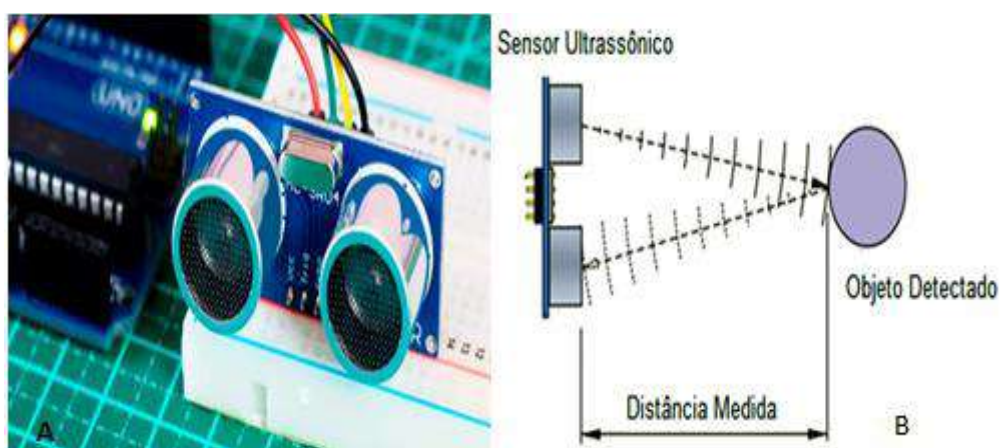


Figura 21: A Sensor Ultrassônico e B Diagrama mostrando Reflexão do Ultrassom

Fonte: <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-como-utilizar-o-piezo-element-com-arduino>

Existem robôs que podem captar os sinais transmitidos pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS- Global Positioning System), e podem se orientar em terra ou no ar a partir da triangulação das informações de vários satélites.

Os robôs podem ser informados de seu próprio estado através dos chamados sensores proprioceptivo. Os Robôs móveis frequentemente são equipados com decodificadores de eixos que contam ao número de revoluções dos motores, esta contagem pode ser usada para medir a distância percorrida por um robô.

Para robôs que manipulam objetos frágeis ou com forma e posição exatas indefinidas, utilizam os sensores de torque e sensores de força. Para um braço mecânico de toneladas seria muito fácil quebrar um objeto de vidro por exemplo. Os

sensores de força permitem ao robô perceber a dificuldade em agarrar o objeto e dosar a força necessária que se deve aplicar ao objeto e os sensores de torque permitem medir a dificuldade em girar esse objeto. A figura 22 mostra um conjunto desses sensores utilizados para que um braço robótico execute um movimento complexo.



Figura 22: Braço Robótico realizando movimento complexo

Fonte: <https://veja.abril.com.br/ciencia/paralisada-ha-15-anos-mulher-consegue-beber-cafe-usando-braco-mecanico-controlado-pela-mente/>

Atuadores e Efetadores

Os sensores são utilizados para que o robô perceba o ambiente, já os atuadores permitem que se atue sobre o ambiente, por interagir podemos exemplificar as ações de: andar e manipular objetos, para que um robô realize essas tarefas ele deve ser equipado com motores elétricos.

Os três principais tipos de motores elétricos encontrados em robôs são: servo motores, motores de corrente e motores de passo. A figura 23 mostra um servo motor, este tipo de motor é utilizado para realizar o controle fino de determinadas partes moveis do robô como em garras do tipo pinça, estes motores são dotados de mecanismos de controle que permitem o ajuste do ângulo desejado do eixo do motor.

ROBÔ TICA





Figura 23: Servo motor tipicamente utilizado em atividades de robótica educacional
Fonte: <https://www.vidadesilicio.com.br/quickview/index/view/id/50>

Motores de passo (figura 24) apresentam alta precisão de seus giros e são encontrados em diferentes equipamentos onde essa precisão é requerida como em cabeçotes de impressoras, na robótica móvel seu uso é menos difundido devido a seu alto custo.



Figura 24: Exemplo de motor de passo
Fonte: <https://www.seeedstudio.com/Small-Size-and-High-Torque-Stepper-Motor-24BYJ48-p-1922.html>

Os motores de corrente contínua (figura 26A) geralmente são utilizados para permitir os deslocamentos do robô, são encontrados tanto em motores de roda como nos de esteiras. Uma característica importante desses motores é o fato deles serem capazes de girar nos dois sentidos apenas invertendo a polaridade do circuito. No entanto para que isso seja possível é necessário utilizarmos um hardware específico como uma Ponte H (figura 26B) que além de controlar o sentido da rotação também o controle da velocidade dos motores através dos pinos que usam a modulação por largura de pulso (PWM). As figuras 26A e 26B temos exemplos de motores de corrente contínua e uma Ponte H respectivamente.





Figura 26: (26A) Motor de corrente contínua com caixa de redução. (26B) Ponte H (circuito de potência) utilizado para o controle da polaridade do circuito.

Fonte: <https://abcrobotica.pt/produto/motor-dc-3-6v-caixa-reducao-eixo-duplo/>

Os efetadores são o componente que promove a interação entre a extremidade terminal do manipulador e o objeto a ser trabalhado, entre os efetadores mais simples estão às garras robóticas que podem ser de vários tipos: pinças mecânicas como mostrada na figura 26, para pegar objetos rígidos, êmbolos magnéticos para agarrar objetos metálicos ou ainda pinças de sucção (figura 27) para pegar objetos delicados.



Figura 26: Exemplos de Garras Robóticas (pinça mecânica)

Fonte: portuguese.alibaba.com/product-detail/mechanical-arm-hand-robot-clamp-claw-gripper-w-servo-controller-for-car-robotics-diy-assembled-60540848127.htm

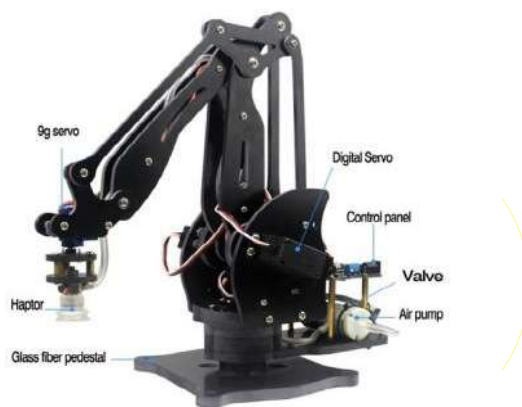


Figura 27: Braços robóticos com pinçamecânica e com garra de sucção.

Fonte: <https://pt.dhgate.com/product/3dof-industrial-robotic-arm-manipulator-robot/420320666.html>

Controle Robótico

Um sistema robótico pode apresentar diferentes sistemas de controle, os mais comuns são o controle reativo que consiste em uma interação entre sensores e atuadores. Esse é o modelo de controle mais simples e se baseia em um laço entre o sensor e os motores e obedece ao seguinte algoritmo:

- i) Leitura dos sensores;
- ii) Processamento das informações obtidas;
- iii) Movimento dos atuadores baseado no processamento da leitura do sensor.

Em um sistema reativo as ações tomadas pelo robô levam em conta apenas as leituras imediatas do sensor e o histórico das leituras são irrelevantes para o robô. Os sistemas de controle reativo são tipicamente utilizados para desviar de obstáculos e em robôs seguidores de linha.

O controle deliberativo é baseado em um prévio planejamento das ações a partir do conhecimento dos movimentos que o robô deve tomar para resolver um determinado problema. O controle deliberativo assume a existência de um processo de tomada de decisão. A arquitetura de controle deliberativa costuma apresentar maiores exigências computacionais mais complexas de ser implementadas. Arquiteturas de controle deliberativo costumam planejar o movimento de robô baseado em um mapa do ambiente.

Microcontrolador Arduino

O controle robótico é feito através de um conjunto de hardware e software. As informações recebidas através dos sensores são enviadas ao hardware e a partir das regras estabelecidas no software a máquina pode tomar uma decisão que se traduz em uma ação dos atuadores.

Em experimentos de robótica educacional o microcontrolador Arduino é muito utilizado como hardware de controle. A figura 28 mostra em detalhes a versão do Arduino conhecida como Arduino Uno versão 3.

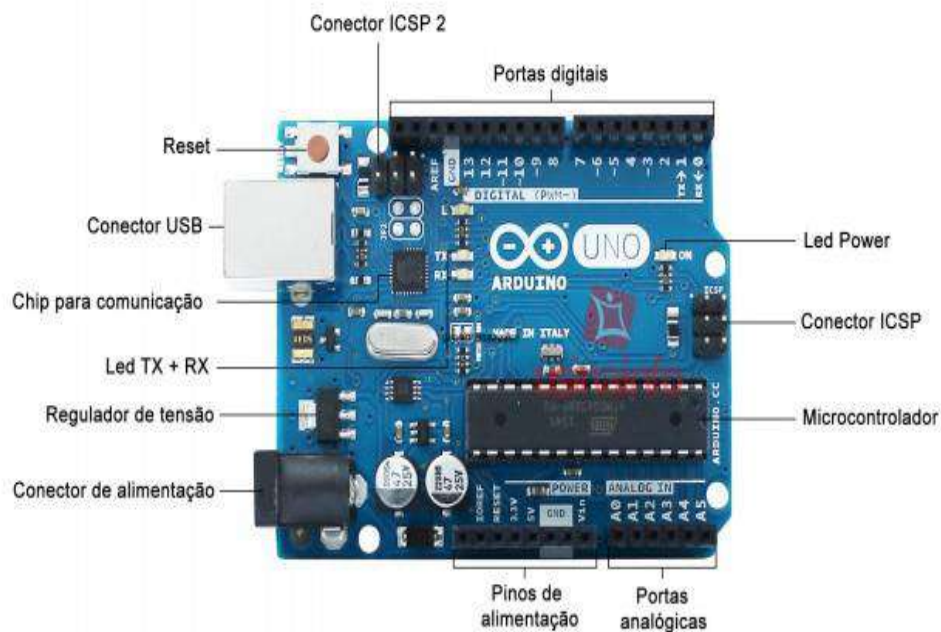


Figura 28:Arduino Uno com estaque para os componentes das placas.

Fonte :<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.html>

A interface de desenvolvimento integrado (IDE) desenvolvida com base em *Java* e *Processing* que consiste no ambiente de programação do Arduino, esta linguagem de programação é um dialeto das linguagens C /C++. Essa IDE pode ser baixada gratuitamente no site oficial do Arduino www.arduino.cc. Escolha a opção download e escolha a versão compatível a seu sistema operacional, figura 29.

ROBÓ TICA





Figura 29: Pagina de Download do Arduino.

Fonte: www.arduino.cc

Após a instalação do programa abra a IDE e vá em ferramentas e selecione a porta e a placa de acordo com sua versão do Arduino.

O programa do Arduino pode ser transferido a placa através de uma conexão USB. Um programa escrito para ser rodado no Arduino é dividido em duas partes: **setup** e **loop**. A figura 30 mostra o ambiente a IDE do Arduino quando o aplicativo é aberto.

A função **setup** é executada apenas uma vez quando o programa começa a rodar, esta função é utilizada para iniciar as variáveis, declarar as bibliotecas e definir os pinos das placas.

Após a ativação da função **setup** a função **loop** entra em funcionamento fazendo com que o bloco de comando que segue a inicialização da função entre em e repetição em quanto o programa estiver sendo executado.

ROBÓTICA



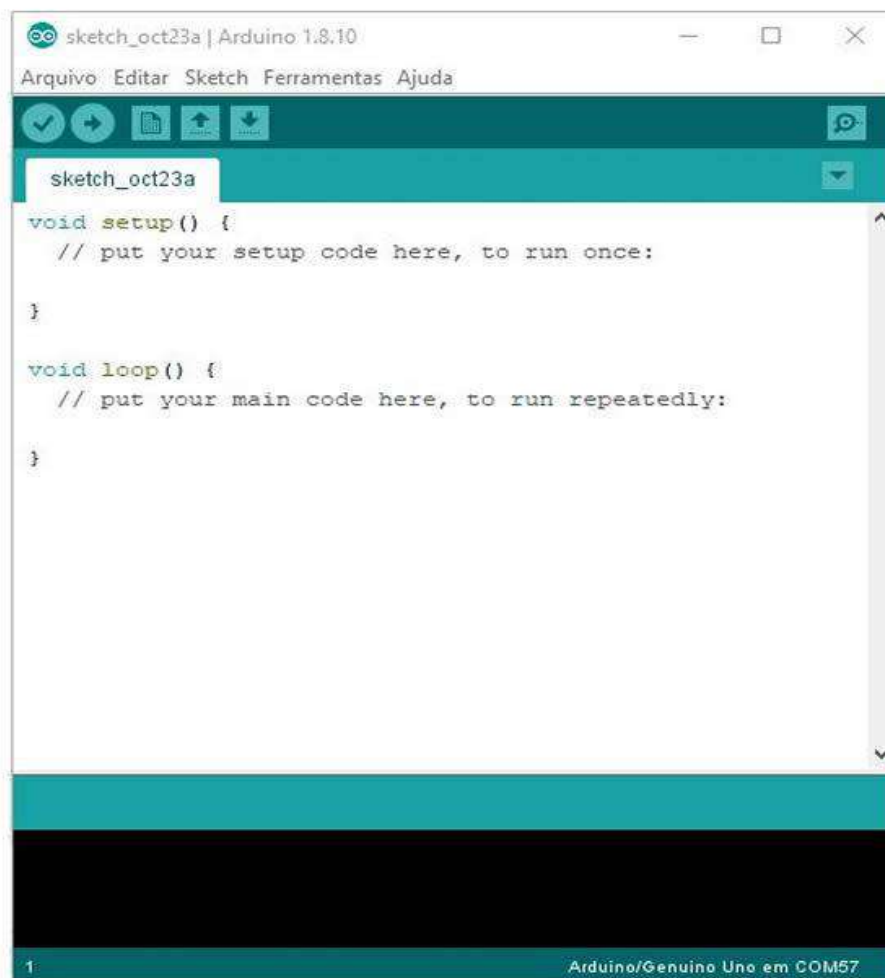


Figura 30: Tela inicial da IDE do Arduino.

Fonte: O Autor

A figura 31 mostra um exemplo de programa escrito na IDE, o programa tem a função de fazer um led piscar. O **setup** contém apenas uma linha de código onde a função **pinMode** é utilizada para configurar o pino 11 como saída de corrente. No loop a função **digitalWrite** usada duas vezes, na primeira para colocar o pino 11 em modo “alto” ou seja recebendo uma tensão de 5v e em nível “baixo” retirando essa tensão. O comando **delay** é utilizado para acender e apagar o led durante 1000 milissegundos.

ROBÓ
TICA





```

teste | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

teste

void setup() {
  //Define a porta do led como saída
  pinMode(11, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Acende o led
  digitalWrite(11, HIGH);

  //Aguarda intervalo de tempo em milissegundos
  delay(1000);

  //Apaga o led
  digitalWrite(11, LOW);

  //Aguarda intervalo de tempo em milissegundos
  delay(1000);
}

```

FIGURA 31:Exemplo de Programa Pisca Led escrito na IDE do Arduino.

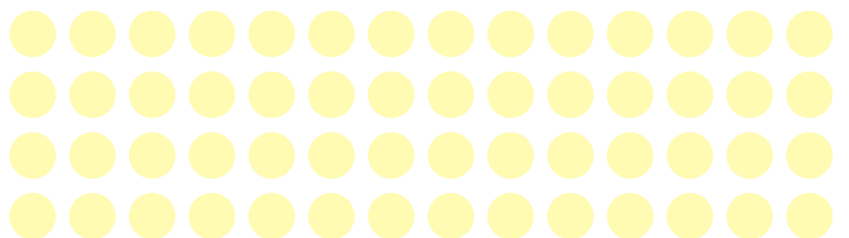
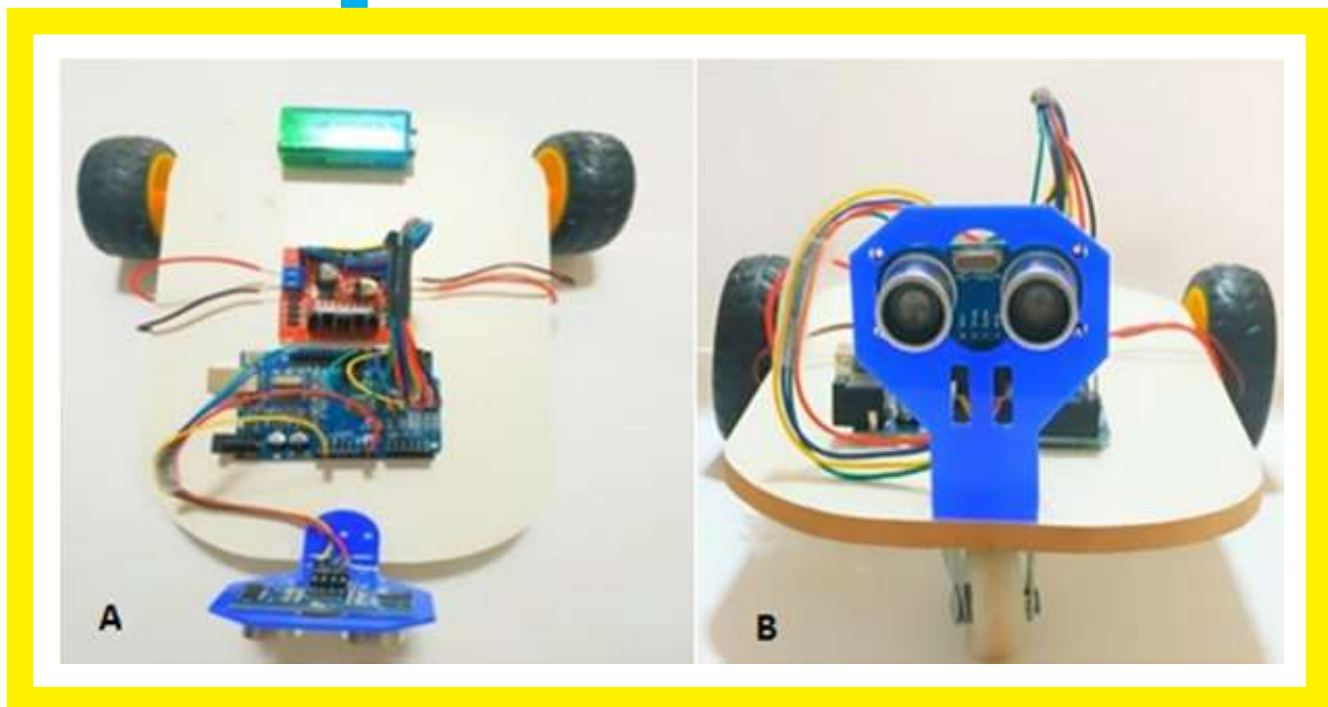
Fonte:O Autor

Avaliação:

- 1) Pesquise sobre o arduino e suas aplicações.
- 2) Como são classificados os robôs?
- 3) Qual a função dos sensores e de exemplos?
- 4) Qual a diferença entre sensores ativos e passivos?
- 5) Qual a função dos efetadores?
- 6) Como podemos relacionar os sensores e os efetadores ?
- 7) Pesquise sobre os robôs utilizados na indústria e quais suas funções?
- 8) Pesquise sobre o matemático Alan Turing e sua importância para a computação.
- 9) Pesquise inteligência artificial e suas aplicações em Robótica.

AULA 4

Montagem do Robô Explorador



AULA 4: Montagem do Robô Explorador

Orientações ao Professor

Tempo Estimado	Temas Trabalhados	Objetivos
150 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino • Reflexão de Ondas • Circuitos elétricos 	Compreender a montagem bem como os princípios físicos envolvidos.

Roteiro da Prática:


A atividade consiste em sob a supervisão do professor montar um robô que desvia de obstáculos.

Os alunos devem ser divididos em equipes de no máximo 5 alunos, cada equipe ocupará uma mesa com um kit contendo componentes e ferramentas necessárias a montagem do robô além de um pequeno manual de instruções.

Os componentes devem ser apresentados à turma com uma breve explanação de suas funções bem como as propriedades físicas.

Cada equipe deve dividir as atribuições entre os integrantes “quem faz o quê?”

Os materiais utilizados na pratica são listados na tabela 1.

ITEM	IMAGEM
<p>Arduino Uno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamanho: 5,3cm x 6,8cm x 1,0cm • Microcontrolador: ATmega328 • Tensão de operação: 5V • Tensão de entrada: 7-12V • Tensão de entrada: 6V-20V • Memória Flash: 32Kb 	

<p>Sensor Ultrassônico HC-SR04.</p> <p>Emite ondas de alta frequência e, a partir do tempo de reflexão, o algoritmo gravado no Arduino pode determinar a distância entre o robô e os objetos a sua volta.</p> <p>Tensão de operação: 5VDC Corrente de operação: 15mA Faixa de detecção (ângulo): $\pm 15^\circ$ Alcance: 2cm a 4m Margem de erro: ± 3mm</p>	 <p>The image shows a blue PCB ultrasonic sensor module. It features two circular transducers (one labeled 'T' for transmit and one labeled 'R' for receive) and a small digital display showing '4.000'. The module has four pins labeled VCC, Trig, Echo, and GND.</p>
<p>Driver Motor Ponte H L298n</p> <p>É um circuito especial que permite realizar a inversão da direção (polaridade) da corrente que flui através de uma carga. É muito utilizada, por exemplo, para controlar a direção de rotação de um motor DC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de Operação: 4~35v • Chip: ST L298N (datasheet) • Controle de 2 motores DC ou 1 motor de passo • Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max • Tensão lógica: 5v • Corrente lógica: 0~36mA • Limites de Temperatura: -20 a +135°C • Potência Máxima: 25W 	 <p>The image shows a red PCB motor driver module. It features a large black heat sink, several electrolytic capacitors, and blue terminal blocks for wire connections. The module is labeled 'L298N'.</p>
<p>Motor Com Caixa de Redução</p> <p>A caixa de redução do motor tem a função de reduzir sua rotação mantendo um elevado torque. As duas rodas traseiras do robô são acopladas cada uma a um motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de alimentação recomendada: 4,5V • Corrente em aberto: 190mA • Corrente com máxima carga: 250mA • Corrente de Stall: 1.2A @ 6V (0.6A @ 3V) • Relação da caixa de redução: 48:1 • Velocidade: 140RPM @ 4,5V sem carga 	 <p>The image shows a yellow motor with a black gear box and a black rubber wheel with a yellow hub. The motor is shown from a side profile.</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Torque: 800 gf.cm 	
<p>Bateria de 9 Volts A bateria foi utilizada como fonte de tensão para alimentar o sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grafite Super Condutivo • Alcalina • Tensão 9V 	
<p>Conexões elétricas Foram utilizados Jumpers do tipo macho fêmea para conectar sensor e ponte h ao arduino.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secção do Fio Condutor: 24 AWG. • Comprimento do fio: 20 centímetros. • Largura do Conector: 2,45 milímetros. 	
<p>Base de MDF Foi utilizado um pedaço de MDF com dimensões iguais a 15cm e 20cm para fixar os motores e usado como base para os outros componentes.</p>	
<p>Roda “Boba” Essa roda é colocada à frente da base de MDF e não está acoplada a nenhum motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro da Roda: 30,8mm • Altura: 40mm • Peso: 33g 	

Tabela 1: Materiais utilizados na construção do robô.
Fonte: O autor



O esquema da figura 32 mostra o circuito do robô onde é possível ver as conexões entre todos os componentes eletrônicos.

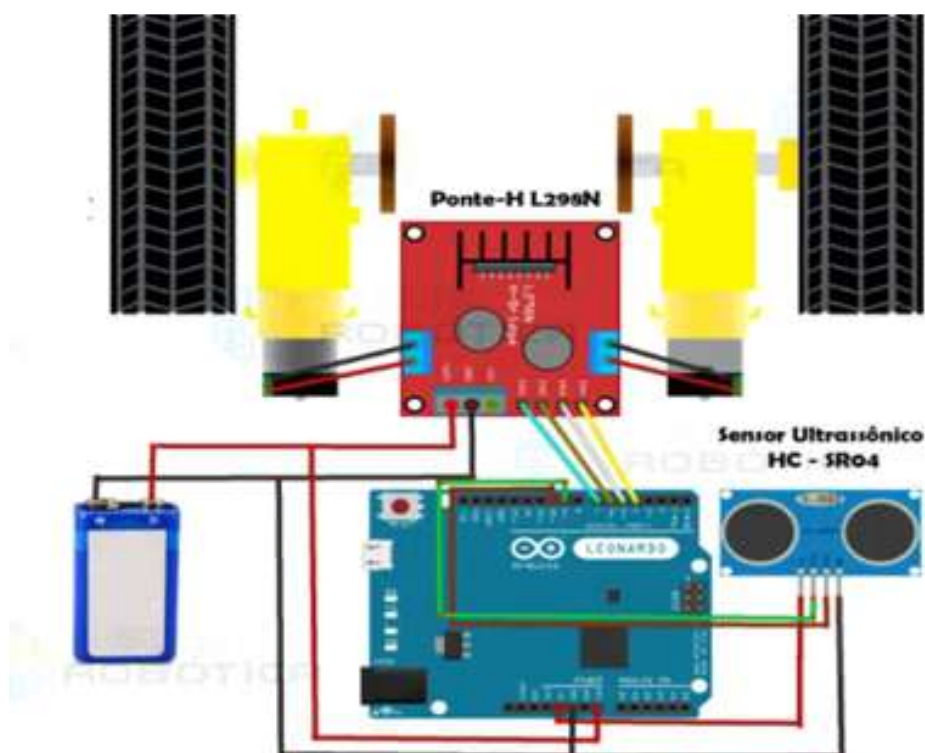


Figura 32: Circuito do robô

Fonte: http://labdegaragem.com/forum/topics/controle-de-pwm-arduino-rob-seguidor-de-linha?xg_source=activity

Parte 1 - Estrutura:

A estrutura será montada sobre uma pequena peça de MDF de dimensões iguaia 15cm e 20cm como mostrada na figura 33.

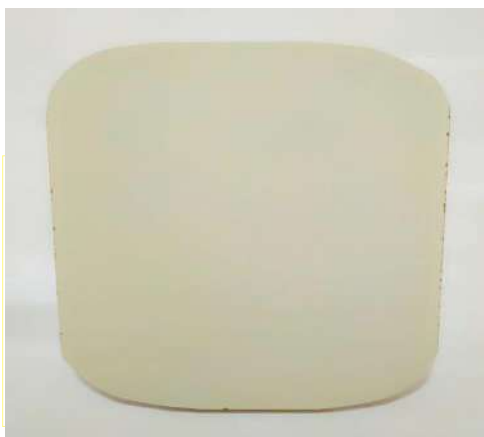


Figura 33: Base de MDF.

Fonte: Proprio Autor

Conecte os fios de cores diferentes aos terminais dos motores, estes fios farão a conexão entre a ponte H e os motores:



Figura 34: Motores de corrente continua
Fonte: próprio autor

Use uma supercola para fixar a base do robô, os motores devem ser fixados nas extremidades laterais e da base:

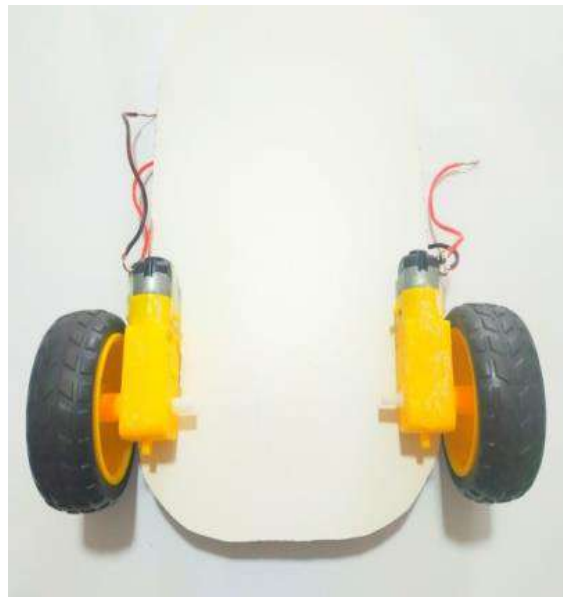


Figura 35: Motores com rodas presos ao mdf
Fonte: próprio autor

Utilizando uma fita transparente fixe a roda frontal a extremidade do carrinho como mostrado na figura 36:



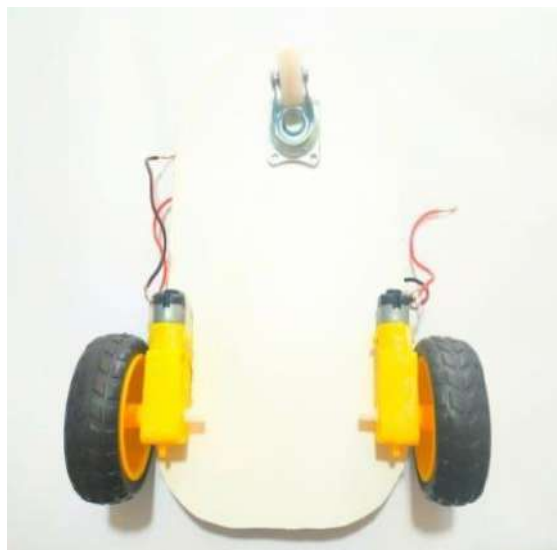


Figura 36: Roda dianteira presa a base de MDF.

Fonte: próprio autor

Parte 2: Conexões Eletrônicas

As conexões entre o Arduino Uno e a ponte H necessitam de 6 cabos macho fêmea sendo interessante usar cabos de cores distintas. A figura 37 mostra as conexões no Arduino. O Arduino decide que movimento realizar através das informações obtidas com os sensores e as regras estabelecidas no programa. A placa envia

- Cabo preto conecta no pino 3,
- Cabo vermelho é conectado ao pino 4,
- Cabo amarelo ao pino 5,
- Cabo azul ao pino 6 o preto ao 7 e
- Cabo verde ao pino 8.

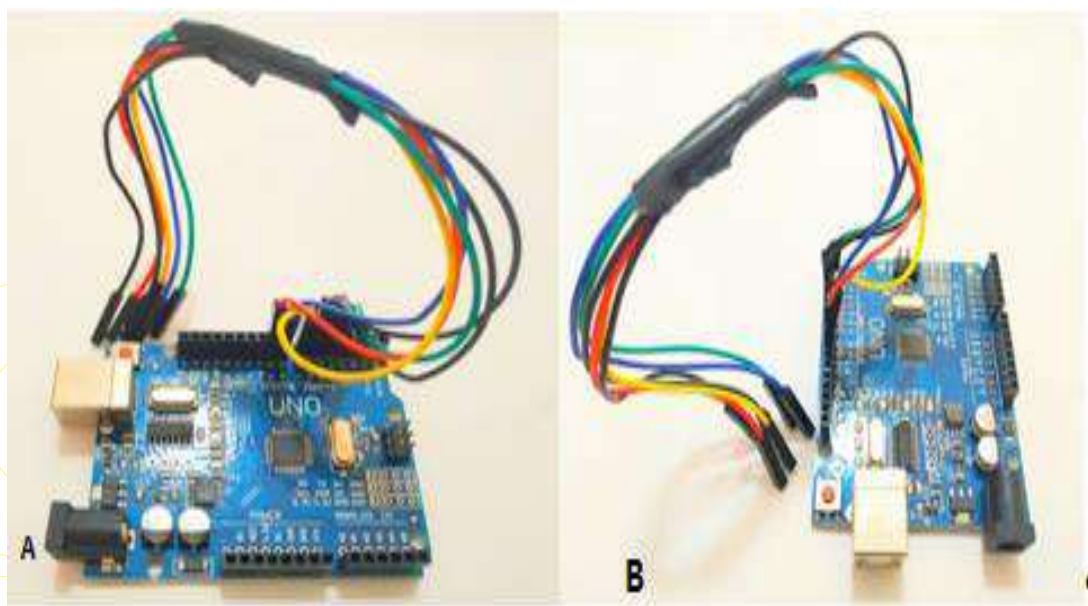


Figura 37: Fios ligados ao Arduino uno

Fonte: próprio autor

As conexões da ponte H são

- Pino Preto ENA,
- Pino Vermelho n1,
- Cabo Amarelo n2,
- Cabo Preto n3,
- Cabo Verde n4,
- Cabo Azul ENB

Essas conexões são mostradas na figura 38.

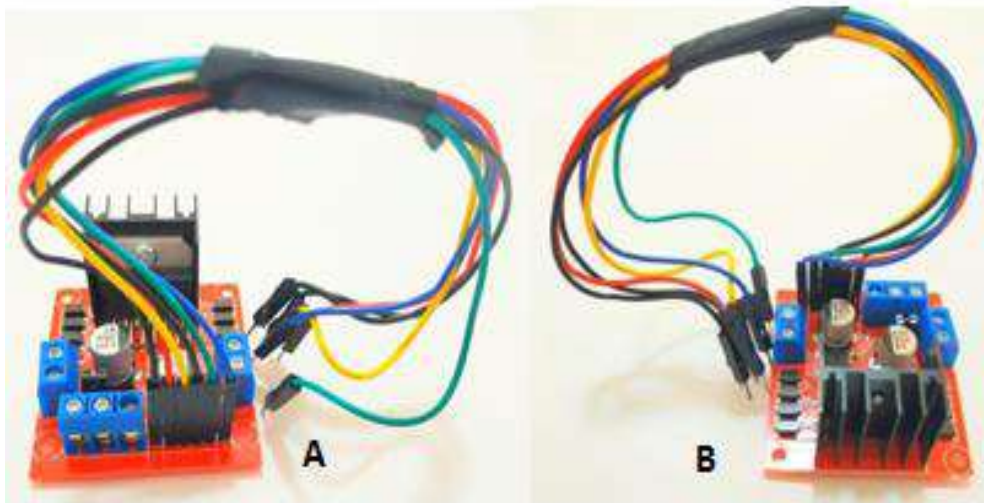


Figura 38: Fios ligados a Ponte H.
Fonte: próprio autor

A figura 39 mostra as conexões entre o arduino e a Ponte h.

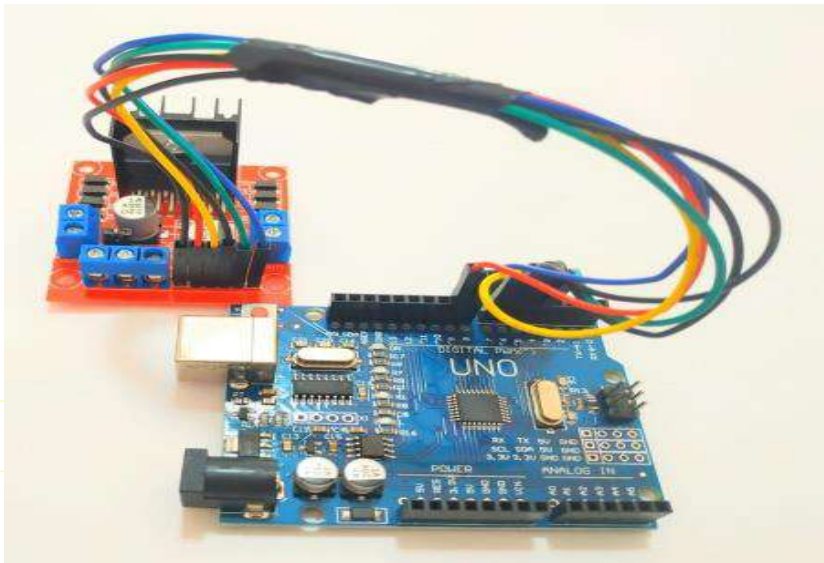


Figura 39: Conexão arduino ponte h
Fonte: próprio autor

O sensor ultrassônico possui quatro entradas GND, VCC, TRIG, ECHO. Para facilitar as conexões também utilizamos cabos de cores diferentes,

- vermelho no GND,
- verde TRIG,
- azul ECHO,
- amarelo VCC.

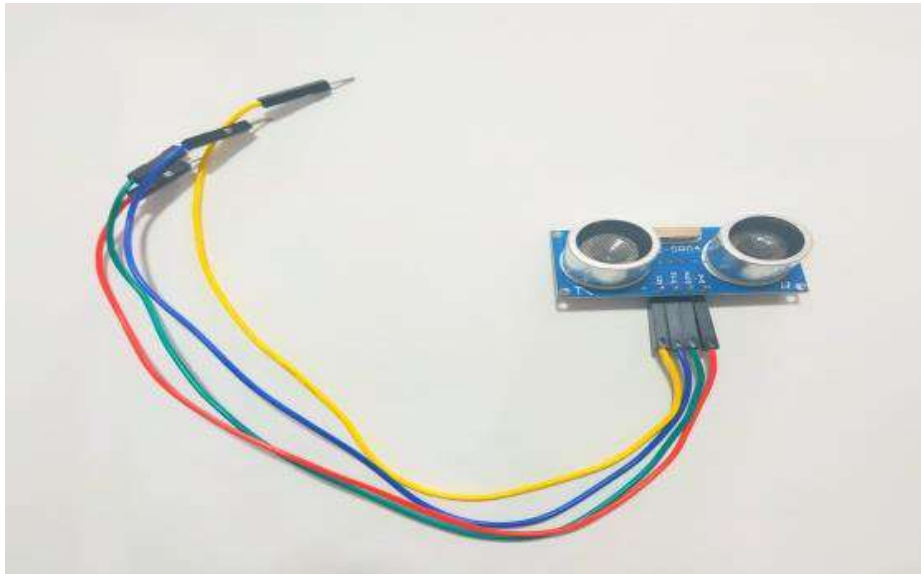


Figura 40: Sensor ultrassônico
Fonte: próprio autor

Fixe o sensor ultrassônico à base de seu suporte. O sensor pode ser preso a base utilizando uma cola ou pequenos fios metálicos:



Figura 41: Sensor ultrassônico preso ao suporte plástico
Fonte: próprio autor



A figura 42 mostra a conexão arduino, Ponte H e sensor ultrassônico, as conexões entre o sensor e o arduino são as seguintes:

- GND do sensor deve ser conectado ao GND do arduino
- VCC do sensor deve ser conectado ao pino de 5v do arduino,
- TRIG deve ser conectado ao pino 8 e o
- ECHO ao pino 9.

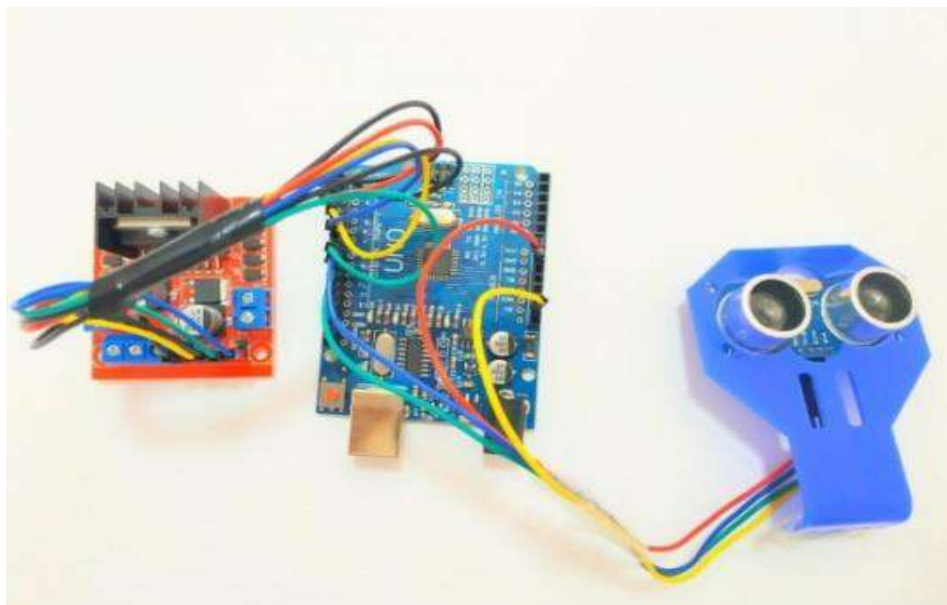


Figura 42: Conexão sensor, Arduino e Ponte H.
Fonte: próprio autor

Com os eletrônicos conectados, coloque-os sobre a estrutura, é interessante prender o Arduino e a Ponte H a superfície da estrutura utilizando uma fita dupla face. A bateria deve ser colocada vertical para otimizar o espaço.



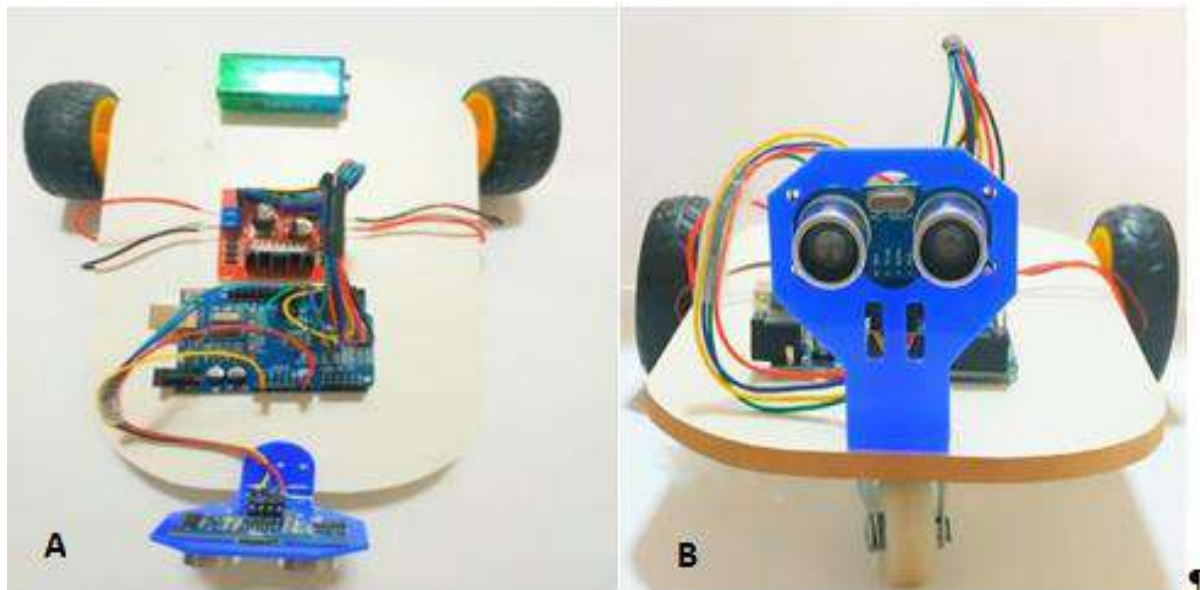


Figura 43: Robô montado 43 A vista superficial e 43 B vista frontal.

Fonte: próprio autor

Parte 3: Programação

O programa utilizado para controle do robô e produzido na IDE específica do Arduino pode ser transferido à placa através de uma conexão USB como a mostrada na figura 44:

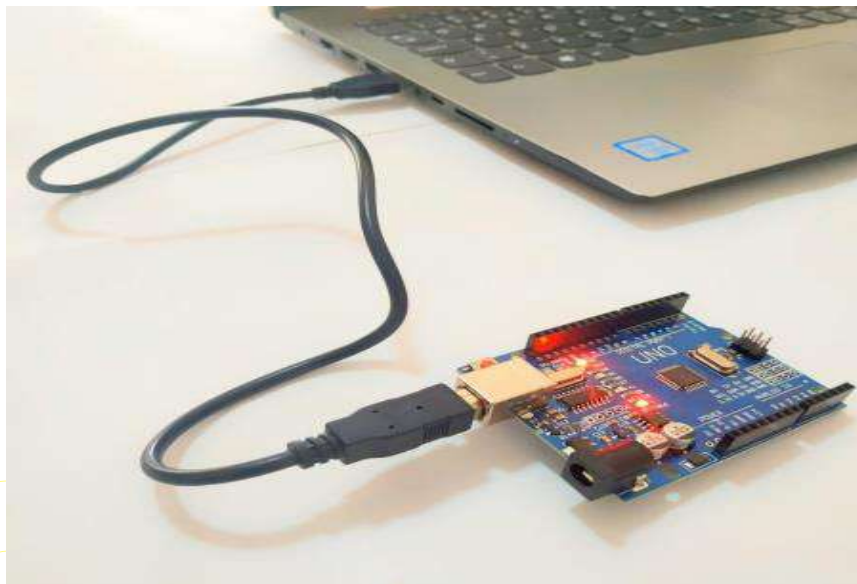
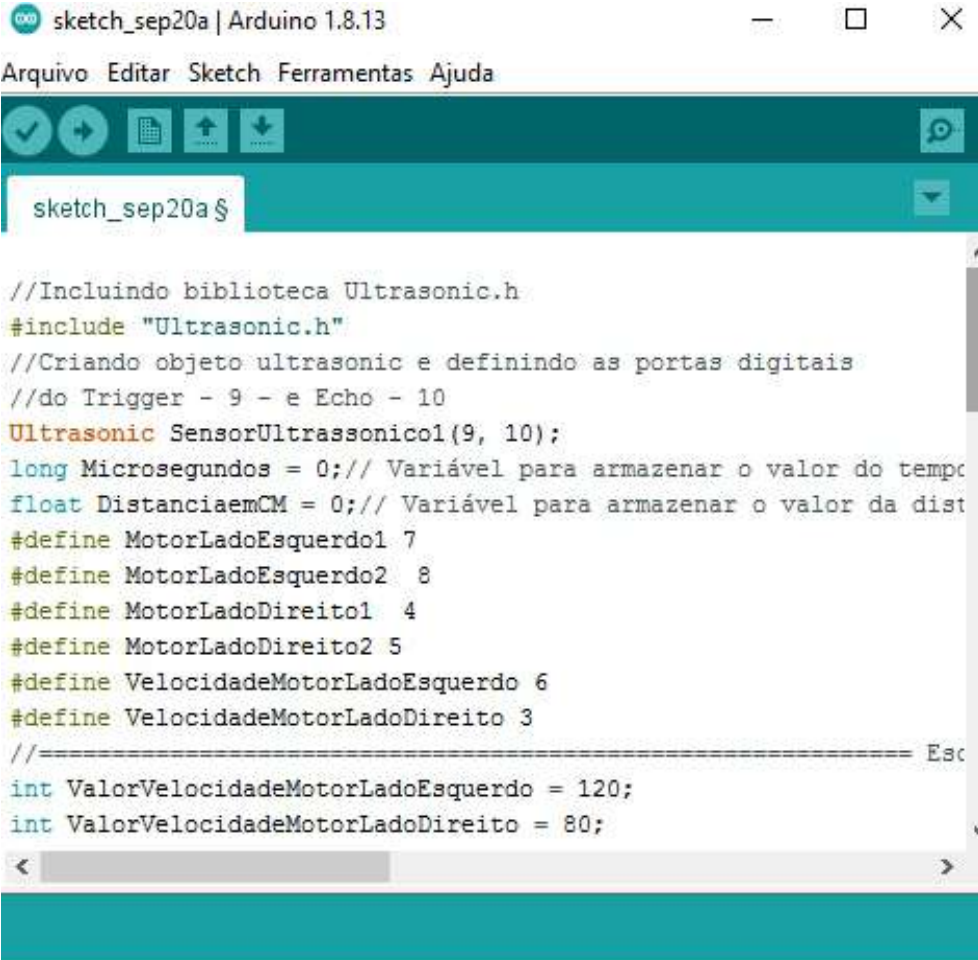


Figura 44: Arduino conectado ao computador via USB.

Fonte: próprio autor

A figura 45 mostra a parte do programa onde são mostradas a declaração das funções e variáveis globais utilizadas.



```

sketch_sep20a | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sketch_sep20a $

//Incluindo biblioteca Ultrasonic.h
#include "Ultrasonic.h"
//Criando objeto ultrasonic e definindo as portas digitais
//do Trigger - 9 - e Echo - 10
Ultrasonic SensorUltrassonicol(9, 10);
long Microsegundos = 0; // Variável para armazenar o valor do tempo
float DistanciaemCM = 0; // Variável para armazenar o valor da dist
#define MotorLadoEsquerdo1 7
#define MotorLadoEsquerdo2 8
#define MotorLadoDireito1 4
#define MotorLadoDireito2 5
#define VelocidadeMotorLadoEsquerdo 6
#define VelocidadeMotorLadoDireito 3
//===== Esc
int ValorVelocidadeMotorLadoEsquerdo = 120;
int ValorVelocidadeMotorLadoDireito = 80;

```

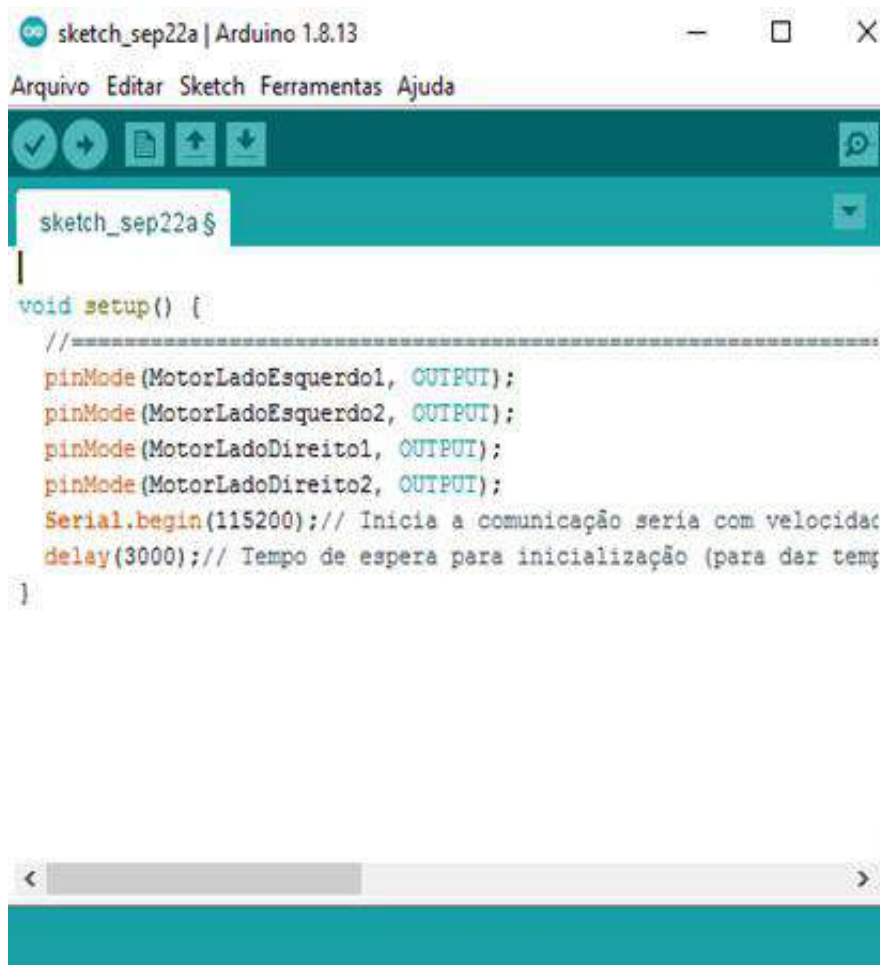
Figura 45: Declaração de funções de variáveis do Programa.

Fonte: O Autor

A figura 46 mostra o **setup** do programa os motores são colocados como saída de corrente e a função **serial.begin** inicia a comunicação serial do Arduino com 115200 bits por segundo. Esse trecho do programa mostra os motores do lado esquerdo e lado direito definidos como saída de corrente.

ROBÓ
TICA





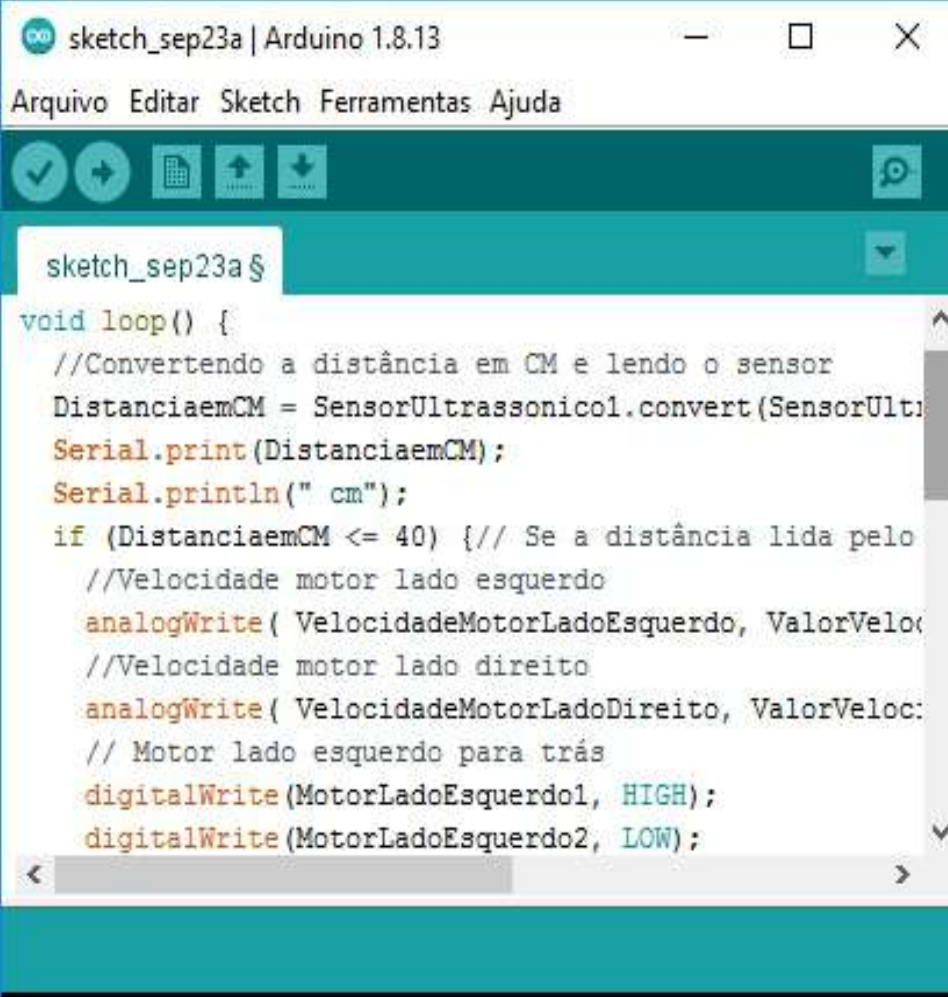
```
sketch_sep22a | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_sep22a $
void setup() {
  //-----
  pinMode(MotorLadoEsquerdo1, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoEsquerdo2, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoDireito1, OUTPUT);
  pinMode(MotorLadoDireito2, OUTPUT);
  Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial com velocidade
  delay(3000); // Tempo de espera para inicialização (para dar temp
}
```

Figura 46: *Setup* do Programa os Motores São Definidos Como Saída de Corrente.
Fonte: O Autor

A figuras 47 mostra o **loop** do programa onde as estruturas de condicionais estão definidas. Para obstáculos detectados a distâncias menores ou iguais a 40 cm o motores param e em seguida o robô se move lateralmente para a direita e testa novamente a distância, se não houver obstáculo ele segue em frente havendo obstáculo ele se movimentação para a esquerda e volta a testar a distância.

ROBÓ
TICA





The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "sketch_sep23a | Arduino 1.8.13". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for saving, running, uploading, and downloading. The main text area shows the following code:

```
sketch_sep23a $
void loop() {
  //Convertendo a distância em CM e lendo o sensor
  DistanciaemCM = SensorUltrasonico1.convert(SensorUltrasonico1);
  Serial.print(DistanciaemCM);
  Serial.println(" cm");
  if (DistanciaemCM <= 40) { // Se a distância lida pelo sensor
    //Velocidade motor lado esquerdo
    analogWrite( VelocidadeMotorLadoEsquerdo, ValorVelocidade);
    //Velocidade motor lado direito
    analogWrite( VelocidadeMotorLadoDireito, ValorVelocidade);
    // Motor lado esquerdo para trás
    digitalWrite(MotorLadoEsquerdo1, HIGH);
    digitalWrite(MotorLadoEsquerdo2, LOW);
  }
}
```

Figura 47:No Loop do Programa Temos o Trecho do Programa é Repetido Continuamente.

Fonte: O Autor

ROBÓ
TICA



REFERÊNCIAS

BLUM, Jeremy. **Explorando o Arduino: técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

CHIQUITO, ADENIISON, JR LANCIOTTI, Francesco. **O Transistor 50 Anos** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 20, nº 4, 1998. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_309.pdf> Acesso em:

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica**. Trad. Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

GEDDES, Mark. **Manual de projetos arduino**. 25 projetos práticos para começar. São Paulo: Novatec, 2017.

JUNIOR, Francisco Ramalho; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo A. de Toledo. **Os fundamentos da Física- Eletricidade**. 7.ed. São Paulo: Moderna, 1999.

LACERDA, Ramalho, Bem-Vindo À Era Jetsons. A Gazeta:gazeta.com,2013.

MATARIC, Maja. **Introdução à Robótica**, 1ed.São Paulo:Editora Unesp/Blucher,2014.

Oliveira, I. S., Jesus, V. L. B, **Introdução à Física do Estado Sólido**. ed. Livraria da Física (2011)

KITTEL, Charles. **Introdução à física do estado sólido**. Trad. Sérgio de Biase. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

ROBÓ
TICA

