

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS PAIVA DIAS

**PROPOSTA DE OFICINA DIDÁTICA DE INTRODUÇÃO AOS PRINCÍPIOS DE
FUNCIONAMENTO DE TRANSISTORES E PORTAS LÓGICAS**

**Bagé
2025**

LUCAS PAIVA DIAS

**PROPOSTA DE OFICINA DIDÁTICA DE INTRODUÇÃO AOS PRINCÍPIOS DE
FUNCIONAMENTO DE TRANSISTORES E PORTAS LÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Física.

Orientador: Eduardo Ceretta Moreira

**Bagé
2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

D541p Dias, Lucas Paiva

Proposta de oficina didática de introdução aos
princípios de funcionamento de transistores e portas
lógicas / Lucas Paiva Dias.

89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, FÍSICA, 2025.

"Orientação: Eduardo Ceretta Moreira".

1. Metodologias Ativas. 2. Ensino de Física. 3.
Oficinas didáticas. 4. Transistores. I. Moreira,
Eduardo Ceretta. II. Título.

LUCAS PAIVA DIAS

**PROPOSTA DE OFICINA DIDÁTICA DE INTRODUÇÃO AOS PRINCÍPIOS DE
FUNCIONAMENTO DE TRANSISTORES E PORTAS LÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Física da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do
Título de Licenciado em Física.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 08/07/2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Ceretta Moreira

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Ms. Francisco Machado da Cunha

UNIPAMPA

Prof. Ms. Ricardo Gomes Lopes

CFES



Assinado eletronicamente por **FRANCISCO MACHADO DA CUNHA, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 14/07/2025, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Ricardo Gomes Lopes, Usuário Externo**, em 14/07/2025, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDUARDO CERETTA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2025, às 16:33, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1783777** e o código CRC **1DF98C3F**.

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram.

AGRADECIMENTO

Agradeço à minha mãe, Priscila, e também a Júnior, Brenda, Bruno, Wesley, Ricardo, Francisco, André, Luiza, Daniela, Fran e Tio Paulo. Cada um de vocês sabe o motivo deste reconhecimento e, por isso, deixo aqui apenas o meu mais sincero e eterno obrigado.

Estendo meus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida durante minha graduação, que foi fundamental para minha trajetória acadêmica.

Agradeço ao Manna Team, grupo do qual tive a oportunidade de fazer parte, por todo o aprendizado, suporte e oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

Sou imensamente grato a todos os professores e professoras que me ensinaram ao longo da graduação, por compartilharem seu conhecimento com dedicação e por contribuírem diretamente para a minha formação.

Por fim, meu profundo agradecimento à Universidade Federal do Pampa, instituição à qual pertenço, por ter me proporcionado acesso à educação pública, gratuita e de qualidade.

RESUMO

Com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que valorizam a interdisciplinaridade, a aprendizagem ativa e o protagonismo discente, torna-se cada vez mais necessário desenvolver abordagens pedagógicas inovadoras e alinhadas às demandas contemporâneas. Este trabalho apresenta a proposta de uma oficina didática voltada ao ensino médio, com foco na exploração do funcionamento dos transistores por meio de atividades práticas, contextualizadas e interdisciplinares. A oficina integra os princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, especialmente os conceitos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, articulando-se aos Três Momentos Pedagógicos. Além disso, baseia-se no uso de peças modulares impressas em 3D para o ensino de portas lógicas, promovendo a conexão entre física, eletrônica e tecnologia. A proposta busca ampliar a compreensão conceitual dos estudantes e, despertar o interesse por carreiras em ciência e tecnologia, contribuindo para a formação de uma geração mais preparada para os desafios do setor tecnológico nacional.

Palavras-Chave: Metodologias Ativas, Ensino de Física, Oficinas Didáticas, Transistores.

ABSTRACT

With the guidelines of the Base Nacional Comum Curricular (BNCC), which emphasize interdisciplinarity, active learning, and student protagonism, it has become increasingly necessary to develop innovative pedagogical approaches aligned with contemporary educational demands. This work presents the proposal of a didactic workshop aimed at high school students, focusing on the exploration of transistor operation through practical, contextualized, and interdisciplinary activities. The workshop integrates the principles of David Ausubel's Meaningful Learning Theory, particularly the concepts of progressive differentiation and integrative reconciliation, articulated through the Three Pedagogical Moments framework. Additionally, it is based on the use of 3D-printed modular components for teaching logic gates, promoting connections between physics, electronics, and technology. The proposal aims to enhance students' conceptual understanding and stimulate interest in careers in science and technology, contributing to the development of a generation better prepared to face the challenges of the national technological sector.

Keywords: Active Methodologies, Physics Education, Didactic Workshops, Transistors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do comprimento do canal de um transistor em comparativo com a lei de Moore	22
Figura 2 – (a) Estrutura física do NMOS; (b) Conexões de portas de um NMOS ..	23
Figura 3 – (a) Faixa de polaridade invertida entre fonte e dreno; (b) canal de condução de um NMOS na condição de que $V_{DS} < V_{GS} - V_{tn}$, onde V_{DS} é a tensão entre o dreno-fonte, V_{GS} é a tensão entre a porta-dreno e V_{tn} é a tensão de transição	24
Figura 4 – Gráfico da relação da corrente do dreno (I_D) contra a tensão fonte-dreno (V_{DS}) com a tensão porta-fonte (V_{GS}) constante	25
Figura 5 – Gráfico da relação da corrente do dreno (I_D) contra a tensão porta-fonte (V_{GS}) com a tensão porta-fonte (V_{DS}) constante com tensão de transição (V_{tn}) igual a 0,5 V	26
Figura 6 – Gráfico da relação da corrente do dreno (I_D) contra a tensão porta-fonte (V_{DS}) com diferentes tensões de porta-fonte (V_{GS}) constantes	26
Figura 7 – Representação de um circuito NOT através de uma chave	30
Figura 8 – Representação de um circuito NOT através de uma chave. A representa a variável de entrada e S representa a saída	30
Figura 9 – Representação simbólica da porta lógica NOT no padrão ANSI.....	31
Figura 10 – Representação de circuito através de chaves da porta lógica AND. As chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída	31
Figura 11 – Representação simbólica da porta lógica AND no padrão ANSI.....	32
Figura 12 – (a) Representação através de chaves do circuito NAND, as chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica NAND no padrão ANSI	33

Figura 13 – (a) Representação através de chaves do circuito OR, as chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica OR no padrão ANSI	33
Figura 14 – (a) Representação através de chaves do circuito NOR, as chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica NOR no padrão ANSI	34
Figura 15 – Representação simbólica da porta lógica XOR no padrão ANSI	35
Figura 16 – Representação esquemática do modelo ausubeliano de diferenciação conceitual progressiva. As linhas mais fortes sugerem a direção recomendada para a diferenciação progressiva de conceitos. As linhas mais fracas sugerem a reconciliação integrativa	40
Figura 17 – Representação dos passos de fabricação de um único transistor a partir de peças impressas em 3D	45
Figura 18 – Protótipo para visualização de combinação de binário de 8 bits.....	46
Figura 19 – Modelo 3D de (a) módulo de transistor do tipo NMOS, (b) módulo de LED, (c) protótipo de módulo de transistor do tipo NMOS e (d) protótipo de módulo de LED	47
Figura 20 – Módulos de conexão impressos em 3D.....	47
Figura 21 – Circuito de uma porta lógica AND em protoboard	48
Figura 22 – Circuito de uma porta lógica AND utilizando as peças modulares, onde A e B são as entradas e S a saída.....	49
Figura 23 – Esquema de atividades e momentos pedagógicos	46
Figura 24 – Esquema de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa com os conteúdos da oficina	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela verdade da porta lógica NOT	31
Tabela 2 – Tabela verdade da porta lógica AND	32
Tabela 3 – Tabela verdade da porta lógica NAND	33
Tabela 4 – Tabela verdade da porta lógica OR	34
Tabela 5 – Tabela verdade da porta lógica NOR	34
Tabela 6 – Tabela verdade da porta lógica XOR.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Atividades do primeiro momento, conceitos envolvidos e duração	52
Quadro 2 – Atividades do segundo momento, conceitos envolvidos e duração	54
Quadro 3 – Atividades do terceiro momento, conceitos envolvidos e duração	55

LISTA DE ABREVIATURAS

et al. – *et alii* – e outros

n. – número

p. – página

f. – folha

v. – volume

LISTA DE SIGLAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

BJT – *Bipolar Junction Transistor*

CIs – Circuitos Integrados

FET – *Field Effect Transistor*

MOS – *Metal Oxide Semiconductor*

MOSFETs – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 TRABALHOS RELACIONADOS	17
3 FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA DIGITAL	19
3.1 MOSFET	19
3.1.1 Estrutura de um transistor NMOS	20
3.1.2 Funcionamento de um transistor NMOS	21
3.2 Binário	25
3.2.1 Sistema numérico genérico	25
3.2.2 Sistema numérico decimal	25
3.2.3 Sistema numérico binário	26
3.2.4 Conversão de decimal para binário	27
3.3 Portas lógicas	27
3.3.1 NOT	28
3.3.2 AND e NAND	29
3.3.3 OR e NOR	31
3.3.4 XOR	32
4 FUNDAMENTOS DA APRENDIZAGEM	34
4.1 Aspectos da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel	34
4.1.1 Aprendizagem significativa	34
4.1.2 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa	36
4.1.3 Organizadores prévios	38
4.2 Oficinas como recurso didático	40
5 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO EM 3D COM TRANSISTORES INTEGRADOS.....	43
6 PROPOSTA DE OFICINA.....	48
6.1 Primeiro momento: Atividades 1, 2 e 3	49
6.2 Segundo momento: Atividades 4, 5 e 6	51
6.3 Terceiro momento: Atividade 7	52
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A - Repositório Digital do Projeto.....	60
APÊNDICE B – Atividade 1: Montando o Primeiro Circuito Elétrico	61
APÊNDICE C – Atividade 2: Circuitos em Série e Paralelo	66
APÊNDICE D – Atividade 3: O Transistor.....	69

APÊNDICE E – Atividade 4: Montando Portas Lógicas	72
APÊNDICE F – Atividade 5: Portas Lógicas NAND, NOR e XOR.....	76
APÊNDICE G – Atividade 6: Binário e Conversões	80
APÊNDICE H – Atividade 7: O Meio Somador.....	82
APÊNDICE I – Guia para o Professor para a Atividade 1.....	83
APÊNDICE J – Guia para o Professor para a Atividade 2.....	84
APÊNDICE K – Guia para o Professor para a Atividade 3	85
APÊNDICE L – Guia para o Professor para a Atividade 4	86
APÊNDICE M – Guia para o Professor para a Atividade 5.....	87
APÊNDICE N – Guia para o Professor para a Atividade 6	88
APÊNDICE O – Guia para o Professor para a Atividade 7	89

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, têm ganhado destaque estudos que evidenciam a importância das metodologias ativas no processo de ensino-aprendizagem (Marques *et al.*, 2021), entre elas, a Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel (1968). Essa abordagem destaca-se por possibilitar que os alunos construam novos conhecimentos a partir da integração com saberes prévios, favorecendo a compreensão de conteúdos complexos por meio da relação entre o que já dominam e os novos conceitos apresentados. Nesse contexto, metodologias como oficinas didáticas permitem que o estudante se torne mais participativo e autônomo, ao mesmo tempo em que fortalecem sua compreensão por meio da prática e da contextualização.

A oferta de oficinas sobre temas como transistores, por exemplo, pode atender às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), promovendo uma abordagem interdisciplinar entre áreas como Física e Tecnologia. Além disso, essa proposta contribui para despertar o interesse dos estudantes em áreas estratégicas do conhecimento. A atual escassez de profissionais qualificados no setor tecnológico brasileiro (Carvalho *et al.*, 2024) acentua a urgência de iniciativas educacionais que incentivem o engajamento em ciências exatas, especialmente em campos como engenharia eletrônica e microeletrônica. Dados recentes apontam para um déficit crescente de mão de obra especializada, o que reforça o potencial de oficinas educativas como mecanismos para aproximação dos estudantes com essas áreas (Cruz *et al.*, 2021).

No entanto, a implementação de projetos interdisciplinares enfrenta limitações no tempo regular de aula. Nesse sentido, oficinas realizadas fora do cronograma tradicional oferecem maior flexibilidade e liberdade metodológica, permitindo a exploração de temas complexos por meio de atividades práticas e integradoras. Tais experiências aproximam o conhecimento da realidade vivida pelos alunos, favorecendo um aprendizado mais autêntico e duradouro (Cruz *et al.*, 2021).

Além dos benefícios para os estudantes, oficinas também exercem papel fundamental na formação continuada de professores. Muitas vezes, o acesso a tecnologias emergentes e a materiais atualizados é limitado no cotidiano docente. Assim, propostas como a presente não apenas atualizam as práticas pedagógicas, como também incentivam os professores a atuarem como agentes transformadores, capazes de criar e adaptar recursos de ensino de acordo com as demandas

contemporâneas. Isso contribui para a formação de um ciclo virtuoso de inovação e aprimoramento no ensino.

À luz das mudanças propostas pela BNCC (Brasil, 2018), que valoriza a interdisciplinaridade, a resolução de problemas e o protagonismo discente, é essencial desenvolver abordagens pedagógicas que aliem teoria e prática. Em um cenário onde os estudantes consomem amplamente tecnologias digitais, mas pouco compreendem seu funcionamento, torna-se estratégico promover o contato direto com conceitos estruturantes da eletrônica digital. A proposta de uma oficina sobre microchips e transistores, nesse sentido, surge como ponto de partida para estimular a curiosidade, o pensamento lógico e a compreensão crítica dos sistemas eletrônicos que permeiam o cotidiano.

Assim, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma oficina didática voltada ao ensino médio, centrada na construção de peças modulares impressas em 3D para o ensino de portas lógicas. A estrutura da oficina é fundamentada nos princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel, especialmente no que tange à diferenciação progressiva e à reconciliação integrativa, articulando-se com os Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov *et al.* (2002). Os materiais desenvolvidos incluem cadernos de atividades para os estudantes e orientações específicas para os professores.

Este trabalho está estruturado em sete capítulos: a Introdução, que apresenta a proposta e contextualiza sua relevância; trabalhos relacionados, que traz os trabalhos mais próximos a proposta; os fundamentos de eletrônica digital, que fornecem a base técnica do conteúdo abordado; os fundamentos de aprendizagem, que sustentam a proposta metodológica; o desenvolvimento do protótipo modular, que detalha a construção das peças em 3D; a proposta de oficina, que integra os conceitos e recursos didáticos apresentados; e, por fim, as considerações finais, que retomam as principais observações e apontam perspectivas para possíveis futuras aplicações.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversas iniciativas têm sido desenvolvidas com o objetivo de tornar o aprendizado da lógica digital mais acessível, envolvente e significativo. No estudo conduzido por Rouhiainen (2024), foi estruturada uma oficina didática para introduzir os estudantes ao sistema numérico binário, ao funcionamento de transistores e à montagem de circuitos lógicos em protoboard. Para isso, foram utilizados recursos digitais como SolidWorks, Falstad, Tinkercad e até mesmo o jogo Minecraft, a fim de reforçar a compreensão dos conteúdos. Embora eficazes no engajamento dos alunos, essas estratégias ainda dependem de plataformas digitais e do manuseio preciso de componentes eletrônicos reais, o que pode dificultar a aprendizagem de estudantes do ensino médio.

Uma abordagem alternativa é apresentada por Dürré *et al.* (2016), que propuseram o uso de peças mecânicas impressas em 3D para a construção de portas lógicas reconfiguráveis. Essa solução se destaca pelo baixo custo, pela escalabilidade e pelo apoio ao aprendizado experimental. No entanto, a complexidade estrutural das peças impressas pode limitar sua flexibilidade em montagens mais avançadas ou em atividades que exijam múltiplas combinações lógicas.

Com o objetivo de aproximar a abstração da prática, Raghuvanshi, Mishra e Dumka (2022) desenvolveram um módulo de simulação em Python que permite a modelagem lógica do comportamento de portas. Apesar de eficiente em ambiente computacional, essa abordagem carece de elementos físicos que auxiliem na visualização concreta das operações dos circuitos.

Por sua vez, Tokuda *et al.* (2021) apresentaram uma proposta altamente inovadora, utilizando metais líquidos para a criação de circuitos físicos interativos, incluindo portas lógicas e sensores. A proposta se destaca pela interatividade e caráter lúdico, estimulando tanto a aprendizagem visual quanto a tátil. Contudo, sua aplicação depende de materiais específicos e de uma infraestrutura mínima para impressão e manipulação, o que pode limitar sua adoção em contextos educacionais com poucos recursos.

Já o trabalho de Costa, Dias e Moreira (2024) enfatiza a importância de aliar a educação interdisciplinar a recursos concretos para facilitar a compreensão de conceitos abstratos, como lógica binária e microeletrônica. Por meio de atividades práticas com modelos impressos em 3D, o estudo demonstrou o potencial de

despertar o interesse dos estudantes do ensino médio por meio da experimentação sensorial e orientada. A integração entre Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM), somada à filosofia maker, promove habilidades essenciais como pensamento crítico, resolução de problemas e criatividade, elementos que convergem diretamente com a abordagem proposta neste trabalho.

A análise das iniciativas citadas revela limitações no que diz respeito à integrabilidade prática e à escalabilidade das soluções, sobretudo quanto à capacidade de interligar intuitivamente diversas portas lógicas para simular sistemas digitais mais complexos. Diante disso, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de componentes modulares impressos em 3D, com transistores NMOS e resistores de pull-down integrados. Essa metodologia amplia significativamente a visualização e montagem de circuitos, permitindo combinações físicas funcionais sem a necessidade de protoboards ou conexões por fios entre os módulos.

Adicionalmente, a inserção estratégica de LEDs nos terminais de saída fornece uma verificação visual imediata dos estados lógicos, reforçando a compreensão conceitual por meio de feedback observacional direto. Dessa forma, a proposta apresentada busca superar os desafios identificados nas abordagens anteriores, oferecendo uma alternativa acessível, intuitiva e alinhada com os princípios da aprendizagem significativa.

Cabe destacar, entretanto, que os trabalhos anteriormente citados representam apenas aqueles encontrados na literatura que mais se aproximam da proposta deste trabalho, o ensino de portas lógicas digitais de forma simplificada, sem a necessidade do uso de protoboard, mas ainda assim mantendo a funcionalidade dos circuitos.

3 FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA DIGITAL

3.1 MOSFET

A base do projeto digital de Hardwares é a física dos componentes de fabricação dos circuitos integrados (CIs), sendo assim, a física é a responsável pelos avanços que ocorrem todo dia em relação a densidade de transistores e suas velocidades nos CIs (Szajnberg, 2014). Além disso, nenhuma outra tecnologia na história teve avanços tão rápidos, para ressaltar, cabe citar que segundo Szajnberg:

Em 1965, Gordon Moore, um dos fundadores da INTEL, “predisse” uma espécie de lei empírica: que a miniaturização do transistor dobraria a cada 18 meses! [...]

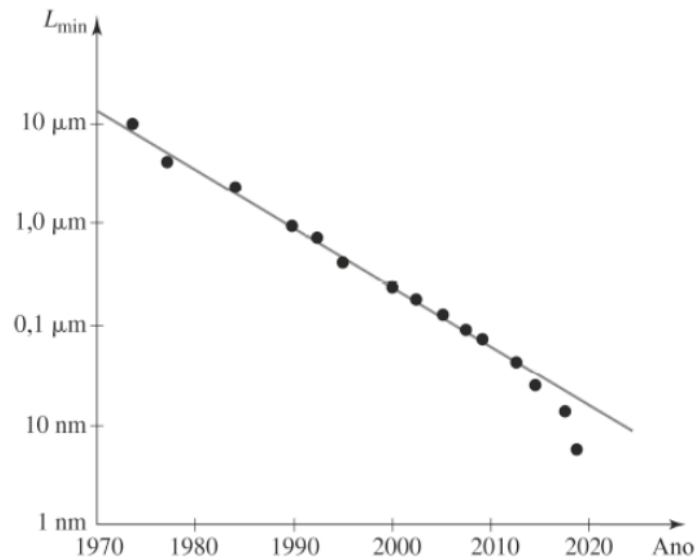
Nos anos recentes, a taxa de avanço da tecnologia mostrou que não somente a densidade de transistores em um chip dobra a cada 18 meses aproximadamente, mas também que a velocidade do processamento de sinais avança de forma exponencial, chegando ao limite das velocidades da escala atômica. (Szajnberg, 2014, p. 118)

Os Transistores de Efeito de Campo (FET – *Field Effect Transistor*) são controlados por um campo elétrico criado na porta de entrada por uma tensão externa, diferentemente dos Transistores de Junção Bipolar (BJT – *Bipolar Junction Transistor*) (Szajnberg, 2014). O principal tipo de transistor FET é do tipo Semicondutor Óxido Metálico de Efeito de Campo (MOSFETs – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) e é utilizado majoritariamente em circuitos digitais (Szajnberg, 2014).

O transistor de efeito de campo foi patenteado em 1925 pelo físico americano Julius Lilienfeld e em 1935, o primeiro MOSFET foi patenteado pelo britânico Oskar Heil (Szajnberg, 2014).

Sendo assim, é interessante mostrar a evolução dos transistores como pode ser visto na Figura 1, o comprimento do canal dos MOSFETs foi diminuindo ao longo de 50 anos, reduzindo pela metade a cada 5 anos (Sedra *et al.*, 2023). Os pontos sólidos no gráfico representam algumas gerações tecnológicas importantes. Por exemplo, podemos ver o processo de 10 μm do início dos anos 1970, os processos submicrônicos ($L_{\text{min}} < 1 \mu\text{m}$) do início dos anos 1990, e os processos submicrônicos mais avançados ($L_{\text{min}} < 0,25 \mu\text{m}$) das últimas duas décadas, incluindo o processo de 14 nm, um dos mais modernos, representado pelo penúltimo ponto no gráfico (Sedra *et al.*, 2023). Em 2018, vários microprocessadores fabricados com essa tecnologia foram lançados, contendo entre 6 e 9 bilhões de transistores (Sedra *et al.*, 2023).

Figura 1 – Evolução do comprimento do canal de um transistor em comparativo com a lei de Moore



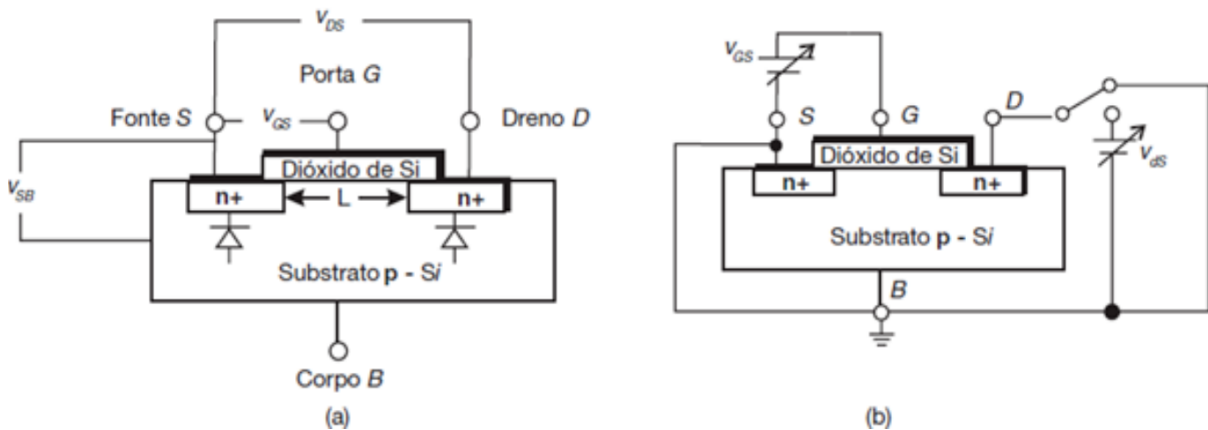
Fonte: Sedra *et al.* (2023)

3.1.1 Estrutura de um transistor NMOS

O transistor do tipo MOS (Metal Oxide Semiconductor) com um canal do tipo n (NMOS) consiste em duas regiões implantadas por íons de um substrato p de silício (Si) (Szajnberg, 2014). Essas regiões são denominadas dreno e fonte, e a região entre eles é o canal, sua estrutura pode ser vista na Figura 2.

O corpo do transistor consiste em um substrato de silício cristalino, que é levemente dopado com materiais do tipo p, como alumínio ou boro, criando "lacunas" de elétrons (Szajnberg, 2014). As regiões da fonte e do dreno são compostas de silício fortemente dopado com impurezas do tipo n, como fósforo ou arsênio, para obter um excesso de elétrons nessas áreas (Szajnberg, 2014). Entre a fonte e o dreno, uma fina camada de óxido de silício (SiO_2) é adicionada, funcionando como um isolante (Szajnberg, 2014). Acima dessa camada isolante, há uma placa de polissilício que atua como porta do transistor (Szajnberg, 2014). A estrutura da porta é completada por um contato metálico que se conecta externamente à placa de polissilício. Além disso, contatos metálicos também são aplicados nas regiões da fonte e do dreno (Szajnberg, 2014).

Figura 2 – (a) Estrutura física do NMOS; (b) Conexões de portas de um NMOS



Fonte: Szajnberg (2014)

A porta do MOSFET controla a corrente entre as regiões de dreno e fonte (Szajnberg, 2014). Existem dois principais tipos de MOSFETs: o NMOS e o PMOS. A distinção entre eles está na polaridade das partículas que conduzem a corrente (Szajnberg, 2014). No NMOS, os portadores de carga são elétrons (carga negativa), enquanto, no PMOS, são lacunas ou "buracos" (carga positiva), responsáveis pela condução do transistor (Szajnberg, 2014).

3.1.2 Funcionamento de um transistor NMOS

De forma simplificada, o funcionamento de um transistor pode ser dividido em três partes (Szajnberg, 2014):

- a) Acumulação;
- b) Depleção;
- c) Inversão.

Na acumulação, a tensão na porta da fonte é menor ou igual a tensão característica do NMOS, que é denominada de tensão de transição (Szajnberg, 2014). Nessa etapa, as cargas positivas depositadas na placa de polissilício da porta formam um campo elétrico que interage pela fina camada isoladora do dióxido no material do corpo (Szajnberg, 2014).

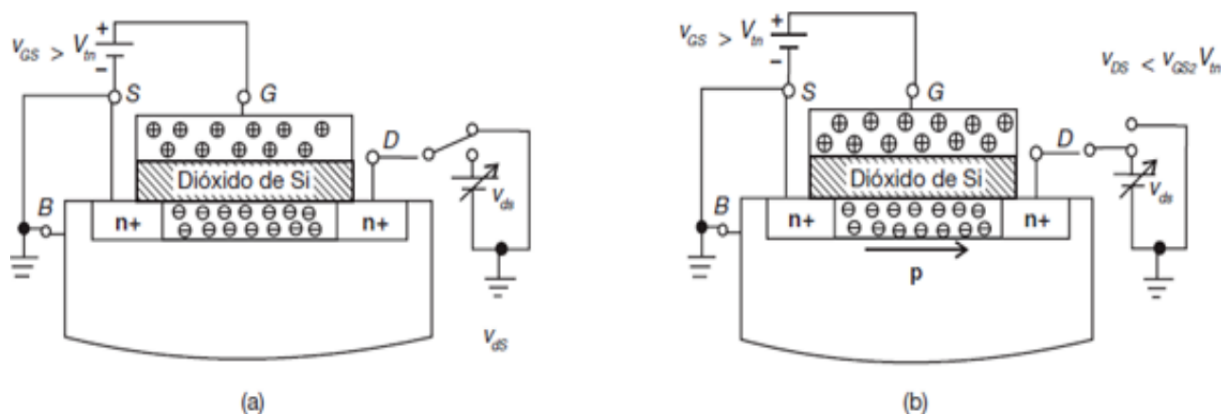
Na depleção, o campo elétrico dado pelo acúmulo de cargas positivas, da etapa anterior na porta, atrai os elétrons e afasta os buracos na região que fica abaixo da camada isoladora, isso cria uma faixa de depleção entre a fonte e o dreno (Szajnberg, 2014). Então, a presença dos elétrons na fronteira superior da faixa

e dos buracos na inferior cria então um campo elétrico oposto entre a porta e o substrato (Szajnberg, 2014). No momento em que os campos se tornam iguais, o movimento dos elétrons cessam, e a faixa correspondente a depleção se mantém constante (Szajnberg, 2014).

E por fim, na inversão, a tensão na porta-dreno aumenta, e quando fica maior do que a tensão correspondente à transição, o campo elétrico entre a porta e o substrato do corpo supera o campo na faixa da depleção, o que causa praticamente a extinção de todos os buracos da faixa (Szajnberg, 2014). Assim, o fluxo de elétrons gerado pelo processo preenche a área abaixo da camada isolante, o que causa a inversão da polaridade (Szajnberg, 2014).

O acúmulo de elétrons dado pela depleção, na faixa de polaridade invertida, não passa pela camada isoladora de SiO para a placa de polissilício (Szajnberg, 2014). Dessa forma, a região entre a fonte e o dreno, logo abaixo do isolante, forma um canal de condução entre eles (Szajnberg, 2014).

Figura 3 – (a) Faixa de polaridade invertida entre fonte e dreno; (b) canal de condução de um NMOS na condição em que $V_{DS} < V_{GS} - V_{tn}$, onde V_{DS} é a tensão entre o dreno-fonte, V_{GS} é a tensão entre a porta-dreno e V_{tn} é a tensão de transição

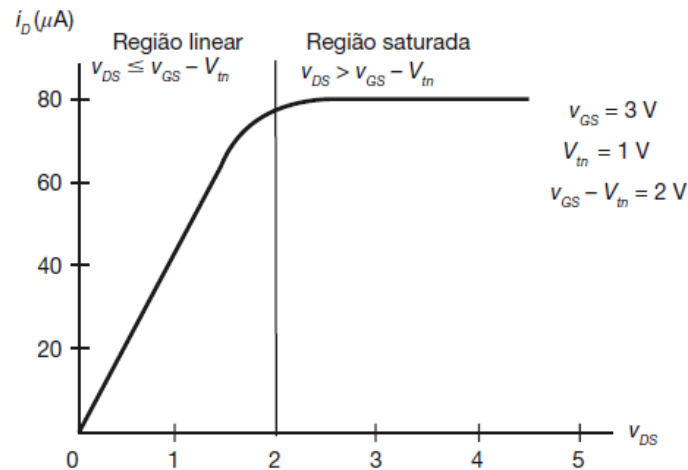


Fonte: Szajnberg (2014)

O gráfico da corrente no dreno (I_D) em relação a tensão porta-dreno (V_{DS}), com a tensão fonte-porta (V_{GS}) constante (Figura 4), mostra que a corrente I_D cresce de forma linear com a tensão V_D para valores pequenos ($V_{DS} < V_{GS} - V_{tn}$) (Szajnberg, 2014). Sendo assim, para valores pequenos de V_{DS} (tensão dreno-fonte), o canal induzido acaba se comportando como um resistor como pode ser visto

na Figura 4, ou seja, a tensão no canal é diretamente proporcional à tensão imposta sobre ele (Szajnberg, 2014).

Figura 4 – Gráfico da relação da corrente do dreno (I_D) contra a tensão fonte-dreno (V_{DS}) com a tensão porta-fonte (V_{GS}) constante

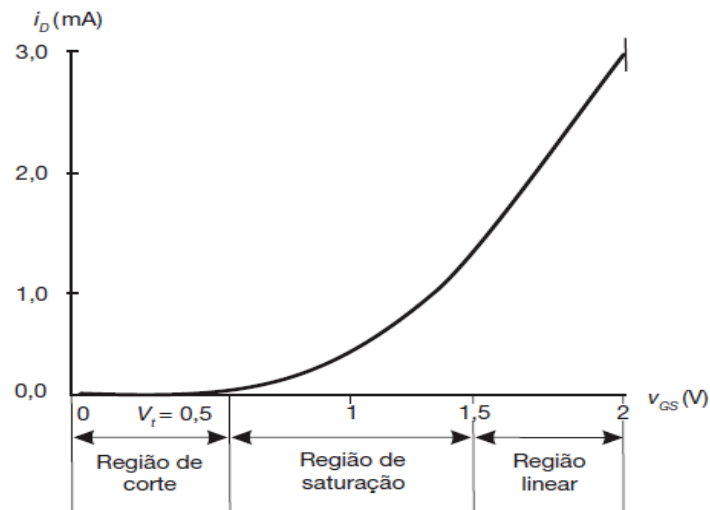


Fonte: Szajnberg (2014)

Entretanto, como mostra a Fig. 4, após a tensão dreno-fonte, ultrapassa o limite de $V_{GS} - V_{tn}$, o campo horizontal supera o vertical, e a forma linearmente crescente da corrente em relação a tensão passa a ser praticamente constante, quando isso ocorre, dizemos que essa região é onde a corrente I_D fica saturada e o ponto onde esse efeito começa a ser observado é chamado de *pinch-off* (Szajnberg, 2014).

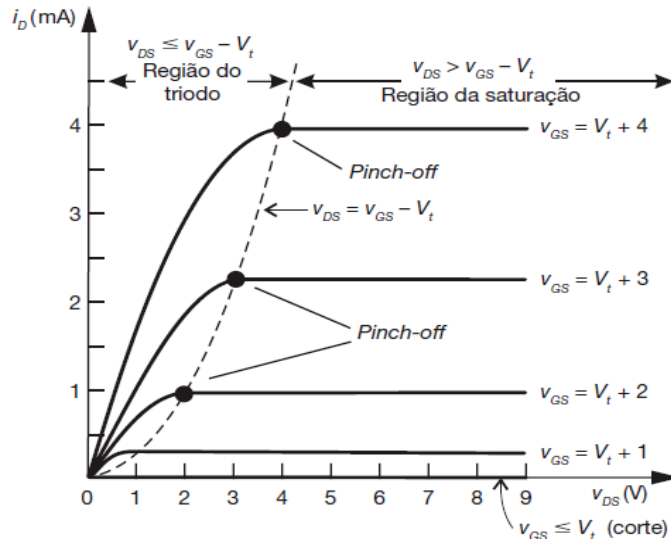
Porém, para compreendermos o como essas características dos transistores se relacionam com o mundo digital moderno, ainda se necessita entender mais um conceito. Vejamos agora um gráfico da corrente do dreno I_D em relação a tensão da porta-fonte V_{GS} , onde a tensão do dreno-fonte V_{DS} é constante (Figura 5). Enquanto a tensão $V_{GS} \leq V_{tn}$, o transistor se encontra na região de corte (desligado) (Szajnberg, 2014). Quando a diferença entre a tensão V_{GS} e a tensão V_{tn} ($V_{GS} - V_{tn}$) é menor do que V_{DS} , temos a região de saturação (Szajnberg, 2014). E por fim, quando a diferença entre V_{GS} e V_{tn} for maior ou igual a V_{DS} , a região é linear, ou dita, região Ôhmica de trípodo (Figura 6) (Szajnberg, 2014).

Figura 5 – Gráfico da relação da corrente do dreno (i_D) contra a tensão porta-fonte (V_{GS}) com a tensão porta-fonte (V_{DS}) constante com tensão de transição (V_{tn}) igual a 0,5 V



Fonte: Szajnberg (2014)

Figura 6 – Gráfico da relação da corrente do dreno (i_D) contra a tensão porta-fonte (V_{DS}) com diferentes tensões de porta-fonte (V_{GS}) constantes



Fonte: Szajnberg (2014)

No mundo digital, os transistores do tipo NMOS e PMOS são utilizados como se fossem chaves ativadas pela tensão aplicada no portão (gate) (Sedra *et al.*, 2023). Dessa forma, o transistor MOS opera de forma semelhante a uma chave de liga/desliga, como um botão fechando e abrindo um circuito, isso se dá aplicando a tensão na porta para o transistor se comportar como na região do triodo (posição

“ligado” ou 1 lógico) ou na região de corte (posição “desligado” ou 0 lógico) (Sedra *et al.*, 2023).

3.2 Binário

O binário é o sistema utilizado para que robôs, computadores, celulares e todos os circuitos digitais modernos consigam executar tarefas com grande precisão e velocidade, utilizando-o para comunicação, operações aritméticas e lógicas (Cruz *et al.*, 2014).

3.2.1 Sistema numérico genérico

Um sistema numérico arbitrário pode ser representado numericamente como (Szajnberg, 2014):

$$N = d_{p-1}b^{p-1} + d_{p-2}b^{p-2} + \dots + d_1b^1 + d_0b^0 + \dots + d_{-(q-2)}b^{-(q-2)} + \dots + d_{-q}b^{-q} \quad (1)$$

onde, b é a base numérica, ou raiz do sistema; d são os dígitos singulares possíveis a serem utilizados no sistema; p é a potência da base correspondente à sua posição relativa aos números inteiros; q é a potência da base que corresponde aos números à sua posição em relação aos números fracionários.

A raiz do sistema numérico é dado como um número que pode ser utilizado em cada posição desse sistema, constituído de diferentes números (Szajnberg, 2014). Dessa forma, a fim de elucidar o funcionamento dessa lógica, vamos considerar o sistema numérico decimal.

3.2.2 Sistema numérico decimal

O sistema de numeração decimal tem como base o 10, dessa forma, temos 10 dígitos diferentes que podem ser utilizados, 0, 1, 2, ..., 9, e cada um pode ser colocado em qualquer posição do número que se deseja representar.

Sendo assim, todo dígito deve satisfazer

$$(b - 1) \geq d_{m\acute{a}x} \geq 0 \quad (2)$$

Isso quer dizer que o valor máximo que um dígito em uma determinada posição pode assumir no sistema decimal é

$$(10 - 1) = 9 \geq d_{\text{máx}} \geq 0 \quad (3)$$

Ou seja, os valores em cada posição podem assumir valores entre 0 e 9. E assim, corresponde às unidades, dezenas, centenas, etc. e corresponde aos décimos, centésimos, etc. Seguindo essa linha, qualquer valor numérico é possível de ser representado através da expressão (1) para qualquer base (Szajnberg, 2014).

3.2.3 Sistema numérico binário

No sistema numérico binário, apenas dois valores são possíveis, portanto, é um sistema numérico de base ou raiz 2. Portanto, fazendo uso da expressão (1), qualquer valor numérico pode ser expresso através desse sistema. Então, a partir da expressão (1), qualquer valor pode ser expresso através de

$$N = d_{p-1}2^{p-1} + d_{p-2}2^{p-2} + \dots + d_12^1 + d_02^0 + \dots + d_{-q}2^{-q} \quad (4)$$

onde, o valor máximo para cada dígito em uma determinada posição é dado pela expressão (2), que nos resultará em

$$(2 - 1) = 1 \geq d_{\text{máx}} \geq 0 \quad (5)$$

Dessa forma, apenas os valores 1 ou 0 são possíveis em qualquer posição do sistema numérico (Szajnberg, 2014). No caso do número binário 1011,01 será representado por (Szajnberg, 2014):

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 11,25 \quad (6)$$

Assim, o valor dado a cada dígito é determinado por sua posição em relação à vírgula da representação binária. Esse processo é o mesmo utilizado para

representação decimal, apenas com a diferença de que sua base é 10 ao invés de 2 e os valores em cada posição estão entre 0 e 9 e no binário 0 e 1.

3.2.4 Conversão de decimal para binário

A conversão de um valor decimal para binário pode ser realizada de forma simples através do método das divisões sucessivas (Cruz *et al.*, 2014). Nesse processo, o número decimal é repetidamente dividido por 2, e os restos dessas divisões são registrados. Primeiro divide-se o número inteiro pelo número da base do sistema binário, ou seja, 2 e anotando-se o quociente e o resto. O quociente resultante é então dividido por 2 novamente, e o processo se repete até que o quociente atinja o valor de zero (Cruz *et al.*, 2014).

Os restos coletados ao longo desse processo formam o valor binário, e para obter o resultado final, esses restos são lidos na ordem inversa, ou seja, do último para o primeiro. Por exemplo, para converter o número decimal 13 em binário, seguimos as etapas: etapas:

- 1) 13 dividido por 2 resulta em quociente 6 e resto 1.
- 2) 6 dividido por 2 resulta em quociente 3 e resto 0.
- 3) 3 dividido por 2 resulta em quociente 1 e resto 1.
- 4) 1 dividido por 2 resulta em quociente 0 e resto 1.

Lendo os restos de baixo para cima, obtemos o número binário 1101, que corresponde ao valor decimal 13.

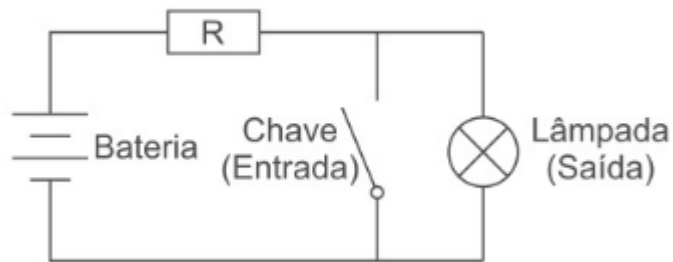
3.3 Portas lógicas

As portas lógicas são uma versão física das funções lógicas básicas da álgebra booleana (Cruz *et al.*, 2014), entretanto, dado o escopo do trabalho, nos limitaremos apenas a versão física e será evitada a discussões aprofundadas referentes à álgebra booleana. Existem apenas três funções lógicas básicas: NOT, AND e OR (Cruz *et al.*, 2014). A partir delas, surgem outras variações que também serão discutidas ao longo do texto, com exceção da XNOR, pois não será utilizada no desenvolvimento da oficina, as portas “secundárias” são: NAND, NOR, XOR e XNOR (Cruz *et al.*, 2014).

3.3.1 NOT

A porta inversora, ou função NOT, serve simplesmente para inverter o valor da variável de entrada, por exemplo, se a entrada é 0, sua saída será 1 e vice-versa (Cruz *et al.*, 2014). Sendo assim, de forma simplificada a Figura 7 representa um circuito do tipo NOT (Cruz *et al.*, 2014). Dessa forma, o circuito funciona de forma que, se a chave estiver aberta, a lâmpada permanecerá acesa; quando a chave for fechada a lâmpada entrará em curto-circuito e se desligará (Cruz *et al.*, 2014).

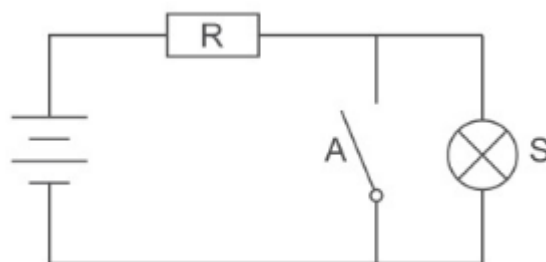
Figura 7 – Representação de um circuito NOT através de uma chave



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

A lógica do circuito NOT pode ser representada na forma de uma tabela, chamada de tabela verdade (Cruz *et al.*, 2014). Dessa forma, escolhamos A como a variável de entrada (chave aberta ou fechada, 0 ou 1 respectivamente) e S como variável de saída (lâmpada ligada ou desligada), como na Figura 8 (Cruz *et al.*, 2014). Então, na coluna A da Tabela 1, escrevemos todos os valores possíveis de entrada e na coluna S todos os valores de saída dados os valores de A (Cruz *et al.*, 2014).

Figura 8 – Representação de um circuito NOT através de uma chave. A representa a variável de entrada e S representa a saída



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

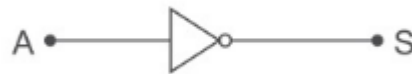
Tabela 1 – Tabela verdade da porta lógica NOT

A	S
0	1
1	0

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Na eletrônica digital, cada um dos componentes de lógica básica é denominado de porta lógica (Cruz *et al.*, 2014). Cada porta lógica tem sua simbologia, no caso da porta lógica NOT, no padrão ANSI, é mostrada na Figura 9 (Cruz *et al.*, 2014).

Figura 9 – Representação simbólica da porta lógica NOT no padrão ANSI

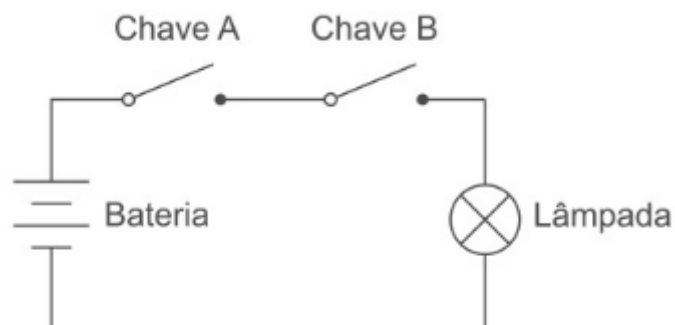


Fonte: Cruz *et al.* (2014)

3.3.2 AND e NAND

A porta AND, ou simplesmente E, consiste em duas chaves conectadas em série, como pode ser visto na Figura 10. Dessa forma, a saída é 1 quando ambas as entradas são 1, e 0 quando uma ou as duas entradas é 0 (Cruz *et al.*, 2014). Sendo assim, seu comportamento está interligado com a lógica E (Cruz *et al.*, 2014).

Figura 10 – Representação de circuito através de chaves da porta lógica AND. A chave A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada a variável de saída



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Portanto, a tabela verdade equivalente ao comportamento da porta lógica AND é dada pela Tabela 2 (Cruz *et al.*, 2014).

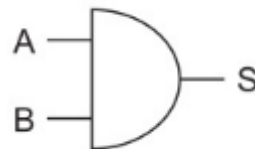
Tabela 2 – Tabela verdade da porta lógica AND

A	B	S
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

A A porta lógica AND, assim como as outras, tem seu próprio símbolo utilizado para representá-lo na sua representação em circuitos digitais, seu símbolo no padrão ANSI é dado na Figura 11.

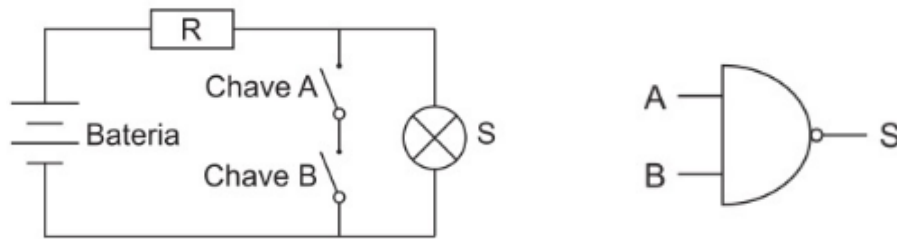
Figura 11 – Representação simbólica da porta lógica AND no padrão ANSI



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

A porta NAND, ou NE, é a porta lógica que executa o comportamento oposto ao comportamento da porta AND. Dessa forma, todos os valores de saídas que são iguais a 0 tem valor 1 e as saídas iguais a 0 tem valor 1 (Cruz *et al.*, 2014). Dessa forma, o circuito correspondente a porta lógica NAND e sua representação simbólica pode ser vistos na Figura 12, e sua tabela verdade na Tabela 3.

Figura 12 – (a) Representação através de chaves do circuito NAND. As chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica NAND no padrão ANSI



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Tabela 3 – Tabela verdade da porta lógica NAND

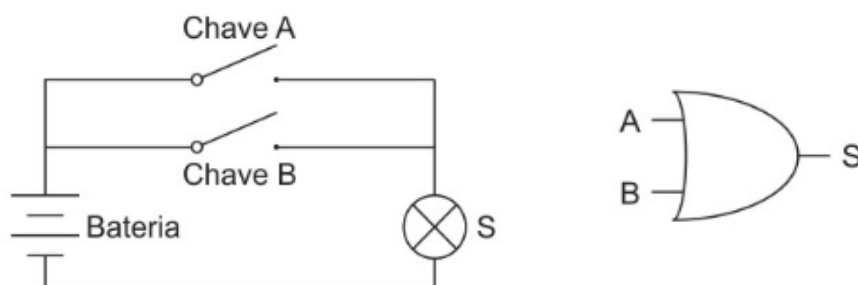
A	B	S
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

3.3.3 OR e NOR

A porta lógica OR, ou porta OU, tem como saída o valor 1 se pelo menos uma das variáveis de entrada for 1 e 0 quando todas as variáveis de entrada forem 0 (Cruz *et al.*, 2014). Seu circuito com chaves e sua representação simbólica no padrão ANSI podem ser vistos na Figura 13, e sua tabela verdade na Tabela 4.

Figura 13 – (a) Representação através de chaves do circuito OR, as chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica OR no padrão ANSI



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

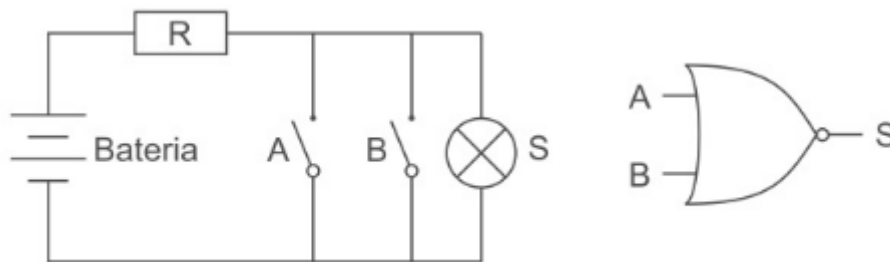
Tabela 4 – Tabela verdade da porta lógica OR

A	B	S
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Assim como a porta NAND é o inverso da saída da porta AND, a porta NOR, ou porta NOU, tem como saída o inverso da porta OR (Cruz *et al.*, 2014). Dessa forma, sua representação na forma de circuito de chaves e sua representação simbólica no padrão ANSI podem ser vistas na Figura 14, e sua tabela verdade na Tabela 5.

Figura 14 – (a) Representação através de chaves do circuito NOR, as chaves A e B representam as variáveis de entrada e a lâmpada S, a variável de saída; (b) Representação simbólica da porta lógica NOR no padrão ANSI



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Tabela 5 – Tabela verdade da porta lógica NOR

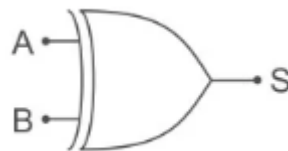
A	B	S
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

3.3.4 XOR

A porta XOR, ou porta OU-EXCLUSIVO (EXCLUSIVE-OR), tem como valor de saída 1 sempre que os valores das variáveis de entrada apresentarem um número ímpar de entradas 1 (Cruz *et al.*, 2014). Sua representação simbólica no padrão ANSI pode ser vista na Figura 15, e sua tabela verdade na Tabela 6.

Figura 15 – Representação simbólica da porta lógica XOR no padrão ANSI



Fonte: Cruz *et al.* (2014)

Tabela 6 – Tabela verdade da porta lógica XOR

A	B	S
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Fonte: Cruz *et al.* (2014)

4 FUNDAMENTOS DA APRENDIZAGEM

4.1 Aspectos da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel

4.1.1 Aprendizagem significativa

O conceito de aprendizagem significativa, proposto por David Ausubel (1968), é uma teoria cognitivista que busca compreender como ocorre a aquisição de conhecimentos por meio de uma estrutura hierárquica no sistema cognitivo. Em outras palavras, a teoria analisa como o conhecimento é organizado e assimilado.

Para Ausubel, a aprendizagem só é considerada significativa quando o aprendiz consegue relacionar os novos conteúdos com conhecimentos pré-existentes (Moreira; Masini, 2006), que já fazem parte de sua estrutura cognitiva. Ou seja, a compreensão de novos conceitos ocorre a partir de "subsunçores", elementos ou estruturas já assimiladas, que servem como base para a incorporação de novos conhecimentos. Esse processo é não arbitrário e não literal, o que significa que a aprendizagem vai além da simples memorização, proporcionando ao aprendiz a capacidade de resolver problemas inéditos com base no conhecimento adquirido (Moreira; Masini, 2006). Entretanto, determinar se houve de fato ou não uma aprendizagem significativa é um grande desafio. Para Ausubel (1968), para compreender um tópico/conteúdo de fato, o aprendiz deve ter seus conceitos bem estruturados, isto é, seus significados devem ser claros, precisos, diferenciados e transferíveis (Moreira; Masini, 2006). Porém, testar se o estudante adquiriu um conhecimento de forma significativa, não pode ser feito simplesmente com perguntas a respeito de seus conceitos ou através de exercícios já desenvolvidos, pois as respostas podem ser apenas mecanicamente memorizadas. Sendo assim, para se encontrar evidências de uma aprendizagem significativa, se faz necessário fazer o uso de problemas novos, que desafiem os estudantes a utilizar seu conhecimento no assunto.

No entanto, a construção dessa aprendizagem significativa não é um processo simples. Ela envolve outros conceitos importantes, como o que Ausubel chama de "materiais potencialmente significativos", aprendizagem mecânica e as diferentes formas de aprendizagem significativas, como a aprendizagem subordinada, combinatória e superordenada. Para que a aprendizagem significativa aconteça, alguns fatores são indispensáveis, entre eles, os dois principais são a disposição do

aluno para aprender e a oferta de materiais que estimulem essa aprendizagem potencialmente significativa (Moreira; Masini, 2006).

Sendo assim, cabe ressaltar que: “É importante enfatizar aqui que o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, [...], pois o significado está nas pessoas, não nos materiais.” (Moreira, 2012, p. 8).

Um dos maiores desafios no contexto atual é justamente atrair o interesse dos alunos. A era digital torna cada vez mais difícil despertar o engajamento necessário para uma aprendizagem significativa, uma vez que os alunos possuem mais interesse por jogos digitais e redes sociais do que pelo aprendizado de novos tópicos (Ferreira, et al., 2023). Mesmo quando se consegue captar o interesse dos estudantes, surge outro obstáculo: a criação de materiais potencialmente significativos. Esses materiais podem variar desde textos e vídeos até slides e livros, e devem ser pensados para facilitar a assimilação dos novos conteúdos. Contudo, muitos alunos não têm o afinco para se dedicar a materiais que demandam mais tempo e esforço, o que representa outro grande desafio.

Além disso, a teoria de Ausubel também destaca que, na ausência ou insuficiência de subsunções, é necessário construí-los. Isso pode ser feito por meio da aprendizagem mecânica ou com o uso de organizadores prévios, que ajudam a preparar a mente do aluno para receber novos conceitos, servindo como base para a construção do conhecimento significativo.

É importante ressaltar que a aprendizagem significativa não pode ocorrer de maneira rápida, especialmente em encontros esporádicos, como o caso de uma oficina. Para que o conhecimento seja realmente significativo, é necessário um tempo prolongado de desenvolvimento e interação com o conteúdo. Nesse sentido, pensar em alcançar uma aprendizagem significativa no contexto de uma oficina pode ser inadequado. Entretanto, segundo Cruz *et al.* (2021), as oficinas para aprendizado de física demonstram ser uma opção com potencial para auxiliar os estudantes em seu rendimento escolar e melhorar futuras experiências de aprendizado, potencializando assim a ocorrência de uma aprendizagem significativa.

Diante disso, a construção da oficina no presente trabalho irá se basear em outros conceitos da teoria de David Ausubel (1968), como a diferenciação progressiva, o uso de materiais potencialmente significativos e a aplicação de organizadores prévios.

4.1.2 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

A diferenciação progressiva é um conceito central na teoria da estrutura cognitiva de aprendizagem de David Ausubel (1968). Segundo essa teoria, o processo de aprendizagem ocorre de forma hierárquica, onde ideias mais inclusivas e gerais servem como base para a assimilação de conteúdos mais específicos. Nesse sentido, a construção dessas estruturas deve ser priorizada e apresentada inicialmente. A aquisição de um novo tópico, portanto, deve começar com a apresentação de conceitos gerais, que vão se tornando progressivamente mais específicos.

Para Ausubel (1968), a introdução de novos conhecimentos deve seguir essa lógica progressiva, evitando partir de conceitos específicos que não estejam diretamente relacionados ao entendimento mais amplo que se deseja alcançar. O aprendizado é concebido como uma cadeia de tópicos interrelacionados, em que os conceitos mais específicos se conectam a ideias mais abrangentes.

A estrutura cognitiva, considerada como uma estrutura de subsunções interrelacionados e hierarquicamente organizados é uma estrutura dinâmica caracterizada por dois processos principais, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. (Moreira, 2012, p. 5)

Nesse contexto, a diferenciação progressiva envolve a introdução do produto final, o entendimento mais geral, antes de abordar os detalhes e particularidades. Por exemplo, no ensino da termodinâmica, deve-se iniciar com os princípios gerais da que regem os processos termodinâmicos, antes de explorar suas particularidades e casos específicos. Um outro exemplo dado por Moreira:

Por exemplo, consideremos o conceito de força. Qualquer criança já formou esse conceito antes de chegar à escola, mas com significados do tipo puxão, empurrão, esforço físico, "fazer força", "não ter força", etc. Na escola, em ciências, aprenderá que existe na natureza uma força que é devida à massa dos corpos – a força gravitacional – e que essa força é muito importante para o sistema planetário, que é atrativa, que é regida por uma determinada lei, [...]. (Moreira, 2012, p. 6)

No exemplo acima dado por Moreira (2012), o autor mostra como o conceito de força é inicialmente formado com base em experiências cotidianas e significados simples, como "puxão", "empurrão" ou "fazer força". Esses entendimentos prévios, muitas vezes intuitivos e ligados ao senso comum, são gradualmente transformados

e enriquecidos. Na escola, o conceito de força passa a ser trabalhado de maneira mais geral e abstrata, como no caso da força gravitacional. Esse processo exemplifica a diferenciação progressiva, que consiste na introdução inicial de ideias gerais e amplas, seguidas pela exploração de suas ideias mais particulares e específicas.

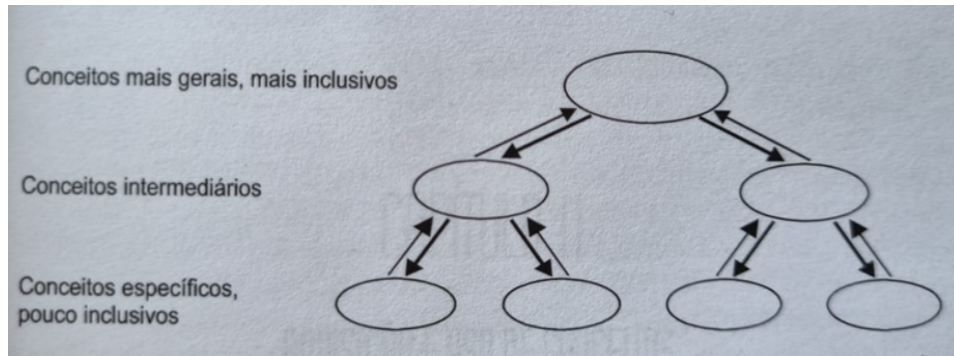
Relembrando que a aprendizagem significativa ocorre quando o aprendiz é capaz de fazer correlações não-arbitrárias e não-literais de novos conhecimentos, de forma que através de sucessivas interações, um subsunçor é progressivamente aprimorado para abarcar mais conceitos. O material didático, portanto, deve ser organizado de forma a refletir essa estrutura progressiva, com conceitos elaborados e diferenciados a partir de múltiplas interações.

Além disso, a programação do conteúdo precisa, além de atingir a diferenciação progressiva, também deve explorar explicitamente as relações entre proposições e conceitos, destacando suas diferenças e similaridades. Esse processo visa à reconciliação integrativa, que busca resolver inconsistências, sejam elas reais ou aparentes.

- a) diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento;
- b) reconciliação integrativa é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. (Moreira, 2006, p. 30)

Na prática, a maior dificuldade na aplicação da diferenciação progressiva não reside na separação adequada dos tópicos, mas sim nas aparentes contradições entre novas ideias e aquelas já estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 2006). Para lidar com essa questão, a diferenciação progressiva pode ser estruturada utilizando organizadores hierárquicos, dispostos em ordem decrescente de especificidade e abrangência, assim como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Representação esquemática do modelo ausubeliano de diferenciação conceitual progressiva. As linhas mais fortes sugerem a direção recomendada para a diferenciação progressiva de conceitos. As linhas mais fracas sugerem a reconciliação integrativa



Fonte: Moreira (2011, p. 33)

Cada organizador serve como uma preparação para o próximo tópico, que será apresentado de forma mais detalhada e diferenciada. Assim, os organizadores seguem uma ordem de inclusão decrescente, onde os conceitos mais gerais introduzem e ancoram aqueles que serão apresentados posteriormente. Esses organizadores funcionam como subsunçores temporários ou pseudo-subsunçores, facilitando a aquisição e a continuidade dos novos conceitos ao longo do processo de aprendizagem.

Os organizadores iniciais, ou organizadores prévios, têm a função de preparar o terreno para a introdução de novas ideias. Eles oferecem um ponto de apoio para que os novos conceitos sejam conectados de forma coerente, permitindo ao aprendiz integrar os novos conhecimentos de maneira facilitada.

4.1.3 Organizadores prévios

Os organizadores prévios são materiais apresentados ao aprendiz antes do conteúdo principal a ser aprendido. No entanto, eles se diferenciam dos sumários, que, de modo geral, operam no mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência (Moreira, 2012). Para Ausubel, o objetivo central do organizador prévio é atuar como um facilitador, conectando conhecimentos prévios aos novos, ou seja, servindo como "pontes cognitivas" entre os subsunçores existentes e os conceitos que precisam ser assimilados (Ausubel, 1968). Nesse sentido, como afirma Moreira:

Os organizadores prévios podem tanto fornecer “ideias âncora” relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem, ou seja, para explicitar a relacionabilidade entre os novos conhecimentos e aqueles que o aprendiz já tem mas não percebe que são relacionáveis aos novos. (Moreira, 2012, p. 2)

Dessa maneira, existem dois tipos de organizadores prévios: os "expositivos" e os "comparativos". Os organizadores expositivos são usados quando o aprendiz tem pouca ou nenhuma familiaridade com o conteúdo a ser abordado, sendo necessário criar pseudo-subsunçores ou ideias âncora que facilitem a aprendizagem subsequente. Por exemplo, em um estudo de Ausubel (1968), ao trabalhar com alunos que não tinham conhecimento prévio sobre propriedades metalúrgicas, foi usado um organizador expositivo que apresentou as principais diferenças entre metais e ligas metálicas, facilitando a assimilação subsequente dos detalhes mais específicos (Moreira, 2012).

Já os organizadores comparativos são empregados quando o aluno já possui algum grau de familiaridade com o conteúdo, com o objetivo de assimilar e diferenciar o novo material dos conhecimentos previamente adquiridos e estruturados na sua cognição. Um exemplo disso foi o estudo de Ausubel e Fitzgerald (1961), onde foi utilizado um organizador comparativo para explorar as semelhanças e diferenças entre budismo e cristianismo, facilitando a assimilação crítica de novos conceitos ao conectar o que já era conhecido pelos alunos com as novas informações (Moreira, 2012).

Segundo o Moreira (2012, p. 3), os organizadores devem:

- 1 - identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
- 2 - dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
- 3 - prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque o conteúdo específico do novo material, ou seja, prover um contexto ideacional que possa ser usado para assimilar significativamente novos conhecimentos.

É importante destacar que os organizadores prévios não precisam necessariamente ser materiais textuais. Diversos estudos, como o de Loreian *et al.* (2020), evidenciam a eficácia do uso de recursos tecnológicos como vídeos curtos, simulações e até oficinas didáticas como organizadores prévios, especialmente no

ensino de disciplinas como Física. Esses recursos multimodais facilitam a introdução de novos tópicos ao envolver os alunos de maneira mais interativa e visual, o que pode ampliar o potencial de aprendizagem significativa.

Além disso, conforme Moreira (2018), a utilização de materiais visuais, como vídeos e animações interativas, têm demonstrado grande eficácia em promover a ancoragem de conceitos complexos em disciplinas que requerem uma forte abstração, como a Física.

Em um exemplo prático, Cardoso e Dickman (2012) exploraram o uso de simulações computacionais para facilitar o entendimento do fenômeno do efeito fotoelétrico. Essas simulações, apresentadas antes do estudo detalhado do conteúdo, atuaram como organizadores prévios, fornecendo aos alunos uma base cognitiva a partir da qual eles puderam desenvolver um entendimento mais profundo do tema. Da mesma forma, Menezes e Kalhil (2009) relataram o uso de vídeos sobre a vida de cientistas famosos como organizadores prévios, visando conectar o cotidiano dos alunos ao conteúdo de Física que seria abordado, como as leis de movimento.

Portanto, os organizadores prévios, quando enriquecidos por recursos tecnológicos, podem não apenas preparar cognitivamente os estudantes, mas também aumentar sua motivação e interesse pelo conteúdo. Simulações, vídeos e até mesmo oficinas práticas podem fornecer uma experiência de aprendizagem mais significativa ao engajar múltiplos sentidos e oferecer contextos concretos para a aplicação de novos conceitos.

4.2 Oficinas como recurso didático

No dia a dia, é possível observar inúmeras situações simples que podem ser explicadas por meio de conceitos físicos. Desde o movimento de um corpo, explicado pela cinemática ou mecânica, até a emissão de luz por uma lâmpada fluorescente, que envolve conceitos mais complexos como a física quântica e o eletromagnetismo. Dessa forma, o cotidiano pode ser visto como um grande laboratório, onde as experiências reais se conectam com os conceitos teóricos da física (Araújo *et al.*, 2021).

Diante disso, o ensino de física pode se beneficiar de exemplos práticos e demonstrações baseadas em situações comuns, validando, assim, a precisão dos conceitos físicos. Contudo, no Brasil, o ensino de física ainda segue

predominantemente uma abordagem tradicional, centrada na explicação mecanicista dos conceitos (Araújo *et al.*, 2021).

Essa abordagem tradicional, caracterizada pelo ensino expositivo e muitas vezes desestimulante, não incentiva o aprendizado ativo dos estudantes. Segundo Araújo *et al.* (2021), nesse modelo, observa-se que:

O professor coloca-se no papel de detentor do conhecimento e cabe aos alunos absorverem o que lhes é passado, de modo que são induzidos a reproduzir, em avaliações, os conceitos idealizados contidos nos livros didáticos. Os estudantes, assim, não se sentem instigados a aprender, muitas vezes, por não conseguirem perceber a relação entre os conteúdos ensinados e a sua utilização no cotidiano (Araújo *et al.*, 2021, p. 3).

Além disso, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Médio orienta que o ensino seja focado no desenvolvimento de competências e habilidades por meio da interdisciplinaridade, integrando duas ou mais áreas do conhecimento, de forma que o aluno possa compreender a complexidade da realidade e atuar nela (Brasil, 2018).

Contudo, mesmo que o professor esteja disposto a realizar essa transposição pedagógica, o cenário não é favorável. De acordo com Pereira *et al.*, os professores

formam uma categoria profissional especialmente exposta a uma rotina de trabalho desgastante, enfrentando fatores como carga horária excessiva, baixos salários, condições precárias de trabalho e uma má organização do sistema educacional e das escolas. (Pereira *et al.*, 2013, p. 233)

Esses desafios não apenas consomem o tempo dos professores, mas também afetam sua motivação, dificultando a busca por novas metodologias que superem o ensino tradicional.

[...] é menor a disponibilidade de tempo, há menos motivação, e o contexto é desfavorável aos professores que pretendam adotar novas metodologias de ensino e melhorar o aprendizado do aluno. É também de conhecimento comum, no Brasil, a falta de investimento na Educação, por parte do governo" (Araújo *et al.*, 2021, p. 4).

Diante dessas barreiras, as oficinas didáticas emergem como uma alternativa promissora para transformar os alunos de agentes passivos em participantes ativos no processo de aquisição de conhecimento. Ao integrar práticas que utilizam os subsunçores dos alunos, essas oficinas podem contribuir para o desenvolvimento da

estrutura cognitiva, bem como melhorar seu desempenho escolar. Isso se dá ao introduzir novos conceitos de física por meio de uma linguagem contextualizada e interdisciplinar (Mourão et al., 2020). Mourão *et al.* (2020) observaram que:

[...] há diferenças estatisticamente significativas entre o desempenho dos alunos que participaram de oficinas e aqueles que não participaram. Além disso, verificou-se que as atividades propostas nas oficinas apresentaram possibilidades de introduzir os conteúdos considerando os organizadores prévios dos alunos, resgatando suas concepções alternativas. (Mourão *et al.*, 2020, p. 435)

As oficinas didáticas, por meio de atividades experimentais, despertam o interesse e a curiosidade dos alunos, oferecendo a oportunidade de observar fenômenos científicos que antes eram vistos apenas de forma teórica (Mourão *et al.*, 2020). Quanto ao desenvolvimento dessas oficinas, Delizoicov *et al.* (2002) propõem sua realização em três momentos pedagógicos. O primeiro momento consiste no levantamento de ideias prévias e convite aos alunos para a participação dos experimentos.

O segundo momento foca na apresentação de conhecimentos específicos, que permitem aos alunos construir argumentações para explicar os fenômenos questionados. Por fim, o terceiro momento se caracteriza pela aplicação dos conhecimentos, onde os alunos revisitam o problema inicial com uma nova perspectiva e propõem soluções ou interpretações diferentes.

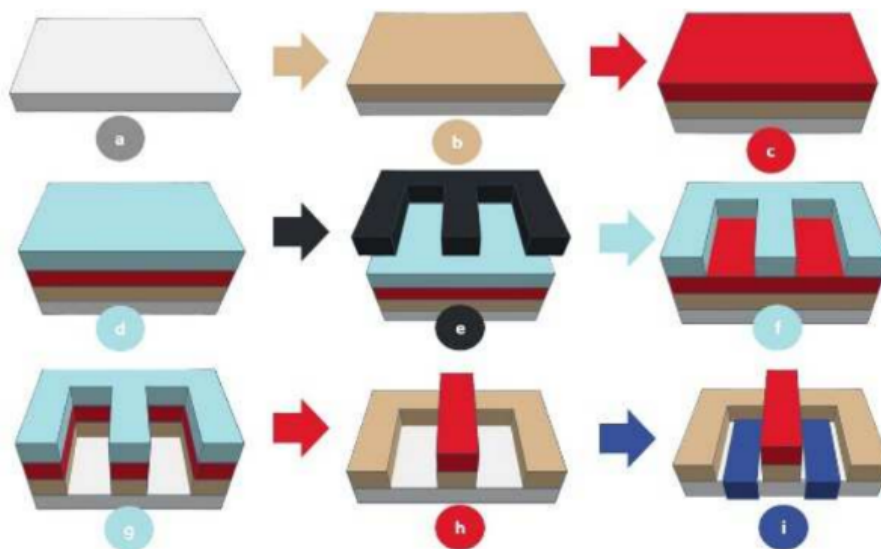
Essa estrutura de oficina favorece a aprendizagem ativa e potencialmente significativa ao integrar a teoria com a prática, além de proporcionar um ambiente dinâmico e colaborativo através de atividades em grupo que busquem explicações e soluções de problemas baseados na realidade.

5 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO EM 3D COM TRANSISTORES INTEGRADOS

Durante a graduação, o autor teve a oportunidade de integrar um projeto de extensão vinculado ao INCT Namitec, voltado à divulgação científica sobre os processos de fabricação e funcionamento de transistores, com ênfase nos MOSFETs, amplamente utilizados em microchips. No âmbito desse projeto, desenvolvemos uma oficina direcionada a estudantes do ensino médio, abordando tanto os aspectos químicos envolvidos na fabricação de um único transistor quanto seu princípio de funcionamento elétrico, articulado à lógica binária e à base da computação atual.

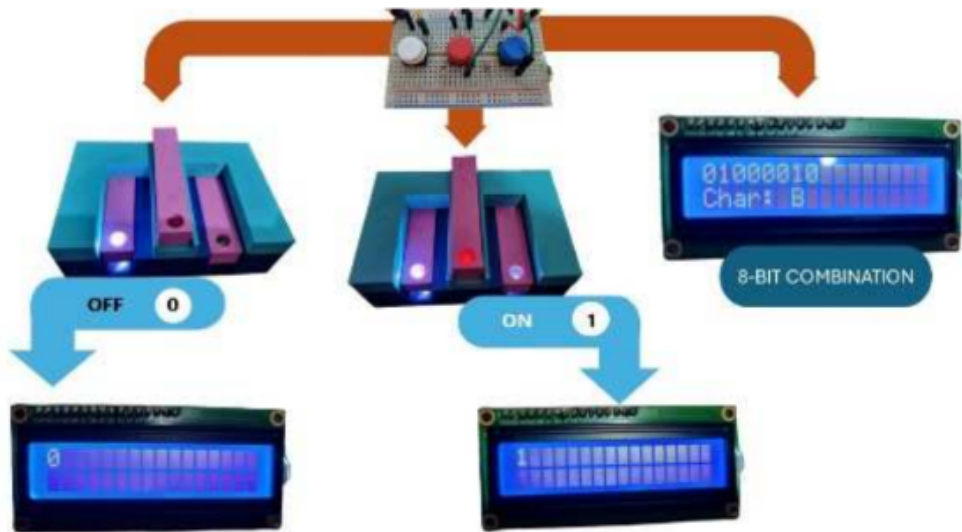
Como parte das estratégias pedagógicas adotadas, construímos um conjunto de peças didáticas impressas em 3D, que permitem aos estudantes simularem, passo a passo, o processo de fabricação de um transistor MOSFET (Figura 17) (Costa; Dias; Moreira, 2024). A oficina também integrou a montagem de um sistema simples utilizando Arduino e um shield LCD, no qual os estudantes podem programar e visualizar combinações de 8 bits que formam letras e números (Figura 18), favorecendo a associação entre código binário e representação digital. Esse trabalho foi apresentado no evento CHIP de Microeletrônica em 2024.

Figura 17 – Representação dos passos de fabricação de um único transistor a partir de peças impressas em 3D



Fonte: Costa, Dias e Moreira (2024)

Figura 18 – Protótipo para visualização de combinação de binário de 8 bits

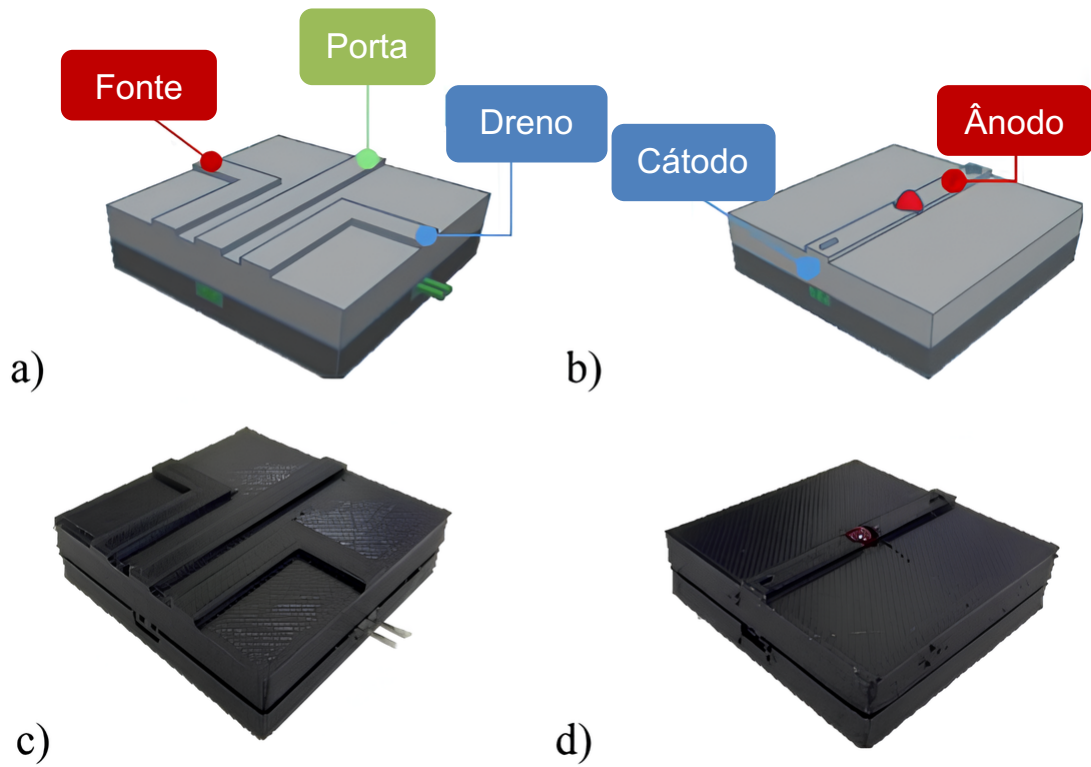


Fonte: Costa, Dias e Moreira (2024)

Entretanto, ao longo da experiência, identificou-se a necessidade de aprofundar o conteúdo da oficina, especialmente no que tange aos conceitos de circuitos digitais e às portas lógicas, elementos fundamentais para compreender o papel dos transistores na arquitetura computacional. Ao buscar essa expansão, foi percebido uma dificuldade recorrente entre os estudantes: a transposição dos diagramas de portas lógicas compostas por transistores isolados para montagens práticas na protoboard, que muitas vezes se mostram complexas e propensas a erros de conexão ou de tensão.

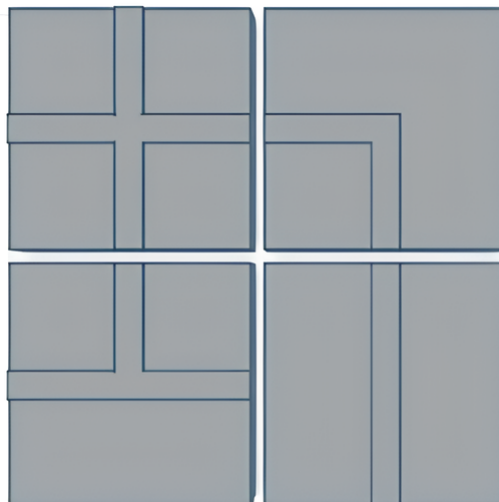
Foi a partir dessa observação que surgiu a concepção do protótipo deste trabalho, cuja proposta é oferecer uma alternativa acessível e didática para a aplicação prática desses conhecimentos, sem a necessidade do uso de protoboard. Desenvolveu-se um conjunto modular de peças impressas em 3D com design inspirado nas peças da Figura 17, já contendo os transistores e resistores integrados (Figura 19), permitindo a montagem de diferentes portas lógicas de forma intuitiva a partir de diagramas de circuitos. As peças foram projetadas para encaixe múltiplo e flexível, possibilitando a criação de circuitos de complexidade variável conforme os objetivos da atividade. Também foram incorporadas peças com LEDs indicadores (Figura 19), facilitando a visualização das entradas e saídas lógicas dos circuitos montados e módulos auxiliares que permitem a realização de conexões mais complexas (Figura 20).

Figura 19 – Modelo 3D de (a) módulo de transistor do tipo NMOS, (b) módulo de LED, (c) protótipo de módulo de transistor do tipo NMOS, e (d) protótipo de módulo de LED



Fonte: Autor (2025)

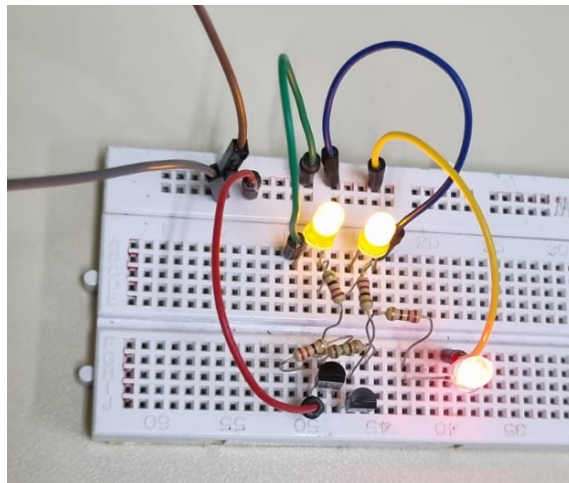
Figura 20 – Módulos de conexão impressos em 3D



Fonte: Autor (2025)

Também é importante ressaltar que, as peças modulares impressas em 3D, embora não sejam necessárias para o ensino de lógica digital, atuam como uma ferramenta facilitadora. Apenas a título de ilustração, podemos observar na Figura 21 uma exemplificação da montagem de uma porta lógica AND, cujo diagrama foi apresentado no capítulo de fundamentação conceitual, sua complexidade quanto a legibilidade em sua forma física. Entretanto, como pode ser visto na Figura 22, a montagem do mesmo circuito da porta lógica AND utilizando as peças modulares torna a leitura e compreensão do circuito uma tarefa mais simples e direta. Dessa forma, essa ferramenta busca a potencialização do aprendizado da lógica de circuitos digitais sem a necessidade do enfrentamento de possíveis problemas de conexão e a dificuldade em efetuar a leitura do circuito como um todo.

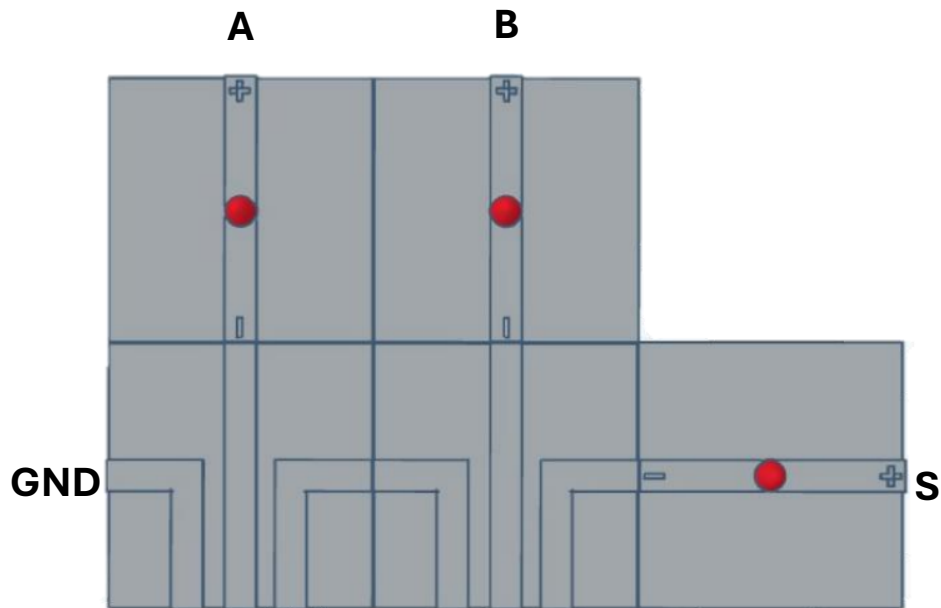
Figura 21 – Circuito de uma porta lógica AND em protoboard



Fonte: Autor (2025)

Em síntese, esta proposta busca facilitar a compreensão de conceitos abstratos da eletrônica digital, promovendo a possibilidade de uma aprendizagem significativa por meio de recursos manipuláveis, acessíveis e conectados com o raciocínio lógico. Ao articular teoria e prática de forma concreta e inclusiva, o protótipo visa ampliar as possibilidades de ensino de circuitos digitais em diferentes contextos educacionais, como clubes de ciências, oficinas tecnológicas, aulas interdisciplinares de física, química e matemática, além de componentes curriculares voltados à computação e ao pensamento lógico. Todos os arquivos e detalhes a respeito da construção das peças está contido em um repositório no *GitHub* e o link pode ser encontrado no apêndice A.

Figura 22 – Circuito de uma porta lógica AND utilizando as peças modulares, onde A e B são as entradas e S a saída.



Fonte: Autor (2025)

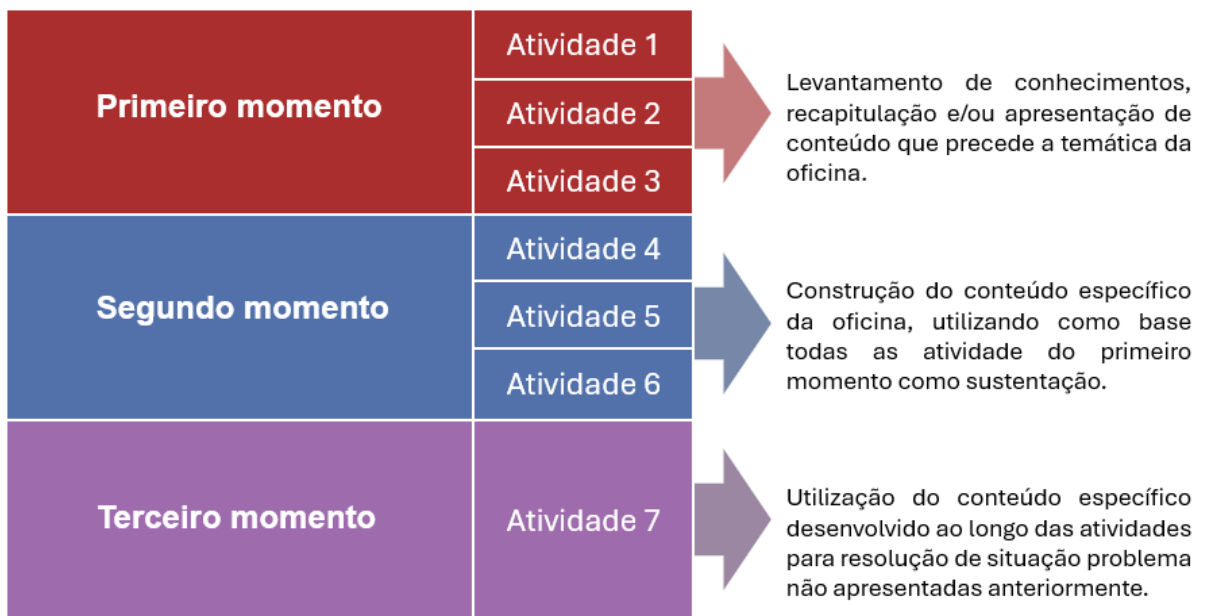
Os módulos foram modelados utilizando o *software* online gratuito Tinkercad e produzidos com tecnologia de impressão 3D utilizando o modelo de impressora Sethi3D FARM e filamento do tipo PLA, um material biodegradável, de baixo custo e de fácil manuseio.

6 PROPOSTA DE OFICINA

A oficina proposta está constituída de sete atividades as quais, estão organizadas segundo os Três Momentos Pedagógicos, com base na estrutura desenvolvida por Delizoicov *et al.* (2002): levantamento de conhecimentos prévios, construção dos conceitos científicos e aplicação em situações-problema. Essa organização também dialoga diretamente com os princípios da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, especialmente no que se refere à diferenciação progressiva, ao uso de organizadores prévios e à reconciliação integradora de conceitos.

Na Figura 23, é possível ver uma visualização geral das atividades dispostas conforme os três momentos pedagógicos de Delizoicov e a descrição geral das atividades em seus respectivos momentos.

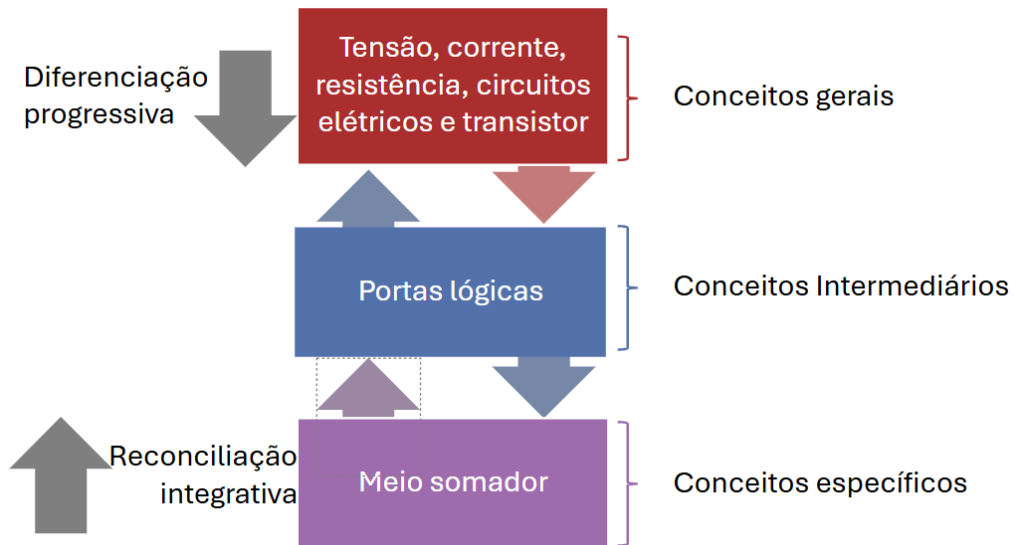
Figura 23 – Esquema de atividades e momentos pedagógicos



Fonte: Autor (2025)

A Figura 24, ilustra como a disposição de conceitos abordados na oficina, busca entrar em consonância com a ideia de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de Ausubel.

Figura 24 – Esquema de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa com os conteúdos da oficina



Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, no primeiro momento, são introduzidos os conteúdos mais gerais como: tensão, corrente, resistência, circuitos elétricos e transistores. E progressivamente conduzem ao conteúdo mais específico dentro da eletrônica, as portas lógicas. Por fim, esses conceitos são integrados e aplicados por meio da construção de um meio somador proposto como situação-problema.

Além disso, cada uma das atividades está disponibilizada nos Apêndices A, B, C, D, E, F e G, correspondendo, respectivamente, às Atividades 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, organizadas no formato de caderno de atividades voltado aos estudantes. De forma complementar, os Apêndices H, I, J, K, L, M e N apresentam orientações específicas para o professor ministrante, incluindo o conteúdo abordado em cada atividade, os objetivos propostos e observações sobre o papel do docente durante a condução das atividades.

6.1 Primeiro momento: Atividades 1, 2 e 3

O primeiro momento da oficina, composto pelas Atividades 1, 2 e 3, tem como objetivo preparar cognitivamente os estudantes, sobretudo aqueles com pouca ou nenhuma familiaridade com os conteúdos da eletrônica básica. Nesse estágio inicial, são apresentados os conceitos fundamentais de corrente elétrica, tensão, resistência e funcionamento de circuitos simples. Utilizando analogias acessíveis, como a comparação entre fluxo de corrente

elétrica e fluxo de água, o professor introduz os conceitos de forma a ativar subsunções prévios nos alunos. Após uma explanação teórica breve, os estudantes realizam a montagem de um circuito simples com uma pilha, resistor e LED em uma protoboard, observando na prática a influência da resistência sobre a intensidade da corrente e o brilho do LED. Esse primeiro contato com os componentes físicos do circuito permite a visualização tangível entre teoria e prática, facilitando o estabelecimento da base para os tópicos seguintes.

Na segunda atividade, o foco passa a ser a leitura e interpretação de esquemas elétricos e a associação de resistores em série e paralelo. Com o auxílio de diagramas simbólicos, os alunos são desafiados a identificar as diferentes configurações de circuitos e a observar, por meio de medições com multímetro, as variações de corrente e tensão conforme a disposição dos resistores. Ao final, cada grupo registra seus resultados em uma tabela comparativa, refletindo sobre as diferenças entre as duas formas de associação e com apoio por meio da análise experimental direcionada.

A terceira atividade introduz o transistor como chave eletrônica. Nesse momento, os estudantes aprendem os nomes e funções dos terminais (base, coletor e emissor) e observam o funcionamento do transistor como interruptor em um circuito com LED e botão. A atividade permite que os alunos compreendam como uma pequena tensão na base pode controlar a passagem de corrente entre os outros terminais. Esta sessão funciona como uma ponte conceitual entre os circuitos simples e os circuitos digitais, pois, mostra de forma prática, como o transistor pode assumir papel chave na lógica computacional.

No Quadro 1 é possível ter uma visualização mais direta do primeiro momento, contendo cada um dos conceitos abordados, atividades e suas respectivas dinâmicas.

Quadro 1 – Atividades do primeiro momento, conceitos envolvidos e duração

(continua)

Conceitos	Atividade	Dinâmica	Duração
Corrente elétrica, tensão, resistência, circuito simples	1	Inicia-se com uma breve explanação teórica sobre os conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial e resistência. O professor demonstra o uso do multímetro, fontes de alimentação e resistores. Em seguida, os alunos, organizados em grupos, montam um circuito básico com uma fonte (pilha ou bateria), um resistor e um LED em uma protoboard. Cada grupo testa a condução elétrica e registra o comportamento do LED ao variar a resistência. Os alunos produzem esquemas do circuito montado e descrevem em seus cadernos a função de cada componente.	90 min
Leitura de esquemas elétricos,	2	Após a introdução prática, a turma é desafiada a interpretar esquemas de circuitos simples, representados em papel e projetados pelo professor.	45 min

Conceitos	Atividade	Dinâmica	Duração
associação de resistores (série e paralelo)		São discutidas as associações série e paralelo e suas consequências para a corrente e a tensão. Grupos montam os circuitos equivalentes na protoboard, realizam medições com o multímetro e comparam os resultados com os valores esperados. Cada grupo elabora uma tabela com medições e escreve uma conclusão sobre a diferença entre os dois tipos de associação.	
Introdução ao transistor como chave eletrônica (NPN)	3	O professor apresenta o transistor como um componente semicondutor que funciona como chave. Explica-se a estrutura básica (base, coletor e emissor) e as regiões de operação (corte, saturação e ativa). Em grupos, os alunos montam um circuito onde o transistor é utilizado para acender um LED, controlado por um botão. Observa-se o comportamento do LED ao pressionar ou soltar o botão, compreendendo a ação do transistor. Os alunos desenham o circuito e anotam em que condição o LED se acende, discutindo o papel do transistor.	45 min

Fonte: Autor (2025)

6.2 Segundo momento: Atividades 4, 5 e 6

O segundo momento pedagógico da oficina, correspondente às Atividades 4, 5 e 6, tem como finalidade a construção e o aprofundamento dos conceitos relacionados à lógica digital. A Atividade 4 introduz as portas lógicas básicas, NOT, AND e OR, a partir da associação física de transistores e do registro das tabelas verdade, como as mostradas na sessão de fundamentação conceitual. Os estudantes observam como o acionamento ou bloqueio do transistor representa, respectivamente, os estados lógicos 1 e 0. A experimentação é acompanhada da leitura e preenchimento de tabelas, permitindo a abstração dos comportamentos elétricos em operações lógicas.

Na Atividade 5, os alunos são conduzidos à associação dessas portas para formar estruturas lógicas mais complexas, como NAND, NOR e XOR. Essa etapa permite a comparação entre comportamentos simples e compostos, promovendo a reconciliação integrativa entre os conceitos previamente trabalhados. Por meio da montagem prática, os estudantes verificam como os circuitos compostos podem ser previstos e interpretados a partir da análise das tabelas verdade.

Já na Atividade 6, os alunos avançam para a interpretação e tradução de expressões matemáticas em circuitos físicos, utilizando os conhecimentos adquiridos

para montar arranjos que representem determinadas condições lógicas. Essa atividade reforça a habilidade de transitar entre a linguagem simbólica da lógica matemática e a montagem prática de circuitos reais, fortalecendo o raciocínio lógico e a compreensão dos fundamentos da computação digital.

No Quadro 2 é possível ter a visualização direta do segundo momento, contendo cada um dos conceitos abordados, atividades e suas respectivas dinâmicas.

Quadro 2 – Atividades do segundo momento, conceitos envolvidos e duração

Conceitos	Atividade	Dinâmica	Duração
Portas lógicas: AND, OR e NOT com transistores	4	Introduz-se o conceito de lógica binária (valores 0 e 1) e as portas lógicas fundamentais (AND, OR, NOT). O professor apresenta tabelas verdade e diagramas dos circuitos lógicos. Os alunos constroem, em grupos, cada uma das portas usando transistores, resistores e LEDs. Cada circuito é testado com diferentes combinações de entradas, e os resultados são comparados com a tabela verdade. Os alunos produzem um relatório descrevendo o funcionamento de cada porta e relacionando com a teoria.	45 min
Portas lógicas: NAND, NOR e XOR com transistores	5	A partir das portas lógicas introduzidas na atividade 4, os estudantes são apresentados a portas lógicas mais complexas: NAND, NOR e XOR.	60 min
Sistema binário e conversão de	6	A aula se inicia com a apresentação do sistema numérico binário, abordando sua importância para circuitos digitais. O professor explica a base 2 e demonstra como converter números binários para decimais e vice-versa com exemplos. Os alunos realizam exercícios simples de conversão.	30 min

Fonte: Autor (2025)

6.3 Terceiro momento: Atividade 7

O terceiro e último momento da oficina corresponde à Atividades 7 e tem como foco a aplicação dos conhecimentos adquiridos em uma situação-problema. Na atividade 7, os estudantes utilizam as peças modulares impressas em 3D, desenvolvidas especificamente para a oficina, para montar um circuito que tenha a função de somar dois bits. O problema de somar dois números é um problema clássico da eletrônica digital e seu circuito se chama “meio somador”.

No Quadro 3 é possível ter a visualização direta do segundo momento, contendo cada um dos conceitos abordados, atividades e suas respectivas dinâmicas.

Quadro 3 – Atividade do terceiro momento, conceitos envolvidos e duração

Conceitos	Atividade	Dinâmica	Duração
Projeto e construção do meio somador (Half-Adder)	7	O professor introduz o conceito de meio somador, explicando que ele realiza a adição de dois bits (A e B), com uma saída de soma (S) e uma saída de vai-um (C). Os grupos são desafiados a construir o circuito completo utilizando as peças modulares. Os alunos testam todas as combinações de entrada (00, 01, 10, 11), registram os resultados e validam se o circuito se comporta como esperado.	45 min

Fonte: Autor (2025)

As atividades propostas na oficina sobre circuitos elétricos, lógica digital e construção de um meio somador não se limitam a disciplina de Física no currículo tradicional e podem ser aplicadas em diversos cenários pedagógicos interdisciplinares e espaços formativos extracurriculares, ampliando as possibilidades de aprendizagem significativa e conectando o estudante a ciência e tecnologia contemporânea.

Dentre os exemplos de diferentes cenários em que as atividades podem ser realizadas, citam-se clube de ciências ou robótica educacional, oficinas ou componentes curriculares de fundamentos de computação ou pensamento computacional e matemática no contexto de álgebra de conjuntos e introdução à álgebra booleana.

Em clubes de ciências, essas atividades podem ser desenvolvidas como projetos investigativos e práticos, promovendo o protagonismo estudantil e a experimentação como eixo central do aprendizado. A montagem de circuitos, a exploração dos transistores e a construção de portas lógicas são excelentes pontos de partida para que os estudantes compreendam os fundamentos da computação física e da engenharia eletrônica. O projeto final, o meio somador, pode ser integrado a sistemas maiores, como contadores binários, cronômetros digitais ou pequenos autômatos, promovendo a interdisciplinaridade com áreas como programação e automação.

Como outro exemplo citado, componentes curriculares voltados à introdução da computação, as atividades relacionadas à lógica binária, transistores e portas lógicas oferecem uma base sólida para a compreensão do funcionamento de

processadores e circuitos digitais. Os alunos podem visualizar, de maneira concreta, como informações digitais são tratadas a partir de estruturas físicas, favorecendo uma aprendizagem contextualizada que conecta hardware e software. A conversão de números binários, o uso de sensores como entradas lógicas e a construção de circuitos simples ajudam os estudantes a internalizarem conceitos-chave da computação de forma visual, prática e intuitiva.

As portas lógicas, como último exemplo citado, construídas com transistores são representações físicas das operações da álgebra booleana, como conjunção (AND), disjunção (OR) e negação (NOT). Ao associar essas operações a conjuntos e tabelas verdade, é possível integrar as atividades com aulas de Matemática voltadas à lógica e álgebra de conjuntos. Essa abordagem estimula o raciocínio lógico-dedutivo e permite que os alunos estabeleçam analogias entre os diagramas de Venn, as expressões algébricas booleanas e os circuitos elétricos reais. O meio somador, por sua vez, materializa combinações de operações booleanas mais complexas (XOR e AND), o que amplia as conexões com a lógica matemática.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente proposta de oficina didática buscou explorar, de maneira acessível e significativa, os fundamentos do funcionamento de transistores e operadores lógicos no ensino médio. Para isso, foram desenvolvidas peças modulares impressas em 3D integradas a uma sequência de atividades que dialogam com os princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, especialmente a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e o uso de organizadores prévios.

Ao articular teoria e prática por meio de atividades experimentais e manipuláveis, a oficina contribui para o entendimento de conceitos muitas vezes abstratos da eletrônica digital, favorecendo a construção de significados e ampliando as possibilidades de aprendizagem. A estruturação das atividades segundo os Três Momentos Pedagógicos permitiu organizar os conteúdos de maneira gradual, partindo de conhecimentos prévios e avançando até a resolução de uma situação-problema, consolidando os conceitos por meio da construção de um meio somador.

A escolha pela utilização de peças modulares em 3D mostrou-se eficaz ao tornar a montagem de circuitos mais intuitiva, minimizando erros comuns associados ao uso de protoboards e facilitando a visualização de entradas e saídas lógicas. Além de beneficiar os estudantes, a proposta também oferece aos professores um material de apoio estruturado, que pode ser adaptado a diferentes contextos e aprofundado conforme os objetivos pedagógicos.

Apesar de suas contribuições, é importante reconhecer que a oficina, por si só, não garante a ocorrência de uma possível aprendizagem significativa, especialmente considerando o tempo limitado de sua aplicação. No entanto, ela pode funcionar como ponto de partida, despertando o interesse dos alunos por temas da ciência e tecnologia, e promovendo uma base para o desenvolvimento posterior desses conhecimentos.

Como continuidade, recomenda-se a aplicação da oficina em diferentes turmas e contextos escolares, bem como a realização de estudos avaliativos que investiguem seus impactos no engajamento e na aprendizagem dos estudantes. Além disso, há potencial para a ampliação do conjunto de peças modulares, incluindo novos componentes e circuitos, e para o uso da oficina em formações docentes voltadas ao ensino de física, eletrônica e computação.

Assim, este trabalho contribui com uma proposta concreta para o ensino de transistores e lógica digital no ensino médio e reflexões sobre o papel das metodologias ativas e da inovação pedagógica na construção de uma educação científica mais acessível, interdisciplinar e significativa.

REFERÊNCIAS

ARAUJO CRUZ, Caio; PEREIRA ALENCAR OLIVEIRA, Maria Elizete; LEITE SALES, Gilvandenys; FERNANDES DE ALMEIDA, Alisandra Cavalcante. Oficinas de aprendizagem no ensino de física: um estudo de caso com experiências de termodinâmica. **Revista Prática Docente**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. e082, 2021. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/294>. Acesso em: 24 out. 2024.

AUSUBEL, David Paul. **Educational psychology**: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, David Paul; FITZGERALD, Donald. The role of discriminability in meaningful learning and retention. **Journal of educational psychology**, v. 52, n. 5, p. 266, 1961.

BRASIL. M. E. C. Ministério da educação. **Base nacional comum curricular**, v. 2, 2018.

CARDOSO, Stenio Octávio de Oliveira; DICKMAN, Adriana Gomes. Simulação computacional aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 891-934, out. 2012.

CARVALHO, Débora Vieira; SILVA, Jeniffer Albuquerque da; SILVA, Marcia da; SOUZA, Marianne Quinto de. Conectando talentos ao futuro: o impacto das iniciativas de tecnologia na inserção de novos profissionais no mercado de trabalho. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, [S. l.], v. 1, n. 07, p. e313, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.13324058. Disponível em: http://revista.fateczl.edu.br/index.php/engetec_revista/article/view/187. Acesso em: 12 set. 2024.

COSTA, Priscila; DIAS, Lucas Paiva; MOREIRA, Eduardo Ceretta. "Integrating STEAM and Maker Education in High School to Introduce the Microchip Manufacturing Process," *2024 38th Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro)*, Joao Pessoa, Brazil, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/SBMicro64348.2024.10673851.

CRUZ, Eduardo Cesar A.; JUNIOR, Salomão C.; ARAÚJO, Celso de. **Eletrônica Digital**. Rio de Janeiro: Érica, 2014. E-book. ISBN 9788536518480. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518480/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José Antonio; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.

DÜRRE, Jan; PAYÁ VAYÁ, Guillermo; BLUME, Holger. Teaching digital logic circuit design via experiment-based learning — print your own logic circuit. **WMSCI 2016 — 20th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics**, v. 1, 2016.

FERREIRA, Gledson de Paiva; COSTA, Michel da; COSTA, Marcos Rogério Martins; LIMA, Vanessa Rocha. A influência das tecnologias e recursos digitais na educação: uma revisão em perspectiva do letramento tecnológico digital na educação contemporânea. **IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)**, v. 28, n. 1, p. 01-07, jan. 2023. DOI: 10.9790/0837-2801040107.

JEON, Jaedon; LEE, Hyonyong. The development and application of STEAM education program based on systems thinking for high school students. **Journal of The Korean Association for Science Education**, v. 35, p. 1007, dez. 2015.

LOREIAN, Ingridy; DARROZ, Luiz Marcelo; ROSA, Cleci Teresinha Werner da. Organizadores prévios no processo de ensino de Física: o que dizem os periódicos da área. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, Belém, v. 16, n. 37, p. 210-223, dez. 2020. DOI: 10.18542/amazrecm.v16i37.7690. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/7690/6699>. Acesso em: 24 out. 2024.

MARQUES, Humberto Rodrigues et al. Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 26, n. 03, p. 718-741, 2021.

MENEZES, Ana Paula Sá; KALHIL, Josefina Barrera. História das Ciências e TIC: organizador prévio no processo ensino-aprendizagem de Física na Amazônia. **ARETÉ – Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 144-150, 2009.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2012. Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 21 out. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa.** 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 24 out. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, set./dez. 2018.

MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie Aparecida S. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel.** 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

MOURÃO, Matheus Fernandes; SILVA, João Batista; SALES, Gilvandenys Leite. Potencialidades do uso de oficinas no ensino de Física: análise de uma estratégia para aulas iniciando por práticas experimentais. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 429-437, 2020.

PEREIRA, Érico Felden *et al.* O trabalho docente e a qualidade de vida dos professores na educação básica. **Saúde Pública**, v. 16, n. 2, 2013.

ROUHIANEN, Aaro. **Teaching boolean algebra and logic gates to students from junior high school.** 2024. Disponível em:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/861690/Aaro_Rouhiainen_Thesis.pdf?sequence=2. Acesso em: 20 jun. 2025.

RAGHUVANSHI, Yashasvini; MISHRA, Dhananjay R.; DUMKA, Pankaj. Modelling logic gates in Python. **International Journal for Multidisciplinary Research**, v. 4, n. 5, p. 1–8, 2022.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C.; CARUSONE, Tony Chan. **Circuitos microeletrônicos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. E-book. ISBN 9788521638391. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638391/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

SZAJNBERG, Mordka. **Eletrônica digital: teoria, componentes e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2014. E-book. p.10. ISBN 978-85-216-2707-4. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-2707-4/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

TOKUDA, Yutaka et al. Flowcuits: crafting tangible and interactive electrical components with liquid metal circuits. *Tangible Embedded and Embodied Interaction*. **ACM: Association for Computing Machinery**, 2021.

APÊNDICE A - Repositório Digital do Projeto

O repositório do projeto, hospedado no GitHub, contém:

- Arquivos 3D (.STL) para impressão das peças
- Imagens ilustrativas
- Instruções de montagem e configuração.

Link de acesso: <https://github.com/ThePaiva/3D-Modular-Transistor>

APÊNDICE B – Atividade 1: Montando o Primeiro Circuito Elétrico

Materiais Necessários

- 1 pilha de 1,5 V
- 4 resistor : 100 Ω , 220 Ω , 1000 Ω e 10000 Ω
- 1 LED
- 1 protoboard
- Fios de conexão

Entendendo os componentes

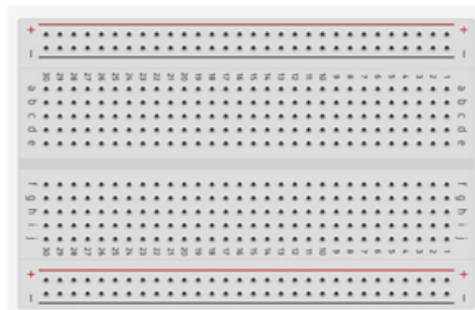
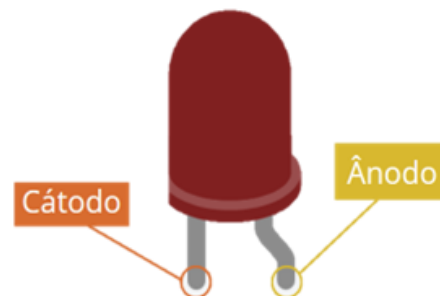
A pilha é a fonte de energia do circuito. Ela fornece a tensão elétrica necessária para que os elétrons (partículas carregadas negativamente) se movam ao longo do circuito.



O resistor é um componente que oferece **resistência** ao fluxo de corrente elétrica. Ele regula a quantidade de corrente que pode passar por ele, limitando a intensidade da corrente no circuito.

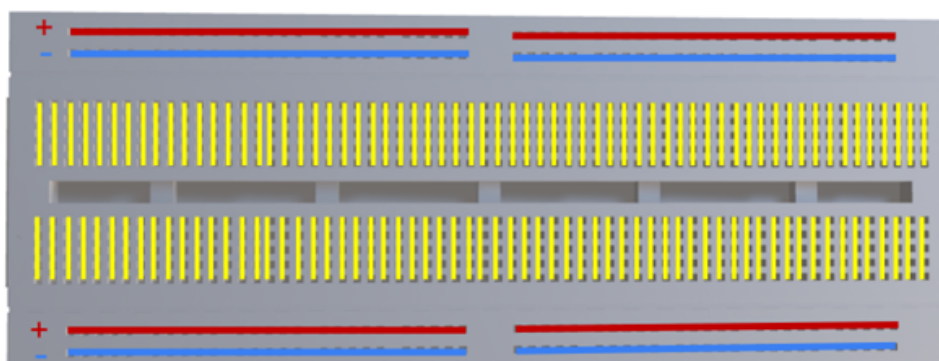
Montando o primeiro circuito elétrico

O LED (Light Emitting Diode) é um componente eletrônico que emite **luz** quando uma corrente elétrica passa por ele. Ele tem uma característica especial: permite que a corrente flua apenas em uma direção, da parte positiva para a negativa. A parte positiva é chamada de Anodo e a negativa de cátodo.



A protoboard é uma ferramenta que permite **montar circuitos eletrônicos de forma rápida e prática**, sem necessidade de soldar os componentes.

A protoboard possui linhas e colunas de conexões internas que permitem que os fios sejam inseridos de forma a criar conexões elétricas sem a necessidade de fios extras.

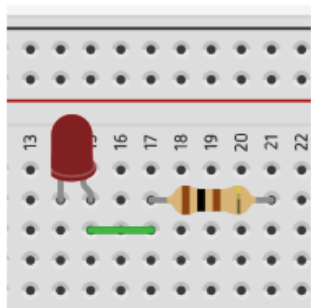
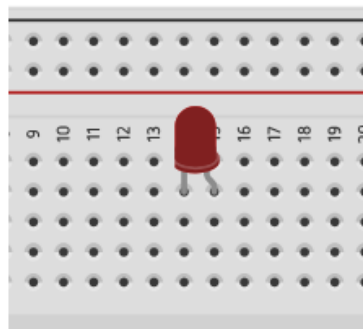


Montando o primeiro circuito elétrico

Ligando um LED passo a passo

Passo 1

Inserira o LED na protoboard, prestando a atenção para onde cátodo e o anodo do LED estão posicionados.

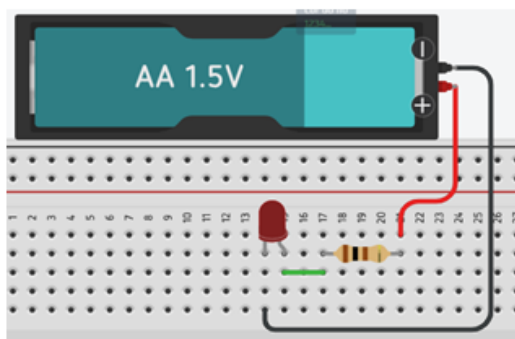


Passo 2

Conecte um fio do terminal negativo do LED a um resistor de $100\ \Omega$. O resistor deve ser inserido de forma que a corrente elétrica tenha que passar por ele antes de seguir para o terminal positivo da pilha.

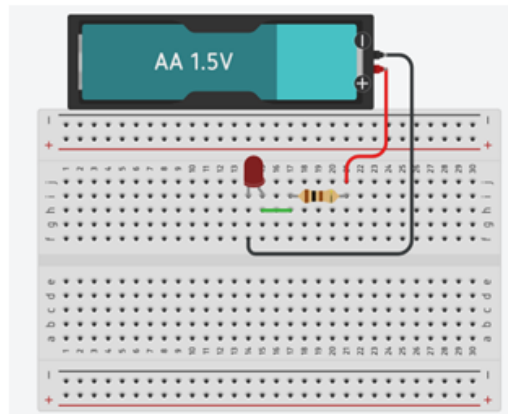
Passo 3

Conecte um fio do lado negativo da pilha ao ânodo (positivo) do LED. Em seguida, conecte o terminal negativo da pilha ao resistor.



Montando o primeiro circuito elétrico

Circuito completo



Funcionamento do circuito

Como pode ser visto na imagem abaixo, a corrente elétrica flui pelo fio conectado ao polo negativo (sentido convencional), passa pelo resistor e pelo LED, e então termina no polo positivo da bateria.

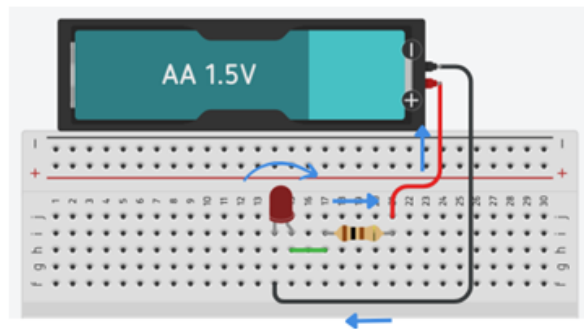
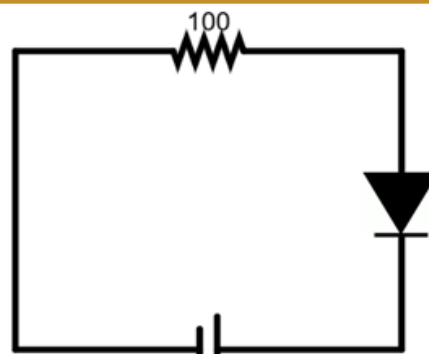


Diagrama do circuito montado



Montando o primeiro circuito elétrico

Variando a resistência

Após o término da montagem do circuito, retire o resistor do circuito e substitua-o pelos outros resistores disponíveis (220 Ω , 1000 Ω e 10000 Ω) e anote:

1. O que ocorre com o comportamento do LED quando mudamos a resistência no circuito?
2. Que outro diagrama de circuito poderia ser montado para descrever o circuito montado?

APÊNDICE C – Atividade 2: Circuitos em Série e Paralelo

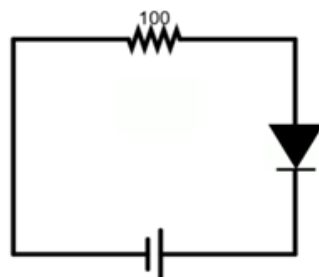
Circuitos em série e paralelo

Materiais Necessários

- 1 Bateria de 9 V
- 4 resistor : 100 Ω , 220 Ω , 1000 Ω e 10000 Ω
- 1 LED
- 1 protoboard
- Fios de conexão

Resistores em série

Dizemos que algum componente está em série quando ele é ligado diretamente após o outro. O exemplo mais simples de um circuito em série são dois resistores em série, que pode ser visto no diagrama ao lado.

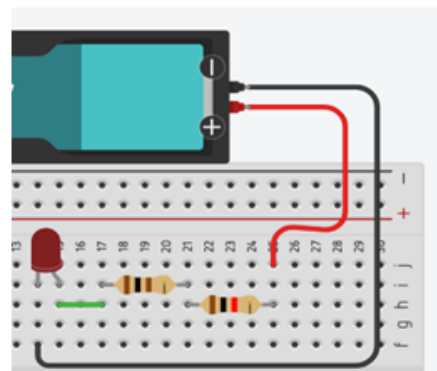


Passo 1

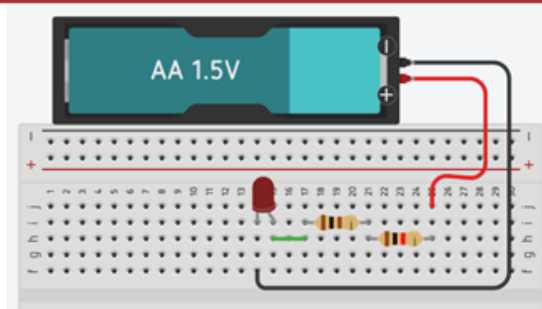
Para estudar essa forma de conectar resistores, vamos fazer uso do circuito construído na primeira atividade. Utilize a imagem ao lado como referência.

Passo 2

Substitua o resistor do circuito por uma associação em série de dois resistores diferentes.

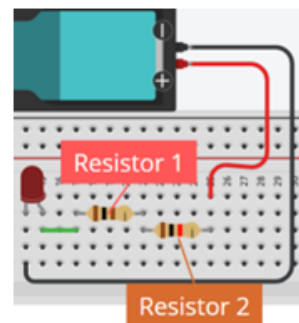


Circuitos em série e paralelo



Passo 3

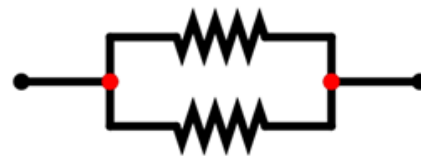
Utilize um multímetro para realizar a medida da resistência da associação em série, anote o valor encontrado e preencha a tabela abaixo para duas combinações de resistores diferentes.



Resistor 1	Resistor 2	Resistência encontrada

Resistores em paralelo

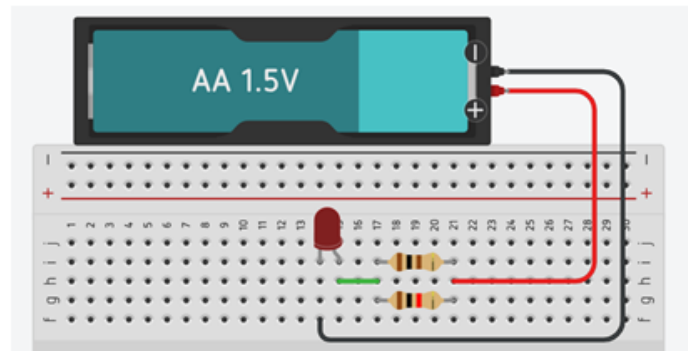
Dizemos que algum componente está em paralelo quando ele é ligado junto ao outro. O exemplo mais simples de um circuito em paralelo também são dois resistores em paralelo, que pode ser visto no diagrama ao lado.



Circuitos em série e paralelo

Passo 1

Para realizar o experimento do circuito em paralelo, vamos reutilizar o circuito anterior e apenas substituir a forma como os resistores estão ligados entre si, assim como está mostrado na figura abaixo.



Passo 2

Utilize um multímetro para realizar a medida da resistência da associação em paralelo, anote o valor encontrado e preencha a tabela abaixo para duas combinações de resistores diferentes.

Resistor 1	Resistor 2	Resistência encontrada

Questionamento

Comparando os valores encontrados, pode-se observar alguma diferença entre os valores das resistências medidas?

APÊNDICE D – Atividade 3: O Transistor

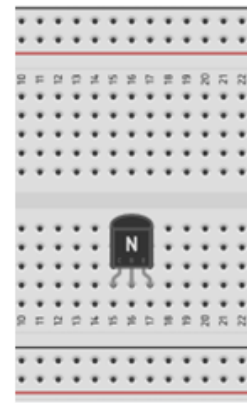
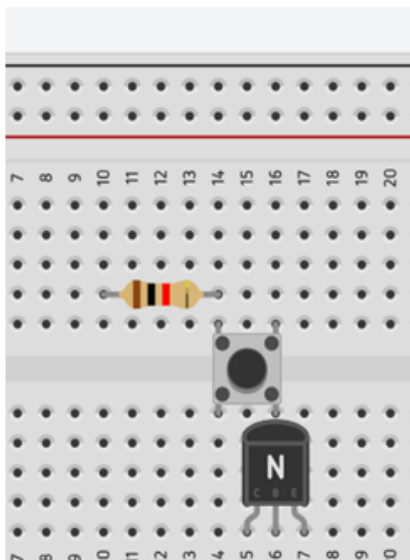
O transistor

Materiais Necessários

- 1 bateria de 9 V
- 2 resistores : 220 Ω , 1000 Ω
- 1 LED
- 1 protoboard
- 1 botão
- Peças modulares
- Fios de conexão

Passo 1

Para montar um circuito utilizando um transistor para controlar se LED liga ou desliga, vamos começar pegando o transistor do tipo NPN e ligá-lo na protoboard como na imagem ao lado.



Passo 2

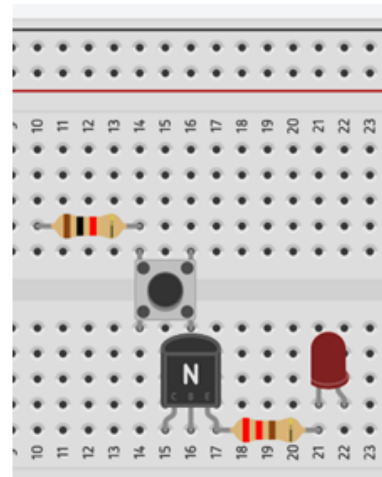
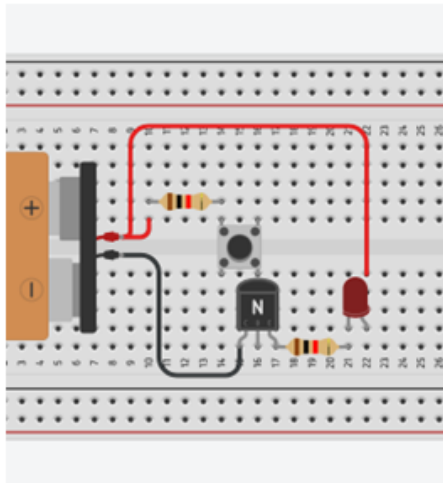
Ligue o botão na porta do transistor para que ele possa controlar se a tensão chega ao portão do transistor.

Logo em seguida, ligue um resistor de 1000 Ω no botão. Esse resistor terá o papel de deixar o comportamento do transistor mais estável.

O transistor

Passo 3

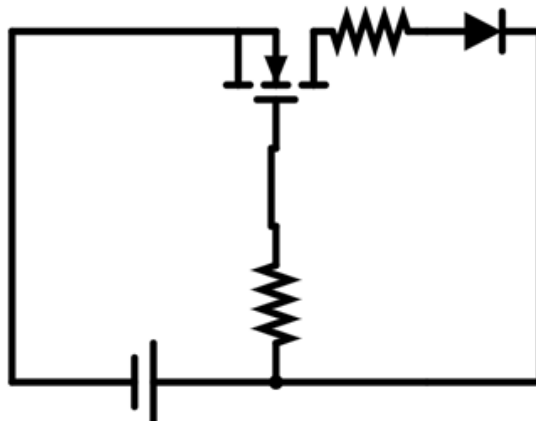
Agora ligue um LED com o resistor de 220 Ω em série com o emissor do transistor.



Passo 3

Agora faça as conexões com os fios, como a figura ao lado, para ligar o circuito a bateria.

Diagrama do circuito realizado



O transistor

Atividade

Observando o circuito construído explique com suas palavras, o funcionamento do circuito com transistor, isto é, o que ocorre quando o transistor é ligado? Se ele está desligado, o que acontece?

APÊNDICE E – Atividade 4: Montando Portas Lógicas

Montando portas lógicas

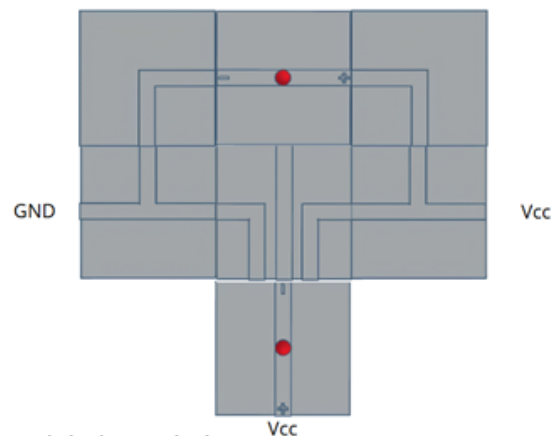
Materiais Necessários

- 1 Bateria de 9V
- Peças modulares desenvolvidas
- Fios de conexão

Porta lógica NOT

A porta lógica NOT(não) é a porta lógica mais simples e consiste apenas na associação do LED em paralelo com um transistor. Seu comportamento é simplesmente o contrário de um único transistor, quando o transistor está desligado, sua saída é ligada(1) e quando está ligado sua saída é desligada(0).

Para construí-la, basta conectar uma peça de LED em paralelo a uma peça de transistor e, logo em seguida, uma peça de LED na base do transistor. O LED em paralelo irá representar a nossa saída, e o LED da base a nossa entrada. E então, é só fechar o circuito como na figura abaixo



Para construir a tabela-verdade que resume o seu comportamento, primeiro vamos escolher uma letra para representar cada um dos LEDs, uma para o LED de entrada, e outra para o LED de saída, por exemplo A e S, respectivamente. Em seguida, vamos testar o que acontece quando ligamos o LED A e o que acontece quando desligamos.

Dessa forma, basta que façamos uma tabela como a abaixo, e registremos se, A estiver ligado, preenchemos o número 1 e, se estiver desligado, o número 0. O mesmo deve ser feito com o LED de saída S.

Dessa forma, o que teremos para a tabela-verdade da porta lógica NOT será:

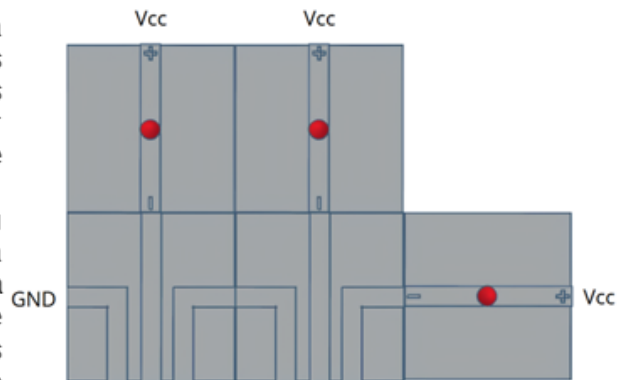
A	S
1	0
0	1

Montando portas lógicas

Porta lógica AND

A porta lógica AND(E), consiste da associação em série de dois transistores. Para construí-la, vamos apenas ligar duas peças de transistor uma ao lado da outra e pronto! Essa é a porta lógica AND.

Agora para que possamos ver seu comportamento, vamos ligar uma peça de LED na base de cada peça de transistor que serão as entradas, e outra peça de LED em série com os transistores, que será a saída. E então basta fecharmos o circuito, como na imagem ao lado.



Agora, vamos construir a tabela-verdade da porta AND. Primeiro, vamos dar um nome para cada um dos LEDs, por exemplo A e B, para as entradas e S para a saída. Em seguida, assim como para a porta lógica NOT, vamos registrar na tabela abaixo qual o resultado para cada possibilidade. Ou seja, lembrando que 1 é ligado e 0 é desligado, qual as saídas observadas no circuito para a tabela abaixo?

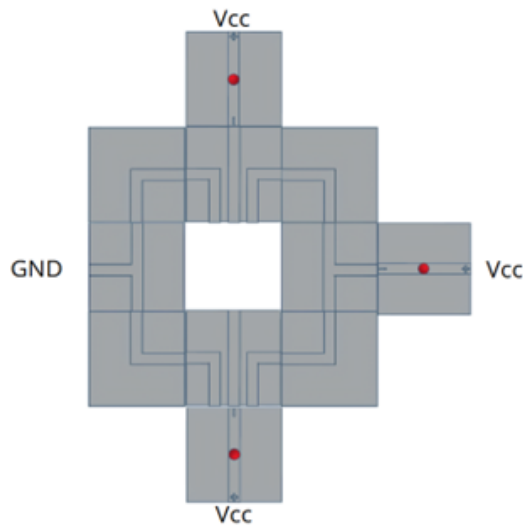
A	B	S
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Montando portas lógicas

Porta lógica OR

A porta lógica OR(OU), consiste da associação em paralelo de dois transistores. Para construí-la, vamos apenas ligar duas peças de transistor.

Agora, assim como fizemos para a porta lógica AND, para ver seu comportamento, vamos ligar uma peça de LED na base de cada peça de transistor que serão as entradas, e outra peça de LED em série com os transistores, que será a saída. E então basta fecharmos o circuito, como na imagem abaixo.



Agora, vamos construir a tabela-verdade da porta OR. Assim como a tabela-verdade para porta AND, de um nome para cada uma das entradas e para a saída. Em seguida, preencha a tabela-verdade da porta OR observando o comportamento do circuito.

0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Montando portas lógicas

Explicando o circuito

Com base nos experimentos feitos, explique com suas palavras:

1. Como funciona a porta lógica AND, isto é, o que acontece quando ligamos apenas uma entrada? E quando não ligamos nenhuma? E quando ligamos as duas?

2. Como funciona a porta lógica OR, isto é, o que acontece quando ligamos apenas uma entrada? E quando não ligamos nenhuma? E quando ligamos as duas?

APÊNDICE F – Atividade 5: Portas Lógicas NAND, NOR e XOR

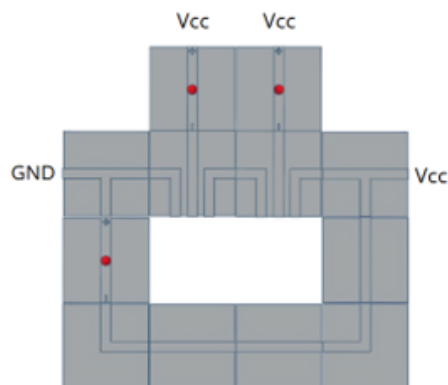
Portas lógicas NAND, NOR e XOR

Materiais Necessários

- 1 Bateria de 9 V
- Fios de conexão
- Peças modulares

Porta lógica NAND

A porta lógica NAND (Não AND) consiste simplesmente no comportamento contrário ao da porta lógica AND, ou seja, ela é constituída simplesmente da porta lógica AND com uma associação do tipo NOT, como na imagem abaixo.



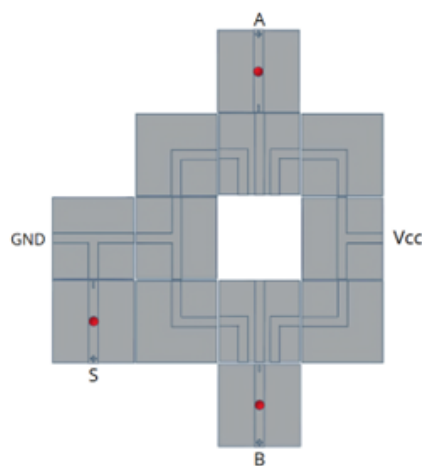
Para montar a porta lógica NAND com as peças modulares, primeiro vamos montar uma porta lógica AND, e então ligá-la a uma porta lógica NOT, como na imagem ao lado.

Monte a tabela verdade da porta lógica NAND

Portas lógicas NAND, NOR e XOR

Porta lógica NOR

A porta lógica NOR (Não OR), semelhante a porta lógica NAND, tem o comportamento oposto a porta lógica OR. Seguindo essa lógica, o NOR é simplesmente composto por uma porta lógica OR associada a uma porta lógica NOT, como na imagem ao lado.



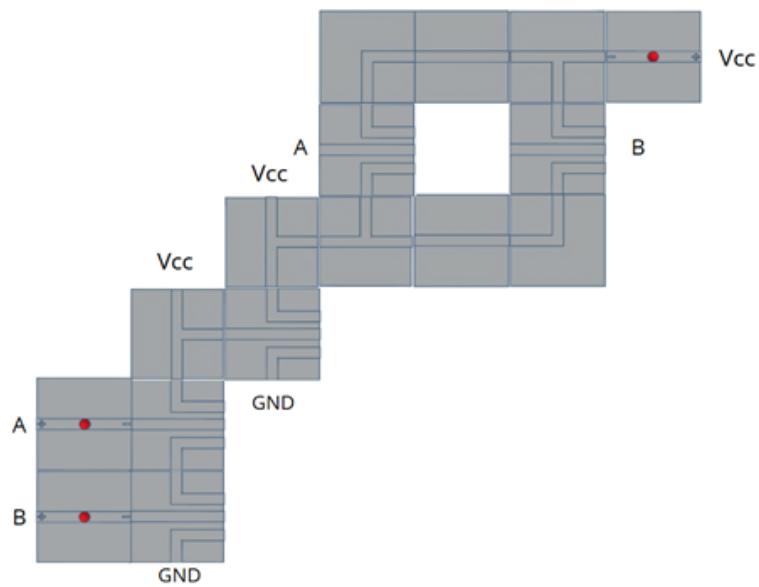
Para montar a porta lógica NOR com as peças modulares, primeiro vamos montar uma porta lógica OR, e então ligá-la a uma porta lógica NOT, como na imagem ao lado.

Monte a tabela verdade da porta lógica NOR

Portas lógicas NAND, NOR e XOR

Porta lógica XOR

A porta lógica XOR (OU eXclusivo) é a mais elaborada as três vistas nessa atividade, a saída dela é 1 quando apenas um dos transistores de entrada estão ligados. Sua construção com as peças modulares pode ser vista na imagem abaixo



Portas lógicas NAND, NOR e XOR

Monte a tabela verdade da porta XOR

APÊNDICE G – Atividade 6: Binário e Conversões

Binário e conversões

Materiais Necessários

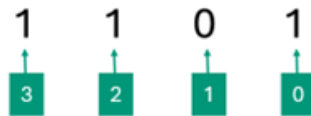
- Folha para anotações
- Caneta

O binário e conversão

O binário é um sistema numérico posicional de base dois, isso significa que, a posição de cada dígito influencia no seu valor e que ele é expresso inteiramente em apenas dois números: 1 e 0.

Para transformar um número binário (feito só de 0s e 1s) em um número decimal (o sistema que usamos no dia a dia), temos que:

1. Ler o número binário da direita para a esquerda.
2. Para cada dígito (0 ou 1), determine sua posição (a primeira da direita é a posição 0, depois vem a 1, 2, 3, e assim por diante).



3. Multiplicar o dígito por 2 elevado à sua posição.

$$2^3 \times 1 \quad 2^2 \times 1 \quad 2^1 \times 0 \quad 2^0 \times 1$$

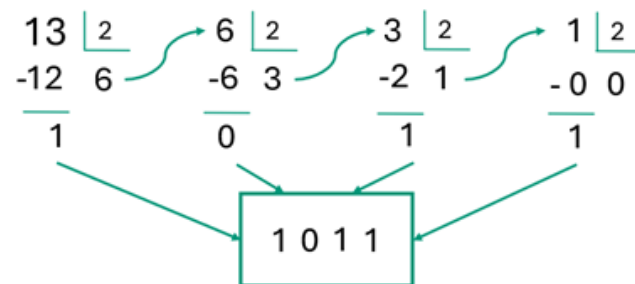
4. Some todos os resultados dessas multiplicações: o valor obtido será o número decimal equivalente.

$$\begin{array}{l} 2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times 1 \\ \swarrow \quad \swarrow \quad \downarrow \quad \swarrow \\ = 8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 0 + 1 \times 1 \\ = 13 \end{array}$$

Binário e conversões

Para converter um número em decimal para binário, utilizamos uma lógica parecida, porém dividindo o número decimal por dois sucessivamente. Para realizar a conversão precisamos:

1. Dividir o número decimal por 2.
2. Anotar o resto da divisão (será sempre 0 ou 1).
3. Pegar o quociente (resultado da divisão) e dividir novamente por 2.
4. Repetir esse processo até o quociente ser igual a 0.
5. Leia os restos em ordem, esse será o binário.



Exercitando

1. Converta o dia do seu aniversário para binário.
2. Inverta a ordem do número obtido e converta para decimal.
3. Mudando a ordem do binário, seu valor muda? Por quê?

APÊNDICE H – Atividade 7: O Meio Somador

O meio somador

Materiais Necessários

- 1 Bateria de 9V
- Peças modulares desenvolvidas
- Fios de conexão

Situação problema: O meio somador

O meio somador consiste de um circuito de duas entradas e duas saídas. As entradas representam um número cada uma: 1 ou 0. A combinação dessas duas entradas deve representar a soma dos dois valores.

As duas saídas do meio somador são chamadas de "soma" e "vai-um"(ou carry). A saída "soma" representa o resultado da adição dos dois bits, enquanto a saída "vai-um" é acionada quando ambos os bits são 1, indicando um carregamento (carry) para a próxima operação binária.

Em termos de operação binária, quando ambos os bits de entrada são 1, o resultado da soma é 0, mas a saída "vai-um" é 1, representando o número 2 em binário (10). Isso ocorre porque, em uma adição binária, o valor "vai-um" carrega o valor excedente para a próxima casa.

Sendo assim, o meio somador é a base para a construção de operações matemáticas nos computadores e construindo seu circuito nos aproximamos da compreensão de como a base da computação funciona e a importância dos transistores para a computação moderna.

Essencialmente, o que o meio somador deve fazer é respeitar a tabela-verdade abaixo:

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Desafio, construa um circuito que tenha o comportamento da tabela-verdade apresentada e desenhe o diagrama de circuito correspondente.

Dica: Pense nas saídas S e C de forma separada.

APÊNDICE I – Guia para o Professor para a Atividade 1

Atividade 1: Primeiro circuito elétrico

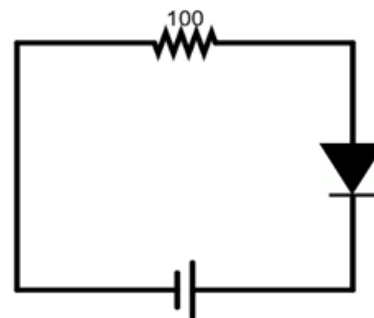
Guia para o professor

Objetivo Geral

Identificar os conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial (tensão) e resistência.

Objetivo específico

Montar e testar circuitos simples com resistores e LEDs, observando a influência da resistência sobre o brilho do LED e a corrente elétrica e gerar a abstração entre circuitos físicos e diagramas de circuito.



Conteúdos abordados

Corrente elétrica, tensão, resistência, circuito simples
Habilidades: EM13CO16 e EM13CO18.

O que o professor deve fazer?

Antes de começar o desenvolvimento do caderno de atividades com os estudantes, se faz necessário uma explanação teórica a respeito da definição de corrente elétrica, tensão elétrica e resistência, assim como a diferença entre sentido convencional e real de corrente. A explanação, deve abarcar apenas os conceitos gerais para compreensão da lógica inicial da montagem de circuitos elétricos.

Para esta atividade, é importante sempre verificar muito bem se as conexões na protoboard estão bem colocadas, e se o led está posicionado da maneira correta em relação a direção da corrente.

APÊNDICE J – Guia para o Professor para a Atividade 2

Atividade 2: Circuitos em série e paralelo

Guia para o professor

Objetivo Geral

Interpretar esquemas elétricos simples, com ênfase nas associações de resistores em série e paralelo.

Objetivo específico

Montar circuitos correspondentes a esquemas de resistores em série e paralelo, realizar medições de corrente e tensão com o multímetro e comparar os resultados com os valores teóricos.



Conteúdos abordados

Leitura de esquemas elétricos, associação de resistores (série e paralelo).
Habilidades: EM13CO01 e EM13CO02.

O que o professor deve fazer?

A segunda atividade tem como objetivo introduzir as associações de resistores em série e em paralelo, para estabelecer uma conexão entre esses conceitos e o comportamento das portas lógicas que serão exploradas nas atividades subsequentes. Para isso, o professor deve começar explicando o processo de medição de resistência em um circuito elétrico, utilizando multímetro. A partir dessa explicação, os estudantes serão capazes de realizar medições reais nos circuitos propostos no caderno de atividades, comparando as associações de resistores em série e em paralelo e observando suas implicações para o funcionamento dos circuitos lógicos que serão montados nas próximas etapas.

Após a realização dos experimentos, o professor deve realizar uma explanação teórica a respeito da associação em série e em paralelo de resistores e, junto aos estudantes, comparar seus resultados encontrados com os valores teóricos.

APÊNDICE K – Guia para o Professor para a Atividade 3

Atividade 3: O transistor

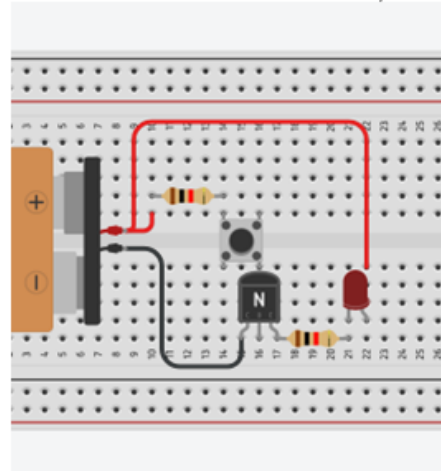
Guia para o professor

Objetivo Geral

Conhecer a estrutura e o funcionamento básico de um transistor NPN, incluindo suas regiões de operação.

Objetivo específico

Montar circuitos controlados por transistores, simulando seu comportamento como chave (liga/desliga) para controlar a iluminação de um LED.



Conteúdos abordados

Introdução ao transistor como chave eletrônica (NPN).
Habilidades: EM13CO05 e EM13CO16.

O que o professor deve fazer?

A atividade três, tem como objetivo a introdução do transistor. Sendo assim, antes da realização do caderno de atividades pelos estudantes, o professor deve fazer uma explanação teórica a respeito do transistor. Dessa forma, o professor deve explicar a estrutura básica (porta, dreno e fonte) e as regiões de operação (corte, saturação e ativa).

Após a realização do experimento do caderno de atividades, os estudantes devem ser introduzidos as peças modulares e a representação dos transistores em diagramas de circuito.

APÊNDICE L – Guia para o Professor para a Atividade 4

Atividade 4: Portas lógicas base

Guia para o professor

Objetivo Geral

Introduzir o conceito de lógica binária e suas portas lógicas fundamentais (AND, OR, NOT).

Objetivo específico

Montar e testar circuitos simples com resistores e LEDs, observando a influência da resistência sobre o brilho do LED e a corrente elétrica e gerar a abstração entre circuitos físicos e diagramas de circuito.

Conteúdos abordados

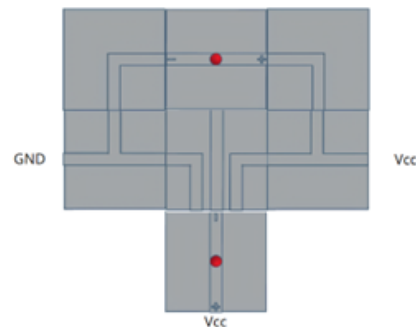
Portas lógicas: AND, OR, NOT com transistores.
Habilidades: EM13CO02 e EM13CO18.

O que o professor deve fazer?

Na atividade 4, inicia-se o conteúdo principal da oficina: as portas lógicas. Antes de seguir com o caderno de atividades, é fundamental realizar uma explanação teórica sobre o conceito de portas lógicas e comentar, brevemente, sua relação com o binário. O objetivo é estabelecer a conexão entre os conhecimentos adquiridos nas atividades anteriores e o novo conteúdo, demonstrando como os transistores, de maneira análoga aos resistores, apresentam comportamentos distintos conforme sua associação em um circuito e como o circuito fechado pode representar um estado ligado(1) e aberto, um estado desligado(0).

Ou seja, transistores em série formam a porta lógica AND, em paralelo a porta lógica OR e a NOT associando o LED em paralelo ao transistor. Além disso, o professor deve mostrar o que é uma tabela-verdade, de forma breve, utilizado como exemplo a porta lógica mais simples, o NOT.

Após essa etapa, os estudantes devem seguir o caderno de atividades e o professor agirá apenas como suporte, tirando dúvidas e auxiliando na revisão dos circuitos.



APÊNDICE M – Guia para o Professor para a Atividade 5

Atividade 5: Portas lógicas NAND, NOR e XOR

Guia para o professor

Objetivo Geral

Introduzir as portas lógicas NAND, NOR e XOR.

Objetivo específico

Montar circuitos correspondentes as portas lógicas NAND, NOR e XOR e construir suas tabelas verdade.

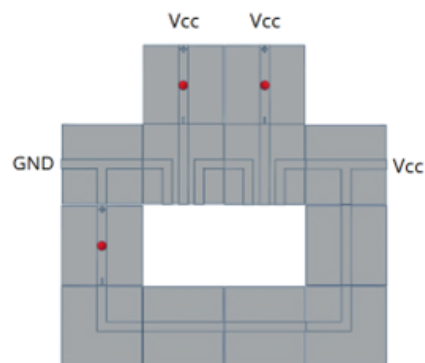
Conteúdos abordados

Portas lógicas NAND, NOR e XOR.
Habilidades: EM13CO04 e EM13CO18.

O que o professor deve fazer?

A atividade cinco tem como propósito expandir as portas lógicas vistas na atividade quatro, indo das portas lógicas AND, OR e NOT para as portas lógicas NAND, NOR e XOR.

Nesta atividade, o professor deve só auxiliar os estudantes caso haja dúvidas quanto a construção dos experimentos do caderno de atividades.



APÊNDICE N – Guia para o Professor para a Atividade 6

Atividade 6: Binário e conversões

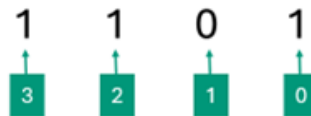
Guia para o professor

Objetivo Geral

Introdução ao sistema numérico binário.

Objetivo específico

Realizar conversões entre os sistemas numéricos binário e decimal.



Conteúdos abordados

Sistema numérico binário.
Habilidades: EM13CO11 e EM13CO21.

O que o professor deve fazer?

Antes do prosseguimento do caderno da atividade 6, o professor deve realizar explanação teórica sobre o funcionamento do sistema numérico binário, conversão entre sistema binário-decimal e decimal-binário através de exemplos.

APÊNDICE O – Guia para o Professor para a Atividade 7

Atividade 7: O meio somador

Guia para o professor

Objetivo Geral

Introduzir o conceito de meio somador, que soma dois bits e gera duas saídas: soma e vai-um.

Objetivo específico

Construir o circuito de um meio somador utilizando transistores e testar todas as combinações de entradas (00, 01, 10, 11), assim como validar se o circuito se comporta como esperado e analisar os resultados.

$$1+1 = ?$$

Conteúdos abordados

Projeto e construção do meio somador (Half-Adder).
Habilidades: EM13CO01, EM13CO16 e EM13CO18.

O que o professor deve fazer?

Na atividade 7, os estudantes aplicam o conhecimento adquirido ao enfrentarem uma situação-problema prática: somar dois números binários. O desafio é construir um meio somador, um circuito simples que soma dois bits. As entradas do circuito representam os dois números binários a serem somados, com as combinações 0+0, 0+1, 1+0 e 1+1. O resultado da soma é gerado em duas saídas: soma e vai-um (carry). A saída "soma" indica o resultado da adição dos dois bits, enquanto a saída "vai-um" é acionada quando ambos os bits de entrada são 1, representando o valor excedente a ser carregado para a próxima operação binária.

Em termos de operação binária, quando ambos os bits de entrada são 1, o resultado da soma é 0, mas a saída "vai-um" é 1, correspondendo ao número 2 em binário (10). Isso acontece porque, em uma adição binária, o "vai-um" carrega o valor excedente para a próxima casa.

Para construir o meio somador, os estudantes utilizarão uma porta lógica XOR para gerar a saída "soma" e uma porta lógica AND para gerar a saída "vai-um". O comportamento dessas portas lógicas reflete diretamente a operação binária de soma.