



ALEXANDRE PEREIRA DANTAS

**COMPREENDENDO O FUNCIONAMENTO DOS
PROCESSADORES:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO**

LAVRAS – MG

2019

ALEXANDRE PEREIRA DANTAS

**COMPREENDENDO O FUNCIONAMENTO DOS PROCESSADORES:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Licenciatura em Física, para obtenção do título de Licenciado em Física.

Prof. Dr. Antonio dos Anjos P. da Silva
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

*Dedico esse trabalho à todos os meus colegas que fizeram, fazem e farão parte de minha vida
profissional.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe que esteve comigo nas melhores e piores horas de toda a minha vida. Ao meu pai que do jeito dele me apoiou como pôde. Aos colegas que passaram pela minha vida e aos amigos que ficaram. Por fim, mas não menos importante, à todos os professores que fizeram parte da minha formação.

RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma proposta de unidade didática relacionada aos materiais semicondutores e a miniaturização da eletrônica em nossa sociedade. Para melhor organização dos conteúdos, a unidade didática está inspirada nos Três Momento Pedagógicos. É de conhecimento geral que o mundo contemporâneo é fortemente dependente dos computadores em todos seus setores. Em contrapartida, o conhecimento sobre estes dispositivos tecnológicos em geral se limita, em saber explorar o uso deles em benefício próprio, isto é, a população possui um domínio operacional básico sobre estas máquinas e nada, ou quase nada, sabe sobre o seu funcionamento. Falamos hoje em processadores cada vez mais velozes que possuem dois, quatro, oito núcleos trabalhando a 3.2 GHz cada um, mas em geral não sabemos responder perguntas essenciais, tais como: O que é um processador? O que ele faz? Do que ele é feito? Como ele funciona? Como e porque eles ficam cada vez menores? Essa miniaturização tem algum limite? Neste trabalho construímos uma unidade didática que propicie ao professor conhecimentos e ferramentas básicas para a discussão em sala deste tema instigante. A sua elaboração se deu em três etapas. Na primeira foi realizado um estudo sobre a Física dos Semicondutores e suas aplicações na informática. Em seguida, foram elaboradas atividades e a redação dos demais capítulos.

Palavras-chave: ensino, física, processador, semicondutor, transistor

ABSTRACT

In this paper we present a proposal for a didactic unit related to semiconductor materials and the miniaturization of electronics in our society. For better organization of contents, the didactic unit is inspired by the Three Pedagogical Moments. It is well known that the contemporary world is heavily dependent on computers in all its sectors. On the other hand, knowledge about these technological devices is generally limited to knowing how to exploit their use for their own benefit, that is, the population has a basic operational domain over these machines and nothing, or almost nothing, knows about their operation. Today we are talking about faster and faster processors that have two, four, eight cores working at 3.2 GHz each, but in general we can't answer essential questions such as: What is a processor? What he does? What is it made of? How does it work? How and why do they get smaller and smaller? Does this miniaturization have any limits? In this paper we built a didactic unit that provides the teacher with basic knowledge and tools for the discussion in class of this exciting topic. Its elaboration took place in three stages. In the first one, a study on semiconductor physics and its applications in computer science was performed. Then, activities were elaborated and the other chapters were written.

Keywords: teaching, physics, processor, semiconductor, transistor

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Corrente de Difusão e Buracos	12
Figura 2.2 – Campo Elétrico Devido a Difusão de Cargas	13
Figura 2.3 – Campo Elétrico Devido a Difusão de Cargas com DDP aplicada	13
Figura 2.4 – Campo Elétrico induzido $\vec{\sigma}$ Contrário a $\vec{\epsilon}$, na junção p-n	14
Figura 2.5 – Junção N-P-N com ddp V1 aplicada	15
Figura 2.6 – Junção N-P-N com as ddps V1 e V2 aplicadas	16

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	FÍSICA DOS SEMICONDUTORES	9
2.1	Semicondutores	9
2.2	Junção P-N	12
2.3	Transistores	14
2.4	Processador	16
2.4.1	Miniaturização do Transistor	18
3	UNIDADE DIDÁTICA	19
3.1	Três Momentos Pedagógicos	19
3.2	Proposta de Unidade Didática	20
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Vivemos numa sociedade onde praticamente tudo é controlado por computadores. Celulares viraram computadores portáteis capazes de editar vídeos com qualidade de cinema e tirar fotos das crateras que existem na lua. Computadores são capazes de capturar dados e transformá-los na melhor foto de buraco negro que possuímos até a data deste trabalho. Construímos câmeras que conseguem nos identificar e consultar diretamente na base de dados da polícia nossas informações pessoais. Realizamos exames médicos de alta precisão devido ao alto poder de processamento de computadores. Percebe-se que gostando ou não, essas tecnologias estão ao nosso redor. E todas elas dependem, direta ou indiretamente, de um dispositivo denominado de transistor. Não é um exagero dizer que quando construído na escala nanométrica, o transistor mudou o patamar das tecnologias em nosso planeta. O Transistor é um dispositivo semicondutor que tem como função ampliar ou selecionar uma corrente elétrica que passa por ele. E os estudos que permitiram e permitem o seu desenvolvimento pertencem a uma área chamada de “Física da Matéria Condensada”. Esse ramo da Física Moderna e Contemporânea estuda as propriedades físicas de materiais, entre eles os semicondutores, que são a base para a confecção dos transistores. Podemos dizer que a eletrônica como conhecemos hoje está diretamente relacionada a esse ramo da Física. Então é natural pensar que a sociedade como um todo deve ter um mínimo de domínio sobre o que são e como funcionam estes dispositivos, pois além de modificar as relações do cotidiano, estão perto de um limite tecnológico.

Por outro lado, (OSTERMANN; MOREIRA, 2000) apresentam em uma revisão bibliográfica o papel relevante da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. Entre os argumentos dos autores destaco aquele em que afirmam que a FMC é a Física mais próxima do cidadão. Afinal é difícil imaginar algo mais presente em nosso cotidiano do que os aparelhos eletroeletrônicos tais como: Celular, computador, televisão, microondas, geladeiras, entre outros. Além disso, documentos oficiais como o PCN+¹ orienta,

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores.

¹ <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acessado em 18 de Novembro de 2019

Dentre os muitos materiais abordados na física da matéria condensada destacamos os materiais semicondutores, que constituem a base para a fabricação dos transistores, que são os elementos fundamentais no funcionamento dos processadores.

Desta forma este trabalho visa elaborar uma unidade didática, cuja temática são os processadores, a fim de discutir no ensino médio, um pouco da física que está por trás dos transistores, assim como seus limites, uso e futuro desta tecnologia. No próximo capítulo o leitor encontrará discussões sobre a Física dos Semicondutores, assim como noções básicas de informática que servirão como base teórica para o desenvolvimento das atividades. No capítulo três, encontra-se a proposta de unidade didática e o referencial teórico didático que norteou o desenvolvimento da mesma. E no último capítulo as considerações finais do trabalho.

2 FÍSICA DOS SEMICONDUTORES

2.1 Semicondutores

Nos cursos básicos de Física o aluno toma conhecimento de que existem materiais isolantes e condutores, onde a diferença fundamental é que os materiais condutores possuem uma grande quantidade de elétrons-livres na chamada banda de condução do material enquanto que, nos isolantes, isso não acontece. No entanto, entre os materiais isolantes e condutores existe uma outra categoria, com propriedades peculiares, que são denominados de materiais semicondutores. Esta classe de materiais costuma ser estudada quando abordamos a área de Física da Matéria Condensada, ou mesmo em disciplinas isoladas como Estrutura da Matéria ou Física Moderna. As discussões deste trabalho relacionadas a Física da Matéria Condensada estão amparadas por (REZENDE, 2004).

Quando discutimos os modelos atômicos, na estrutura da velha mecânica quântica, comumente começamos com o modelo do átomo indivisível de Dalton indo até o modelo de átomo divisível de Bohr. O Modelo de Bohr é também conhecido como um modelo semi-clássico, pois incorpora a ideia clássica de órbitas conjugadas à concepção da quantização do momento angular do elétron, uma ideia puramente quântica. O modelo de nuvem eletrônica nasce no contexto da mecânica quântica. Nele, os elétrons estão distribuídos em torno do núcleo do átomo em termos de níveis de energia. A região onde estão os elétrons mais afastados do núcleo, mas ainda sobre a influência do mesmo, é a que denominamos de camadas de valência. Sabe-se que um átomo precisa ter oito elétrons na sua camada de valência para se estabilizar. É por causa disso que na molécula de água (H_2O) o Oxigênio, que possui seis elétrons na camada de valência, compartilha um elétron de cada um dos dois átomos de Hidrogênio ligados a ele. Repare que isso não quer dizer que o Hidrogênio fica sem elétron, na verdade agora o sistema como um todo possui oito elétrons na sua “nova camada de valência” atingindo sua estabilidade.

Mas o que acontece quando átomos são aglomerados em um sólido? “Sobram” elétrons? Quando isso ocorre, os elétrons que ficam sobrando nessa “última camada” são chamados de Elétrons Livres, que podem deslocar-se livremente por todo o volume do agregado. É natural pensar que deve existir uma região onde eles conseguem transitar livremente (vide o nome elétrons livres), sem se desconectar do material. Essa região é denominada de banda de condução. Mais precisamente: banda de condução está a um nível energético acima da chamada banda de valência onde os elétrons podem transitar livremente, recebendo assim o nome de elétrons

livres. Note que, embora eles possam transitar livremente nesta banda, eles ainda estão “presos” ao material hospedeiro.

Vamos então usar a ideia de banda de condução para diferenciar materiais isolantes, condutores e semicondutores. Um isolante é um material que não possui elétrons na sua banda de condução, isto é, não dispõem de elétrons livres. Por esta razão quando um campo elétrico é aplicado nestes materiais, não aparece uma corrente elétrica como resposta a essa ação. Uma boa forma de caracterizar um isolante é analisar a sua energia de “gap”. Tal energia representa o valor energético mínimo necessário para promover um elétron do topo da banda de valência e colocá-lo no mínimo da banda de condução. Se a energia necessária para tirar os elétrons da camada de valência (gap) e colocá-los na banda de condução for muito alta (da ordem de 5,0 eV) então ele é caracterizado como um material isolante. Uma amostra deste material poderia ser destruída numa tentativa de popular sua banda de condução. Por exemplo, o plástico (a princípio isolante) deforma - se quando submetido a uma alta diferença de potencial, necessária para uma produção de corrente elétrica no material.

Um condutor é um material onde esse gap é tão pequeno, que a própria energia térmica do material é capaz de retirar parte dos elétrons da banda de valência e colocá-los na banda de condução. Neste material ambas bandas, de valência e de condução, estão semi preenchidas. Apesar de conter elétrons na banda de condução, um condutor por si só não exibe corrente elétrica, porque o movimento dos elétrons é desordenado, como partículas em um gás. Se imaginarmos um plano seccionando o sólido, o número de elétrons que atravessa o plano da direita para a esquerda é, em média, igual ao número de elétrons que atravessa o mesmo plano da esquerda para direita. Ao aplicarmos um campo elétrico neste material, esses elétrons se ordenam, seguindo em média em um determinado sentido, dando origem a uma corrente elétrica.

Por fim, existem os materiais semicondutores, que como o nome sugere, exibem propriedades intermediárias entre um isolante e um condutor. Segundo Rezende (2004)

[...] os semicondutores são caracterizados por uma banda de valência cheia e uma banda de condução vazia a $T = 0$ (Kelvin), separados por um gap de energia relativamente pequeno, < 2 eV. Devido ao pequeno gap, à temperatura ambiente (300 K) o número de elétrons na banda de condução é apreciável, embora muito menor que o número de elétrons livres em metais. Isso resulta numa condutividade intermediária entre a dos isolantes e a dos metais. (REZENDE, 2004, pg. 118)

Este tipo de semicondutor é classificado como puro ou intrínseco. Existe porém, uma classe de semicondutores denominados de extrínsecos ou dopados, que exibem uma condutivi-

dade modificada pelo processo de inserção de impureza. O processo de dopagem é necessário por que os materiais semicondutores que a natureza oferece (intrínsecos) não são muito eficientes para a construção de dispositivos eletroeletrônicos. O processo de dopagem permite misturar ao semicondutor original diferentes tipos de elementos, visando obter um novo material que atenda as demandas solicitadas pela tecnologia. Misturando, por exemplo, Silício com Fósforo, originam-se ligações covalentes entre quatro elétrons do Fósforo (que possui cinco na banda de valência) com o 4 elétrons do Silício (que possui quatro na banda de valência). Sendo assim “sobram” elétrons dessa ligação e esses elétrons que sobram são justamente os elétrons que estarão livres na banda de condução. Uma dopagem desta natureza dá origem a um semicondutor do tipo “n”.

Em um material semicondutor, além do movimento dos elétrons há também um outro tipo de corrente que é importante para o funcionamento dos transistores, que é a corrente de buracos. Mas o que é um buraco? Quando um campo é aplicado em um semicondutor uma dada energia é fornecida para que alguns elétrons da banda de valência sejam promovidos para a banda de condução. A ausência do elétron origina um “espaço” na banda de valência e os elétrons vizinhos a esta lacuna tendem a ocupar o espaço vazio, pois é um estado de menor energia. Quando um elétron ocupa esse “espaço vazio” ele deixa um outro espaço vazio e assim, os elétrons da banda de valência criam um novo movimento ordenado. Como estamos no referencial do elétron então o que ele “vê” é o espaço (buraco) se aproximando dele. Note que esse comportamento de aproximação (atrativo) é característico de cargas opostas, logo é razoável pensar que este “buraco” se comporta como uma carga idêntica ao elétron mas de sinal oposto. Desta forma, no referencial do elétron, ele vê cargas positivas se movimentando. Logo pode-se definir uma corrente de buracos como sendo cargas positivas em um movimento ordenado. Desta forma percebe-se que ao mesmo tempo que há corrente de elétrons há corrente de buracos, e elas ocorrem simultaneamente. Para saber qual é a corrente resultante do semicondutor basta verificar que: se o material possui mais elétrons do que buracos, na média há uma corrente de elétrons, caso haja mais buracos do que elétrons há uma corrente de buracos. Semicondutores que possuem corrente positiva (buracos) recebem o nome de semicondutor do tipo “p” e aos que possuem corrente negativa (elétrons) dá-se o nome de semicondutor do tipo “n”.

A técnica de dopagem possibilita a fabricação de uma ampla variedade de dispositivos opto-eletrônicos a partir de um mesmo material, entre os quais estão os TRANSISTORES e os PROCESSADORES.

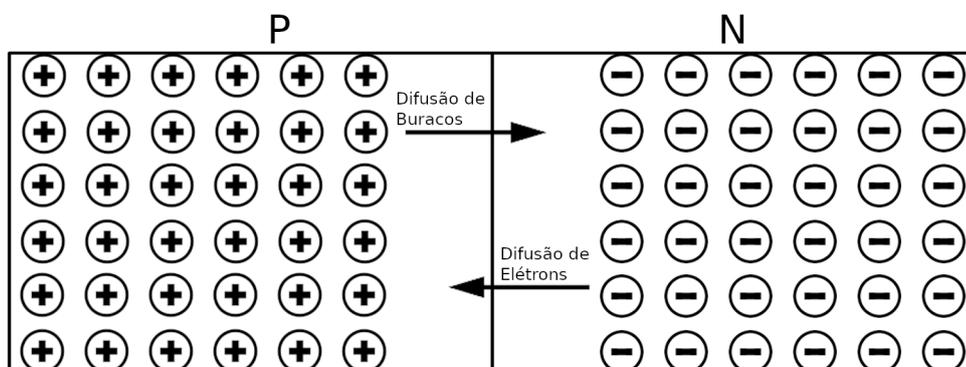
Há diversos tipos de transistores. Os dois mais conhecidos são o de amplificação e o de chaveamento e apenas o segundo será discutido neste trabalho. Seus nomes são intuitivos. O de amplificação, amplifica um sinal elétrico e o de chaveamento permite ou não que um sinal passe através dele.

Um exemplo, em nosso cotidiano, de uso do transistor de amplificação ocorre quando um artista (músico) conecta seu instrumento musical em um amplificador, comumente chamado de “amplificador transistorizado”. Neste caso, a corrente elétrica que o instrumento transmite ao amplificador não corresponde à energia necessária para sensibilizar o alto-falante. Assim o alto-falante não vibra o suficiente para que possamos ouvi-lo. Para resolver o problema o amplificador utiliza um transistor de amplificação, que fornece mais energia ao sinal que chega ao alto-falante gerando a vibração audível esperada. O transistor de chaveamento por sua vez tem como função selecionar (por isso também é chamado de seletor) a passagem ou não de um sinal (corrente elétrica) através dele. Mas para entender como o transistor de chaveamento funciona, precisamos primeiro falar sobre a junção p-n.

2.2 Junção P-N

Ao unirmos (de forma metalúrgica) dois semicondutores, um do tipo N e um do tipo P, os elétrons do condutor do tipo N se “movem” para ocupar os buracos do lado P, ocorrendo assim o que é chamado de difusão de elétrons, uma difusão de buracos também acontece com os buracos do lado P, conforme a figura 2.1. Essa difusão de cargas de um lado para o outro,

Figura 2.1 – Corrente de Difusão e Buracos

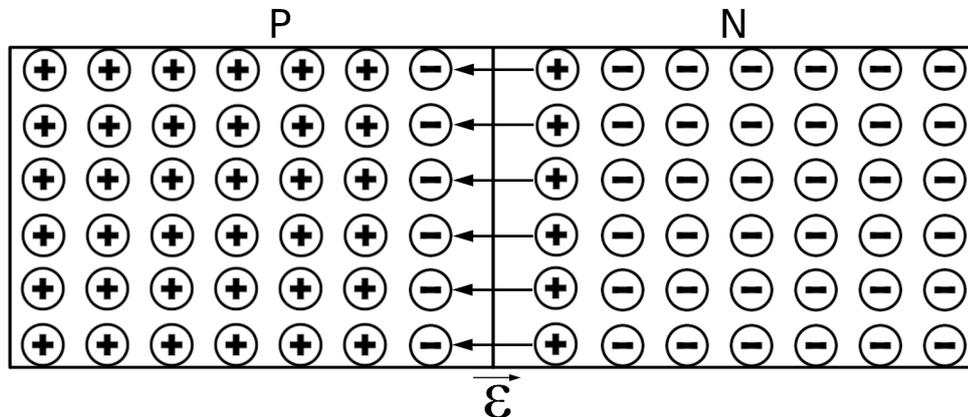


Fonte: Próprio Autor

gera um campo elétrico (\vec{E}) conforme a figura 2.2.

Note que este campo tende a impedir a passagem de buracos do lado p para o lado n. E também tende a impedir a passagem de elétrons do lado n para o lado p. Logo cria-se

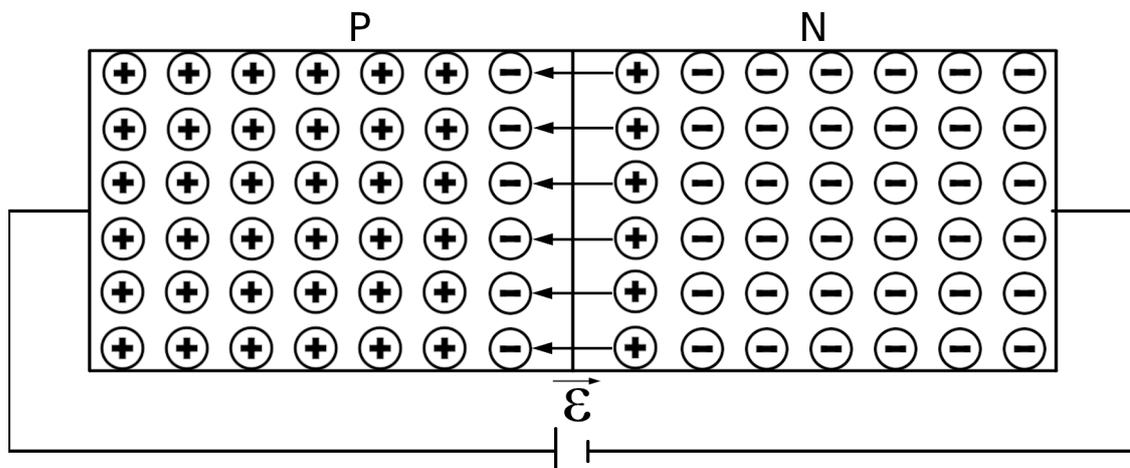
Figura 2.2 – Campo Elétrico Devido a Difusão de Cargas



Fonte: Próprio Autor

uma barreira de potencial na junção entre os dois semicondutores. Essa barreira de potencial tem papel fundamental no funcionamento do transistor que será discutido mais adiante. Vamos agora ver o que acontece quando aplicamos uma ddp no sistema conforme a figura 2.3.

Figura 2.3 – Campo Elétrico Devido a Difusão de Cargas com DDP aplicada

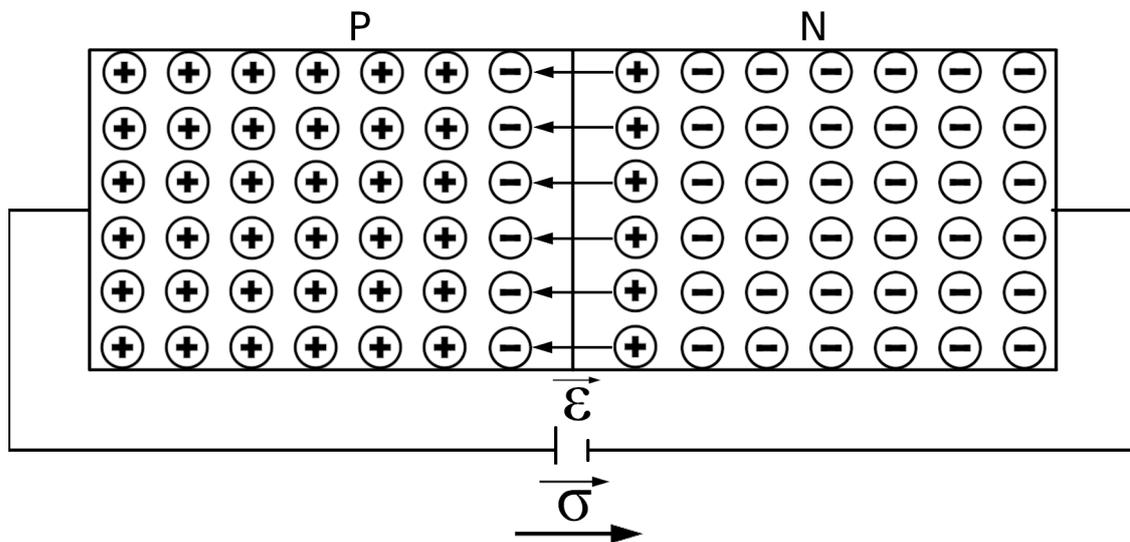


Fonte: Próprio Autor

Quando essa ddp é aplicada, um campo (\vec{E}) no sentido oposto a \vec{E} é induzido diminuindo assim a barreira de potencial entre as duas junções, vide figura 2.4.

Caso esse campo seja intenso o suficiente, o sistema poderá vir a conduzir corrente elétrica devido à ddp. Repare que se a ligação for feita de forma inversa, gera-se um campo no mesmo sentido de \vec{E} , aumentando a barreira de potencial.

Figura 2.4 – Campo Elétrico induzido $\vec{\sigma}$ Contrário a \vec{E} , na junção p-n



Fonte: Próprio Autor

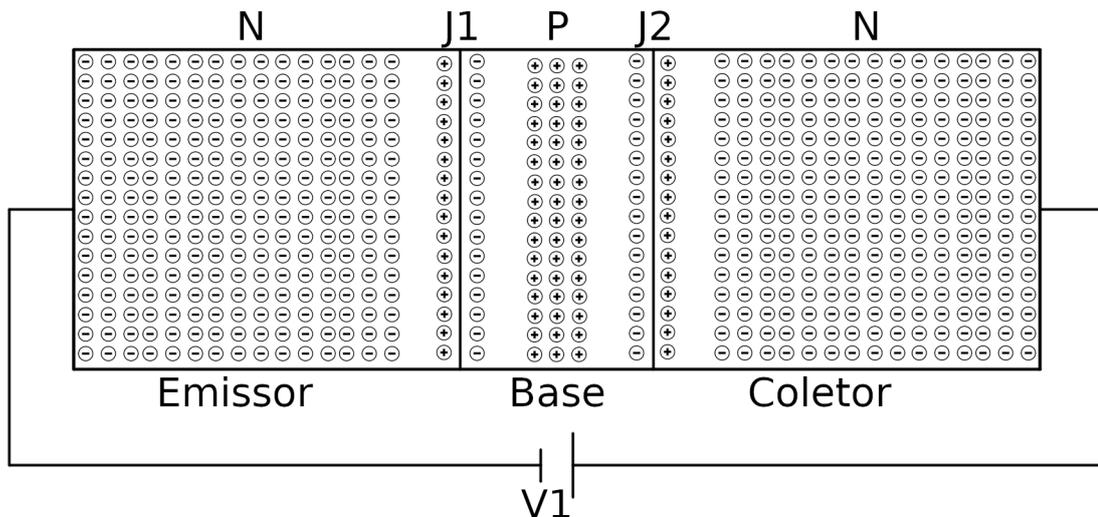
2.3 Transistores

O Transistor nada mais é do que três semicondutores juntos formando uma ligação do tipo PNP ou NPN. Será exemplificado apenas com o do tipo n-p-n, mas a explicação para o tipo PNP é análoga. Unindo dois semicondutores do tipo “n” a cada lado de um semicondutor do tipo “p” da figura 2.5.

Um transistor típico possui três partes descritas na imagem 2.5: Emissor, Base e Coletor. Comumente a junção Emissor-Base (J1) é a parte do transistor onde, ao aplicarmos uma ddp (no caso desse exemplo V_1), a barreira de potencial diminui. A junção Base-Coletor (J2) já é a parte do transistor onde a barreira aumenta devido a mesma ddp. Veremos mais adiante que a base tem como função controlar a passagem de corrente. Considerando o sentido real da corrente e admitindo que V_1 seja suficiente para vencer a barreira de potencial em J1, percebe-se que a corrente passa por J1 e para em J2. Pois um campo elétrico é criado do polo positivo para o polo negativo de V_1 , aumentando o campo em J2 e diminuindo o em J1. Se invertermos a polarização da ddp, invertemos qual campo aumenta e qual campo diminui, mas independentemente da polarização da ddp, sempre teremos um circuito aberto. Vamos agora, adicionar uma segunda ddp (Figura 2.6) no sistema. A linha de raciocínio agora precisa ser outra a fim de facilitar a explicação. Ao aplicarmos uma ddp cujo pólo positivo está conectado no semicondutor p, os elétrons que foram ocupar os buracos daquela região (dando origem às duas barreiras de potencial) são atraídos por esse polo e conseqüentemente a barreira de potencial em J2 diminui. Caso V_2 seja grande ao ponto que V_1 tenha tensão o suficiente para vencer essa barreira, temos

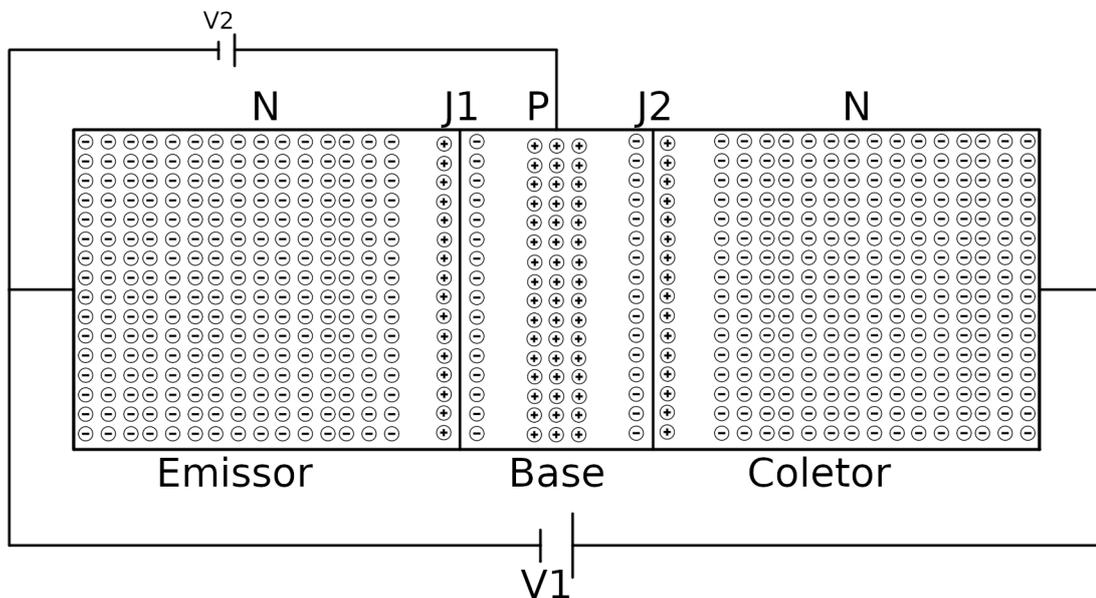
agora um circuito fechado. Pode-se então concluir que é a base do transistor que permite ou não a passagem de corrente. E é aqui onde toda a informática nasce, se conseguimos controlar a ddp da base (e conseguimos), conseguimos controlar se passa ou não corrente pelo transistor. Esse fato, aliado a álgebra Booleana (que será brevemente discutido quando falarmos de portas lógicas na próxima seção) nos permite criar o tão conhecido processador. Para finalizar esta parte, faço dois comentários, o primeiro é que o tamanho da base é intencionalmente menor que o coletor e emissor a fim de diminuir a quantidade de buracos existentes no emissor, diminuindo assim a intensidade necessária de V_2 . O segundo é que apesar dos dois terminais de V_2 estarem ligados no mesmo transistor no exemplo dado, o mesmo aconteceria se apenas o polo positivo estivesse, que é atualmente uma forma um pouco mais realista de como os transistores são utilizados.

Figura 2.5 – Junção N-P-N com ddp V_1 aplicada



Fonte: Próprio Autor

Figura 2.6 – Junção N-P-N com as ddps V1 e V2 aplicadas



Fonte: Próprio Autor

2.4 Processador

A *Unidade Central de Processamento*, *CPU* (*Central Processal Unity*) ou como comumente é chamado *Processador* é a peça fundamental para o funcionamento de qualquer aparelho eletroeletrônico atual. Ela tem como principal função a realização de operações lógicas como soma e subtração, operações de movimentação de dados, entre outras. Uma CPU pode possuir diversos núcleos de processamento, que nada mais são do que cópias do mesmo processador dentro de um único microchip. Estes núcleos costumam aparecer em números pares. Existem diversas explicações para isso, as duas mais simples são: os processadores (e seus núcleos) são projetados para terem uma forma quadrada, logo encaixar números ímpares de núcleos de processamento pode causar uma perda de espaço físico no processador. Devido a forma com que o processador processa essas informações, para montar um processador com um número ímpar de processadores, seria necessário uma reestruturação de como o processador é montado, já com números pares, basta apenas espelhar essa estrutura já existente de um chip de 1 núcleo para um chip com 2 ou mais núcleos.

Além da quantidade de núcleos e estrutura da CPU, outra característica importante que difere os diversos processadores é o sinal de clock. *Clock Rate* (*CPU Clock*, sinal de clock ou mais comumente dentro da informática apenas *Clock*) é a velocidade com que o processador consegue repetir um ciclo de operações por segundo. Como é cíclico, utiliza-se da unidade de

medida de frequência que é Hertz (Hz). Atualmente, os processadores mais modernos estão na casa dos 3,4GHz. Vale ressaltar também, que há diversos outros fatores que influenciam na “rapidez” do computador, que vão de algoritmos mais eficientes para realização de tarefas até o quão rápido outros dispositivos do computador funcionam, como a memória RAM e o HD.

Caso o leitor deseje entender mais profundamente como o processador e o computador funcionam, é recomendado a leitura do livro intitulado “*Arquitetura de computadores.*” de (CRISTO; PREUSS; FRANCISCATTO, 2013). Mas, para fins deste trabalho, é suficiente saber que o processador realiza, além de outras operações, comparações e que essas comparações são realizadas pelas portas lógicas. As portas lógicas são dispositivos que recebem uma ou mais entradas do tipo: V (verdadeiro) ou F (falso), zero (0) ou um (1), ligado ou desligado e como saída, apenas um único resultado.

A teoria por trás da elaboração das portas lógicas é a Lógica de Boole (Álgebra Booleana), que segundo (VIEIRA, 2000)

Álgebra Booleana é um sistema de símbolos e regras aplicáveis a qualquer coisa, desde números e letras até objetos e enunciados. Este sistema codifica proposições, isto é, enunciados que se pode provar sendo verdadeiras ou falsos em linguagem simbólica, e então manipulá-los quase da mesma maneira com se faz com números ordinários. (VIEIRA, 2000, pg. 10)

As operações lógicas da álgebra Booleana tem como essência comparações do tipo verdadeiro (passa corrente) ou falso (não passa corrente) por isso que os transistores são utilizados na fabricação das portas lógicas.

Os primeiros transistores utilizados na eletrônica eram da ordem de centímetros, logo os primeiros computadores eram bem simples, ocupavam grandes espaços físicos possuindo baixo poder de processamento, se comparados aos atuais. A forma mais natural de aumentar a velocidade dos processadores é colocando mais transistores dentro do mesmo processador, para isso é necessário diminuir o tamanho dos transistores. O primeiro processador micro-chip de uma das maiores fabricantes² do planeta foi lançado na década de 70 e possuía um poder de processamento na casa de 700 KHz com cerca de 2300 transistores dentro do processador. Atualmente, a tecnologia avançou tanto, que há processadores que possuem da ordem de dois bilhões de transistores até processadores de altíssimo desempenho que possuem da ordem de 8 bilhões. Em 2019 uma outra³ empresa norte americana lançou sua mais recente linha de

² <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/history/museum-story-of-intel-4004.html>> Acessado em 18 de Novembro de 2019.

³ <<https://www.amd.com/en/technologies/zen-core>> Acessado em 18 de Novembro de 2019

processadores que possuem semicondutores com tamanho de 7nm. Mas, há um limite para isso.

2.4.1 Miniaturização do Transistor

Efetivamente falando, o “tamanho” do transistor é o tamanho da base, pois como vimos é ela que possibilita o controle do chaveamento. Quanto menor for o tamanho da base, menor será o transistor. Aqui nasce o primeiro problema, quando essa distância chegar na ordem de poucos nanômetros precisaremos recorrer à Mecânica Quântica para descrever como o sistema irá se comportar, pois nesta ordem de grandeza estamos falando de transistores compostos por poucos átomos. Nesta ordem de grandeza ocorre o que é chamado de Tunelamento Quântico (ou Efeito Túnel). Este é um resultado da mecânica quântica que nos diz que uma partícula quântica (no nosso caso o elétron), ao encontrar uma barreira de potencial (junção base-coletor ou base-emissor) cuja energia seja maior do que a dessa partícula, possui uma probabilidade maior do que zero de vencer essa barreira e conseguir transpô-la. Desta forma, chegará um momento onde não haverá mais como controlar o chaveamento do transistor. Um segundo problema é o princípio da incerteza que nos diz que quando tentamos medir informação sobre a velocidade de uma partícula, a medida sobre sua posição fica imprecisa. O contrário também é verdadeiro. Mas, como vimos, precisamos saber exatamente a posição e a velocidade dos elétrons para conseguirmos definir uma corrente de elétrons. Desta forma, por não sermos capazes de obter ambas as informações de velocidade e posição, não conseguiremos diferenciar condutores, de isolantes e semicondutores. Uma vez que não há como controlar a passagem de corrente de um transistor não há mais dispositivos que possam trabalhar com a ideia de 0 e 1. Desta forma o que entendemos hoje por computação deixa de existir.

Até o momento, discutimos todo o referencial teórico da Física por trás dos transistores e as noções necessárias sobre informática, assim como os limites dessa tecnologia. No capítulo seguinte será discutido o referencial que guiou o planejamento da unidade didática e a descrição das atividades previstas na unidade proposta.

3 UNIDADE DIDÁTICA

Neste trabalho foi utilizado como método organizacional das atividades planejadas uma Unidade Didática, que segundo Damis (2006)

A unidade didática como técnica de ensino aborda relações de interdependência entre elementos básicos que integram o ato de ensinar: os objetivos, o conteúdo, a metodologia, os recursos e avaliação. Por meio dessa técnica, os professores programam o trabalho e decidem sobre os objetivos pretendidos, as atividades para enriquecer as experiências e os estudos dos alunos e a avaliação que acompanha todo o processo. (DAMIS, 2006, pg. 127)

Inicialmente na elaboração desta unidade didática, tive diversas ideias de metodologias de ensino que poderiam ser utilizadas. Aulas experimentais, simulações computacionais, debates, júri simulado, etc. Comecei a montar a espinha dorsal da unidade interligando as atividades, listando conceitos, metodologias. Elaborando todo um sistema complexo de aulas a fim de propor uma unidade didática que contemplasse as mais diversas metodologias de ensino e conteúdos conceituais possíveis. Em determinado momento me deparei com o seguinte fato: estava elaborando uma unidade didática para profissionais que não foram aqueles que conheci durante os anos da minha graduação. Esses profissionais, atuantes ou que já atuaram no Ensino Médio, são os mais diversos. Alguns novos, outros mais velhos, doutores, ou graduados, uns lecionando em escola particular, outros na rede pública ou nos dois. Alguns ministrando matemática, química ou biologia. Face a tal diversidade, e com todos problemas inerentes a realidade de um professor do ensino médio, elaborei uma unidade didática que pretendesse atender a esse profissional. Como forma de minimizar as dificuldades inerentes às metodologias citadas anteriormente, escolhi a aula expositiva dialogada. Pois esta permite a inserção do estudante no processo de ensino-aprendizagem, sem a necessidade de uso de ferramentas e materiais que nem sempre estão ao alcance do profissional. Nos próximos parágrafos serão discutidos as linhas básicas que inspiraram o planejamento e desenvolvimento da unidade didática.

3.1 Três Momentos Pedagógicos

A organização das atividades elaboradas neste trabalho foi inspirada no contexto dos três momentos pedagógicos de (DELIZOICOV, 2001). No primeiro momento, há uma problematização sobre o tema estudado. Esta problematização tem como objetivo confrontar o senso comum do estudante a fim de que ele sinta a necessidade de adquirir um novo conhecimento para explicar fenômenos que antes não eram explicáveis por ele. Nesta etapa costuma-se pro-

blematizar fenômenos cotidianos do estudante, estabelecendo assim o primeiro passo para o diálogo com o conhecimento. O segundo momento se caracteriza pelo contato do estudante com as teorias físicas já estabelecidas para explicação do fenômeno problematizado. Uma vez que este contato foi feito, deve-se sistematizar e formalizar os conteúdos conceituais trabalhados durante as atividades. Para a realização desta etapa costuma-se optar por uma aula expositiva dialogada, estabelecendo o diálogo formal do estudante com o saber físico. Por fim, tem-se a aplicação do conhecimento. O objetivo dessa etapa consiste em responder o questionamento que ocorreu dentro da problematização inicial tendo como base os conhecimentos trabalhados anteriormente. Espera-se que neste momento ocorra uma relação destes conhecimentos adquiridos com situações e/ou problemas cotidianos utilizando a conceituação física aceita. Vale ressaltar que a unidade como um todo também segue esse padrão, as primeiras atividades são uma problematização maior, as atividades do meio são atividades que visam trabalhar os conteúdos conceituais da Física para que nas últimas atividades o problema maior seja entendido e discutido.

3.2 Proposta de Unidade Didática

Miniaturização da Eletrônica: falta muito para o limite dessa tecnologia?

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

É de conhecimento geral que nossa sociedade é fortemente dependente dos computadores. Mas, o conhecimento sobre estas ferramentas tecnológicas se limita, em geral, em saber como operá-las em benefício próprio. A população possui um domínio operacional básico sobre essas máquinas e nada, ou quase nada, sabe sobre o seu funcionamento. Ouvimos tanto a respeito dos processadores cada vez mais velozes, que possuem dois, quatro, oito núcleos trabalhando a 3.2GHz cada um. Por outro lado, não percebemos muito interesse em perguntas como: O que é um processador? O que ele faz? Do que ele é feito? Como ele funciona? O que são esses núcleos? Como e porque eles ficam cada vez menores? Essa miniaturização tem algum limite? Por que esses núcleos vêm aos pares? Esta unidade didática pretende propiciar ao professor que deseje trabalhar com este tema, os conhecimentos e ferramentas básicas para a sua discussão em sala de aula.

Deve-se deixar claro ao professor o porquê ensinar esta Física tão presente na vida do ser humano, mas tão distante de sua compreensão. Antes de argumentos do porquê ensinar, deve-se

deixar claro que a pergunta é “Por que aprender?” e não “Para que aprender?”. A utilidade (para que) de saber como um processador funciona pode ser reduzida a entender que um processador, que possui dois núcleos de 1,4GHz, é mais rápido (em geral) que um processador de um único núcleo de 2GHz e que quanto menor for esse processador, menor pode ser o aparelho que o utiliza, mas isso não impede que o cidadão decore essa informação e realize a compra de forma adequada, não tendo nenhuma necessidade de conhecer sobre esse tema.

A unidade propõe atividades que possam ser utilizadas em pontos específicos do planejamento anual do professor, nas turmas do terceiro ano do ensino médio uma vez que, a temática dos processadores permite trabalhar todo o eletromagnetismo. As atividades, I II e III, podem ser inseridas no começo do ano letivo ao se trabalhar com a condutividade dos materiais. Depois pode-se seguir normalmente com o planejamento usual. Ao discutir corrente elétrica e diferença de potencial, as atividades IV e V, podem ser utilizadas. As atividades, VI, VII e VIII, cabem em circuitos elétricos, mostrando que o transistor é mais um dos possíveis dispositivos de um circuito. Por fim, como fechamento do ano, sugiro as atividades IX e X.

JUSTIFICATIVA

O primeiro argumento do porquê aprender sobre o que é um processador e o que é a sua miniaturização, gira em torno do porquê essa tecnologia tem um limite. Chegaremos em um momento onde não seremos mais capazes de miniaturizar mais esses processadores e, quando este dia chegar, o que iremos fazer? Iremos parar de produzir computadores cada vez mais rápidos? Mas e a necessidade que nos foi imposta de ter esses computadores cada vez mais rápidos? Ela simplesmente vai sumir? Procedimentos médicos que necessitam de um alto nível de processamento irão parar de evoluir? Estudos de aerodinâmica, que permitem criação de aviões mais seguros, irão cessar? Estudos de sistemas complexos, que modelam a propagação de um vírus por exemplo, irão parar de avançar?

Um segundo argumento está relacionado com o impacto que a mecânica quântica tem e teve em nossas vidas. Afinal, ela fornece o suporte teórico para o entendimento dos semicondutores, que constituem a base da nossa atual tecnologia, subsidiando também fundamentos teóricos necessários para o entendimento relacionado ao limite implícito que há no processo de miniaturização da eletrônica.

OBJETIVOS

Esta unidade, composta por 10 aulas de 50 minutos, tendo como objetivo geral discutir os conceitos envolvendo o tema semicondutores e, ao final do terceiro ano do ensino médio, os estudantes tenham condições de responder as seguintes questões: como o processador funciona? Por que tal tecnologia está com os dias contados.

POSSÍVEIS CONCEITOS DE FÍSICA QUE PODEM SER TRABALHADOS COM A TEMÁTICA

Corrente elétrica, circuito elétrico, transistor, modelos atômicos, mecânica quântica (um pouco), campo elétrico, potencial elétrico, carga elétrica, ligações atômicas, álgebra Booleana, conceitos técnicos sobre informática, frequência, etc. Pela extensão dos tópicos, observamos que, na prática, o terceiro é a série mais indicada para trabalhar com essa temática.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

Os estudantes poderão ser avaliados tendo como base suas participações nas atividades e suas produções escritas. Ao término de cada aula, aconselha-se que o professor deixe alguns minutos para a elaboração, por parte dos estudantes, de um relato sintetizando os conteúdos discutidos durante as atividades.

DEDO DE PROSA COM COM PROFESSOR (A)

Professor (a), este trabalho é uma revisão e ampliação da unidade didática que fiz numa disciplina chamada “Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física”, ela surgiu de três paixões que trago comigo: informática, ensino e Física. A obra como um todo traz atividades que são sequenciais e tentam conversar entre si, mas elas podem ser diluídas durante o seu planejamento anual. Em cada uma delas há uma seção “comentários”, apresento sugestões do desenvolvimento das atividades como um todo que julgo pertinentes. Durante todas as atividades propostas há uma “seção” chamada “dinâmica da aula”, estas partes foram escritas seguindo o raciocínio de como desenvolveria as atividades em sala, mas fica a seu critério como você irá conduzi-las. Vale ressaltar que os conceitos de informática discutidos são intencionalmente superficiais, pois uma discussão mais profunda não é objetivo desta proposta. As discussões relevantes estão relacionadas a Física, os conceitos aqui desenvolvidos são mínimos necessários para a discussão sobre o assunto com os estudantes. O texto base utilizado para a parte

de computação é de fácil e excelente leitura. Caso você deseje discutir mais profundamente os conceitos de informática poderá fazê-lo sem prejuízo algum.

As atividades foram inspiradas nos três momentos pedagógicos que pressupõem uma problematização inicial, que pode estar relacionada ao cotidiano dos estudantes. No segundo momento pedagógico, sugiro que a formalização de conceitos físicos podem ser realizados utilizando-se das estratégias e recursos próprios das ações didáticas e pedagógicas.

Aqui também vale um outro comentário, os estudantes (e me incluo nesse grupo) possuem dificuldade em transpor suas ideias para papel. Então, não os abandone nessa batalha, converse com eles, sugira que caso tenham dificuldades poderão expor seus pensamentos por meio de desenhos. Uma coisa que sempre sugiro em todas as atividades é que os estudantes escrevam um resumo/sistematização da aula. Isso tem diversos objetivos, um deles é que você consiga ter, aula a aula, um breve diagnóstico das principais dificuldades dos estudantes. Algumas vezes você vai precisar interromper seu planejamento e discutir algum tópico já discutido, não deixe que dificuldades passem em branco. Vale mais a pena que os estudantes entendam os tópicos trabalhados, do que você apenas cumpra o check-list dos tópicos de Física naquele ano. Um outro objetivo é que os estudantes pratiquem produção textual e sistematização do conhecimento, mas mostre para eles que não é só a escrita que é válida, desenhos, esquemas, gráficos, etc também valem.

Por fim boa leitura, boa sorte, boas atividades e lembre-se: existem dias difíceis e existem dias piores, existem dias que você vai querer largar tudo e ir pro meio do mato, mas se assim como eu, você acredita que a nossa profissão é capaz de mudar as pessoas e essas capazes de mudar o mundo, não desista, corra atrás, renove-se sempre. Aceite os mesmos desafios que você gosta de propor aos seus estudantes, seja aquilo que você quer que seus estudantes sejam, ser um exemplo também é uma forma de ensinar.

ATIVIDADES

ATIVIDADE 1 - MAS AFINAL, O QUE É UM PROCESSADOR E COMO ELE FUNCIONA?

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.4 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver os conceitos de processador, conceitos básicos de álgebra Booleana, portas lógicas e transistor de chaveamento.

DINÂMICA DA AULA

Primeiro momento - Problematização sobre microprocessador e como ele funciona:

Como problematização inicial sugiro a utilização de dois textos. O primeiro⁴ texto tem como objetivo mostrar alguns pontos relativos a importância dos computadores e o segundo⁵ trata do que é um processador. A ligação entre o primeiro e o segundo texto fica a cargo da seguinte problematização: qual a “peça” fundamental de um computador? A resposta deve chegar a ideia do processador.

Importância do computador na sociedade actual

O computador introduziu alterações significativas e básicas na nossa forma de trabalhar, de viver e de comunicar. Na realidade esta máquina intervém de forma importante em grande parte das nossas actividades profissionais ou lúdicas. O computador facilita a redacção de um documento podendo, simplesmente, ser guardada num arquivo informático sem que para isso seja necessário recorrer à sua materialização (sob a forma de papel). Esta forma de trabalhar veio diminuir o volume físico de papel dos nossos documentos. Outra grande vantagem é que permite que se altere um documento sem ter de recorrer a correctores e a outros produtos, como, contrariamente, acontecia com a máquina de escrever. No fundo, o uso desta tecnologia veio trazer desburocratização, rapidez, simplicidade e eficácia.

A utilização do computador na sociedade de hoje tornou-se banal. Processar texto, manipular e tratar imagens, fazer cálculos matemáticos e estatísticos, entre outras utilizações um processador de texto, imaginemos o que seria ter de escrever um livro, utilizando uma máquina

⁴ <<http://stc5lauaves.blogspot.com/2010/03/importancia-do-computador-na-sociedade.html>> Acessado dia 17 de Dezembro de 2019

⁵ <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2011/05/entenda-o-funcionamento-e-importancia-de-cada-peca-do-seu-computador.html>> Acessado 17 de Dezembro de 2019.

de escrever, como acontecia há alguns anos atrás. De uma forma simplificada, pode-se dizer que o computador é uma máquina de cálculo que permite guardar informação e realizar operações matemáticas sobre essa informação com uma rapidez tal que ultrapassa largamente as capacidades humanas para realizar essas tarefas. É importante referir que, no entanto, os computadores não "pensam" do mesmo modo que se entende por pensamento humano.

Em suma, o computador nos dias de hoje tornou-se um equipamento imprescindível e de grande utilidade. Permite-nos efectuar operações, como por exemplo transferências bancárias, pagamentos, pesquisas de todo o tipo, sem sair de casa. A aquisição de competências neste âmbito é uma mais valia, uma vez que possibilitará um melhor aproveitamento das novas tecnologias.

Processador

O processador é responsável pela execução de instruções dentro de um sistema. Ou seja: ele executa os comandos gerados pelos e para os softwares.

Ele é dividido em várias partes, sendo as duas principais a Unidade Lógico-Aritmética (ULA), utilizada para fazer cálculos e operações lógicas, e os registradores, que são memórias de acesso rápido para armazenar os resultados das operações. Com as informações vindas do mouse e do teclado, o processador interpreta esses dados de entrada e executa os comandos nos softwares. Atualmente são produzidos processadores com vários núcleos ("Core" em inglês), que seriam a junção de vários processadores dentro de um só, aumentando o poder de processamento dos computadores atuais. É como ter dois processadores em um chip (Dual-Core), ou quatro (Quad-Core), ou oito (Octa-Core), e assim em diante.

Quando falamos da capacidade do processador, falamos na sua frequência de operação, que tem por unidade o Hertz. Quem nunca ouviu falar em 1 GHz? Isso representa a frequência (velocidade) de processamento que um processador tem por segundo. Assim, 1 GHz quer dizer que um processador é capaz de fazer 1 bilhão ciclos de operação por segundo. Muitas vezes uma operação pode durar um ciclo ou mais - dependendo de sua complexidade.

Os processadores são construídos com base em um componente famoso no mundo da eletrônica: o transistor. Os transistores são tão pequenos que só é possível vê-los por microscópios de alta capacidade. O processador Core i7, da Intel, por exemplo, tem cerca de 800 milhões de transistores.

Há famílias de processadores para cada tipo de computador: A Intel e a AMD dominam o mercado de desktops, porém, nos portáteis como o iPhone, o mercado de processadores é da ARM.

Momento Final - Recapitulação das discussões e encaminhamentos para a próxima atividade: nesta etapa sugiro que o professor faça uma recapitulação dos pontos importantes presentes nos textos destacando questões/conceitos (transistores, frequência, operações lógicas, etc) que serão aprofundados no decorrer do ano.

COMENTÁRIOS: Pode ser que você possua estudantes que façam algum curso técnico na área de informática, não fique intimidado pelo conhecimento e curiosidade deles, ao contrário, aproveite-os para que essa discussão inicial seja a mais rica possível.

ATIVIDADE 2 - CONDUTORES, ISOLANTES E SEMICONDUTORES I

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Definir os conceitos de camada de valência, banda de valência, banda de condução, elétrons livres e corrente elétrica.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Discutir sobre o material de que é composto o transistor: Após uma breve recapitulação da atividade anterior, comentar que o foco das próximas atividades é compreender o funcionamento do transistor e, que para isso, precisamos entender algumas características dos materiais que o compõem.

Segundo Momento - Discussão e definição sobre os conceitos de corrente de elétrons, camada de valência, banda de valência, banda de condução e elétrons livres: O objetivo desta parte é discutir e sistematizar os conteúdos descritos acima, a fim de embasar as discussões que serão propostas na Atividade 3.

Momento Final - Diferenciar os conceitos de camada e banda, assim como banda de valência e banda de condução: Por fim, propõe-se que os estudantes elaborem um texto diferenciando os conceitos de banda e camada, assim como banda de valência e banda de condução, que será entregue ao final da aula.

COMENTÁRIOS: É importante que você saiba que essa atividade e a próxima estão intimamente relacionadas, pois, para o entendimento do conceito de “*gap*” de energia (que será desenvolvido na próxima atividade) é importante que os estudantes saibam diferir os termos banda de valência e banda de condução. Professor para esta etapa use o tempo necessário para que esta discussão seja proveitosa. Dessa forma, recomendo que você leia os textos elaborados pelos estudantes e sistematize suas dificuldades, para que elas sejam sanadas.

ATIVIDADE 3 - CONDUTORES, ISOLANTES E SEMICONDUTORES II

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Sistematizar os conceitos de gap de energia, isolante, condutor e semicondutor.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Discutir a atividade da última aula: Esta atividade pode começar com comentários que julgar pertinentes a respeito dos textos dos estudantes.

Segundo momento - Discutir e sistematizar os conceitos de “gap” de energia e materiais isolantes, condutores e semicondutores: Nosso propósito é conectar os conceitos da atividade anterior para classificar materiais em isolantes, condutores ou semicondutores, baseados em seu “gap” de energia.

Momento Final - Sistematização das três primeiras atividades: Solicitar que os estudantes façam uma síntese dos conceitos discutidos nas últimas três atividades.

COMENTÁRIOS: Durante a revisão no primeiro momento é importante que o professor atente para a diferenciação entre banda de valência e banda de condução.

No terceiro momento os estudantes devem formalizar os conceitos trabalhados nas últimas três atividades, a fim de desenvolver a habilidade de escrita e sistematização do conhecimento.

ATIVIDADE 4 - A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NOS MATERIAIS SEMICONDUTORES: CORRENTE DE ELÉTRONS E DE BURACOS

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver os conceitos de corrente de elétrons e corrente de

buracos.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Discussão inicial sobre corrente negativa e positiva no semicondutor: Retomar a discussão da atividade três e introduzir o conceito de corrente positiva no semicondutor, ressaltando sua necessidade na explicação do funcionamento do transistor.

Segundo momento - Discussão e sistematização de corrente de buraco: Discutir e sistematizar os conceitos de corrente de buraco, dopagem e classificação de semicondutor.

Momento Final - Diferenciar os conceitos de corrente de elétrons e corrente de buraco: Pedir para que os estudantes façam uma produção textual sobre a diferença entre corrente de elétrons e corrente de buracos.

COMENTÁRIOS: Para explicar sobre corrente de buracos sugiro o seguinte experimento mental: Imagine um semicondutor sobre ação de um campo elétrico com energia suficiente para retirar elétrons da banda de valência e colocá-los na banda de condução. O que acontece na banda de valência quando esse elétron é promovido? Espera-se que o estudante chegue na ideia de que faltará um elétron na banda de valência. Nesta parte o professor deve complementar dizendo que haverá mais espaços vazios do que elétrons na banda de valência, pois o elétron foi para a banda de condução, deixando um espaço vazio.

Esse espaço que sobrou é o que chamamos de buraco. Um outro elétron tende a ocupar este local. Note que esse comportamento de aproximação (atrativo) é característica de cargas opostas, então é razoável pensar que esse buraco se comporta como uma carga idêntica ao elétron, mas de sinal oposto.

Porém há um pequeno problema, pense no seguinte: se nos colocarmos no lugar do elétron, vemos uma corrente de buracos, porém se nos colocarmos no lugar dos buracos, podemos perceber que há uma corrente de elétrons. Mas se há uma corrente de elétron e uma de buraco, no final de contas há uma corrente no semicondutor ou não? E se há, é de buracos ou elétrons?

Pense da seguinte forma: Se há mais elétrons do que buracos, na média há uma corrente resultante de elétrons. Se há mais buracos do que elétrons, há uma corrente de buracos. Então, vemos que um semicondutor pode ter dois tipos de corrente resultante: Uma corrente resultante positiva que é formada por buracos e uma corrente resultante negativa que é constituída por elétrons. Ao semicondutor que possui corrente positiva (buracos), denominamos de semicondutor

do tipo p (positivo). Ao que possui corrente negativa (elétrons) damos o nome de semicondutor do tipo n (negativo). Na natureza semicondutores naturais (intrínsecos) não são muito eficientes, mas há técnicas, que chamamos de dopagem, onde são misturados ao semicondutor, outros elementos que irão aumentar a sua eficiência.

A dopagem funciona da seguinte forma: se misturarmos fósforo ao silício (semicondutor), ocorrem ligações covalentes entre quatro elétrons do fósforo (que possui cinco na banda de valência) com os quatro elétrons do silício (que possui quatro na banda de valência), sendo assim “sobram” elétrons dessa ligação e esses elétrons que sobram são justamente os elétrons livres que vão para a banda de condução, assim temos mais elétrons que buraco e por isso um semicondutor do tipo n. Ao misturarmos boro (três elétrons na camada de valência) ao silício (semicondutor) sobram buracos na rede, pois o silício (como todo átomo) precisa de oito elétrons para se estabilizar, como são quatro elétrons do próprio silício mais três do boro, falta um para se estabilizar logo temos um buraco na rede. Por isso um semicondutor do tipo p. É importante discutir que para falar de corrente, tanto de buracos quanto de elétrons, exige-se que haja uma ordenação no fluxo deles. E essa ordenação, no nosso caso de estudo, é gerada por um campo elétrico. Porém, quando dizemos um “condutor do tipo n ou p”, estamos dizendo que é um semicondutor que quando aplicamos uma ddp nele, ele possui as características discutidas até agora.

ATIVIDADE 5 - FUNCIONAMENTO DO TRANSISTOR I: A JUNÇÃO P-N.

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver conceitos de diferença de potencial, campo elétrico, junção metalúrgica, corrente de difusão, barreira de potencial e transistor.

SUGESTÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS: slides com as Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 que aparecem no referencial teórico.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - De que é feito um transistor? Após uma recapitulação da atividade anterior, indaga-se o que que é um transistor e quais elementos o compõem?

Segundo momento - Discussão da “junção p-n” e caracterização de um transistor: formalizar os conceitos de junção metalúrgica, diferença de potencial, campo elétrico, corrente de difusão, “junção p-n” e transistor.

Momento Final - Tarefa de sistematização do conhecimento: Solicitar que os estudantes façam uma representação, por meio de esquemas, dos possíveis fenômenos que ocorrem, quando juntamos dois semicondutores de dopagens diferentes.

COMENTÁRIOS: O primeiro passo dessa atividade consiste em discutir de que é feito um transistor. Em seguida, estender a discussão um pouco mais além, para o caso de uma junção feita de dois (p-n) ou três semicondutores (junção p-n-p ou n-p-n). No segundo momento, faz-se toda uma discussão detalhada sobre o que ocorre na interface de ligação onde a barreira de potencial tem sua origem.

ATIVIDADE 6 - FUNCIONAMENTO DO TRANSISTOR II: A SELEÇÃO.

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver conceitos de diferença de potencial, campo elétrico resultante, junção metalúrgica, transistor, barreira de potencial e partes do transistor.

SUGESTÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS: slides com as Figuras 2.5 e 2.6 que aparecem no referencial teórico e também no apêndice A.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Partes do transistor: após uma breve recapitulação da atividade anterior, discutir que nesta atividade, vamos finalmente responder como que o transistor, efetivamente, seleciona se passa corrente ou não no circuito.

Segundo momento - Discussão sobre as partes do transistor e como ele seleciona a corrente: discutir o que acontece quando colocamos uma ddp ligada no coletor e emissor e em seguida o que acontece quando colocamos uma ddp na base.

Momento Final - Tarefa de sistematização do conhecimento: solicitar que os estudantes sistematizem os conceitos discutidos na aula.

COMENTÁRIOS: Depois de longa jornada, vamos explicar como o transistor “seleciona” se passa corrente ou não. O primeiro passo é entender o que acontece quando aplicamos uma ddp no transistor. Nesta etapa discute-se que ao colocar uma ddp no transistor, independentemente da polarização da ddp, o circuito sempre estará aberto (não passará corrente) em seguida expli-

car que a saída está na base. Ao aplicarmos uma ddp nela, a corrente passa, fechando o circuito.

ATIVIDADE 7 - CPU, ÁLGEBRA BOOLEANA E PORTAS LÓGICAS

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.4 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver os conceitos de álgebra Booleana e transistor de chaveamento.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Como o processador “processa” informações: Nesta primeira parte, sugere-se que o professor faça uma sondagem com os estudantes solicitando se eles têm alguma ideia de como o processador “processa” as informações.

Segundo momento - Discussão dos conceitos de álgebra Booleana, porta lógica e Transistor de Chaveamento: discussão e formalização desses conceitos.

Momento Final - Relacionar uma situação qualquer com condições lógicas e “implementar”: Aqui, o professor pede para que os estudantes proponham uma situação que envolva condições lógicas (se isso acontecer, acontecerá isso) e tentem escrever como que isso seria representado por meio de portas lógicas. A tarefa poderá ser entregue ao término da aula ou posteriormente, se não houver tempo hábil.

COMENTÁRIOS: Nessa atividade, daremos o primeiro passo para amarrar todos os conceitos discutidos até aqui. No primeiro momento a ideia é que você pergunte aos estudantes como que o processador realiza as operações necessárias para o seu funcionamento a fim de retomar a ideia de ligado e desligado. Retomada essa ideia, indaga-se como é possível utilizar informações tão simples para realizar tarefas complexas. Isso dá margem para uma discussão e sistematização dos conceitos de portas lógicas, justificando naturalmente o uso do transistor como peça fundamental para o funcionamento do processador.

ATIVIDADE 8 - MINIATURIZAÇÃO DOS TRANSISTORES: POR QUE?

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.4.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Desenvolver as habilidade de argumentação, desenvolver argumentos de como pode-se aumentar o poder de processamento da cpu.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Por que miniaturizar? Breve recapitulação de como o processador funciona, saindo das portas lógicas até chegar no transistor.

Segundo momento - Estabelecer as condições necessárias para o aumento de processamento do processador: A primeira parte deste momento é discutir porque é importante aumentar o poder de processamento dos computadores. A segunda tem como objetivo a discussão de algumas características que podem interferir no desempenho do processador. Por muito tempo a diminuição do tamanho dos transistores foi a saída mais eficiente.

Momento Final - Listar e justificar o que pode interferir no desempenho do processador e porque é importante ter CPUs mais rápidos: A ideia é pedir para que os estudantes façam uma lista com os tópicos discutidos em sala que influenciam no desempenho do processador, assim como porque é importante ter processadores cada vez mais rápidos.

COMENTÁRIOS: O objetivo desta atividade é justificar porque é importante termos processadores mais rápidos. Os argumentos mais comuns apontam para computadores mais eficiente, que travam menos e que são mais rápidos. Argumentos técnicos relacionam uma maior capacidade de processamento de gráficos (jogos com imagens mais realistas, melhor qualidade de vídeo). Vale um comentário do proponente da UD: “apesar da placa de vídeo comandar os gráficos “avançados” do computador, ela também possui um processador próprio, chamado de GPU (graphics processal unit)”. Argumentos humanitários relatam que diversos modelos de crescimento populacional de pragas só são possíveis de serem simulados graças ao poder de processamento do computadores atuais. Máquinas de ressonância magnética dependem de alto poder de processamento (entre outras coisas) para nos proporcionar imagens mais realistas. A dinâmica dessa aula pode ser em forma de debate com a sala, onde os estudantes poderão opinar sobre o assunto.

ATIVIDADE 9 - MINIATURIZAÇÃO DOS TRANSISTORES: HÁ UM LIMITE?

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.4.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Conhecer os conceitos associados ao princípio de incerteza de Heisenberg, a não definição de corrente no mundo quântico, efeito de tunelamento quântico.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial - Dá para diminuir indefinidamente? Breve recapitulação da atividade anterior e em seguida indagar os estudantes se dá para diminuir para sempre o tamanho dos transistores que compõem o processador.

Segundo momento - Discutir e sistematizar os conceitos da mecânica quântica que explicam porque há um limite no tamanho do transistor: Discutir o conceito de tunelamento quântico a fim de argumentar que, em certo momento, o tamanho da base do transistor será tão pequena que esse efeito irá acontecer. Isso impossibilita ter um circuito aberto de forma confiável. Também nesse limite o princípio da incerteza de Heisenberg torna-se relevante dificultando a própria definição de corrente elétrica.

Momento Final - Tarefa: solicitar que os estudantes façam uma esquematização/desenho do que eles entenderam por efeito de tunelamento.

COMENTÁRIOS: nesta atividade discute-se com os estudantes os limites dessa tecnologia que conhecemos. O efeito de tunelamento quântico é essencial para a explicação do porque os processadores como conhecemos hoje estão perto do seus limites. Durante sua discussão, pode-se fazer uso de uma analogia clássica. Comparar o elétron a uma bola que é jogada contra a parede. No mundo clássico, a bola nunca atravessa a parede pois não tem energia suficiente para ou “quebrar” a parede ou passar por cima dela. Entretanto, no mundo quântico, há uma probabilidade de que o elétron mesmo não tendo energia suficiente, ele simplesmente passe para o outro lado da barreira.

ATIVIDADE 10 - MINIATURIZAÇÃO DOS TRANSISTORES: E AGORA? PRA ONDE VAMOS?

PRÉ-REQUISITOS AO PROFESSOR: leitura da seção 2.4.1 do texto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Discutir problemas relacionados ao limite da miniaturização dos transistores.

DINÂMICA DA AULA

Momento Inicial : Recapitulação: A ideia é que seja feita uma recapitulação de tudo que foi discutido a fim de situar os estudantes dos conhecimentos que foram trabalhados nas atividades anteriores.

Segundo momento : E agora? Problematizar que depois de anos e anos adquirindo a necessidade de termos processadores cada vez mais rápidos, o que faremos quando não houver uma forma de fabricar processadores mais rápidos?

Note que o problema da miniaturização envolve os limites clássicos. Assim para um avanço posterior seria necessário levar em conta os efeitos quânticos, que ocorrem em pequenas dimensões. Atualmente existem muitos pesquisadores envolvidos neste problema que deverá resultar em uma nova computação, chamada computação quântica. A discussão desses limites quânticos está fora das pretensões do presente trabalho. Aqui apenas indicamos os possíveis problemas com a tecnologia atual.

Momento Final: Pesquisa: Sugiro que o professor peça aos estudantes a realização de uma pesquisa de possíveis soluções para o problema do limite da miniaturização.

COMENTÁRIOS: A seguir apresento algumas questões que podem ser úteis no decorrer do segundo momento:

- O avanço tecnológico que até agora pareceu desenfreado, vai abruptamente parar?
- Como uma sociedade que foi acostumada a ter tudo cada vez mais rápido vai, do nada, parar de ser mais rápida?
- Uma das promessas desses processadores é a realização de exames médicos cada vez mais precisos e mais rápidos. Caso essa tecnologia pare de avançar não iremos conseguir diagnosticar doenças com precisão cada vez maior?
- Parte do controle de epidemias surge da análise de simulações computacionais que modelam a propagação de doenças em uma região. Essas simulações só são possíveis em um tempo viável, devido ao avanço dos processadores. Conforme os processadores vão ficando mais rápidos, simulações mais complexas e “realistas” são desenvolvidas. Caso os

processadores parem de avançar, não iremos conseguir simular essas epidemias de forma eficaz?

- Recentemente diversas empresas e pesquisadores estão desenvolvendo próteses para pessoas (e até animais) sem membro e a precisão de como esses modelos são criados dependem de altos níveis de processamento.
- A famosa foto do buraco negro que ocorreu recentemente só pode ser feita devido a algoritmos e processadores extremamente potentes, quer dizer então que não iremos ter imagens mais precisas?

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos uma proposta para inserção do tema materiais semicondutores no ensino médio, por meio de uma unidade didática. A unidade foi concebida de forma que o professor possa desenvolvê-la no decorrer do terceiro ano, onde normalmente trabalha com os conceitos de eletricidade e magnetismo. Esperamos que este trabalho seja um primeiro passo para o profissional que julgue que materiais semicondutores seja bom tema a ser desenvolvido em sala de aula.

Ressaltamos que as produções textuais previstas na unidade didática podem ser um bom recurso a ser usado pelo professor para o desenvolvimento de habilidades de escrita, sistematização de conhecimentos e autonomia dos seus alunos.

Por fim, o desenvolvimento do TCC proporcionou ao autor agregar conhecimentos na área, decorrente do estudo demandado para desenvolvimento do tema. Além da parte logística relacionada à elaboração da sequência didática. O trabalho também permitiu ao autor refletir sobre alguns problemas e desafios pertinentes à sua futura profissão.

REFERÊNCIAS

- CRISTO, F. de; PREUSS, E.; FRANCISCATTO, R. **Arquitetura de Computadores**. Frederico Westphalen - RS, 2013. Disponível em: <https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/ctism/cte/wp-content/uploads/sites/413/2018/12/arquitetura_computadores.pdf>. Acesso em: 25 de Novembro 2019.
- DAMIS, O. T. Unidade didática: Uma técnica para a organização do ensino e da aprendizagem. In: VEIGA, I. P. A. (Ed.). **Técnicas de Ensino: Novos tempos, novas configurações**. [S.l.]: UFSC, 2006. p. 105–135.
- DELIZOICOV, D. Problemas e problematização. In: PIETROCOLA, M. (Ed.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integrada**. [S.l.]: UFSC, 2001. p. 125–150.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física da moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.
- REZENDE, S. M. **A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. 2. ed. [S.l.]: Livraria da Física, 2004. v. 1.
- VIEIRA, F. M. S. Álgebra booleana. **Educação Tecnologia**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 10–12, 2000.