

SÍLVIO LIMA DIAS

**EXPERIMENTOS PROJETADOS PARA CONSTRUÇÃO E
MUDANÇA DE MODELOS MENTAIS NO ENSINO DE
ELETROMAGNETISMO**

Produto apresentado ao Programa de Pós-Graduação (UNIFAL-MG), Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Augusto Toti.

ALFENAS-MG

2018

APÊNDICES – PRODUTOS

Dissertação: Experimentos Projetados Para Construção E Mudança De Modelos Mentais No Ensino De Eletromagnetismo

Silvio Lima Dias

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)/SBF

Polo: Universidade Federal de Alfenas - MG (UNIFAL-MG).

Apresentação

O presente material didático-pedagógico é constituído de vinte e oito experimentos de eletromagnetismo (confeccionados com materiais de baixo custo e/ou fácil acesso) e suas respectivas questões problematizadoras.

Os experimentos foram elaborados obedecendo a uma cronologia histórica, que permite ao professor desenvolver o estudo do Eletromagnetismo a partir das mesmas dificuldades encontradas pelos pesquisadores da época. Além disso, os componentes utilizados e a simplicidade na confecção dos experimentos permitem uma maior transparência dos processos envolvidos no fenômeno observado.

Tendo como motivação principal a necessidade de reverter a difícil situação imposta pelo elevado grau de desinteresse da maioria dos alunos pelo estudo do Eletromagnetismo (desinteresse esse devido, principalmente, à grande quantidade de conceitos abstratos), procurei elaborar o presente material de modo a ser utilizado pelo professor em sala de aula. Com isso, o professor proporciona a criação de um ambiente que permite aos alunos investigarem os conteúdos do Eletromagnetismo de maneira interativa, dando-lhes subsídios para que tenham condições de compreender, questionar e, por fim, adquirir o conhecimento científico desejado.

Os experimentos aqui apresentados dão ênfase ao aspecto qualitativo dos fenômenos observados, porém alguns dos experimentos, conforme podem ser identificados a partir de suas descrições, permitem a coleta de dados e, conseqüentemente, uma confrontação com os resultados previstos pela teoria.

Outro aspecto positivo do presente material, além da sua simplicidade de construção e transparência de seus componentes, consiste no fato de que os experimentos podem ser confeccionados pelos próprios alunos. Tal atividade (a confecção dos experimentos pelos alunos) pode também ser utilizada pelo professor como forma de avaliar o envolvimento e o desempenho dos alunos no grupo durante a realização da atividade proposta.

Acompanham os experimentos, questões problematizadoras que permitem ao professor explorar aspectos conceituais e técnicos que auxiliam o aluno numa compreensão mais aprofundada dos fenômenos observados.

As réplicas dos experimentos produzidos foram doados pelo autor para o laboratório de Ensino de Física do Curso de Física - Licenciatura da UNIFAL-MG. O autor oferecerá oficinas de construção e utilização desses e outros experimentos da Física, para finalidades didática, construídos com os mesmos princípios de transparência didática e epistemológica, mediante demandas de professores, escolas e universidades.

APÊNDICE A - Vídeos dos Experimentos Modelos Mentais

Para cada um dos 28 experimento integrantes da coleção, elaboramos um vídeo que traz uma análise com diagramas, forma de uso sugerida e detalhes da construção. Em alguns minutos o professor pode ter uma visão geral de um determinado experimento. Além disso esse material constitui-se material para uso na aula e como elemento das análises, pelo aluno, durante processo de construção dos modelos mentais. Abaixo o link para acesso aos vídeos. Em caso de problemas de acesso, por favor entre em contato com o autor ou secretaria do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Além dos vídeos o apêndice B reúne um quadro de problematizações organizados por sequência de experimentos e um manual com algumas expectativas de respostas sobre as problematizações.

Acesso a coleção de vídeos produzidas (todos os experimentos).

https://drive.google.com/drive/folders/1Tz_rTSOLY3aDdDHSheB4lp3ouNkt_ICA?usp=sharing

APÊNDICE B - Sequências de Problematizações e Experimentos

Produzimos um conjunto de problematizações organizados por sequência de experimentos e um manual com algumas expectativas de respostas sobre as problematizações. Ressaltamos que trata-se de um material de apoio para implementação dos recursos propostos para a construção de modelos mentais, segundo o referencial adotado. Este conjunto a que chamamos de quadro de problematizações deve ser adaptado pelo professor conforme são produzidos sucessivos aperfeiçoamentos de modelos mentais pelos alunos. A cada etapa, as aproximações do modelos mentais devem ser avaliadas para que novas problematizações possam ser construídas pelos alunos na interação com os experimentos e os vídeos.

Quadros de sequências e problematizações - Parte I

Experimentos		Os experimentos possibilitam:	Grandezas Relacionadas	Questões
Básicos	Complementares			
1 a 6	7 a 10	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar o campo magnético de um ímã permanente em forma de barra. 2. Relacionar a eletricidade com o magnetismo. 3. Revelar o caráter tridimensional do campo magnético. 4. Caracterizar o campo magnético em torno de um fio condutor retilíneo, de uma espira circular e de um solenoide cilíndrico percorridos por uma corrente elétrica contínua. 5. Utilizar a regra da mão direita como forma prática de se determinar a orientação espacial do campo magnético a partir da orientação da corrente elétrica. 6. Identificar as semelhanças entre as configurações do campo magnético de um solenoide e de um ímã permanente em forma de barra. 7. Estabelecer relações qualitativas entre as grandezas envolvidas na interação entre os campos de indução magnética gerados por correntes elétricas que percorrem fios retilíneos paralelos entre si. 8. Constatar que apenas a introdução de um objeto (núcleo) ferromagnético no interior de um solenoide é capaz de intensificar, de forma considerável, a intensidade do campo magnético por este criado. 9. Reconhecer que, para fins práticos, a utilização do 	<p>B (campo de indução magnética)</p> <p>i (corrente elétrica)</p> <p>d (distância ao condutor retilíneo)</p> <p>R (raio da espira)</p> <p>n (número de espiras por unidade de comprimento)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como proceder experimentalmente a fim de descartar as possibilidades do desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter sido causado pela imantação ou eletrização do fio devido à passagem da corrente elétrica? 2. Como justificar, com base na mecânica newtoniana, o desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter ocorrido num plano perpendicular ao plano do condutor? 3. O experimento 2 mostra que, quando as bússolas são dispostas perpendicularmente ao fio (na ausência de corrente) assim que a corrente é ligada, elas podem permanecer imóveis ou sofrer uma deflexão de 180° em relação à posição inicial, sendo que, as bússolas situadas acima do fio têm comportamento oposto àquelas situadas abaixo. Como pode ser explicado, com base nas linhas de indução do campo magnético gerado pelo fio, o comportamento dessas bússolas? 4. Ainda em relação ao experimento 2, também é possível constatar que as bússolas colocadas paralelamente ao fio no seu plano horizontal, na ausência de corrente, são defletidas verticalmente assim que a corrente é ligada, sendo que, bússolas em lados opostos, em relação ao fio, sofrem deflexões opostas. Como se justifica tal fato? 5. Como se pode experimentalmente inverter

		<p>solenóide é mais apropriada, que a de um ímã permanente.</p> <p>10. Verificar algumas aplicações (eletroímã e galvanômetro) dos efeitos produzidos pela passagem de uma corrente elétrica contínua por uma bobina de fio.</p>		<p>a polaridade da espira no experimento 4 e do solenóide no experimento 5?</p> <p>6. A partir da comparação entre as configurações do campo magnético da espira e do solenóide, o que se pode supor com relação ao campo externo ao solenóide no experimento 5, caso este seja muito longo?</p> <p>7. Seriam observados os mesmos resultados no experimento 6, caso fosse utilizada corrente alternada em substituição à corrente contínua?</p> <p>8. O experimento 6 é uma versão simplificada da Balança de Corrente de Ampère. A partir dos resultados obtidos em seu experimento, ele explicou a deflexão da agulha da bússola na experiência de Oersted como consequência da interação entre o campo magnético criado pelo fio e a corrente induzida por este campo magnético na agulha da bússola. Que procedimento experimental pode ser utilizado para descartar a explicação dada por Ampère?</p> <p>9. A forma geométrica da parte móvel do experimento 6 tem caráter funcional ou meramente estético?</p> <p>10. Existem outros materiais, além do ferro, capazes de intensificar o campo magnético criado pelo solenóide do experimento 7? Cite alguns.</p> <p>11. Com base no modelo microscópico de um material ferromagnético, como se explica o aumento na intensidade do campo magnético do solenóide no experimento 8, quando é introduzido um núcleo de ferro em seu interior?</p> <p>12. Existe alguma razão para que o fio de cobre que envolve o prego no experimento 8 seja envernizado? Poder-se-ia usar outro tipo de material? Qual?</p> <p>13. O que aconteceria se o número de voltas do fio de cobre em torno do prego no</p>
--	--	---	--	---

				<p>experimento 8 fosse aumentado?</p> <p>14. O eletroímã usado no experimento 9 poderia ser substituído por um ímã permanente? Por quê?</p> <p>15. Seria possível aumentar o som da campainha no experimento 9? Como isso poderia ser feito?</p> <p>16. As campainhas residenciais, por exemplo, funcionam com tensão alternada. No experimento 9 foi utilizada corrente contínua fornecida pelas pilhas. Esta campainha funcionaria com tensão alternada? Justifique.</p> <p>17. Cite duas maneiras de se aumentar a sensibilidade do galvanômetro no experimento 10.</p> <p>18. A colocação do ímã no interior da bobina no experimento 10 pode ser feita de maneira aleatória? Justifique.</p>
--	--	--	--	--

--	--	--	--	--

Quadros de seqüências e problematizações - Parte II

Experimentos		Os experimentos possibilitam:	Grandezas Relacionadas	Questões
Básicos	Complementares			
11 e 12	13 a 18	<p>1. Verificar os efeitos do campo magnético produzidos por ímãs permanentes sobre cargas elétricas em movimento.</p> <p>2. Ressaltar o caráter tridimensional do campo magnético produzido por ímãs permanentes explorando algumas variações na disposição e na forma geométrica do elemento condutor da corrente elétrica.</p> <p>3. Utilizar a regra da mão esquerda como forma prática de se determinar a orientação espacial da força magnética.</p> <p>4. Mostrar que a força magnética que atua sobre cargas em movimento é capaz de realizar trabalho mecânico.</p>	<p>F (força magnética)</p> <p>B (campo de indução magnética)</p> <p>i (corrente elétrica)</p> <p>l (comprimento do condutor retilíneo)</p> <p>θ (ângulo entre as direções do condutor retilíneo e do vetor campo magnético)</p>	<p>1. Com base na configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra e utilizando-se da regra da mão esquerda, é possível determinar o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?</p> <p>2. Quais os procedimentos experimentais que podem ser tomados para se inverter o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?</p> <p>3. Seria possível aumentar a velocidade de rotação do fio móvel no experimento 11? Em caso afirmativo, como isso poderia ser feito?</p> <p>4. Como proceder experimentalmente no experimento 12 a fim de se inverter a orientação da força magnética sobre o pêndulo?</p> <p>5. Seria possível determinar no experimento 12 a polaridade do ímã, caso não fosse conhecida, a partir do sentido de deslocamento do pêndulo e da orientação da corrente elétrica que o atravessa?</p> <p>6. Qual é a explicação para o fato de não haver deflexão do pêndulo no experimento 12, quando o ímã está colocado na posição "∩".</p> <p>7. O que ocorrerá com a intensidade da força magnética sobre o pêndulo no experimento 12, caso se utilize outro metal em sua confecção, sem alterar os demais parâmetros?</p> <p>8. Numa observação cuidadosa, é possível verificar que um dos lados do eixo da bobina no experimento 13 está parcialmente raspado.</p>

				<p>Existe alguma razão para isto, ou foi descuido de quem a construiu, deixando de raspá-lo completamente?</p> <p>9. Quais princípios da mecânica newtoniana regem a rotação da bobina no experimento 13?</p> <p>10. Tomando como base a configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra, pode-se afirmar que o sentido de rotação da bobina no experimento 13 será sempre o mesmo, independente da posição do ímã sob ela, desde que o ímã não tenha a sua polaridade invertida?</p> <p>11. Os aparatos utilizados nos experimentos de 14 a 17 correspondem a algumas versões das várias existentes do experimento 13. Apesar dessas versões, aqui apresentadas, variarem de configuração e até mesmo de componentes (como é o caso do experimento 17), o princípio físico de funcionamento de cada um deles é o mesmo que explica o funcionamento do experimento 13. Descreva como age o campo magnético sobre a corrente que percorre a parte móvel de cada aparato (dos experimentos 13 ao 17), de modo a causar a rotação das mesmas.</p> <p>12. O funcionamento do trem eletromagnético no experimento 18 depende essencialmente da forma como são colocados os ímãs nos polos da pilha. Explique a forma correta de como esses ímãs devem ser colocados e como o conjunto ímãs-pilha se movimenta no interior do solenoide.</p>
--	--	--	--	--

Quadros de seqüências e problematizações - Parte III

Experimentos		Os experimentos possibilitam:	Grandezas Relacionadas	Questões
Básicos	Complementares			
19, 23 e 26	20, 21, 22, 24, 25, 27 e 28	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relacionar a variação do fluxo do campo magnético à geração de uma força eletromotriz. 2. Ressaltar o aspecto tridimensional do campo magnético a partir da variação do número de linhas que atravessam uma superfície delimitada por uma bobina circular. 3. Determinar a polaridade magnética de uma bobina e associá-la ao sentido da corrente induzida que a percorre. 4. Detectar corrente elétrica alternada induzida pela rotação de uma bobina no campo magnético de um ímã permanente. 5. Utilizar a corrente alternada induzida em uma bobina para acender um conjunto de leds. 6. Investigar as possibilidades de surgimento de força magnética que se opõe ao movimento relativo entre placas de metal não ferromagnético e um ímã. 7. Utilizar a regra da mão direita nos, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida (correntes de Foucault) nas placas metálicas. 8. Fazer uso prático das correntes de Foucault de forma a produzir forças capazes de equilibrar a força gravitacional. 9. Aplicar o fenômeno da indução para transmitir energia eletromagnética à distância (sem fio), utilizando campo 	<p>ε (força eletromotriz)</p> <p>Φ (fluxo do campo magnético)</p> <p>t (tempo)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. É possível, sem alterar fisicamente os elementos do circuito nos experimentos 19 e 20, aumentar a corrente induzida na bobina pelo ímã móvel? Em caso afirmativo, quais devem ser os procedimentos experimentais? 2. Como se explica o fato da deflexão do ponteiro do galvanômetro no experimento 21 alternar o seu movimento? Esse fato sugere que a corrente elétrica que percorre o circuito é alternada. Seria possível, através de um procedimento experimental simples, tornar essa corrente contínua (isto é, fazer o ponteiro do galvanômetro ficar estacionado em um dos lados da escala)? 3. Que alterações podem ser feitas em relação ao ímã e ou à bobina nos experimentos 21 e 22 para que a corrente no circuito seja intensificada? 4. Apesar do alumínio não ser um metal ferromagnético, nota-se que, quando em movimento relativo a um ímã permanente, pode ocorrer uma interação de natureza magnética entre ambos. Como pode ser explicada no experimento 23 esta possível interação com base na lei de Faraday e Lenz? Por que esta interação é significativamente enfraquecida quando a placa de alumínio utilizada é dentada? 5. Nos experimentos realizados anteriormente, observou-se que a inversão

		<p>magnético oscilante de alta frequência.</p> <p>10. Aplicar as propriedades de um circuito ressonante elementar para sintonizar ondas de rádio (entre 535 kHz e 1700 kHz) na atmosfera terrestre.</p>		<p>de polaridade dos ímãs permanentes produzia efeitos opostos aos originais. Tal fato também seria observado no experimento 23, isto é, o pêndulo seria acelerado?</p> <p>6. Utilize a regra da mão direita nos experimentos de 23 a 25, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida nas placas metálicas.</p> <p>7. Forçando-se (com o dedo) o ímã de encontro ao disco em movimento no experimento 25, nota-se a redução da sua velocidade de rotação. A que se deve tal fato?</p> <p>8. Como a distância e a orientação relativa entre as bobinas primária e secundária experimento 26 afetam a luminosidade do led?</p> <p>9. Como se explica o acendimento da lâmpada de vapor de mercúrio no experimento 27, visto que não há fios de conexão entre ela e a bobina de Tesla.</p> <p>10. No experimento 27, poderia ser usada uma lâmpada incandescente no lugar da lâmpada de vapor de mercúrio? Justifique.</p> <p>11. O fato de uma fonte de tensão (pilha ou bateria) não fazer parte do experimento 28 sugere a existência de uma fonte externa. Que fonte é esta?</p> <p>12. Qual componente do experimento 28 é o responsável pela captação da energia externa e de que forma ocorre?</p> <p>13. Qual é o fenômeno físico responsável pela sintonia das ondas de rádio no experimento 28?</p>
--	--	--	--	---



Significado dos Símbolos das Grandezas Relacionadas

B → campo de indução magnética

i → corrente elétrica

d → distância ao condutor retilíneo

R → raio da espira

n → número de espiras por unidade de comprimento

F → força magnética

l → comprimento do condutor retilíneo

θ → ângulo entre as direções do condutor retilíneo e do vetor campo

ε → força eletromotriz (fem)

Φ → fluxo do campo magnético

t → tempo

Relação dos Experimentos

PARTE I	<ol style="list-style-type: none"> 1. Linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra. 2. Experiência de Oersted. 3. Experiência de Arago. 4. Campo magnético de uma espira circular. 5. Campo magnético de um solenoide cilíndrico. 6. Força magnética entre fios paralelos percorridos por corrente – Balança de corrente de Ampère. 7. Campo magnético de um solenoide cilíndrico com núcleos diversos. 8. Eletroímã. 9. Campainha “cigarra”. 10. Galvanômetro.
PARTE II	<ol style="list-style-type: none"> 11. Força magnética sobre fio retilíneo – Versão modificada da Experiência de Faraday.

	<p>12. Força magnética sobre fio retilíneo – Versões 1 e 2.</p> <p>13. Motor homopolar de bobina circular móvel.</p> <p>14. Motor homopolar espiral.</p> <p>15. Motor homopolar de ímã móvel.</p> <p>16. Motor homopolar de ímã suspenso.</p> <p>17. Motor homopolar de disco de alumínio giratório.</p> <p>18. Trem eletromagnético.</p>
<p>PARTE III</p>	<p>19. Experiência de Faraday da indução eletromagnética – Versão 1.</p> <p>20. Experiência de Faraday da indução eletromagnética – Versão 2.</p> <p>21. Gerador de corrente alternada – Versão 1.</p> <p>22. Gerador de corrente alternada – Versão 2.</p> <p>23. Freio magnético – Versão 1.</p> <p>24. Freio magnético – Versão 2.</p> <p>25. Levitador magnético.</p> <p>26. Transmissor de energia sem fio.</p> <p>27. Mini bobina de Tesla.</p> <p>28. Rádio Galena de antena de quadro.</p>

Respostas às Questões dos Experimentos

Parte I

1. Como proceder experimentalmente a fim de descartar as possibilidades do desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter sido causado pela imantação ou eletrização do fio devido à passagem da corrente elétrica?

R. Para verificar se o fio foi **imantado** ao ser percorrido pela corrente, basta deslocar um pouco para a esquerda e, em seguida, um pouco para a direita, uma das bússolas situadas sob o fio.

Percebe-se que independente da agulha magnética estar à direita ou à esquerda do fio rígido, esta gira para o mesmo lado. Caso o fio estivesse, a agulha magnética experimentaria uma atração de um lado, uma repulsão do outro e giraria em sentido contrário.

Para verificar se o fio foi **eletrizado** ao ser percorrido pela corrente, basta manter o esquema original e substituir a agulha magnética da bússola por outra agulha de material não ferromagnético (cobre, por exemplo). Ao ligar o circuito verifica-se que nada acontece, ou seja, a agulha de material não ferromagnético não sofre nenhum giro ou movimentação perceptível, tanto com o circuito ligado quanto com ele desligado, descartando assim qualquer interação eletrostática entre esta e o fio.

2. Como justificar, com base na mecânica newtoniana, o desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter ocorrido num plano perpendicular ao plano do fio condutor, uma vez que, de acordo com a 3ª lei de Newton, a força deveria agir na reta que une os dois corpos (agulha magnética e fio condutor)?

R. Relatos históricos revelam que muitos cientistas contemporâneos de Oersted não acreditaram inicialmente nos seus relatos, pois contrariava a princípio os padrões newtonianos de força. Produziu-se, assim, uma falsa convicção de que a ação do fio sobre a agulha da bússola violaria a 3ª Lei de Newton. Esse falso paradoxo foi elucidado, considerando-se que as forças realmente estão na linha prevista por Newton, mas atuam na forma de um torque.

3. O experimento 2 mostra que, quando as bússolas são dispostas perpendicularmente ao fio, na ausência de corrente, assim que a corrente é ligada, elas podem permanecer imóveis ou sofrer uma deflexão de 180° em relação à posição inicial, sendo que, as bússolas situadas acima do fio têm comportamento oposto àquelas situadas abaixo. Como pode ser explicado, com base nas linhas de indução do campo magnético gerado pelo fio, o comportamento dessas bússolas?

R. As linhas de indução do campo magnético gerado pela passagem da corrente através do fio são circunferências concêntricas tendo como centro o próprio fio. Assim, as agulhas das bússolas que estiverem orientadas de acordo com as linhas de indução (mesma direção e mesmo sentido do vetor campo magnético no local em que a bússola se encontra) permanecerão imóveis, enquanto aquelas orientadas em sentido oposto sofrerão uma deflexão de 180° , a fim de se alinharem com o campo magnético.

4. Ainda em relação ao experimento 2, também é possível constatar que as bússolas colocadas paralelamente ao fio no seu plano horizontal (na ausência de corrente) são defletidas verticalmente assim que a corrente é ligada, sendo que, bússolas em lados opostos, em relação ao fio, sofrem deflexões opostas. Como se justifica tal fato?

R. Lateralmente ao fio condutor as linhas de indução do campo magnético são perpendiculares ao plano horizontal que contém o fio. De um lado deste o vetor indução magnética está penetrando neste plano, enquanto do outro lado do fio, saindo do plano.

5. Como se pode experimentalmente inverter a polaridade da espira no experimento 4 e do solenoide no experimento 5?

R. Em ambos os casos, basta inverter o sentido da corrente que percorre o circuito.

6. A partir da comparação entre as configurações do campo magnético da espira e do solenoide, o que se pode supor com relação ao campo externo ao solenoide no experimento 5, caso este seja muito longo?

R. A partir da comparação das configurações do campo magnético da espira e do solenoide, nota-se que as agulhas situadas externamente ao solenoide e afastadas das suas extremidades sofrem pouca influência do campo magnético gerado por este. Esta constatação sugere que se o solenoide for muito longo o campo magnético externo a ele será nulo.

7. Seriam observados os mesmos resultados no experimento 6, caso fosse utilizada corrente alternada em substituição à corrente contínua?

R. Não, a corrente alternada daria origem a campos magnéticos alternados e, conseqüentemente, forças magnéticas alternando o sentido em curtíssimos intervalos de tempo. Devido à inércia dos fios a ação dessas forças não seria observada.

8. O experimento 6 é uma versão simplificada da Balança de Corrente de Ampère. A partir dos resultados obtidos em seu experimento, ele explicou a deflexão da agulha da bússola na experiência de Oersted como consequência da interação entre o campo magnético criado pelo fio e a corrente induzida por este campo

magnético na agulha da bússola. Que procedimento experimental pode ser utilizado para descartar a explicação dada por Ampère?

R. A explicação dada por Ampère pode ser descartada substituindo a agulha imantada da bússola original por uma agulha de metal não ferromagnético. Caso a explicação de Ampère fosse correta a agulha não ferromagnética deveria interagir com o campo magnético criado pelo fio, já que, por ser metal, uma corrente induzida nesta surgiria.

9. A forma geométrica da parte móvel do experimento 6 tem caráter funcional ou meramente estético?

R. Tem caráter funcional. A parte que fica acima do eixo de rotação serve de **contra-peso**. Uma vez que, por questão de segurança, a corrente utilizada no experimento apresenta baixa intensidade, a força de interação entre os fios paralelos tem também intensidade reduzida. Se a parte móvel fosse constituída apenas do segmento de fio abaixo do eixo rotação, o torque aplicado pelo peso da parte móvel seria bem maior que o torque aplicado pela força de interação magnética entre os fios. Assim, o segmento de fio acima do eixo de rotação aplica um torque em sentido contrário e de valor ligeiramente menor àquele aplicado pelo segmento de fio abaixo do eixo rotação. Como resultado desse artifício utilizado na confecção da parte móvel do experimento, consegue-se uma deflexão significativa desta mediante a ação de uma força magnética de interação entre os fios de pequena intensidade.

10. Existem outros materiais, além do ferro, capazes de intensificar o campo magnético criado pelo solenoide do experimento 7? Cite alguns.

R. Sim. Além do ferro, tem-se o cobalto, o níquel e as ligas que são formadas por essas substâncias.

11. Com base no modelo microscópico de um material ferromagnético, como se explica o aumento na intensidade do campo magnético do solenoide no experimento 8, quando é introduzido um núcleo de ferro em seu interior?

R. Os materiais ferromagnéticos apresentam uma estrutura molecular que se comporta como pequenos dipolos magnéticos. Ao serem expostos a campos magnéticos estes dipolos, a nível atômico, se alinham de acordo com as linhas de

campo. Nesta situação, o próprio campo do dipolo se alinha ao campo externo, reforçando a intensidade deste.

12. Existe alguma razão para que o fio de cobre que envolve o prego no experimento 8 seja envernizado? Poder-se-ia usar outro tipo de material? Qual?

R. Sim, existe. O verniz que envolve o fio não permite o contato elétrico deste com o prego. A corrente elétrica deve circular pelo solenoide a fim de promover o surgimento do campo magnético através do prego que, por sua vez, irá intensificá-lo, conforme explicado na questão anterior. Sem a camada de verniz isolando o fio, a corrente percorreria o prego e, conseqüentemente, não ocorreria o alinhamento dos seus pequenos dipolos magnéticos. Pode-se utilizar qualquer fio metálico desde que esteja encapado com plástico (fio de instalação elétrica residencial).

13. O que aconteceria se o número de voltas do fio de cobre em torno do prego no experimento 8 fosse aumentado?

R. O aumento no número de voltas do fio de cobre em torno do prego acarretaria num aumento da intensidade do campo magnético gerado pelo solenoide.

14. O eletroímã usado no experimento 9 poderia ser substituído por um ímã permanente? Por quê?

R. Não. Um ímã permanente no lugar do eletroímã não permitiria que a lâmina metálica vibrasse, pois ela permaneceria constantemente presa ao ímã permanente. Para que a lâmina vibre é necessário que a ação magnética desapareça assim que a corrente deixe de percorrer o circuito.

15. Seria possível aumentar o som da campainha no experimento 9? Como isso poderia ser feito?

R. Sim. Basta colocar a parte em que se encontra a lâmina dentro de, por exemplo, uma lata de refrigerante com uma de suas bases aberta. A lata irá funcionar como uma caixa acústica intensificando o som emitido pela lâmina.

16. As campainhas residenciais, por exemplo, funcionam com tensão alternada. No experimento 9 foi utilizada corrente contínua fornecida pelas pilhas. Esta campainha funcionaria com tensão alternada? Justifique.

R. Não. A forma com que os componentes da campainha do experimento 9 foram associados permite apenas que ela funcione com corrente contínua.

17. Cite duas maneiras de se aumentar a sensibilidade do galvanômetro no experimento 10.

R. A sensibilidade do galvanômetro pode ser aumentada acrescentando mais voltas à bobina que circunda o ponteiro e/ou substituindo o ímã preso à base do ponteiro por outro mais potente.

18. A colocação do ímã no interior da bobina no experimento 10 pode ser feita de maneira aleatória? Justifique.

R. Não. O ímã deve ser colocado de forma a ficar com a direção N-S de seu campo magnético perpendicular à direção do campo magnético criado pela bobina ao ser percorrida por corrente.

Parte II

1. Com base na configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra e utilizando-se da regra da mão esquerda, é possível determinar o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

R. A partir da configuração das linhas do campo magnético que pode ser observada no experimento 1, é possível se ter a noção da disposição espacial das linhas do campo magnético (criadas pelo ímã localizado no centro do anel de cobre) que “cortam” o fio móvel. Dispondo o dedo indicador da mão esquerda de acordo com a orientação aproximada de uma dessas linhas e o dedo médio, dessa mesma mão, dirigido ao longo do fio móvel no sentido da corrente, obtém-se a orientação da força sobre este através do dedo polegar. De acordo com a Regra da Mão Esquerda, o fio irá se deslocar no sentido em que aponta o dedo polegar.

2. Quais os procedimentos experimentais que podem ser tomados para se inverter o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

R. A inversão do sentido de rotação do fio móvel pode ser obtida invertendo a corrente ou a polaridades do ímã localizado no centro do anel de cobre.

3. Seria possível aumentar a velocidade de rotação do fio móvel no experimento 11? Em caso afirmativo, como isso poderia ser feito?

R. A velocidade de rotação do fio móvel pode ser aumentada através da elevação da corrente no circuito e/ou substituindo o ímã original por outro mais “potente”.

4. Como proceder experimentalmente no experimento 12 a fim de se inverter a orientação da força magnética sobre o pêndulo?

R. A inversão da orientação da força magnética sobre o pêndulo pode ser obtida invertendo-se o sentido da corrente no circuito ou a polaridade do ímã.

5. Seria possível determinar no experimento 12 a polaridade do ímã, caso não fosse conhecida, a partir do sentido de deslocamento do pêndulo e da orientação da corrente elétrica que o atravessa?

R. Sim, utilizando a regra da mão esquerda. De acordo com essa regra, o dedo polegar deve apontar no sentido da força magnética (sentido de deslocamento do pêndulo), o dedo médio deve apontar no sentido da corrente que percorre o trecho horizontal do pêndulo e o dedo indicador deve apontar no sentido do vetor campo magnético. Assim, lembrando que as linhas do campo magnético saem do polo norte e entram no polo sul, é possível determinar a polaridade do ímã.

6. Qual é a explicação para o fato de não haver deflexão do pêndulo no experimento 12, quando o ímã está colocado na posição “ Π ”?

R. Aplicando-se a regra da mão esquerda é possível perceber que a força magnética sobre trecho horizontal do pêndulo está dirigida verticalmente. Portanto, esta disposição do ímã não aplica força com componente horizontal capaz de defletir o pêndulo.

7. O que ocorrerá com a intensidade da força magnética sobre o pêndulo no experimento 12, caso se utilize outro metal em sua confecção, sem alterar os demais parâmetros?

R. De acordo com a equação de Lorentz ($F = Bilsen\theta$), a intensidade da força magnética sobre o pêndulo permanecerá inalterada, pois a corrente elétrica através do novo metal utilizado será praticamente a mesma.

8. Numa observação cuidadosa, é possível verificar que um dos lados do eixo da bobina no experimento 13 está parcialmente raspado. Existe alguma razão para isto, ou foi descuido de quem a construiu, deixando de raspá-lo completamente?

R. Não foi descuido! Um dos lados do eixo deve ser raspado parcialmente para que a corrente circule na bobina apenas quando a parte raspada estiver em contato com o mancal. Dessa forma, o campo magnético (gerado pela bobina) estará presente apenas enquanto houver o contato elétrico entre a parte raspada do eixo e o mancal. Esse campo magnético intermitente aplica força sobre a bobina de forma semelhante a uma pessoa que empurra uma criança num balanço (impulsos no momento certo). Por outro lado, quando a parte não raspada do eixo se encontra apoiada no mancal, não há passagem de corrente pela bobina. Neste caso, seu movimento se dá por inércia.

9. Quais princípios da mecânica newtoniana regem a rotação da bobina no experimento 13?

R. O movimento de rotação da bobina pode ser explicado pelas três leis de Newton, a saber:

Durante o tempo em que a corrente circula pela bobina os campos magnéticos (gerados pela bobina e pelo ímã) interagem entre si através de forças magnéticas que produzem torque na bobina ocasionando a sua rotação (2ª e 3ª leis);

Durante o tempo em que não circula corrente pela bobina, a rotação da bobina se dá por inércia (1ª lei).

10. Tomando como base a configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra, pode-se afirmar que o sentido de rotação da bobina no experimento 13 será sempre o mesmo, independente da posição do ímã sob ela, desde que o ímã não tenha a sua polaridade invertida?

R. Não, o sentido de rotação da bobina depende do posicionamento do ímã sob ela. Devido à sua configuração, a orientação das linhas do campo magnético do ímã que atravessam a bobina pode mudar dependendo do local em que este for posicionado sob ela. Uma vez que, o sentido de rotação da bobina depende da orientação do

campo magnético que a atravessa, o mesmo acontece com o seu sentido de rotação.

11. Os aparatos utilizados nos experimentos de 14 a 17 correspondem a algumas versões das várias existentes do no experimento 13. Apesar dessas versões, aqui apresentadas, variarem de configuração e até mesmo de componentes (como é o caso do experimento 17), o princípio físico de funcionamento de cada um deles é o mesmo que explica o funcionamento do no experimento 13. Descreva como age o campo magnético sobre a corrente que percorre a parte móvel de cada aparato (dos experimentos 13 ao 17), de modo a causar a rotação das mesmas.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

12. O funcionamento do trem eletromagnético no experimento 18 depende essencialmente da forma como são colocados os ímãs nos polos da pilha. Explique a forma correta de como esses ímãs devem ser colocados e como o conjunto ímãs-pilha se movimenta no interior do solenoide.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

Parte III

1. É possível no experimentos 19 e 20, sem alterar fisicamente os elementos do circuito, aumentar a corrente induzida na bobina pelo ímã móvel? Em caso afirmativo, qual(is) deve(m) ser o(s) procedimento(s) experimental(is)?

R. Sim, basta aumentar a velocidade de relativa de aproximação ou afastamento entre a bobina e o ímã móvel.

2. Como se explica o fato da deflexão do ponteiro do galvanômetro no experimento 21 alternar o seu movimento? Esse fato sugere que a corrente elétrica que percorre o circuito é alternada. Seria possível, através de um procedimento experimental simples, tornar essa corrente contínua (isto é, fazer o ponteiro do galvanômetro ficar estacionado em um dos lados da escala)?

R. A alternância no sentido de deflexão do ponteiro do galvanômetro se deve ao fato da bobina móvel (rotor) alternar a face voltada para o polo do ímã localizado sob ela. Isso induz na bobina uma corrente que a percorre ora num sentido ora noutro.

3. Que alterações podem ser feitas em relação ao ímã e/ou à bobina nos experimentos 21 e 22 para que a corrente no circuito seja intensificada?

R. A corrente pode ser intensificada substituindo o ímã original por outro mais “potente” e/ou aumentando o número de voltas de fio na bobina.

4. Apesar do alumínio não ser um metal ferromagnético, nota-se que, quando em movimento relativo a um ímã permanente, pode ocorrer uma interação de natureza magnética entre ambos (exp. 23). Como pode ser explicada esta possível interação com base na lei de Faraday e Lenz? Por que esta interação é significativamente enfraquecida quando a placa de alumínio utilizada é dentada?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

5. Nos experimentos realizados anteriormente, observou-se que a inversão de polaridade dos ímãs permanentes produzia efeitos opostos aos originais. Tal fato também seria observado no exp. 23, isto é, o pêndulo seria acelerado?

R. Não. Independentemente do polo do ímã voltado para a placa de alumínio, a corrente induzida (devido ao movimento relativo entre a placa de alumínio e o ímã) é tal que o campo magnético por ela gerado dá origem a forças de interação que sempre se opõe a esse movimento relativo.

6. Utilize a regra da mão direita nos experimentos de 23 a 25, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida nas placas metálicas.

R. É com você!

7. Forçando-se (com o dedo) o ímã de encontro ao disco em movimento no experimento 25, nota-se a redução da sua velocidade de rotação. A que se deve tal fato?

R. Ao reduzir a distância entre o ímã e o disco, a região do disco localizada imediatamente abaixo do ímã fica sujeita a um campo magnético mais intenso. Como consequência, a corrente induzida na região citada aumenta ocasionando um aumento da força magnética que se opõe ao movimento relativo entre o disco e o ímã.

8. Como a distância e a orientação relativa entre as bobinas primária e secundária no experimento 26 afetam a luminosidade do led?

R. A maior luminosidade do led é obtida ao se colocar as bobinas encostadas e de frente uma para a outra de forma coaxial. O aumento da distância, o deslocamento lateral relativo e o não paralelismo entre as bobinas são fatores que, juntos ou separadamente, reduzem a intensidade da corrente induzida na bobina secundária e, conseqüentemente, a luminosidade do led.

9. Como se explica o acendimento da lâmpada de vapor de mercúrio no experimento 27, visto que não há fios de conexão entre ela e a bobina de Tesla.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

10. No experimento 27, poderia ser usada uma lâmpada incandescente no lugar da lâmpada de vapor de mercúrio? Justifique.

R. Não. A lâmpada apropriada deve ser constituída de vapor à baixa pressão.

11. O fato de uma fonte de tensão (pilha ou bateria) não fazer parte do experimento 28 sugere a existência de uma fonte externa. Que fonte é esta?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

12. Qual componente do experimento 28 é o responsável pela captação da energia externa e de que forma ocorre?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

13. Qual é o fenômeno físico responsável pela sintonia das ondas de rádio no experimento 28?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

APÊNDICE C - Material para Aprofundamento no Estudo de Diodos e Transistores (Experimentos: Transmissor de energia à distância (26), Mini-bobina de Tesla (27) e Rádio de Galena (28))

Obs: Os materiais (texto 1 e texto 2) constantes do apêndice C, foram adaptações realizadas pelo autor para aprofundamento docente sobre os elementos dos circuitos que envolvem princípios da Física Moderna.

Texto 1 - Diodo

Diodo é uma estrutura semicondutora formada a partir da junção de um cristal tipo P (lado positivo – também chamado de ânodo) com outro tipo N (lado negativo – também chamado de cátodo). É um dos mais simples componentes eletrônicos, podendo servir como um isolante ou condutor, dependendo de sua polarização. Pode ser representado esquematicamente, conforme mostra a Figura 1:



Figura 1 – Representação esquemática de um diodo.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Dentro desses cristais, compostos por Silício (mais comum) ou Germânio são inseridas impurezas (prática chamada de dopagem), que nada mais são do que átomos de Boro (no lado P) e átomos de Fósforo (no lado N). A escolha pelo Boro decorre do fato de ele ser um elemento trivalente. Assim, no lado P sempre irá haver uma lacuna, ou seja, ficará faltando um elétron para completar oito elétrons e estabilizar o semicondutor. Por sua vez, a escolha do Fósforo fará com que o lado N tenha sempre um elétron a mais, já que o fósforo possui cinco elétrons na última camada, restando um após a ligação covalente.

Embora os cristais separados não tenham muita representatividade, quando ligados entre si algo “mágico” acontece. Ao se juntarem, as lacunas do lado P atraem os elétrons que estão sobrando no lado N, equilibrando o diodo, já que, segundo as leis da física, cargas opostas se atraem. Esse processo é denominado **recombinação**. No entanto, é preciso ressaltar que essa recombinação só ocorre próximo à junção dos cristais P e N, onde as forças de atração são mais fortes. Naquela área, todos ficarão com oito elétrons na última camada, ficando estáveis quimicamente. Os mais distantes, porém, não sofrem a recombinação. Esta zona de estabilidade pode ser chamada de **camada de depleção** ou **barreira de potencial**, conforme mostra a Figura 2.

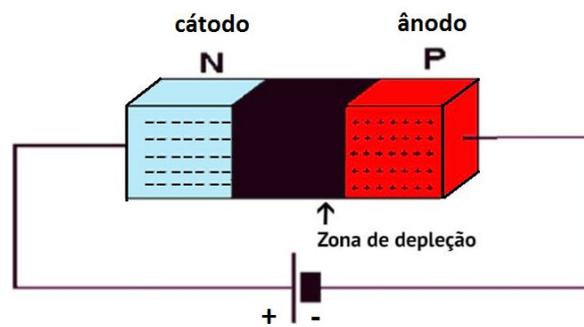


Figura 2 – Polarização do diodo e formação da Zona de depleção.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Para ser usada, a junção pode ser **polarizada reversamente**, conforme mostra a Figura 3, que será quando o polo negativo da bateria estiver conectado ao cristal P (lado positivo) e o polo positivo, ao cristal N (lado negativo). Com esse método acontecerá a mesma atração de opostos vistos acima. Dessa forma as respectivas cargas irão se concentrar nos extremos do diodo, criando uma enorme camada de depleção, fazendo com que a corrente elétrica não consiga circular por ele. Por isso, um diodo polarizado reversamente não conduz corrente elétrica.



Figura 3 – Diodo polarizado reversamente.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Outra forma em que pode ser encontrado o diodo é através da junção PN **polarizada diretamente**, conforme mostra a Figura 4. Ao contrário da situação anterior, o polo positivo da bateria será ligado ao lado positivo do diodo e o polo negativo da bateria ao lado negativo do diodo. Com isso, tanto as lacunas do lado P quanto os elétrons do lado N irão se afastar das extremidades, aproximando-se do centro e diminuindo a zona de depleção. Quanto maior for a tensão aplicada aos terminais do diodo, menor será a zona de depleção. A redução da zona de depleção

continuará até o momento de sua extinção, quando os elétrons estarão livres para se recombinarem (cerca de 0,7 V para diodos de silício e 0,3 V para os de germânio). Nessa condição de polarização direta o diodo permite a passagem da corrente elétrica.

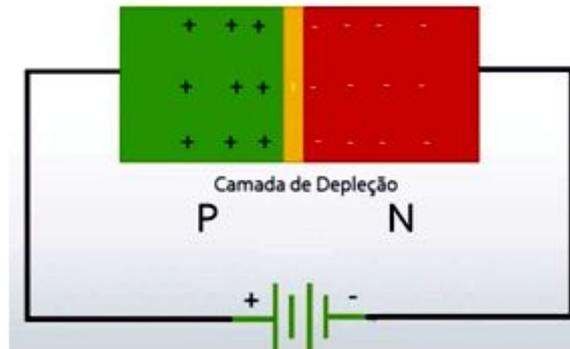


Figura 4 – Diodo polarizado diretamente.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Considerando essa condição de polarização direta, tem-se então:

- Se o valor da tensão aplicada ao diodo (V) é inferior ao valor da barreira de potencial (V_B) a maior parte dos elétrons e lacunas não têm energia suficiente para atravessar a junção, conforme mostra a Figura 5.

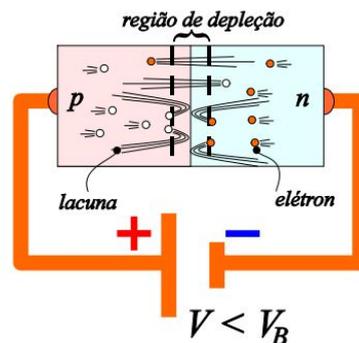


Figura 5 – A tensão aplicada ao diodo (V) é inferior ao valor da barreira de potencial (V_B)

Adaptado, disponível em < <https://www.te1.com.br> >

Como resultado, apenas alguns elétrons e lacunas têm energia suficiente para penetrarem a barreira de potencial, produzindo uma pequena corrente elétrica através do diodo.

- Se a tensão aplicada aos terminais do diodo (V) excede o valor da barreira de potencial (V_B), lacunas do lado p e elétrons do lado n adquirem energia superior àquela necessária para superar a barreira de potencial, conforme mostra a Figura 6.

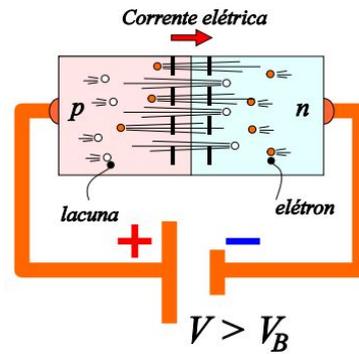


Figura 6 – A tensão aplicada ao diodo (V) é superior ao valor da barreira de potencial (V_B)

Adaptado, disponível em < <https://www.te1.com.br> >

Como resultado, ocorre um grande aumento da corrente elétrica através do diodo. Diz-se, então, que o diodo está em condução.

Na figura 7 está representado um gráfico típico da corrente num diodo em função da tensão nos seus terminais, que resulta do comportamento físico da junção p-n.

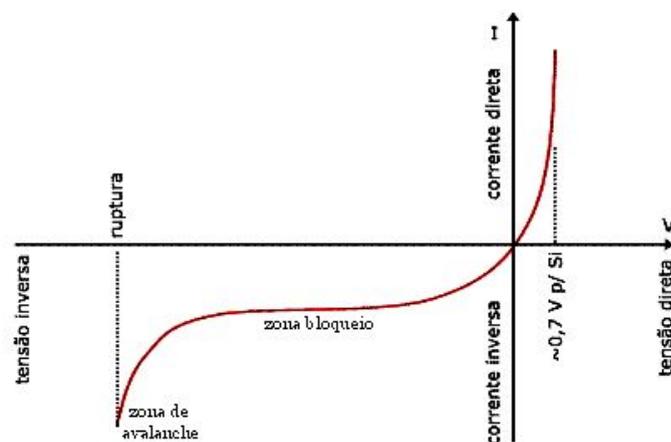


Figura 7 – Característica I(V) de um diodo de silício. Foram usadas escalas diferentes no 1º e 3º quadrantes.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A tensão e a corrente são consideradas positivas quando o dispositivo se encontra diretamente polarizado. A variação da corrente no diodo semicondutor com a tensão aplicada aos seus terminais tem uma forma quase exponencial. Em boa aproximação a corrente I é dada pela equação de Ebers-Moll:

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

sendo que, para $V > 0,1$ volt, pode ser aproximada por

$$I \approx I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}}$$

em que I_s é uma pequena corrente, aproximadamente constante, que aparece em polarização reversa e η é o chamado “fator de idealidade” que depende da fabricação do diodo (tipo de material, dopagem etc.). V_T é uma constante de origem térmica dada por

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,38 \times 10^{-23}}{1,60 \times 10^{-19}} T = \frac{T}{11600},$$

em que k é a constante de Boltzmann, q é a carga do elétron e T é a temperatura absoluta (kelvin). Assim, à temperatura ambiente ($27^\circ\text{C} \approx 300\text{ K}$), $V_T \approx 26\text{ mV}$.

Esse comportamento pode ser aproximado, em certas aplicações, pelo comportamento de um diodo ideal ou pelo de um diodo com comportamento ideal (com uma tensão limiar de condução) ou ainda pelo comportamento de um diodo com curva característica linearizada, conforme mostram as Figuras 8a, 8b e 8c, respectivamente.

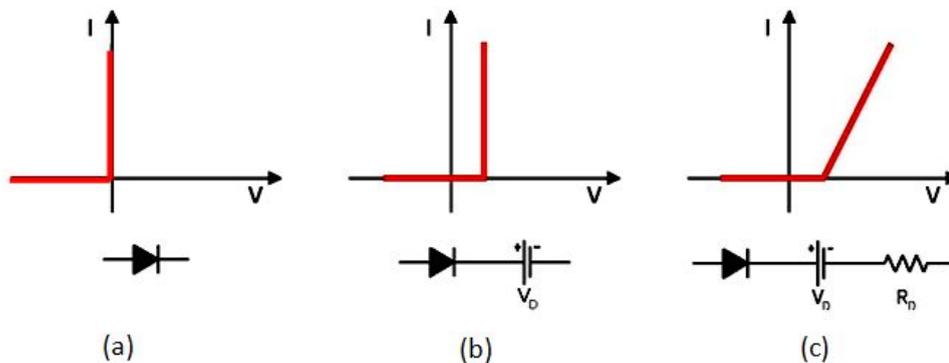


Figura 8 – Curvas características e correspondentes modelos elétricos do diodo.
(V_D - tensão limiar de condução, R_D - resistência de condução direta).

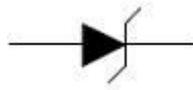
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Quando um diodo está sob a condição de polarização reversa, a tensão aplicada às extremidades de uma junção PN não pode ser aumentada indefinidamente. Com efeito, o aumento da diferença de potencial no sentido inverso provoca uma aceleração dos portadores minoritários. A partir de certa tensão inversa os portadores secundários adquirem uma velocidade suficiente para arrancarem por choques os elétrons dos átomos. O fenômeno é cumulativo e

provoca um rápido decréscimo da resistividade. Este efeito, denominado “Efeito Zener ou Efeito Avalanche” é utilizado em um tipo especial de diodo para regular a tensão (diodo zener).

Existem atualmente diferentes tipos de diodos que, apesar de apresentarem características elétricas semelhantes, tem-nas adaptadas à execução de determinadas funções. O símbolo introduzido anteriormente, conforme mostrado na Figura 1, representa o diodo normalmente utilizado para retificação (transformação de corrente alternada em corrente contínua) e processamento de sinal nela baseado. Pretende-se que a sua zona de avalanche esteja suficientemente afastada para nunca ser atingida, e que a sua corrente de fuga inversa seja desprezível. Dentre a grande variedade de diodos existentes, os tipos usualmente utilizados são:

- **Diodo Zener**



Funciona na zona de avalanche, e é utilizado como referência de tensão (a tensão varia pouco com a corrente nessa zona).

- **Varistor ou Varicap**



Todos os diodos apresentam uma capacidade que é variável com a tensão aplicada. Os varistores são diodos especialmente desenhados para se obter uma capacidade fortemente dependente da tensão. São usados em osciladores cuja frequência é controlada por tensão (VCO - voltage controlled oscillator).

- **Fotodiodo**



Quando a zona da junção recebe luz, geram-se pares de portadores de carga (elétron-lacuna) que geram uma tensão ou uma corrente no dispositivo. Existe, assim, conversão óptico-eletrônica. Estes dispositivos são utilizados como detectores de luz, nas mais diversas aplicações.

- **LED (Light Emitting Diode)**



Para certos tipos de materiais semicondutores, quando é injetada uma corrente na junção do diodo, é gerada radiação eletromagnética na zona do visível ou infravermelho próximo (conversão eletro-óptica). Existem componentes em que vários LEDs estão dispostos sob a forma de traços ou pontos numa matriz, permitindo a apresentação de algarismos e letras (displays). A figura 9 mostra em detalhes a estrutura de um LED indicador.

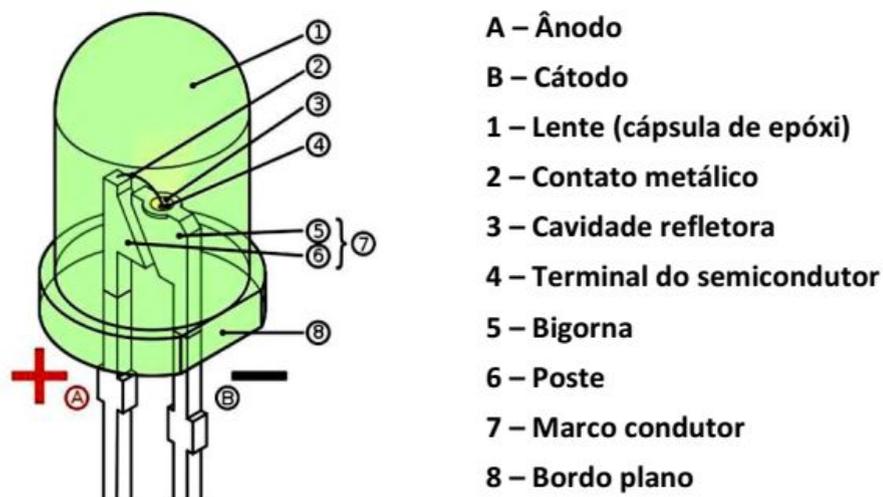


Figura 9 – Estrutura de um LED indicador.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Como exemplo de aplicações mais frequentes de diodos, tem-se:

- **Diodo utilizado como retificador**

Considere que o circuito representado na Figura 10 encontra-se submetido a uma tensão senoidal de entrada V_i . Deseja-se obter a tensão de saída V_o .

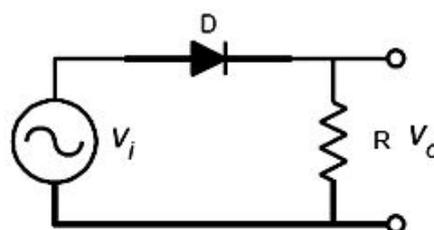


Figura 10 – Circuito retificador de meia onda.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Para simplificar, considere que se trata de um **diodo ideal**, isto é, no trecho positivo da senóide, representado na Figura 11a, ele se comporta como um interruptor fechado, e no trecho negativo, representado na Figura 11b, como um interruptor aberto.

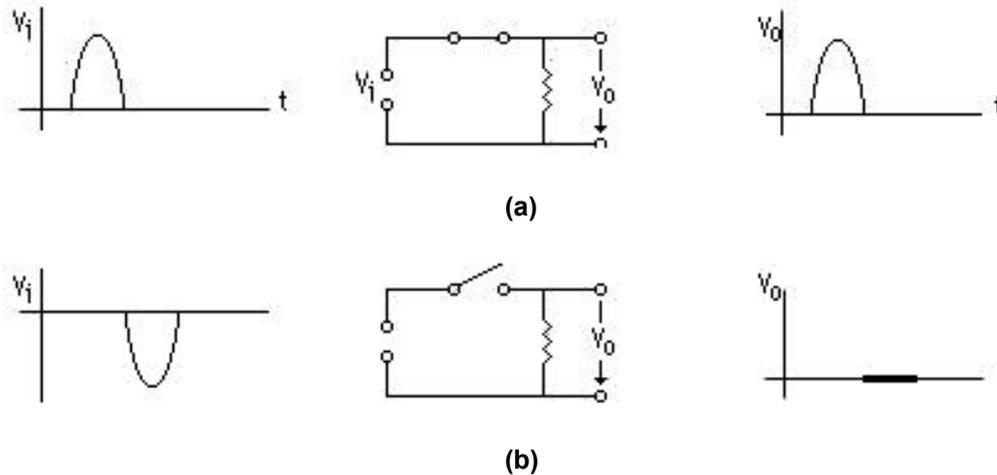


Figura 11 – Fases de retificação da meia onda.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A figura 12 mostra a soma dos dois trechos retificados da onda de entrada:

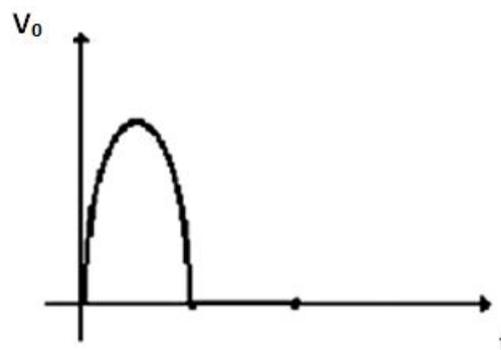


Figura 12 – Resultado da retificação da onda de entrada.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Esta é a chamada **retificação de meia-onda**, na qual há supressão de uma alternância e aproveitamento da outra. Além disso, utilizando-se uma associação conveniente de diodos, conforme mostra a Figura 13, é possível aproveitar os dois trechos da onda de entrada. Costuma-se designar este circuito de **retificador de onda completa**. É fácil verificar que numa alternância há condução por parte de um par de diodos (colocados em posições diametralmente opostas do quadrado) e na

outra o segundo par, de modo que a corrente através da resistência tem sempre o mesmo sentido.

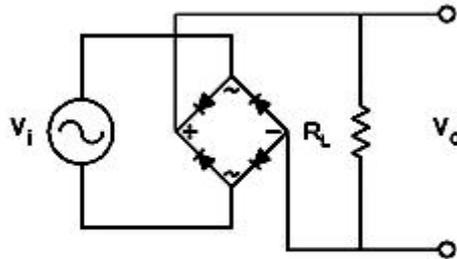


Figura 13 – Circuito retificador de onda completa.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Com isso, a tensão de saída V_o tem a forma indicada, conforme mostra a Figura 14 a seguir.

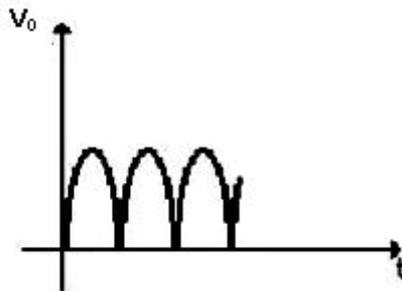


Figura 14 – Forma da tensão de saída da onda completa.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

No caso do circuito retificador, mostrado na Figura 13, a entrada pode ser feita por transformador, ou diretamente da rede elétrica. Existem pontes que contém já os quatro diodos ligados. Se a fonte de tensão alternada tiver um terminal ligado à massa, a carga em R_L ficará flutuante; caso contrário, isto é, se a fonte de tensão alternada estiver flutuante, podemos ligar qualquer dos terminais de R_L à massa. A fim de se evitar curto-circuito, torna-se necessário verificar em qual das duas situações se está. Tem-se, assim, uma forma de se obter tensão contínua a partir de tensão alternada. Tal conversão corresponde a um fator essencial nas fontes de alimentação dos circuitos eletrônicos.

- **Diodo semicondutor e receptor AM (Amplitude Modulada)**

A Figura 15 apresenta o diagrama de um receptor de rádio AM.

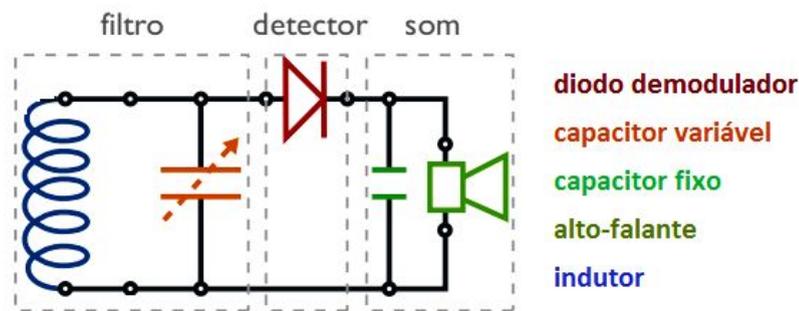


Figura 15 – Diagrama de um receptor de rádio AM (Rádio Tipo Galena de Quadro).

Adaptado, disponível em < <http://sites.ifi.unicamp.br> >

A transmissão de informação por ondas de rádio é feita através da modulação de uma onda portadora de alta frequência (**onda de radiofrequência**), 0.8 MHz a 1.1 MHz para **AM (amplitude modulada)** ou 88 MHz a 105 MHz para **FM (frequência modulada)**, com o sinal de áudio (**onda de audiofrequência**) que deseja ser transmitido, tipicamente com frequência entre 20 Hz e 20000 Hz.

A Figura 16 ilustra estes dois tipos de modulação. A modulação permite que a informação seja transmitida através de uma portadora em uma frequência mais alta que a frequência do sinal. Dessa forma, obtêm-se melhores características de propagação, isto é, menor atenuação e dispersão. Em particular, as rádios AM exploram a alta refletividade da ionosfera para transmitir ondas eletromagnéticas por longas distâncias.

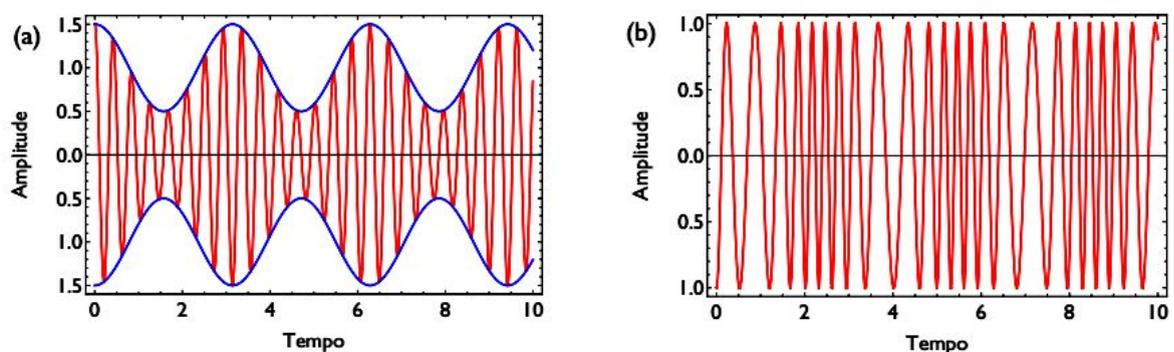


Figura 16 – Modulação de ondas. (a) Modulação AM (b) Modulação FM

Adaptado, disponível em < <http://sites.ifi.unicamp.br> >

Desde a captação até a sua conversão em ondas sonoras audíveis, as ondas de rádio AM passam pelas seguintes etapas:

1. **Recepção pela antena** - Quando uma onda eletromagnética, com frequência f e comprimento de onda $\lambda = c/f$, incide sobre uma antena, um dipolo oscilante é nela induzido, que, por sua vez, induz uma corrente no circuito no qual ela está conectada. Para que a excitação do dipolo seja eficiente, é importante que o comprimento da antena L seja, aproximadamente, uma fração inteira do comprimento de onda ($L = 16$ m no caso do nosso experimento).
2. **Filtragem pelo circuito ressonante** - Como existem diversas estações de rádio AM, é necessário também filtrar o sinal recebido pela antena. Para tanto se utiliza um circuito LC paralelo, como mostrado na Figura 15. Este filtro funciona como um “passa-banda”, selecionando a estação de rádio que se deseja ouvir.
3. **Demodulação por um diodo detector** - Da mesma forma que se modula a onda portadora para transmitir o sinal, é necessário demodular a onda recebida para que se possa escutá-la no alto falante. Este é o papel do diodo neste circuito: o de recuperar o sinal de áudio que foi modulado na onda portadora.

A Figura 17 ilustra as etapas descritas acima.

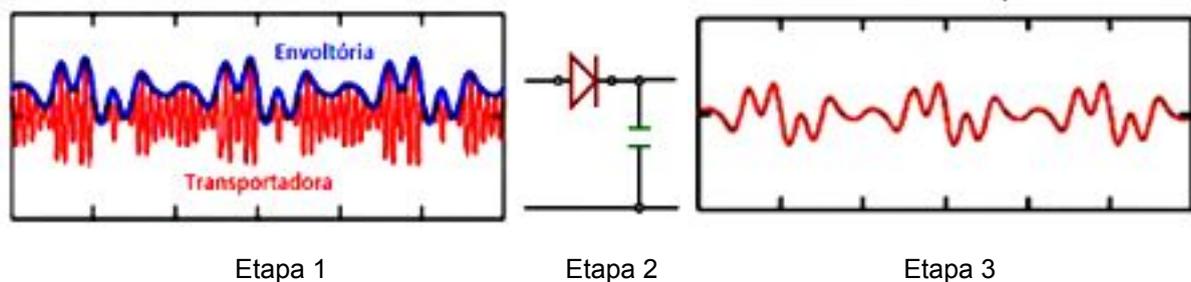


Figura 17 – Etapas de demodulação de ondas de rádio AM

Adaptado, disponível em < <http://www.feis.unesp.br> >

Texto 2 - Transistor

O **transistor** (**transfer + resistor** ou **resistência de transferência**) é um dispositivo eletrônico semicondutor que pode ser considerado, por questão de

transistor NPN e o **transistor PNP**. A partir dessas junções, é possível obter três regiões de condução denominadas: Emissor (E), Base (B) e Coletor (C).

Enquanto a Base ocupa a região central do transistor, o Emissor e o Coletor se localizam nas suas extremidades e diferem entre si pelo fato do emissor possuir mais impurezas que o coletor. No que se refere ao seu aspecto externo, o transistor (NPN ou PNP) apresenta três terminais ligados internamente a cada uma das suas três regiões de condução.

A Figura 3 mostra o símbolo utilizado para representar um transistor bipolar NPN:

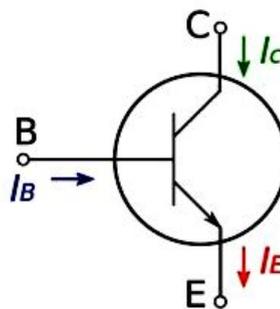


Figura 3 – Representação simbólica de um transistor NPN
Adaptado, disponível em < <https://www.josematias.pt> >

Basicamente, o princípio de funcionamento do transistor bipolar é o seguinte: a **Base B**, com corrente reduzida I_B (microampères ou miliampères), permite controlar a corrente I_C (bem mais elevada, miliampères ou ampères) da carga ligada no **Coletor C** ou permite controlar a potência fornecida à carga ligada ao coletor; pelo **Emissor E**, faz-se o escoamento das correntes anteriores que somadas originam a corrente de emissor $I_E = I_B + I_C$. Polariza-se diretamente a junção Base-Emissor (B-E) e inversamente a junção Coletor-Base (C-B), conforme mostra a Figura 4, para que o transistor funcione na zona ativa, como amplificador de corrente, isto é, no transistor NPN, com N – Coletor, P – Base e N – Emissor, aplica-se uma tensão positiva à Base (P), em relação ao Emissor (N) e aplica-se uma tensão positiva ao Coletor (N) em relação ao Emissor (N).

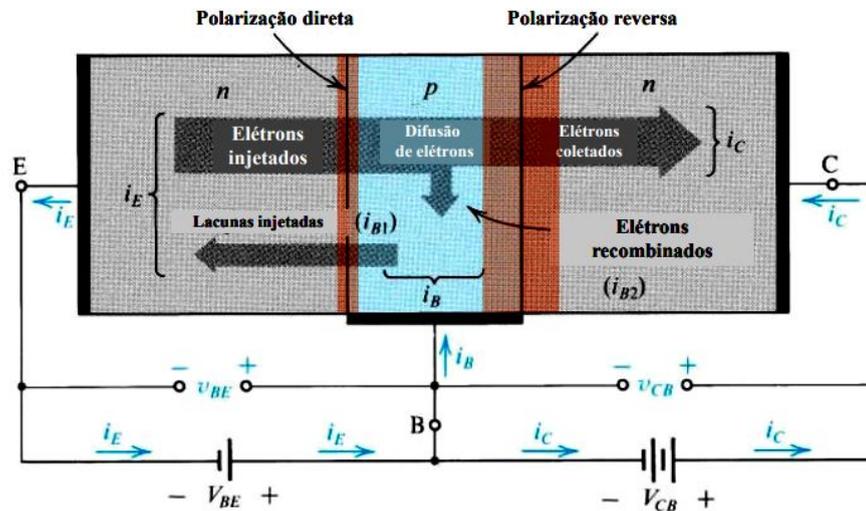


Figura 4 – Correntes no modo ativo do caso NPN.

Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

Por isso, se diz que o circuito da Base é o circuito de comando do transistor e o circuito do coletor é o circuito de potência do transistor. Regulando a corrente da base I_B , regula-se a corrente de coletor (e, portanto, da carga) I_C . No caso do transistor PNP trocam-se as funções de elétrons e lacunas em relação ao NPN, conforme mostra a Figura 5.

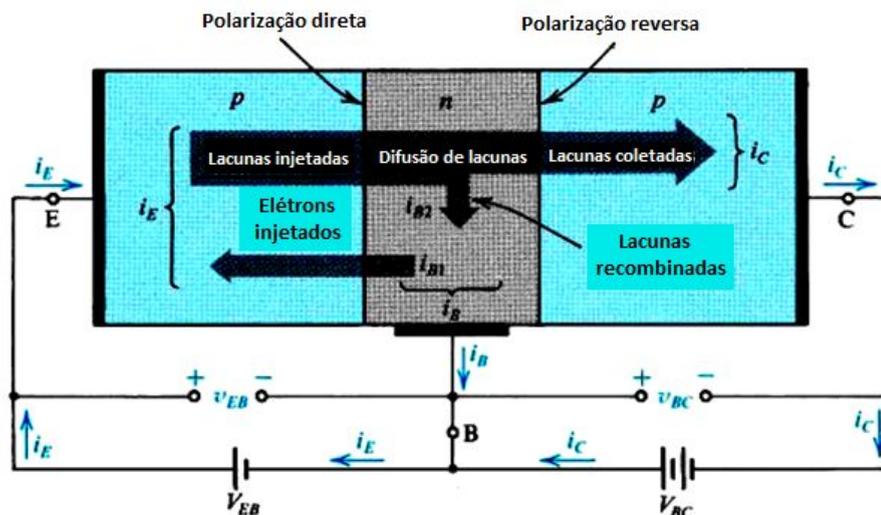


Figura 5 – Correntes no modo ativo do caso PNP.

Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

O símbolo do **transistor bipolar de junção** em circuitos usa uma seta no terminal de Emissor e esta seta aponta o sentido de corrente neste terminal. No

NPN a corrente convencional sai pelo Emissor e no caso do PNP a corrente entra pelo Emissor, conforme mostram as Figuras 6a e 6b, respectivamente.



Figura 6 - Representações simbólicas de transistor bipolar.

Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

Funcionando como **regulador de corrente ou como amplificador de corrente**, o transistor bipolar apresenta um ganho de corrente β que é calculado pela equação $\beta = I_C/I_B$. O ganho não tem unidades e pode variar entre 10 e 450, aproximadamente. Como **amplificador de sinal ou de potência**, o transistor pode ser ligado em três configurações diferentes: **Emissor Comum, Coletor Comum e Base Comum**.

Na **configuração em Emissor Comum (EC)**, a mais utilizada, o transistor bipolar é ligado em série com um elemento de carga, conforme mostra a Figura 7. O termo "emissor comum" refere-se ao fato de que o terminal do emissor do transistor tem uma ligação "comum", tipicamente a referência de zero volt ou Terra. O terminal do coletor é ligado à carga da saída, e o terminal da base atua como a entrada de sinal. O circuito do emissor comum é constituído por uma resistência de carga R_c e um transistor NPN; os outros elementos do circuito são usados para a polarização do transistor e para o acoplamento do sinal. Esta configuração de transistores é utilizada em circuitos para amplificar sinais de baixa voltagem, como os sinais de rádios fracos captados por uma antena, para amplificação de um sinal de áudio ou vídeo.

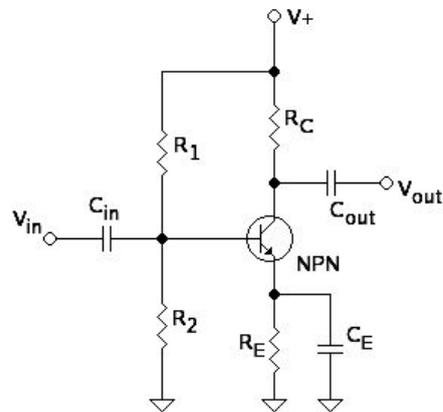


Figura 7 – Transistor bipolar ligado em configuração EC.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Na **configuração em Coletor Comum (CC)**, mostrada na Figura 8, o transistor possui um ganho de tensão muito próximo da unidade, significando que os sinais em CA que são inseridos na entrada serão replicados quase igualmente na saída, assumindo que a carga de saída não apresente dificuldades para ser controlada pelo transistor. O circuito possui um ganho de corrente típico que depende em grande parte do fator de multiplicação da corrente na base (h_{FE}) do transistor. Uma pequena mudança na corrente de entrada resulta em uma mudança muito maior na corrente de saída enviada à carga. Deste modo, um terminal de entrada com uma fraca alimentação pode ser utilizado para alimentar uma resistência menor no terminal de saída.

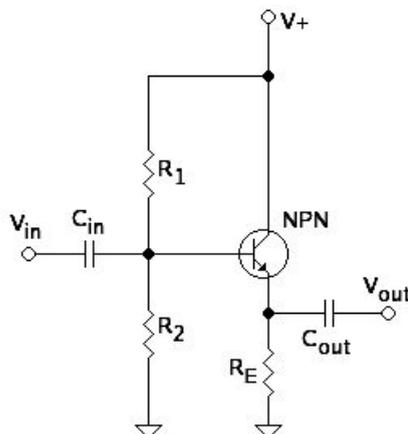


Figura 8 – Transistor bipolar ligado em configuração CC.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Na configuração em Base Comum (BC), mostrada na Figura 9, a base B do transistor é ligada ao ponto comum do circuito. Esta montagem é menos frequente do que as outras configurações em circuitos de baixa frequência. É utilizada para amplificadores que necessitam de uma impedância de entrada baixa. Como exemplo, cita-se: pré-amplificador de microfones, amplificadores VHF e UHF onde a baixa capacitância da saída à entrada é de importância crítica.

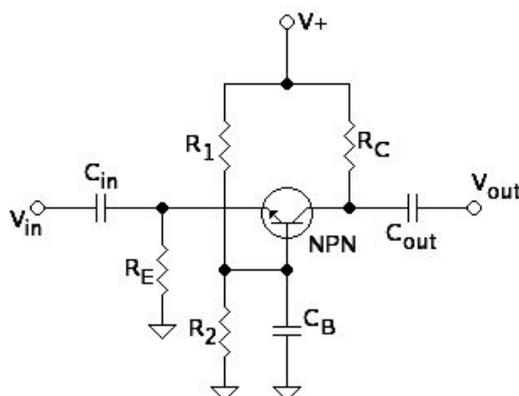


Figura 9 – Transistor bipolar ligado em configuração BC.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Uma forma simples de se aumentar o ganho de corrente num circuito é através da associação de vários transistores (**Transistor Darlington**), conforme mostra a Figura 10. O ganho (hFE) total do “Darlington” corresponde à multiplicação dos ganhos individuais de cada um dos transistores. Além da vantagem de maior ganho de corrente, tanto o disparo quanto o bloqueio são sequenciais e a queda de tensão em saturação é constante. Entretanto, apresenta como desvantagem a utilização apenas com médias frequências e médias potências.

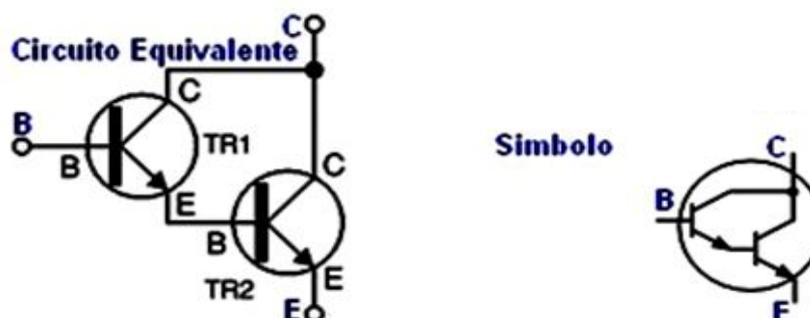


Figura 10 - Representação simbólica de um transistor Darlington.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A Figura 11 mostra outro tipo de transistor de importante aplicação: o **Fototransistor**. Este não é mais do que um transistor bipolar em que a luz incide sobre a sua base (B). O seu funcionamento não difere do funcionamento do transistor bipolar, no entanto, a base é polarizada pela luz. Apresenta como vantagem um tempo de resposta maior e é mais sensível que o fotodiodo.



Figura 11 – Representação simbólica de um fototransistor.
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

O fototransistor tem uma enorme utilização nos **acopladores ópticos**, representados esquematicamente na Figura 12, os quais são compostos por um diodo emissor de luz (LED) e um fototransistor, e têm a função de isolar eletricamente circuitos diferentes.

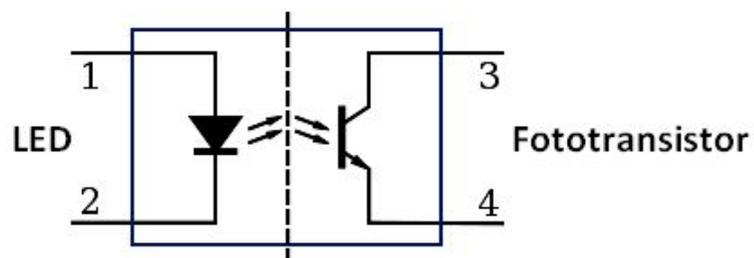


Figura 12 – Representação esquemática de um acoplador óptico.
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >