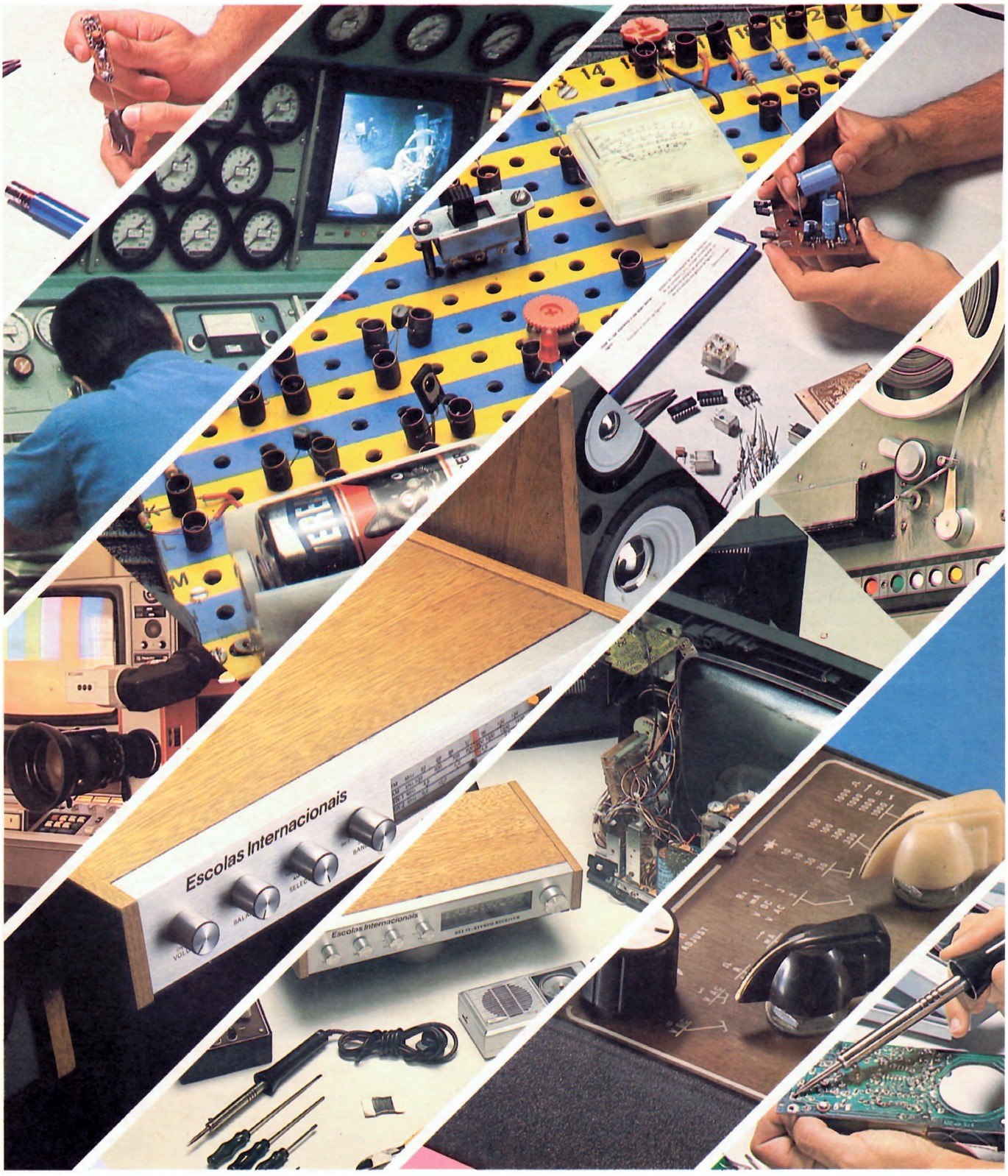
# TRANSISTORES




Escolas Internacionais

Referência

034

# Índice Geral

## LIÇÃO Nº 18 – TRANSISTORES


Introdução . . . . . 9
1. Estrutura de um transistor . . . . . 9
2. Difusão . . . . . 10
3. Difusão mecânica . . . . . 10
4. Difusão elétrica . . . . . 11
5. Ação do transistor . . . . . 13
6. Símbolos gráficos para os transistores . . . . . 14
7. Regra geral para polarização de um transistor . . . . . 14
8. Corrente reversa de saturação de uma junção base-coletor . . . . . 15
9. Teste de identificação de transistores com ohmímetro . . . . . 17
   9.1 - Identificação do pólo positivo do ohmímetro . . . . . 17
   9.2 - Pólo positivo do ohmímetro do "multímetro pé-de-boi" . . . . . 18
   9.3 - Identificação do transistor . . . . . 18
   9.4 - Demonstração do teste . . . . . 19
10. Síntese dos princípios de funcionamento de transistores . . . . . 21
11. Métodos de fabricação de transistores . . . . . 21
   11.1 - Liga ("alloy" em inglês) . . . . . 21
   11.2 - Difusão de impurezas . . . . . 21
   11.3 - Implantação iônica . . . . . 22
   11.4 - Crescimento epitaxial . . . . . 22
12. Síntese dos processos de fabricação de transistores . . . . . 23
13. Transistores de efeito de campo — "fet", e dispositivos semicondutores especiais . . . . . 23
Exame da lição nº 18 . . . . . 25



Conteúdo didático programado e elaborado pela equipe técnico-pedagógica das Escolas Internacionais.



Copyright - Internacional Textbook Company - ICS - International Correspondence Schools - Scranton, Pennsylvania - USA - Copyright - Direitos exclusivos no Brasil para ESCOLAS INTERNACIONAIS - São Paulo, SP - Brasil.

**Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução total ou parcial do texto e das ilustrações por qualquer forma ou meio, sem prévia autorização por escrito dos detentores do copyright. Edições ou reproduções não autorizadas estarão sujeitas às penalidades da Lei.**



**Escolas Internacionais**

Impresso no parque gráfico das Escolas Internacionais do Brasil

# Introdução

O transistor é o principal elemento de um circuito eletrônico ativo. Dentre a série de fenômenos elétricos que produz, a amplificação de sinal é o primeiro a ser considerado.

Nesta lição você vai entrar em contato com a estrutura física e construção do transistor e aprender o que é o ***efeito transistor.*** Ficará sabendo a regra para polarizá-lo corretamente e o que acontece quando aumenta sua temperatura.

E, fundamentalmente, através dos projetos desenvolvidos no Manual de Laboratório Nº 6 realizará experiências práticas, testando diodos e transistores com o "multímetro pé-de-boi" e efetuando a verificação de seu tipo e polaridades de funcionamento.

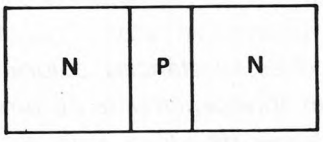
# Símbolos usados nesta lição

| | |
|---|---|
| N | material semicondutor com impurezas doadoras de elétrons livres — íons positivos. |
| P | material semicondutor com impurezas formadoras de lacunas receptoras de elétrons livres — íons negativos. |
| E | emissor ou região emissora. |
| B | base ou região de base. |
| C | coletor ou região coletora. |

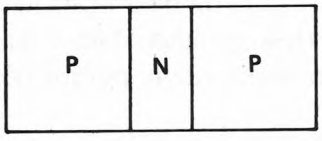
# 1— Estrutura de um transistor

Para compreender o funcionamento de um transistor, vamos começar simplesmente observando sua constituição ou estrutura interna básica. Mais adiante você aprenderá como os transistores são construídos.

Recorde a junção PN, formada pelos semicondutores de tipo N e P, responsável pela ocorrência do "efeito diodo" (que você estudou na lição nº 13). Veja, agora, o que acontece quando se tem duas junções sucessivas muito próximas entre si, como mostra a figura 1 (a) e (b).




**a) transistor de tipo NPN.**




**b) transistor de tipo PNP.**

**Fig. 1 — Tipos de transistor.**

Direitos reservados

Literalmente, ocorre um ***sanduíche*** de um dos materiais pelo outro. Assim, em (a) o recheio é o material de tipo P. Em (b) o recheio é o material de tipo N.

O recheio denomina-se "região de base", e é representado pela letra B. As partes laterais do sanduíche são chamadas "emissor", representado pela letra E, e "coletor", representado pela letra C.

Por ora, sem se preocupar com símbolos, observe a base (recheio) na figura 1. Ela é bastante ***estreita*** em relação às partes laterais. É que a base deve ser construída com dimensões tais que permitam a ocorrência do ***fenômeno de difusão.***

## 2— Difusão

A difusão é o nome que se dá ao fenômeno em que uma substância se espalha no meio de outra, ou então, à propagação de energia (luz, som, etc) num determinado meio.

A ***difusão de substância*** pode ocorrer entre um gás e um líquido, entre líquidos, entre gases e até mesmo entre sólidos. É, portanto, um fenômeno bastante corriqueiro. Para que ocorra, entretanto, existe uma condição: ***as duas substâncias colocadas em contato devem interpenetrar-se ou uma delas propagar-se através da outra.*** Para verificar a importância desta condição, coloque uma gota de óleo num copo com água. Por mais tempo que passe, a gota de óleo ficará flutuando sobre a superfície da água: óleo e água simplesmente não se misturam, porque não se interpenetram.

Com relação à ***difusão de energia,*** temos a propagação do som no ar; a do calor através de uma superfície ou de uma substância; a da luz sobre um meio; ou ainda a das ondas de rádio no espaço (rádio-difusão).

Para fins de estudo, dividiremos o fenômeno da difusão em duas classes: mecânicos e elétricos.

## 3—Difusão mecânica

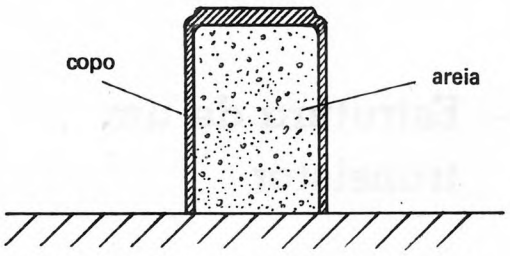
*1º Exemplo*

Coloque num copo uma boa porção de açúcar e complete-o com água até a boca. A água deve ser adicionada de modo que ocorra o mínimo de agitação. Após algum tempo observe o conteúdo do copo. No fundo tem-se o açúcar molhado: é a difusão da água no meio do açúcar. Na parte superior tem-se a água adocicada: é a difusão do açúcar no meio da água.

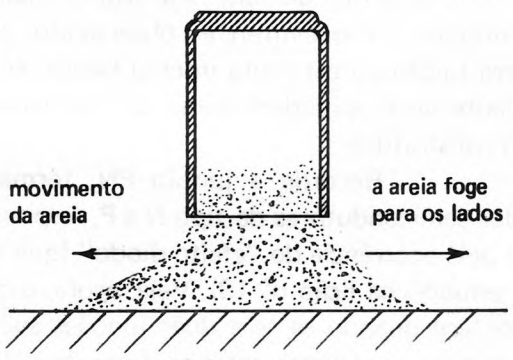
Assim sendo, pode-se dizer que no copo ocorreram duas espécies de difusão: líquido em sólido e sólido em líquido.

*2º Exemplo*

Coloque areia dentro de um copo, até enchê-lo completamente. Vire o copo contra uma superfície dura (mesa ou tábua suficientemente larga), de tal modo que a areia não possa escapar, conforme está indicado na figura 2 (a). Em seguida, levante o copo. Você verá, claramente, que a areia, não se conservando na forma do copo que a retinha, ***foge*** para as laterais, constituindo um volume mais ou menos cônico em sua posição final de equilíbrio, como mostram as figuras 2 (b) e 3.




a) Copo com areia, sobre uma superfície dura.




b) Copo suspenso.

**Fig. 2 — Fenômeno de "difusão" mecânica.**

Direitos reservados

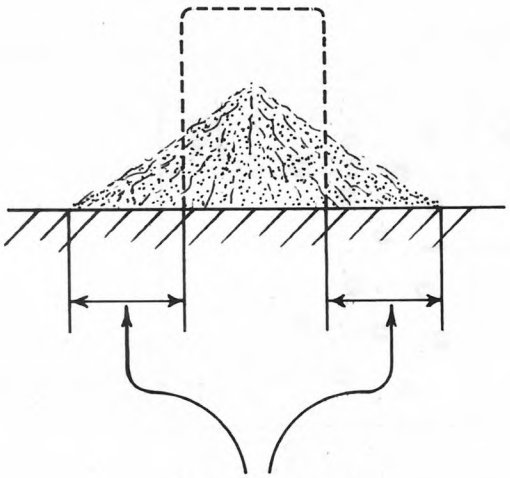



Fig. 3 — Esquema mostrando a posição final da areia.

É esse movimento de fuga, assim caracterizado, que chamamos de ***difusão.*** Dizemos, pois, que a areia difundiu-se sobre a mesa, porque se propagou sobre a superfície da mesa.

Na figura 3, observe com atenção o montículo de areia em sua posição de equilíbrio e a distância lateral que os grãos de areia percorreram, da superfície interna do copo até o repouso. Essa distância caracteriza o ***espaço*** ou ***região de difusão.***

Este exemplo serviu para mostrar o mecanismo de ação do fenômeno de difusão. Não é uma difusão verdadeira: a areia não se misturou com a mesa, apenas se espalhou sobre ela. O movimento de espalhamento da areia sobre a mesa é, todavia, uma ação análoga a de difusão, porque é um fenômeno de propagação. Em busca do equilíbrio, os grãos de areia se espalharam ou se propagaram sobre a superfície da mesa.

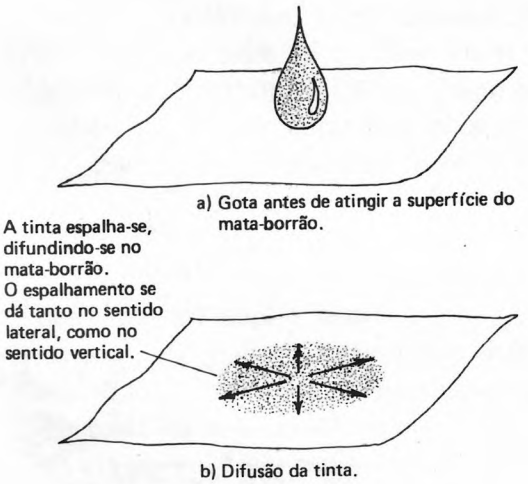



Fig. 4 — Outro exemplo de difusão.

***3º Exemplo***

Observa-se o fenômeno de difusão quando, por exemplo, uma gota de tinta cai sobre um mata-borrão ou papel poroso. O movimento das moléculas da gota de tinta permite que a gota se espalhe no meio poroso, não só lateralmente mas também verticalmente. Veja a figura 4 (a) e (b).

Muitos outros exemplos poderiam ser citados: o sal que se difunde (ou dissolve) na água, ou qualquer outra substância em seu respectivo solvente.

- A difusão é um movimento muito forte que, uma vez começado, não pode ser contido.
- O fenômeno de difusão tem um potencial de ação que somente termina ou se interrompe quando o equilíbrio (repouso) é alcançado. Ou seja: o movimento cessa apenas quando for completamente vencido o espaço, distância ou região de difusão.
- ***Região de difusão*** é o nome que se dá ao percurso que grãos, moléculas, íons ou elétrons realizam até que seja alcançado o equilíbrio (repouso).

# 4 — Difusão elétrica

Uma vez estabelecidos os conceitos acima, vamos agora estudar minuciosamente o fenômeno da difusão elétrica, tal como ocorre no transistor.

A base do transistor é feita com dimensões tais que os portadores majoritários ***(elétrons*** no caso do material do tipo N e ***lacunas*** no caso do material de tipo P), provenientes do emissor, difundem-se na região de base, atravessando-a completamente e passando da região de emissor à região de coletor.

Entretanto, para que os elétrons ou lacunas atravessem a base e passem da região de emissor para a região de coletor é preciso que, antes, consigam ultrapassar a barreira de potencial da junção emissor-base, tal como está indicado na figura 5.

Na figura 5 o transistor mostrado é de tipo NPN. Assim, os portadores majoritários do material N do emissor são elétrons (cuja injeção na região de base é efetuada por um

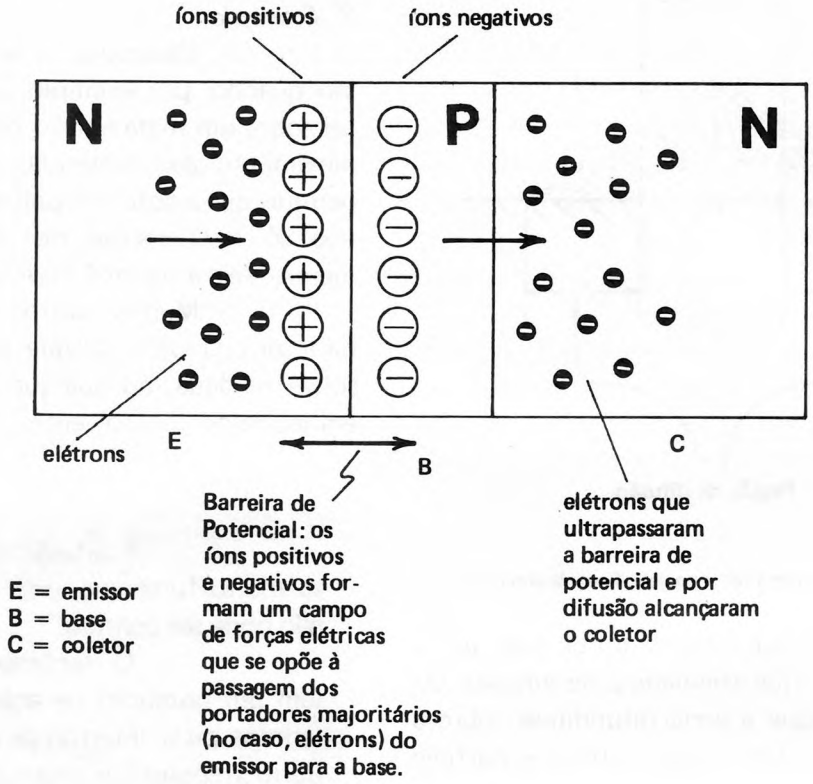



Fig. 5 — Transistor de tipo NPN.

processo que será visto oportunamente). E os portadores majoritários do material P da base são lacunas.

No transistor de tipo NPN, parte dos elétrons provenientes do emissor se casam com as lacunas, isto é, tendem a se ***recombinar.***

Como a injeção de elétrons é considerável, ou seja, o número deles que atravessa a junção emissor-base é muito grande, ocorre o fenômeno de difusão dos elétrons excedentes base adentro.

Atenção, agora, para as observações seguites:

- Se a região de base fosse maior do que a região de difusão, todos os elétrons seriam "absorvidos" pelas lacunas da base, sem que nenhum conseguisse alcançar a região de coletor.
- Se a região de difusão, porém, for maior do que a espessura da região de base, um certo número de elétrons atravessará a junção base-coletor, penetrando, assim, na região de coletor.
- Quanto maior for a região de difusão em relação à região de base, ***maior será o número de elétrons que penetrará no coletor,*** proveniente do emissor. Esse efeito é que caracteriza propriamente o transistor e, por isto, é chamado de ***efeito transistor.***

Para aumentar a parte dos elétrons que atingem a região do coletor deve-se, em primeiro lugar, fazer a região de base com a espessura bem pequena. Em segundo lugar, a dopagem da região da base deve ser "pobre", isto é, com um mínimo de impurezas. Apenas o suficiente para dar-lhe características de semicondutor tipo P. Assim se evita que a recombinação que ocorre na base elimine parte considerável dos elétrons provenientes do emissor, pois isto equivale a uma diminuição da região de difusão.

Concluindo:

O transistor é, precisamente, o sanduíche de que tratou o capítulo 1 desta lição. E as duas configurações da figura 1(a) e (b) mostram, respectivamente, os dois tipos possíveis de transistor: transistor NPN e transistor PNP.

Tudo o que foi explicado sobre o transistor de tipo NPN ocorre, semelhantemente, com o transistor de tipo PNP. O que muda é o sinal da carga elétrica dos portadores majoritários. No caso do transistor de tipo PNP são ***lacunas,*** enquanto que no caso do transistor NPN são ***elétrons.***

Direitos reservados

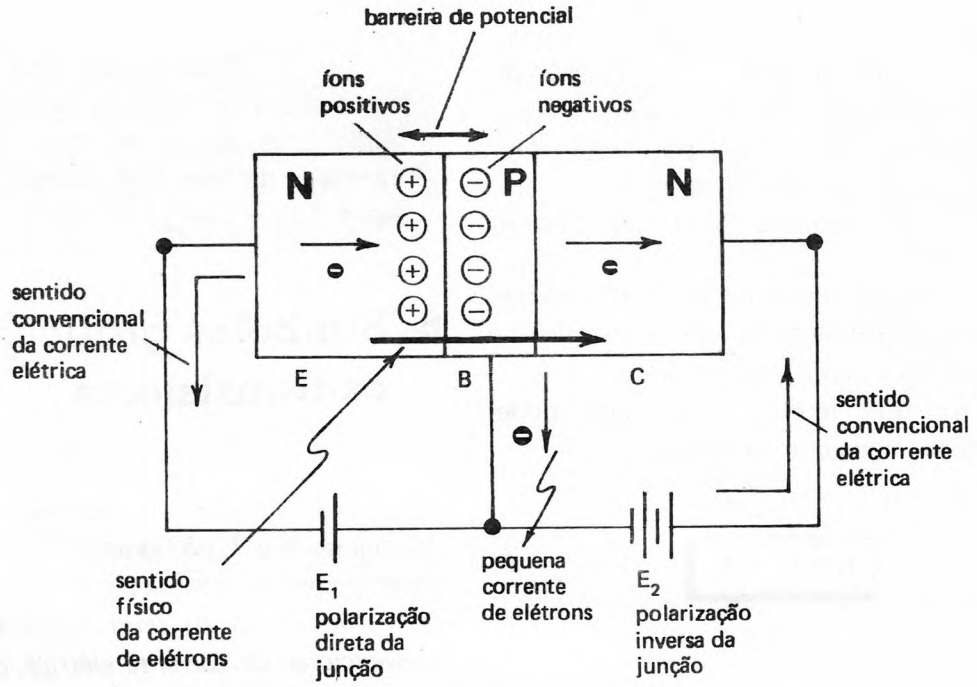



Fig. 6 — Polarização das junções para funcionamento do transistor de tipo NPN.

## 5 — Ação do transistor

Como você acabou de ver no capítulo anterior, a base de um transistor deve ser suficientemente ***estreita,*** para permitir o fenômeno de difusão dos portadores majoritários provenientes do emissor. Assim, uma vez alcançada a base, podem esses portadores majoritários penetrar por difusão até o coletor.

Fica, entretanto, colocada a questão — que você já conhece desde a lição nº 13, quando estudou a junção semicondutora e o diodo semicondutor: *como fazer para que os portadores majoritários consigam vencer a barreira de potencial existente entre a base e emissor?*

A figura 6 nos fornece a resposta com clareza. Observe-a.

Devido à polarização direta da junção base-emissor, os elétrons conseguem vencer a barreira de potencial da junção, e passam sem dificuldade, por difusão, para a região do coletor. No coletor, devido à polarização inversa, têm livre trânsito e são impulsionados, fortemente, em direção ao terminal positivo da bateria.

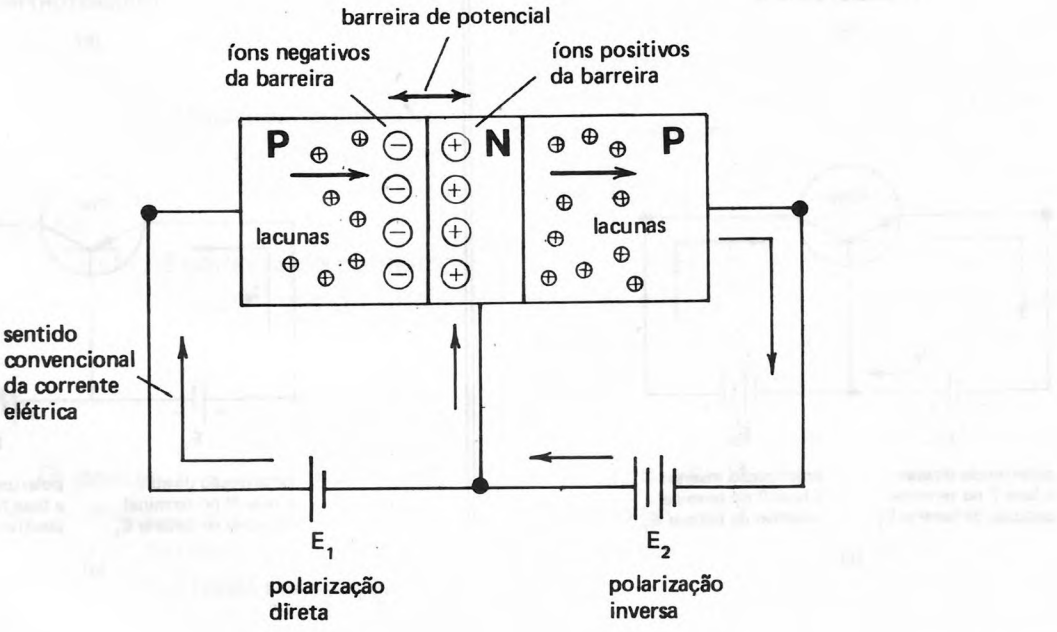



Fig. 7 — Polarização das junções para funcionamento do transistor de tipo PNP.

Direitos reservados

Nem todos os elétrons, todavia, passam da região de emissor para a região de coletor. Alguns deles são capturados pelo potencial positivo da bateria de polarização direta entre emissor e base. Em decorrência disto, há sempre uma pequena corrente no circuito emissor-base.

Essa corrente é, normalmente, dezenas e até centenas de vezes menor do que a corrente no emissor e no coletor.

Em termos matemáticos podemos escrever a seguinte expressão:

$$I_E = I_B + I_C \qquad (18.1)$$

A fórmula 18.1 diz que a corrente do emissor ($I_E$) é igual à soma das correntes de base ($I_B$) e de coletor ($I_C$).

Tudo o que você estudou com relação ao transistor de tipo NPN é válido e se aplica, igualmente, para o transistor de tipo PNP, como mostra a figura 7.

## 6- Símbolos gráficos para os transistores

Observe, novamente, os circuitos das figuras 6 e 7, na figura 8 (a) a (d). Agora, porém, com a convenção simbólica adotada para transistores. ***As setas indicam o sentido convencional da corrente elétrica, que é justamente oposto ao fluxo (movimento) de elétrons*** (tal como você já aprendeu, observando o símbolo do diodo semicondutor).

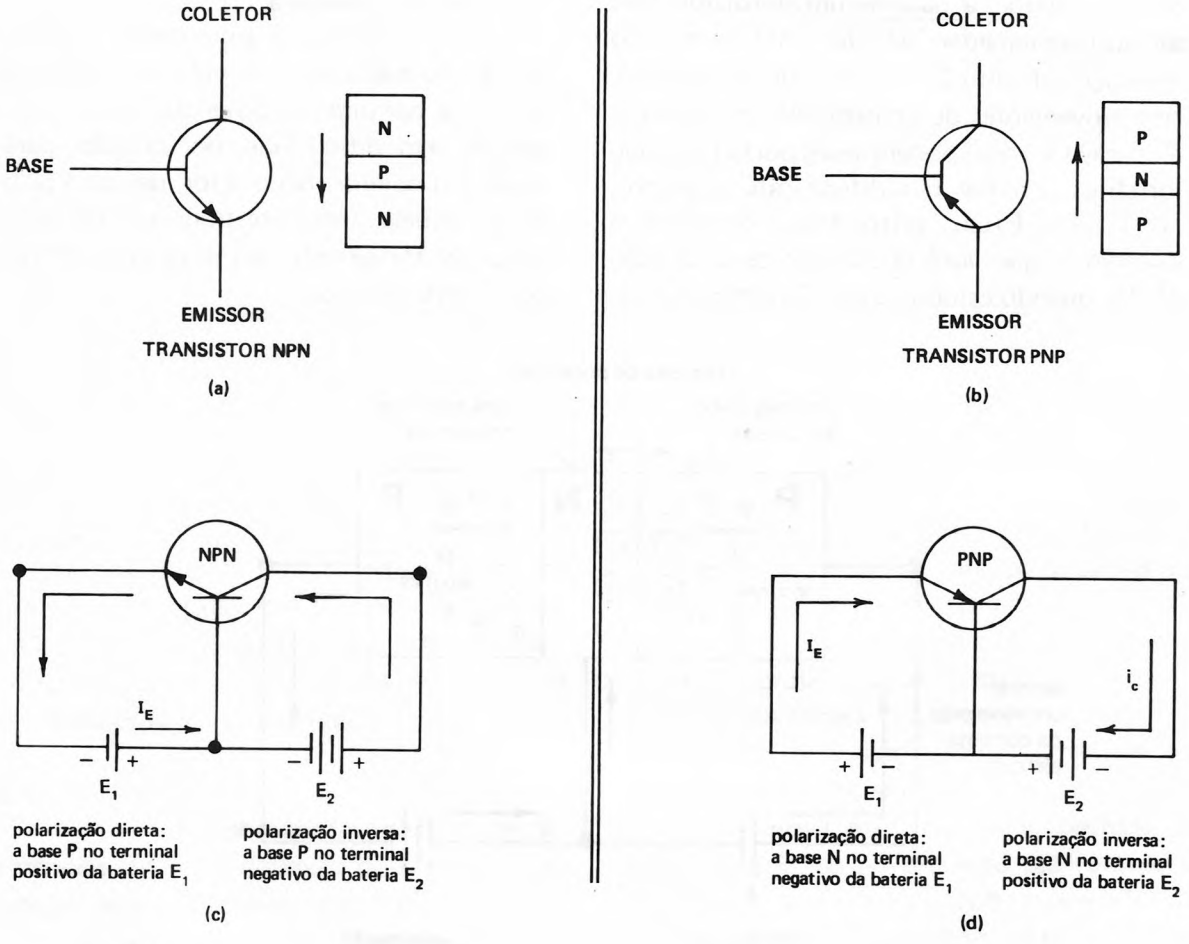



**Fig. 8 – Símbolos gráficos para os transistores.**

Direitos reservados

# 7 — Regra geral para polarização de um transistor

Para operar com propriedade, o transistor deverá ser corretamente polarizado. A regra geral para ambos os tipos de transistores — NPN e PNP — é a seguinte:

*A junção emissor-base deve ser diretamente polarizada e a junção base-coletor deve ser inversamente polarizada.*

Lembre-se que, para se obter a polarização direta, o terminal positivo da bateria é ligado ao material de tipo P. Aplicando a regra geral acima, você não encontrará dificuldade em polarizar corretamente os transistores, pois que o próprio nome indica o modo de ligação. Veja a figura 9 (a) e (b):

E, para fixar, com absoluta segurança esta regra geral na sua memória, recorra à ***tabelinha*** abaixo da figura 9. Nela a polarização direta é indicada associando-se a letra que simboliza o material da base ao terminal da bateria.

# 8 — Corrente reversa de saturação de uma junção base-coletor

Assim como o diodo semicondutor, a junção base-coletor de um transistor, polarizada inversamente, ***deixa sempre passar uma pequena corrente da ordem de 0,01% a 1% da corrente direta através da mesma junção,*** quando da operação normal do diodo ou do transistor.

Desta maneira, se a corrente de emissor e de coletor do transistor for da ordem de 10 mA, a corrente reversa será da ordem de 1$\mu$A a 100$\mu$A.

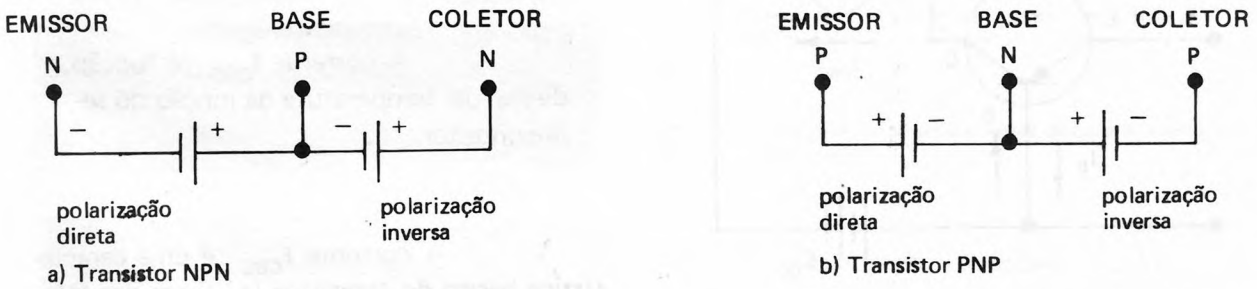


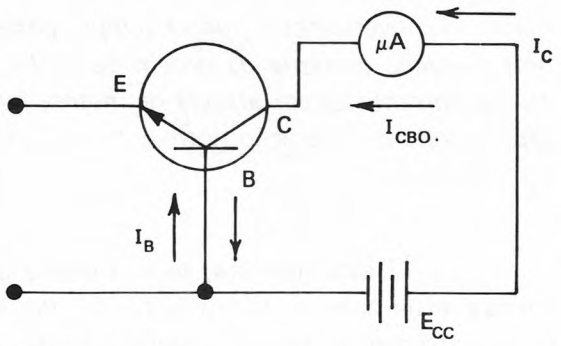

**Fig. 9 — Esquemas indicando a polarização dos transistores.**

| POLARIZAÇÃO DIRETA | | |
|---|---|---|
| BASE | TERMINAL DA BATERIA | TIPO DO TRANSISTOR |
| P (de positivo) | POSITIVO | NPN |
| N (de negativo) | NEGATIVO | PNP |

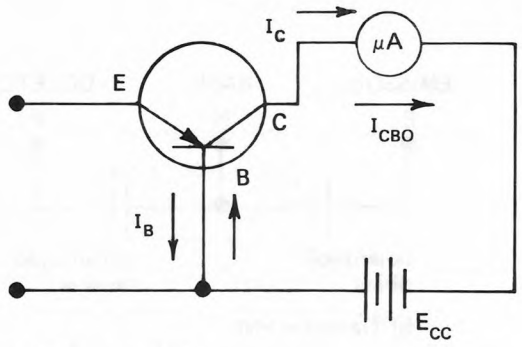
Esta corrente é chamada de $I_{CBO}$ — corrente reversa coletor-base com emissor em aberto.

Na medição da $I_{CBO}$ o emissor é deixado desligado ou em aberto. Por isso, aparece a letra "O" no índice do símbolo da corrente, pois ***"aberto"*** corresponde em inglês a ***"open"***.

Veja na figura 10 os esquemas das medições da $I_{CBO}$ para os transistores NPN e PNP, com o emprego de um microamperímetro.




a) Transistor NPN




b) Transistor PNP

**Fig. 10 — Corrente reversa $I_{CBO}$.**

Na figura 10, você pode perceber que a corrente $I_{CBO}$, da polarização reversa de coletor-base, tem o mesmo sentido da corrente principal de coletor do transistor em sua operação normal. Ela, portanto, ***se soma*** à corrente de coletor. Em termos matemáticos, podemos escrever a seguinte expressão:

$$I_{C_{total}} = I_C + I_{CBO} \qquad (18.2)$$

Você já aprendeu — quando estudou o diodo semicondutor — que a corrente reversa é ocasionada pela "quebra" ou "ruptura" dos pares covalentes da estrutura cristalina do cristal. Quando isto ocorre, um elétron se desprende da ligação covalente da molécula do cristal, deixando uma ***lacuna*** no átomo.

Em conseqüência disso, são formados, simultaneamente, dois portadores de carga elétrica: um negativo, o ***elétron*** que se desprendeu; outro positivo, o átomo que se tornou um ***íon positivo.***

Como a quebra da cadeia covalente dá sempre origem a 2 portadores de carga elétrica, diz-se que se formou um ***par covalente de portadores,*** ou simplesmente ***par covalente.***

O fenômeno de formação de pares covalentes tem origem no fato de o material receber elevadas doações de energia do ambiente externo. Por exemplo, quando se aquece o semicondutor. A temperatura da junção semicondutora será, por isso mesmo, um fator importante a ser considerado no projeto e aplicação de dispositivos semicondutores como o ***diodo*** e o ***transistor.***

Pode-se dizer que:

A corrente $I_{CBO}$ é função direta da temperatura da junção do semicondutor.

A corrente $I_{CBO}$ é uma característica básica do transistor (*). É um dos fatores importantes a ser considerado nos circuitos de aplicação de transistores.

Denomina-se, ainda, a corrente $I_{CBO}$ de:

- ***corrente de saturação,*** porque há a criação de portadores de carga elétrica que não obedecem ao efeito transistor, competindo com os portadores normais, isto é, "saturando" a estrutura do cristal com portadores de carga que reduzem a eficiência do transistor. Em um extremo de saturação de portadores de carga assim criados, o transistor deixa de funcionar;
- ***corrente de corte*** (do inglês ***cut-off***), porque

(*) Denomina-se "parâmetro" a toda característica básica ou específica de um dispositivo físico, seja ele eletrônico ou não. Podemos, portanto, dizer que a corrente $I_{CBO}$ é um dos parâmetros do transistor.

é a corrente de coletor medida sem corrente de base (isto é, com o transistor "cortado");
• ***corrente de fuga*** — porque é como se, no material cristalino, portadores de carga elétrica conseguissem "fugir" da prisão dos núcleos atômicos.

# 9- Teste de identificação de transistores com ohmímetro

A polarização direta faz com que uma junção P—N apresente uma baixa resistência elétrica. A polarização inversa faz com que a resistência elétrica seja elevada.

Estes fatos, que você já viu quando estudou a junção semicondutora na lição nº 13, vão permitir que você identifique qual é o terminal do transistor ligado à base e o tipo de material da base. Para isto é necessário um ohmímetro.

O ohmímetro é um aparelho que se utiliza para a medição direta da resistência elétrica. Pode também ser empregado para a identificação dos terminais de um transistor. O ohmímetro a ser usado nestes ensaios deve ser aquele munido de um galvanômetro, como o que faz parte de um multímetro.

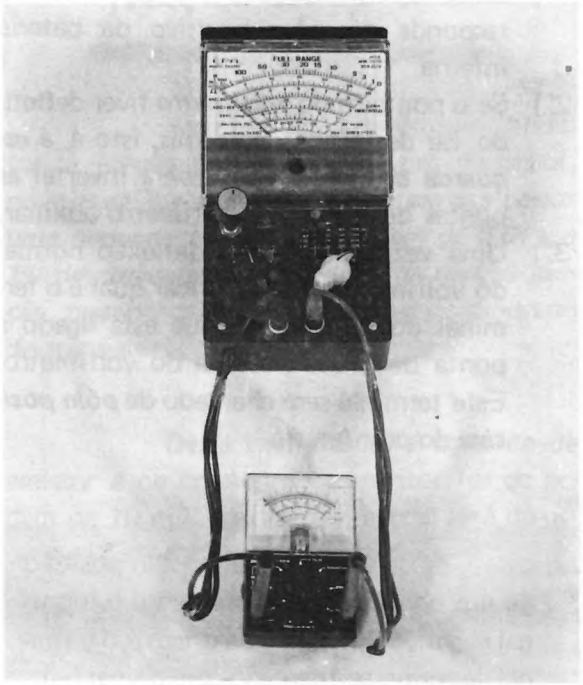


Fig. 11 — Multímetro CPA — Kit nº 3.

## 9.1 - Identificação do pólo positivo do ohmímetro

A primeira providência é saber qual é o terminal do aparelho (neste caso, do ohmímetro que você vai usar), que está ligado ao pólo positivo da bateria interna. Isto é feito com o uso de outro aparelho, auxiliar, ajustado para medir tensão, como mostra a figura 12.

"Ohmímetro que será usado para testar transistores"



"Voltímetro auxiliar que será usado para identificar os terminais da bateria interna do ohmímetro".

Fig. 12 — Identificação do pólo positivo da bateria interna do ohmímetro.

O ohmímetro deve estar, de preferência, ajustado em sua ***escala mais baixa*** de medição de resistência elétrica, designada, comumente, ***R x 1.***

O aparelho auxiliar deve estar ajustado para medir tensão. Para a maioria dos casos, é suficiente ajustar o aparelho auxiliar em uma ***escala para leitura máxima de 10 V.*** Entretanto, atenção:

Recomenda-se, sempre, iniciar a medição com uma escala de 50 V. Caso se verifique que a leitura está abaixo de 10 V (deflexão muito pequena), passa-se então para a escala de 10 V.

A rigor, o que nos interessa, agora, é saber apenas qual dos ***terminais de prova***

***do ohmímetro*** (com o qual você vai ensaiar os transistores) corresponde ao ***terminal positivo da bateria interna*** do instrumento. Veja como é simples:

1°) Coloque as pontas de prova do voltímetro auxiliar nos terminais do ohmímetro. Caso haja uma deflexão (deslocamento) normal do ponteiro do voltímetro auxiliar, então a ponta de prova deste aparelho, chamada ***positiva,*** de cor vermelha e marcada com o sinal (+), estará identificando o terminal do ohmímetro que corresponde ao pólo positivo da bateria interna.

2°) Se o ponteiro do voltímetro tiver defletido (se deslocado) para trás, isto é, ***à esquerda do zero,*** você deverá inverter as pontas de prova do voltímetro auxiliar.

3°) Uma vez conseguida a deflexão normal do voltímetro, é só verificar qual é o terminal do ohmímetro que está ligado à ponta de prova positiva do voltímetro. Este terminal será chamado de ***pólo positivo*** do ohmímetro.

Geralmente, o pólo positivo de um ohmímetro é justamente o terminal negativo do multímetro, isto é, o terminal de cor preta, marcado com o sinal (—).

## 9.2 - Pólo positivo do ohmímetro do "multímetro pé-de-boi"

O que você acabou de ver no item anterior é o que ocorre quando o instrumento usado é o "multímetro pé-de-boi", que você recebeu e montou na realização do projeto n°. 2 do Manual de Laboratório n°. 3.

No "multímetro pé-de-boi" o pólo positivo é o fio de cor preta, que vai ligado ao terminal negativo do galvanômetro e aos quatro resistores, como mostra a figura 13.

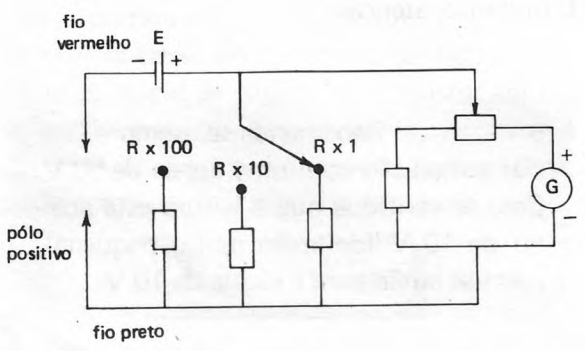



**Fig. 13 — Pólo positivo do "multímetro pé-de-boi".**

Também no multímetro CPA, que você receberá no kit n°. 3, o pólo positivo corresponde ao cabo de prova de cor preta, ligado ao terminal do instrumento identificado com o sinal (—).

Querendo certificar-se deste fato, recomendamos que você procure a sua escola **EI**. Ou então, procure um amigo que também possua um multímetro (o dono da oficina eletrônica de serviço mais próxima de sua casa, por exemplo), e que possa emprestar-lhe por alguns momentos. Você efetuará assim, a desejada comprovação do que foi exposto aqui e no item anterior.

## 9.3 — Identificação do transistor

Este texto tem caráter teórico e por isso você deve estudá-lo para compreendê-lo. Não há necessidade, no momento, de fazer as medições experimentalmente. Deste modo, você obterá os melhores resultados quando realizar a parte prática do Manual de Laboratório n°. 6.

Considere, então, o seu multímetro para a finalidade de testar transistores.

Suponha que você possui um transistor em bom estado e que você ignora a identificação de seus terminais, ou seja, qual é ***base,*** qual é ***emissor,*** qual é ***coletor.*** (Ao final deste capítulo, você próprio estará em condições de saber se o transistor está ou não em bom estado).

Há três modos possíveis de se ligar o ohmímetro para indentificar o terminal de base e o tipo de um transistor. Veja a figura 14. Assim, para identificar um transistor, faça os seguintes experimentos:

1°) Fixe, por exemplo, a ***ponta de prova negativa do multímetro*** (ajustado para medir resistências na escala R x 1), no ***terminal "X",*** conforme mostra a figura 14 (a). Com a outra ponta de prova, de cor vermelha, toque, sucessivamente os terminais "Y" e "Z", tal como indica a ilustração, e veja as deflexões do ponteiro do galvanômetro.

2°) Agora, fixe a ***ponta de prova negativa do multímetro*** (de cor preta ou pólo positivo do ohmímetro) no ***terminal "Y"*** conforme mostra a figura 14 (b). Com a ponta de prova de cor vermelha toque, sucessivamente, os terminais "Z" e "X", tal como indica a ilustração e veja as deflexões do ponteiro do galvanômetro.

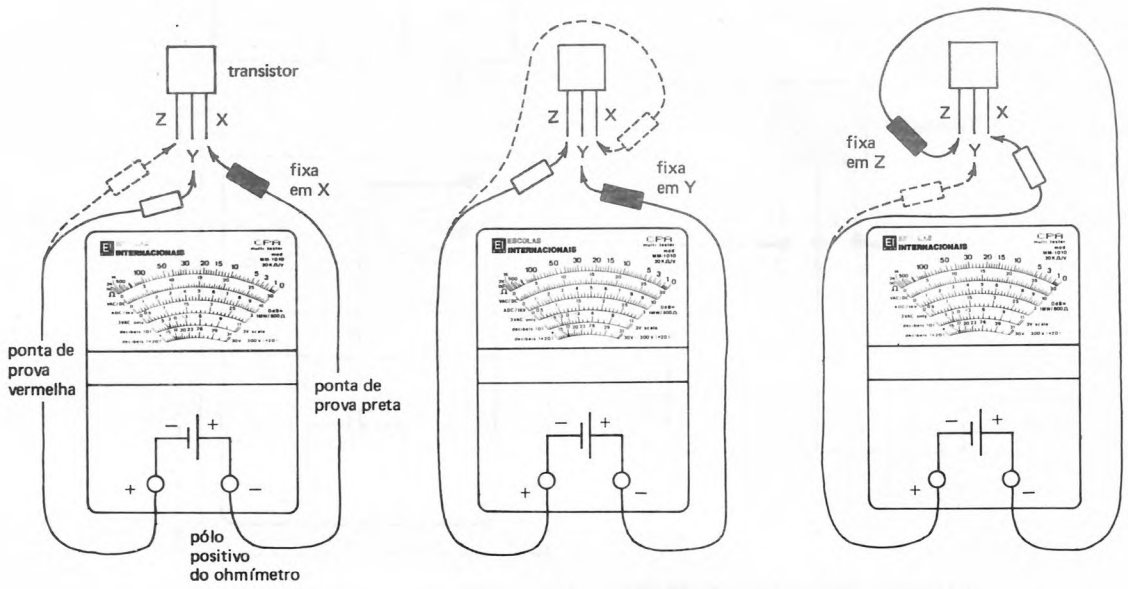



Fig. 14 – Série de medições para identificação da base.

3º) Por último, fixe a ***ponta de prova negativa do multímetro*** no ***terminal "Z",*** conforme está ilustrado na figura 14 (c). Com a ponta de prova vermelha toque, sucessivamente, os terminais "Y" e "X", tal como indica a ilustração e observe as deflexões do ponteiro do galvanômetro.

Em cada tentativa observe com atenção o ponteiro do multímetro, pois ocorrerá para ***um dos experimentos*** da série de testes, ***e somente para ele,*** uma das duas seguintes situações.

*Situação I*

O ponteiro do multímetro ***deflete*** (se desloca), indicando baixa resistência, para os dois terminais tocados com a ponta de prova vermelha (pólo negativo).

Acontecendo esta situação I, pode-se tirar as seguintes conclusões: a) a ponta de prova preta (pólo positivo), fixa, está tocando o terminal de base; b) o transistor é do tipo NPN.

Quando há deflexão do ponteiro, os valores típicos para transistores de silício são da ordem de 30 ohms.

*Situação II*

O ponteiro do multímetro ***não deflete*** (não se desloca), indicando alta resistência, para os dois terminais tocados com a ponta de prova vermelha (pólo negativo).

Acontecendo esta situação II, pode-se tirar as seguintes conclusões: a) a ponta de prova preta (pólo positivo), fixa, está tocando o terminal de base; b) o transistor é do tipo PNP.

## 9.4 – Demonstração do teste

Considere o seu ohmímetro como uma bateria. De fato, para o transistor, o ohmímetro é uma bateria.

Agora, vamos compreender o porquê das conclusões do item anterior.

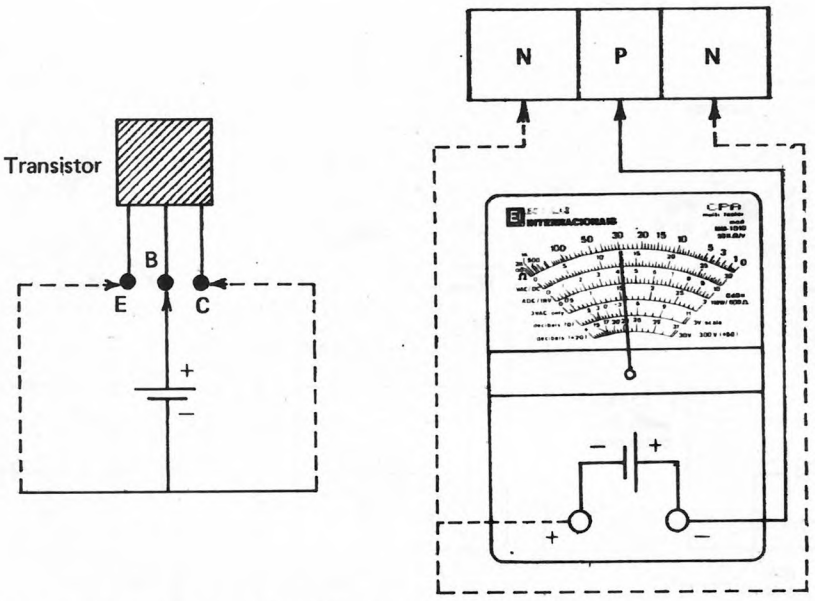
A base é o único terminal de tipo distinto, pois o emissor e o coletor são do mesmo tipo. Por isso, quando o pólo positivo do ohmímetro estiver fixo na base, a resistência medida entre os terminais será da mesma ordem (igualmente alta ou igualmente baixa).

Entretanto, é preciso esclarecer que quando se trata do transistor NPN, a simples igualdade na resistência entre os terminais não é suficiente para identificar a base.

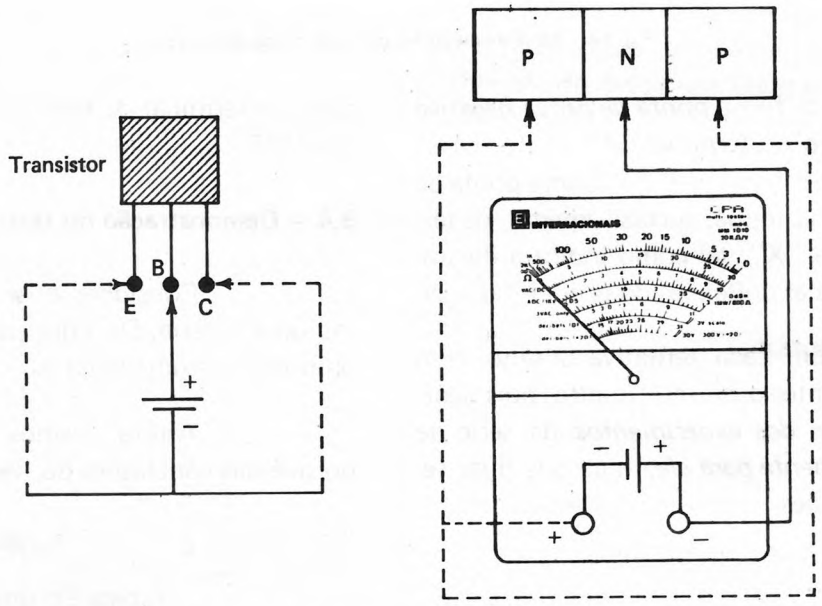
A identificação da base e do tipo do transistor (PNP ou NPN) depende de qual pólo do ohmímetro se encontra ligado à base e qual a ordem da resistência encontrada.

***Se à base estiver ligado o pólo positivo do ohmímetro, acontece uma das duas seguintes situações:***

Direitos reservados




a) Transistor NPN → Polarização direta → Baixa resistência → Deflexões do ponteiro.




b) Transistor PNP → Polarização inversa → Alta resistência → Sem Deflexões do ponteiro.

**Fig. 15 — Polarização de transistores.**

*Situação I*

Se o ohmímetro indicar baixas resistências (deflexão do ponteiro), as junções estão diretamente polarizadas. Logo, a base é do tipo P e os outros elementos são do tipo N — transistor NPN. Veja a figura 15 (a).

*Situação II*

Se o ohmímetro indicar altas resistências (não há deflexão do ponteiro), as junções estão inversamente polarizadas. Logo, a base é do tipo N e os outros dois elementos são do tipo P — transistor PNP. Veja a figura 15 (b).

Uma vez realizado o teste e identificado o terminal de base e o tipo do transistor, inverta a função das pontas de prova: coloque a ponta de prova vermelha como ponta fixa no terminal de base, e com a outra ponta de prova (preta), toque sucessivamente os outros dois terminais. Você deve verificar uma inversão no valor das resistências medidas, em relação à situação anterior, isto é, quando a ponta de prova preta estava no terminal de base. Ou seja: se no primeiro caso ambas as resistências eram baixas, com a inversão das funções (posições) das pontas de prova, ambas as resistências vão ser altas. Caso isto aconteça, as duas junções do transistor estão em bom estado e o teste foi devidamente confirmado.

Direitos reservados

# 10 — Síntese dos princípios de funcionamento de transistores

Apresentamos a seguir um resumo dos principais conceitos sobre transistores, que acabamos de estudar.

***Transistor*** é o dispositivo semicondutor formado por um sanduíche de um elemento P entre dois elementos N; ou de um elemento N entre dois elementos P; ou ainda por duas junções P—N sucessivas. Em qualquer caso, o elemento do meio é sempre bastante estreito e menor dopado em relação aos laterais.

O ***efeito transistor*** é o fenômeno de difusão dos portadores de carga elétrica provenientes do emissor que alcançam o coletor, atravessando a base.

O ***transistor funciona*** quando a junção emissor-base for polarizada diretamente e a junção base-coletor for polarizada inversamente.

A ***seta*** presente no símbolo gráfico de um transistor indica o sentido convencional da corrente elétrica.

Um ***transistor é do tipo NPN*** quando, localizado o terminal de base pelo ohmímetro, observamos que o ***pólo positivo*** do instrumento está na base quando a resistência indicada é baixa.

Um ***transistor é do tipo PNP*** quando, localizado o terminal de base pelo ohmímetro, observamos que o ***pólo positivo*** do instrumento está na base quando a resistência indicada é alta.

Para uma fixação melhor destes conceitos, releia cada tópico com cuidado, após ter realizado os projetos do Manual de Laboratório nº 6.

# 11 — Métodos de fabricação de transistores

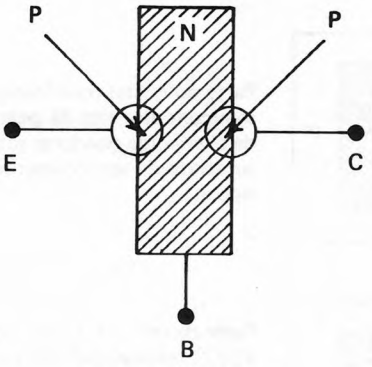
Os transistores, como os diodos, podem ser fabricados através de processos de gravação eletro-físico-química, tais como: liga, difusão de impurezas, implantação iônica e crescimento epitaxial (ou crescimento da estrutura cristalina).

Esses processos podem ser combinados, complementando-se entre si. Neste caso, geram uma grande quantidade de tipos de transistores.

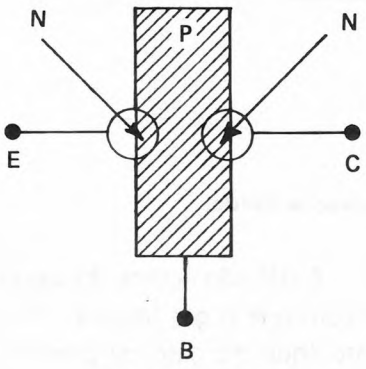
Aqui, vamos considerar os quatro processos acima mencionados.

## 11.1 - Liga ("alloy" em inglês)

É o processo de soldagem entre metal e cristal que provoca uma migração (difusão) natural de átomos do metal para o semicondutor, conforme está ilustrado na figura 16.




TRANSISTOR PNP




TRANSISTOR NPN

Fig. 16 — Processo de liga ("alloy")

Observe que a região de coletor é feita maior do que a região de emissor para permitir que seja capturado o maior número possível dos portadores de carga difundidos na base pelo emissor.

Atualmente, este processo não é utilizado, por ser artesanal, não permitindo grande produtividade e principalmente por não permitir um controle da espessura da base.

## 11.2 – Difusão de impurezas

É o processo de difusão de átomos da impureza ou elemento dopante através de altas temperaturas e pressões. Este processo, através da combinação correta da temperatura e da pressão, permite controlar com boa precisão a quantidade de átomos difundidos.

A figura 17 mostra um transistor NPN formado pelo processo de difusão.

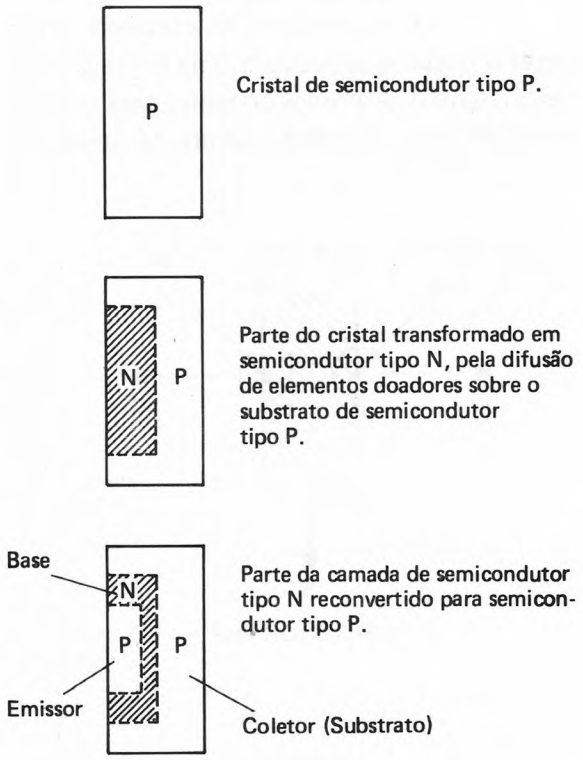



**Fig. 17 – Processo de difusão.**

A difusão ocorre do seguinte modo: faz-se com que o gás (ou vapor) do material dopante (que no caso da presente figura foi responsável pela formação da base) "ataque" o cristal. O cristal é chamado de substrato e, no exemplo dado, é do tipo P. Assim, os átomos do gás penetram no substrato P e transformam-no parcialmente em semicondutor tipo N. Lembre-se que, o que determina o tipo do semicondutor é a ***predominância*** de uma das impurezas doadoras ou aceitadoras. Num semicondutor tipo P não precisa existir ***somente*** impurezas aceitadoras. Basta que exista mais impurezas aceitadoras do que doadoras.

No exemplo citado, o semicondutor N, formado pela difusão de impurezas doadoras sobre um substrato do tipo P, constitui a base. O substrato constitui o coletor.

O emissor é formado por uma segunda difusão, agora de elementos aceitadores, sobre a camada de semicondutor tipo N. Assim, reconverte-se parte deste em semicondutor tipo P, formando o emissor.

## 11.3 – Implantação iônica

É uma variação do processo de difusão. A diferença está em que a impureza é ionizada em vez de vaporizada. Daí, em vez de pressão e temperatura, os íons são acelerados por campos eletromagnéticos muito fortes e "bombardeiam" o cristal base. Assim se consegue "implantar" alguns íons de impureza no cristal semicondutor, conferindo-lhe a característica desejada.

## 11.4 – Crescimento epitaxial

Epitaxia é uma palavra de origem grega que significa: ***epi*** = sobre; ***taxi*** = arranjo em ordem.

Assim, crescimento epitaxial significa arranjo de novos átomos obedecendo exatamente a estrutura do cristal básico. Desse modo, se consegue que semicondutores diferentes formem um cristal único de estrutura uniforme. Veja a figura 18.

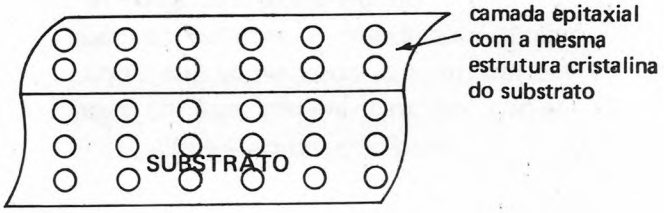



**Fig. 18 – Epitaxia = crescimento em extensão da estrutura cristalina.**

A técnica do crescimento epitaxial é usada para melhorar as características elétricas dos transistores. É usada, por exemplo, para obter substratos com camadas apresentando concentrações diferentes de impurezas. Em geral, a camada mais distante da base

é feita com menor concentração de impurezas do que a camada onde é difundida a base e o emissor.

As vantagens da epitaxia consistem na possibilidade do crescimento de material de tipo N sobre o de tipo P (ou de P sobre N), sem a necessidade de compensar a densidade de impurezas do substrato, que é de outro tipo. A compensação exigiria uma alta concentração de impurezas do elemento em crescimento. Desta forma, pode-se obter elemento dopante em menor concentração de impurezas do que o substrato.

## 12 — Síntese dos processos de fabricação de transistores

Recapitulando, releia as definições relativas aos processos de fabricação de transistores:

*Liga* (ou "alloy") foi o primeiro processo utilizado. Consiste na migração de átomos do metal para dentro do semicondutor.

***Difusão de impurezas*** consiste em difundir impurezas no cristal já formado mediante condições de temperatura, pressão e material gasoso ou pastoso adequados.

***Implantação iônica*** consiste em implantar íons de impureza no cristal, mediante impacto sob alta velocidade.

***Crescimento epitaxial*** é o processo que faz o semicondutor crescer na mesma ordem e estrutura cristalina do cristal já existente, com a concentração de impurezas desejada.

## 13 — Transistores de efeito de campo — "fet", e dispositivos semicondutores especiais

Muitos outros tipos de transistores e dispositivos semicondutores foram concebidos e são fabricados, possibilitando ampla gama de aplicações.

Eles serão apresentados oportunamente, quando você já tiver dominado as técnicas relativas a transistores.

Direitos reservados

# Exame

**TRANSISTORES**
**REFERÊNCIA 034**

## Observações Para o Aluno

- Antes de responder as questões você deverá ter feito um estudo minucioso e completo desta lição.
- Agora, leia cada questão até compreender bem o que se pede.
- Cada questão apresenta várias soluções. Apenas uma solução é correta.
- Em cada questão indique a solução que você julgar correta e, a seguir, transcreva, com atenção, as suas respostas para a Folha de Respostas, anexa.

1. O transistor é:
   a) o dispositivo formado por um sanduíche de dois elementos P sobre um N, ou vice-versa, em que o elemento do meio é de espessura muito grande e mais dopado em relação aos laterais.
   b) o dispositivo formado por duas junções: uma P–N e outra N–P, ou vice-versa, coladas entre si;
   c) o dispositivo cristalino formado por duas junções N–P ou P–N, muito separadas entre si;
   d) o dispositivo semicondutor formado por um sanduíche de um elemento P por dois N, ou vice-versa, ou por duas junções P–N sucessivas, em que o elemento do meio é bastante estreito e menos dopado em relação aos laterais.

2. O efeito transistor é:
   a) o fenômeno de difusão elétrica dos portadores de carga elétrica, provenientes do emissor, que alcançam o coletor atravessando a base;
   b) o fenômeno da corrente elétrica que passa por uma junção P–N;
   c) o fenômeno da corrente elétrica em um semicondutor;
   d) o fenômeno que ocorre em um cristal formado por elementos P e N.

3. O transistor funciona quando:
   a) existem duas baterias que empurram os elétrons através do mesmo;
   b) a junção emissor-base é polarizada inversamente e a junção base-coletor é polarizada diretamente;
   c) a junção emissor-base é polarizada diretamente e a junção base-coletor é polarizada inversamente;
   d) o elemento N fornece elétrons livres e o elemento P fornece lacunas positivas.

4. A seta presente no símbolo gráfico de um transistor significa:
   a) o sentido dos elétrons;
   b) o sentido das lacunas;
   c) o sentido convencional da corrente elétrica;
   d) o sentido da corrente eletrônica.

5. Para testar um transistor com ohmímetro, valemo-nos do fato de que:
   a) o ohmímetro possui uma fonte interna que polariza a junção do transistor, ao mesmo tempo que indica a resistência elétrica da junção.
   b) o ohmímetro é um aparelho que mede resistência elétrica e corrente elétrica;
   c) o ohmímetro, quando deflete, indica que o material semicondutor é de tipo N;
   d) o ohmímetro, quando não deflete, indica que o material semicondutor é de tipo P.

6. Um transistor é de tipo NPN quando, localizado o terminal de base pelo ohmímetro, observamos:
   a) que o pólo positivo do instrumento está na base, quando a resistência indicada for baixa.
   b) que o pólo positivo do instrumento está na base, quando a resistência indicada for alta.
   c) que o pólo positivo do instrumento está no emissor, quando a resistência indicada for baixa.
   d) que o pólo positivo do instrumento está no coletor, quando a resistência indicada for baixa.

7. Um transistor é de tipo PNP quando, localizado o terminal de base pelo ohmímetro, observamos:
   a) que o pólo negativo do instrumento está na base, quando a resistência indicada for baixa.
   b) que o pólo negativo do instrumento está na base, quando a resistência indicada for alta.
   c) que o pólo negativo do instrumento está no emissor, quando a resistência indicada for baixa.
   d) que o pólo negativo do instrumento está no coletor, quando a resistência indicada for baixa.

8. Pólo positivo do ohmímetro é:
   a) o pólo ou terminal onde se coloca o cabo com ponta de prova vermelha;
   b) o pólo ou terminal onde se coloca o cabo com ponta de prova preta;
   c) o pólo ou terminal marcado com o sinal (+);
   d) o pólo ou terminal que corresponde ao pólo positivo da bateria interna do ohmímetro.

Direitos reservados

9. O processo de fabricação de transistores chamado de "liga" ou "alloy", é:
   a) o principal processo, atualmente;
   b) o primeiro processo utilizado e que se caracteriza pela migração de átomos de metal para dentro do semicondutor;
   c) o processo de se ligar os terminais do transistor aos elementos emissor, base e coletor;
   d) o processo de se ligar os elementos emissor, base e coletor entre si.

10. O processo de fabricação de transistores chamado de "crescimento epitaxial" é:
   a) o processo que faz o transistor crescer mediante depósito de material não-cristalino e com a concentração de impurezas desejada;
   b) o processo que faz o transistor crescer segundo o eixo longitudinal do mesmo, com material não-cristalino e com a concentração de impurezas desejada;
   c) o processo que faz o semicondutor crescer na mesma ordem e estrutura cristalina do cristal já existente, com a concentração de impurezas desejada;
   d) o processo que faz o semicondutor crescer modificando a estrutura do cristal já existente pela introdução de impurezas desejadas.

11. O processo de fabricação de transistores chamado de "difusão de impurezas" consiste em:
   a) difundir impurezas no cristal durante o seu crescimento, em condições de alta temperatura e pressão;
   b) difundir impurezas no semicondutor durante seu crescimento, com a concentração desejada;
   c) difundir impurezas no cristal já formado, mediante condições de temperatura, pressão e material gasoso ou pastoso adequado.
   d) difundir impurezas no cristal já formado, através de alta pressão e temperatura e material gasoso ou pastoso adequado, fazendo com que o semicondutor cresça e fique com as dimensões desejadas.

12. O processo de fabricação de transistores chamado de "implantação iônica" consiste em:
   a) implantar íons no transistor durante o seu crescimento, para atingir a concentração de impurezas desejadas;
   b) implantar íons para formação da barreira de potencial da junção P–N do cristal;
   c) implantar íons para fazer com que o semicondutor cresça com a concentração de impurezas desejadas;
   d) implantar íons de impureza no cristal mediante impacto, sob alta aceleração, que faz com que os íons penetrem na estrutura cristalina do semicondutor.

13. A corrente $I_{CBO}$ é uma corrente que existe no transistor e é:
   a) muito pequena e desprezível, não afetando a aplicação do transistor;
   b) muito grande, ocasionando problemas para o funcionamento do transistor;
   c) muito pequena, porém significativa na aplicação do transistor;
   d) muito grande, porém desprezível, porque se soma à corrente de coletor do transistor.

14. A corrente $I_{CBO}$ é um parâmetro do transistor que é medido:
   a) polarizando-se a junção base-coletor inversamente, e a junção base-emissor diretamente;
   b) polarizando-se a junção base-coletor inversamente, e a junção base-emissor também inversamente;
   c) polarizando-se ambas as junções diretamente;
   d) polarizando-se a junção base-coletor inversamente e deixando o terminal do emissor livre.

15. A corrente $I_{CBO}$ varia diretamente com:
   a) a polarização emissor-base do transistor;
   b) a barreira de potencial da junção;
   c) a temperatura da junção base-coletor;
   d) a temperatura da junção emissor-base.

16. A barreira de potencial da junção emissor-base em um transistor é vencida com:
   a) a polarização direta da junção;
   b) o estreitamento da região de base;
   c) a menor dopagem da região de base;
   d) a difusão elétrica na junção.

17. Os portadores de carga majoritários no emissor são:
   a) os mesmos da base;
   b) os mesmos do coletor;
   c) anulados pela barreira de potencial com polarização direta da junção emissor-base;
   d) anulados pela barreira de potencial com polarização inversa da junção base-coletor.

18. Na polarização direta de uma junção base-emissor, temos:
   a) resistência elétrica e barreira de potencial mínimas;
   b) mínima passagem de portadores majoritários;
   c) máxima resistência elétrica;
   d) máxima barreira de potencial.

Direitos reservados