

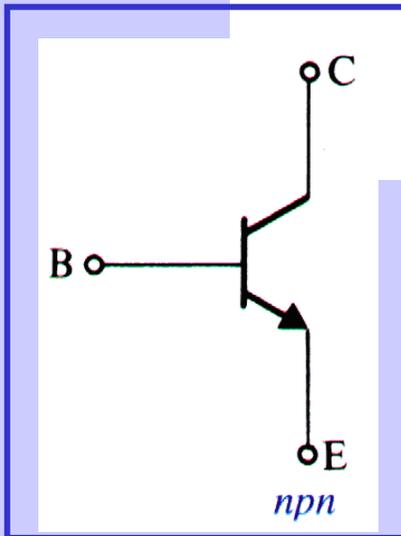
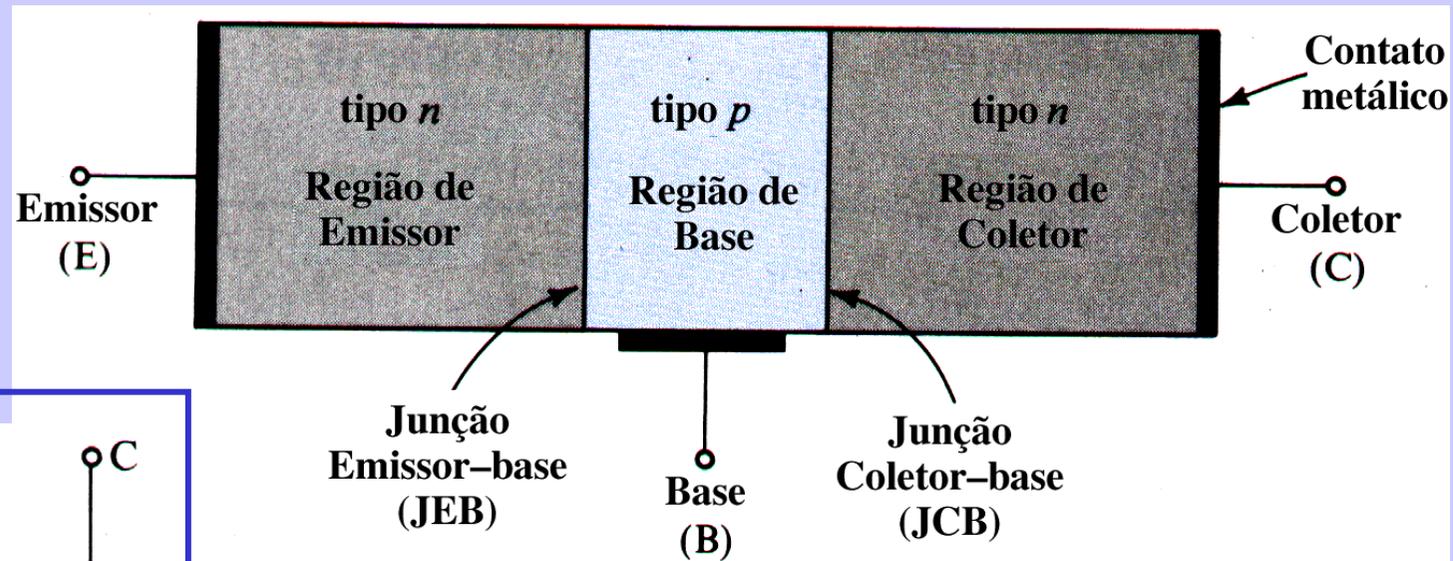
# 12<sup>a</sup> Aula:

## O Transistor Bipolar de Junção

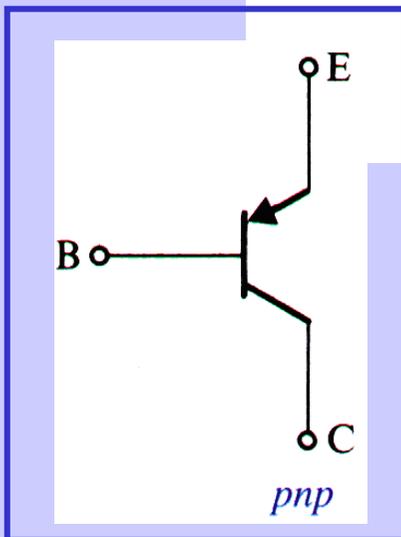
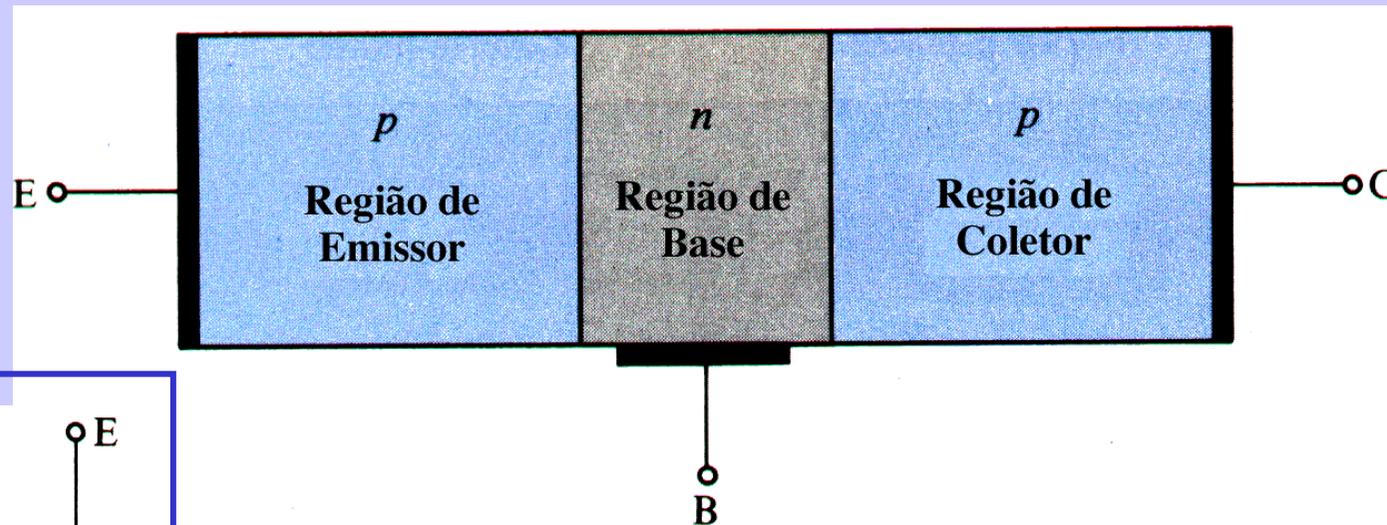
**Ao final desta aula você deverá estar apto a:**

- Contar um pouco da história do transistor bipolar de junção (TBJ)**
- Mostrar o fluxo de portadores no TBJ**
- Determinar as expressões para as correntes no TBJ**
- Criar um modelo para o TBJ**

# O Transistor Bipolar de Junção (npn)



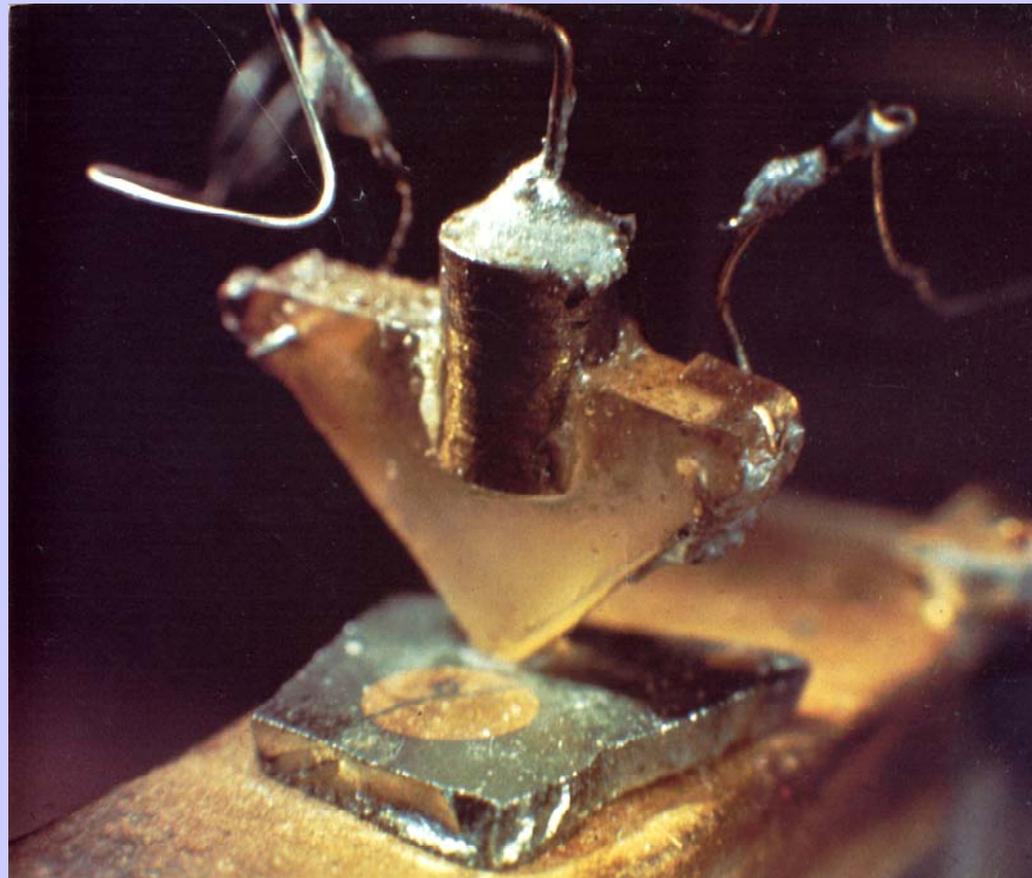
# O Transistor Bipolar de Junção (pnp)



# O Nascimento da Eletrônica Moderna

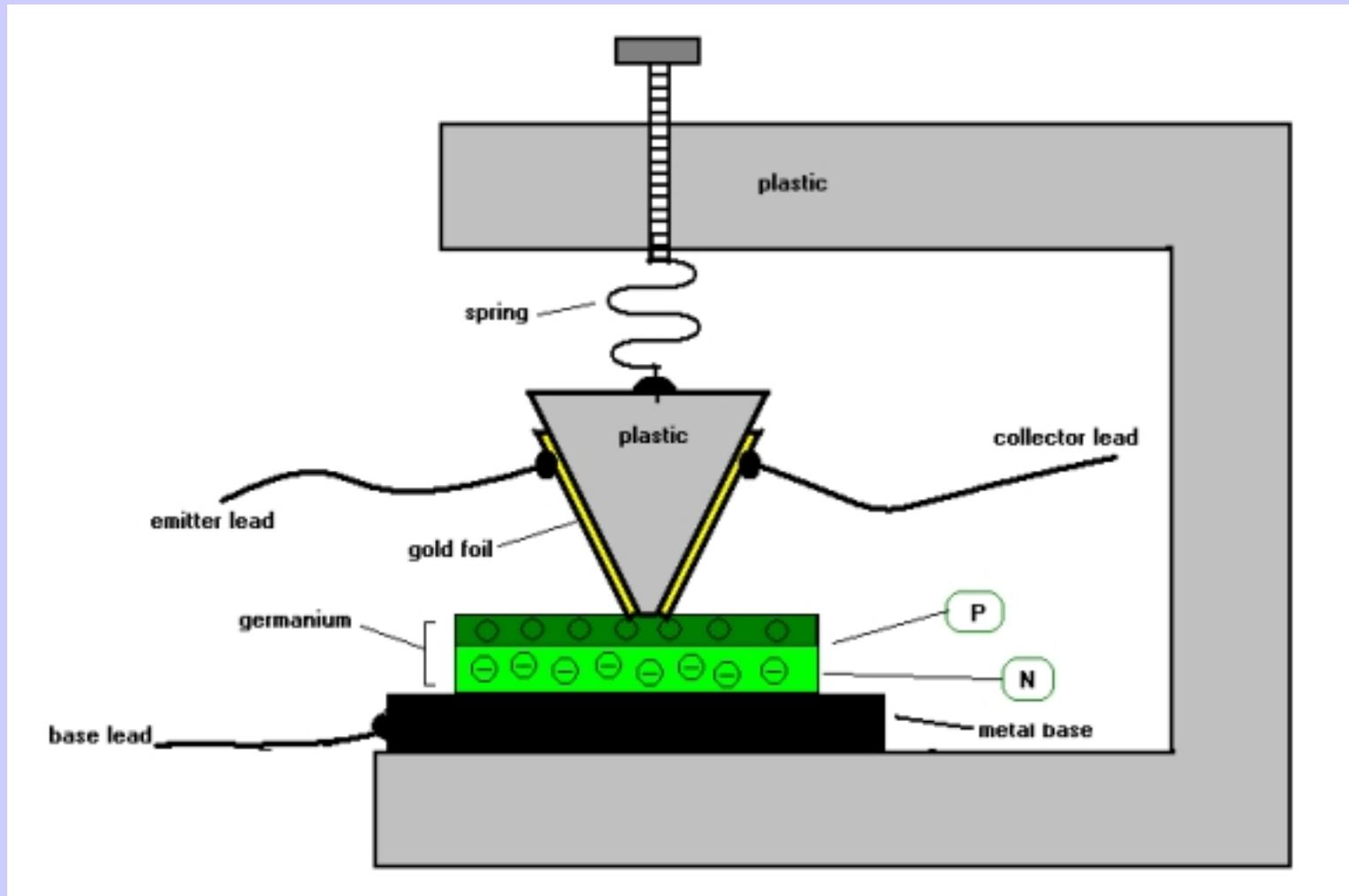
## O Primeiro Transistor Bipolar de Contato (1947)

(Brattain, Bardeen e Shockley)



# 0 Transistor Bipolar de Contato

(Brattain, Bardeen e Shockley)



# O Transistor Bipolar de Contato

## (Brattain, Bardeen e Shockley)

DATE Dec 24 1947  
CASE No. 38139-7

We obtained the following A. C. values at 1000 cycles

$E_g = .016$  R. M. S. volts  $E_p = 1.5$  R. M. S. volts

$P_g = \frac{.0001}{5.4 \times 10^{-7}}$  watts  $P_p = 2.25 \times 10^{-5}$  watts

Voltage gain 100 Power gain 40  
Current less  $\frac{1}{2.5}$

This unit was then connected in the following circuit.

This circuit was actually spoken over and by switching ~~the~~ the driver in and out a distinct gain in speech level could be heard and seen on the scope presentation with no noticeable ~~change~~ in ~~power~~ quality. By measurements at a fixed frequency

DATE Dec 24 1947  
CASE No. 38139-7

in it was determined that the power gain was the order of  $10^2$  or greater. Various people witnessed this test and witnessed (were present) of whom some were the following R. B. Jidney, H. P. Moore, J. Bardeen, G. H. Pearson, W. Shockley, H. Fletcher, R. Brown. Mrs. H. P. Moore assisted in setting up the circuit and the demonstration occurred on the afternoon of Dec 23 1947

Read & understood by  
G. H. Pearson Dec 24, 1947  
H. P. Moore Dec 29, 1947

# O Primeiro Transistor de Contato

O Primeiro transistor foi inventado no Bell Labs em 23 de dezembro de 1947, por Brattain, Bardeen e Shockley.

Embora algum trabalho estivesse sendo feito na Bell durante a guerra, o trabalho na U. Purdue, que era muito consistente em propriedades do germânio, era mais interessante.

Seymour Benzer e Ralph Ray eram estudantes de pós-graduação em 1944 sob orientação de Lark-Horovitz. Benzer estudava a alta resistência de contatos metal-germânio na direção reversa e Bray na direção direta. Os resultados não podiam ser explicados pelas teorias até então conhecidas que diziam que a corrente deveria ser muito menor.

O que eles não sabiam, é que a injeção de portadores minoritários era a responsável. Bray e Benzer mostravam seus resultados a cientistas famosos que os visitavam e que coçavam a cabeça...

# O Primeiro Transistor de Contato

Bray e Benzer apresentaram suas observações sobre contatos pontuais sobre germânio em uma conferência em 1948, semanas após a invenção do transistor na Bell, que ainda era mantido em segredo.

Brattain estava na audiência, sabendo muito bem que o fenômeno era causado por portadores minoritários, e percebeu quão próximos estavam Bray e Benzer da descoberta do transistor. Como Bray disse depois, “estava claro que se eu tivesse aproximado meu eletrodo (fio) do fio de Benzer teríamos descoberto o transistor...”

# O Primeiro Transistor de Contato

Ele na verdade chegou a consultar Brattain que estava preocupado que outro grupo anunciasse antes a descoberta do transistor:

“Eu os deixei simplesmente falando, sem dizer nada”

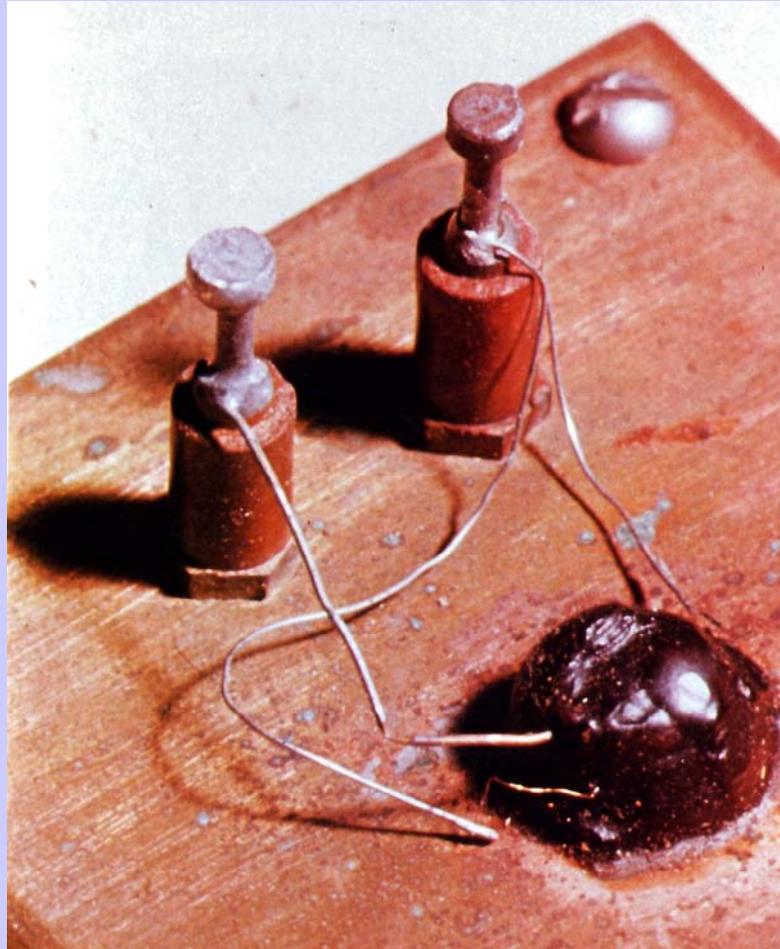
Ao final, ele lembra que Bray disse: “Sabe, se nós puséssemos um outro ponto na superfície do germânio e medíssemos o potencial entre eles, talvez...”

Brattain, não resistindo disse “É, pode ser um ótimo experimento” e afastou-se pensando com seus botões “Ralph acaba de descrever o experimento que nos levou à invenção do transistor algumas semanas atrás !!!!”

EM: Ernest Braun e Stuart Macdonald “Revolution in Miniature: The history and impact of semiconductor electronics”

# O Primeiro Transistor de Junção

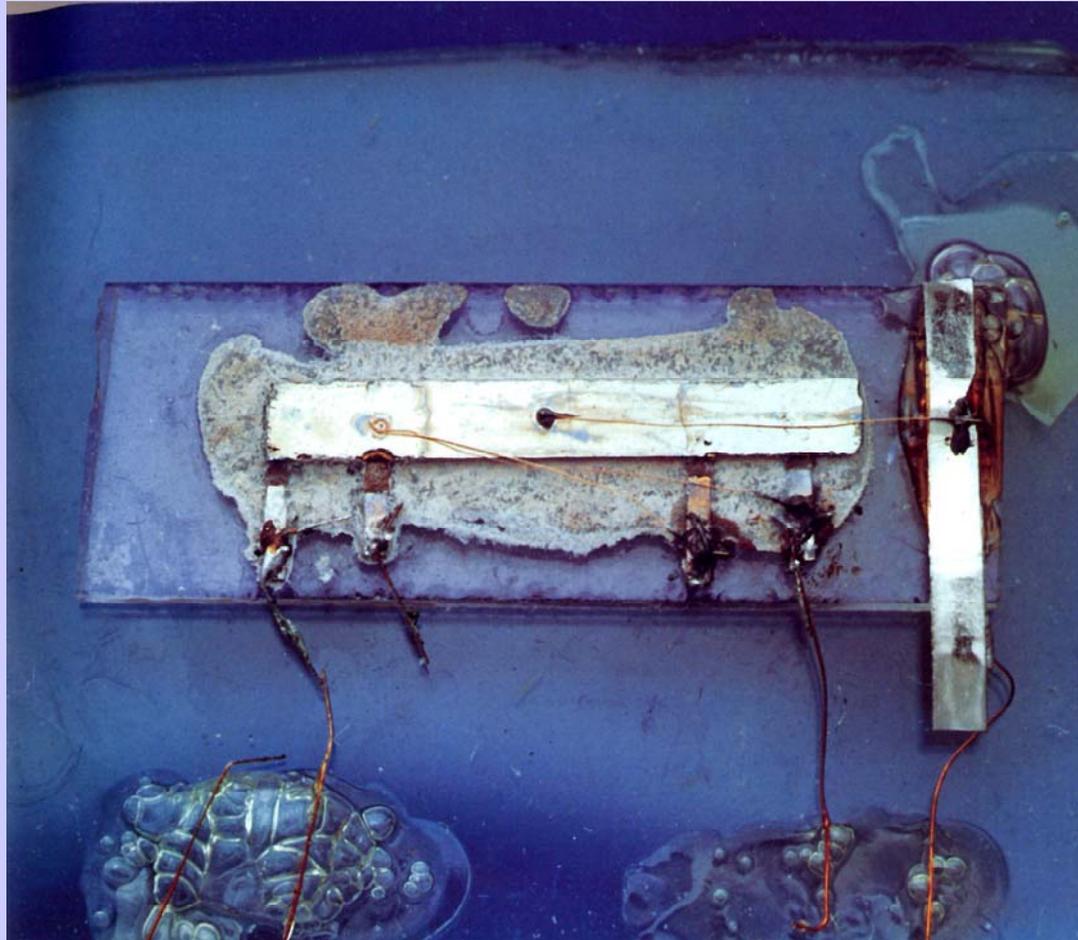
## 1950 (Bell Labs)



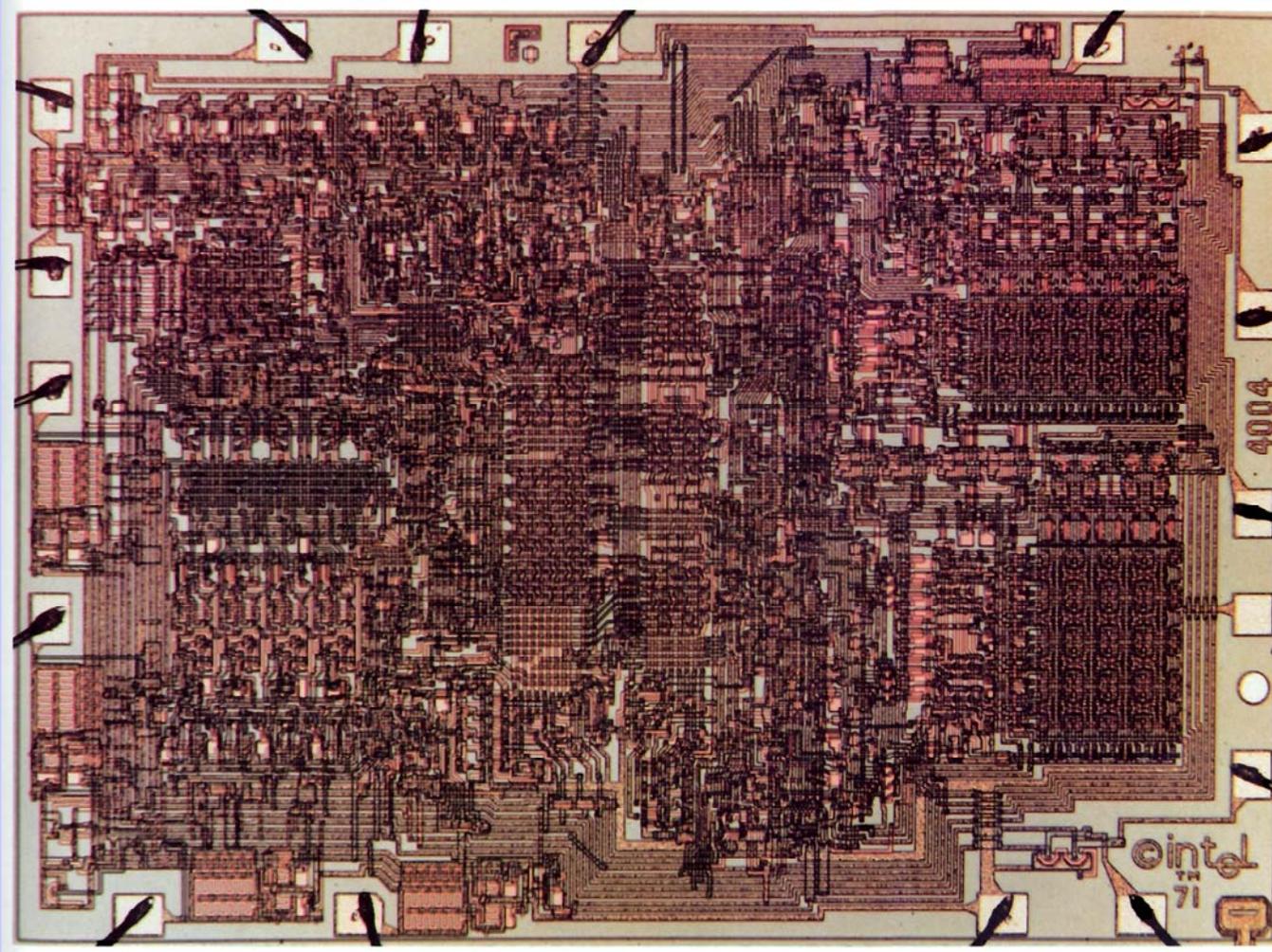
# A Revolução em Miniatura Começa

## O Primeiro CI

Texas Instruments (1958)



# O Primeiro Processador Intel 4004 (1971)



# Modos de Operação

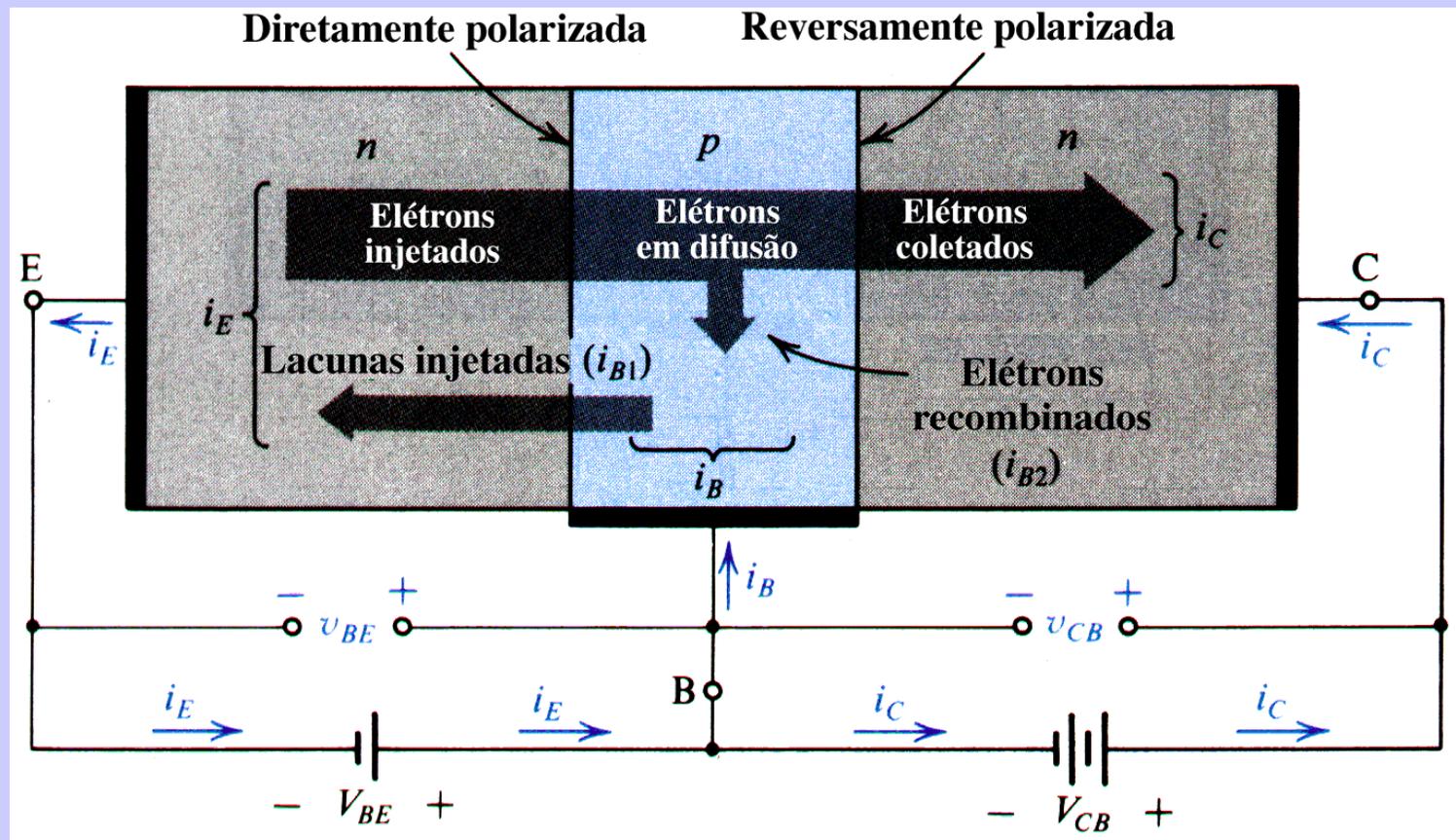
Tabela 4.1 MODOS DE OPERAÇÃO DO TBJ.

Modo	JEB	JBC
Corte	Reversa	Reversa
Ativo	Direta	Reversa
Saturação	Direta	Direta

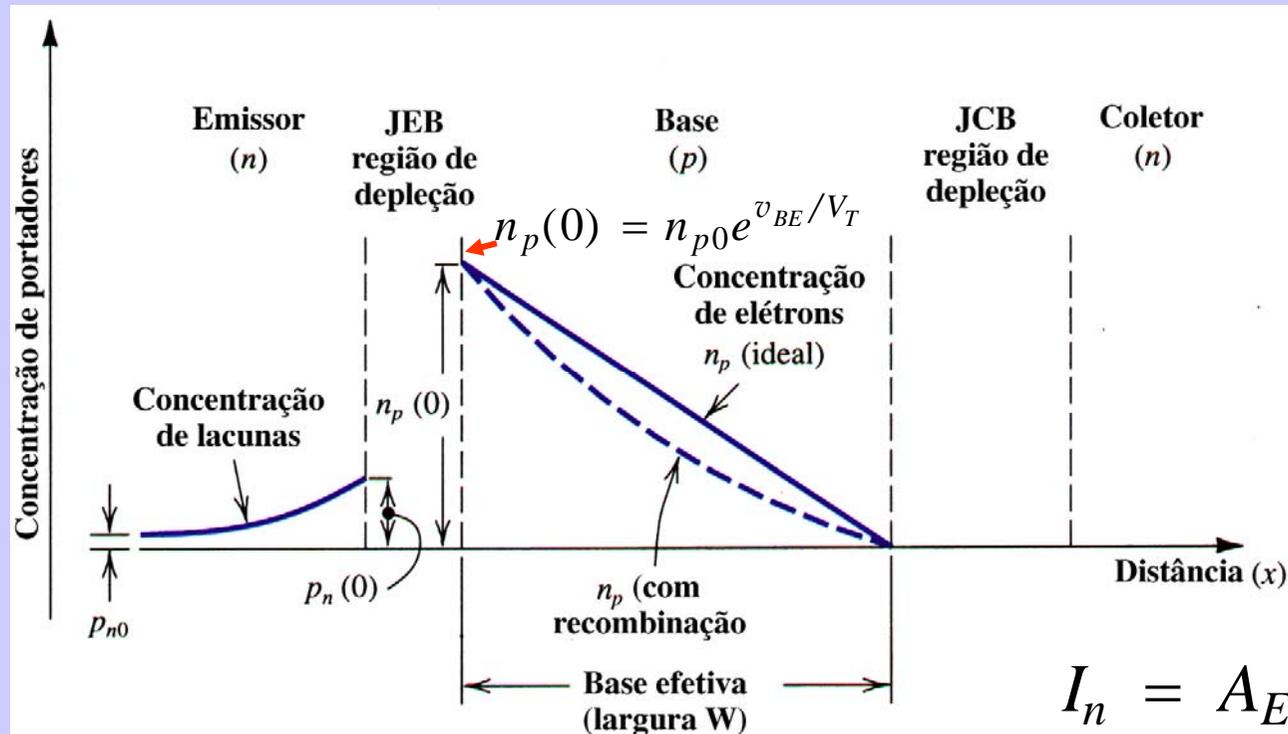
**INDEPENDENTE SE NPN OU PNP!!!**

# O Transistor Bipolar

$j_{BE}$  dir. pol. e  $j_{BC}$  rev. pol. (modo ativo)



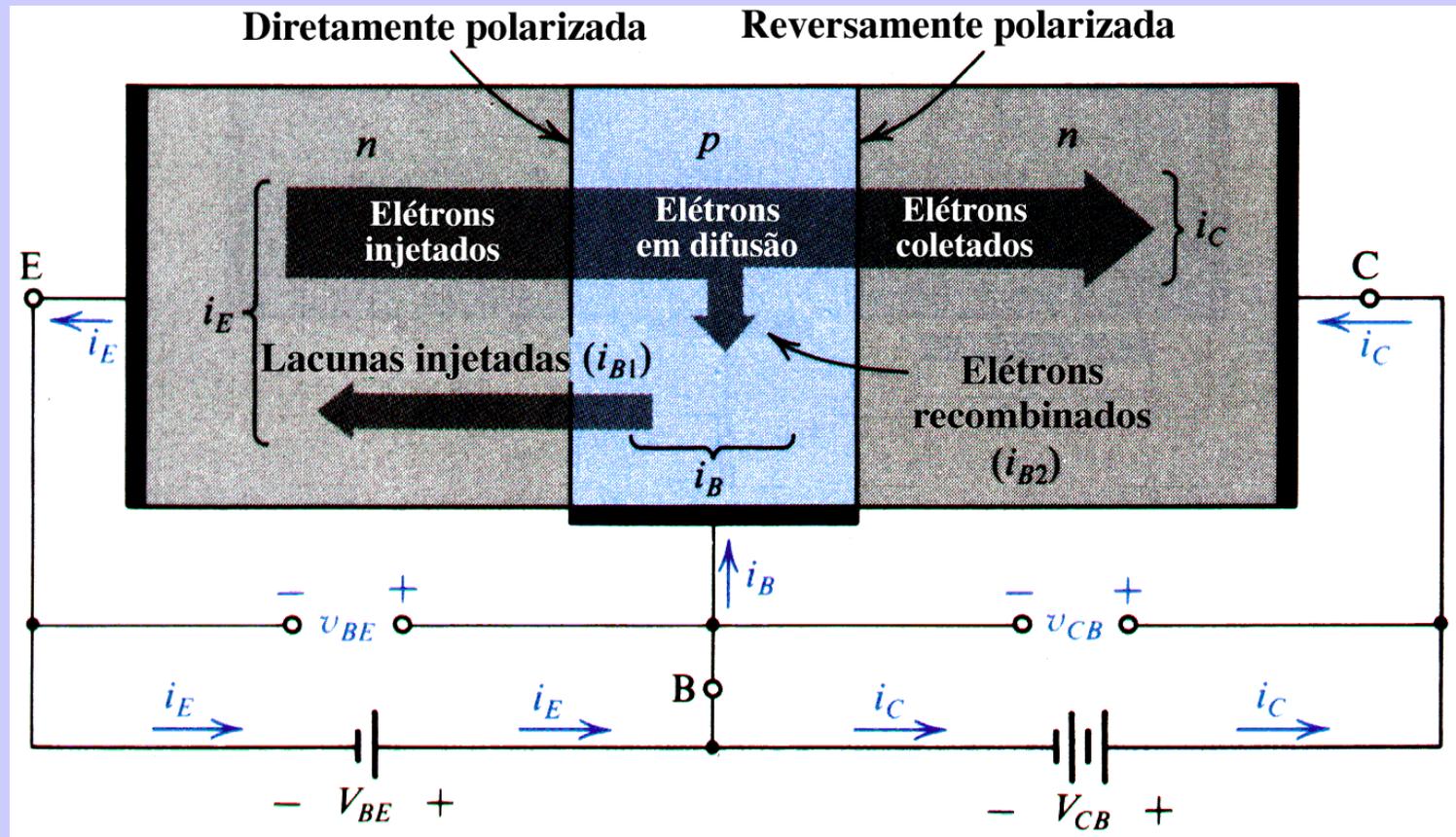
# A distribuição de portadores minoritários



$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx}$$

$$= A_E q D_n \left( - \frac{n_p(0)}{W} \right)$$

# A corrente no coletor



# A corrente no coletor

$$n_p(0) = n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx} = A_E q D_n \left( -\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

$$= A_E q D_n \left( -\frac{n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}}{W} \right)$$

$$I_C = -I_n = A_E q D_n \left( \frac{n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}}{W} \right)$$

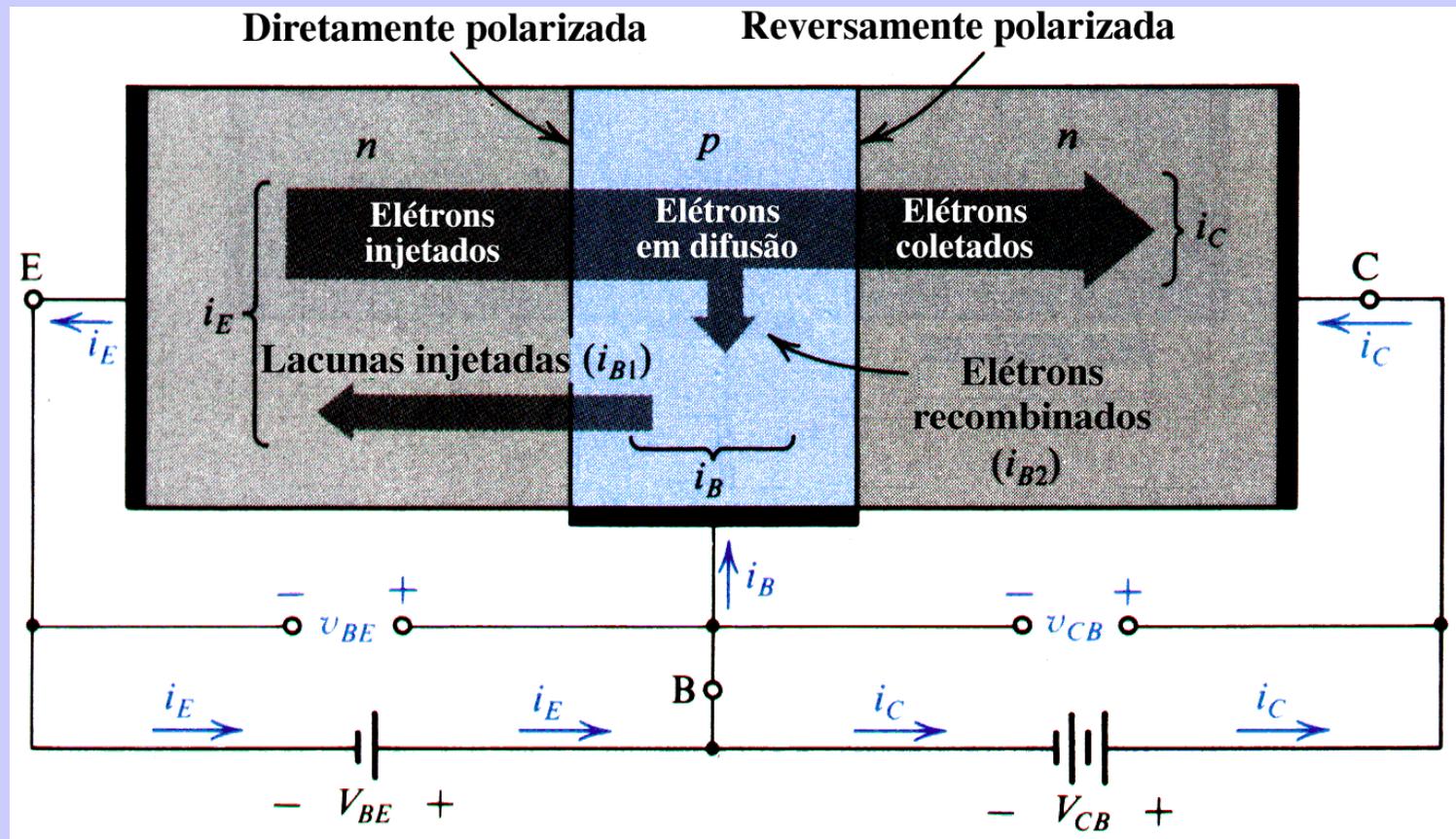
$$= \frac{A_E q D_n n_{p0}}{W} e^{v_{BE}/V_T} = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$= I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{sendo } I_S \text{ a corrente de saturação}$$

**lembrem, no diodo**

$$I_S = A q n_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right)$$

# A corrente na base



# A corrente na base

Ela possui duas componentes:

-A corrente devido às lacunas injetadas da base para o emissor ( $I_{B1}$ )

$$i_{B1} = \frac{A_E q D_p n_i^2}{N_D L_p} e^{v_{BE}/V_T}$$

-A corrente devido às lacunas fornecidas pelo circuito externo para compensar as lacunas consumidas por recombinação ( $I_{B2}$ )

Se  $\tau_b$  é o tempo de vida de portadores minoritários, em  $\tau_b$  segundos  $Q_n$  cargas se recombina com as lacunas:

$$i_{B2} = \frac{Q_n}{\tau_b} \quad \text{onde} \quad Q_n = A_E q \times \frac{1}{2} n_p(0) W$$

# A corrente na base

Ou seja:

$$Q_n = \frac{A_E q W n_i^2}{2 N_A} e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{e} \quad i_{B2} = \frac{1}{2} \frac{A_E q W n_i^2}{\tau_b N_A} e^{v_{BE}/V_T}$$

Assim:

$$i_B = I_S \left( \frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

# Resumindo

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = I_S \left( \frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

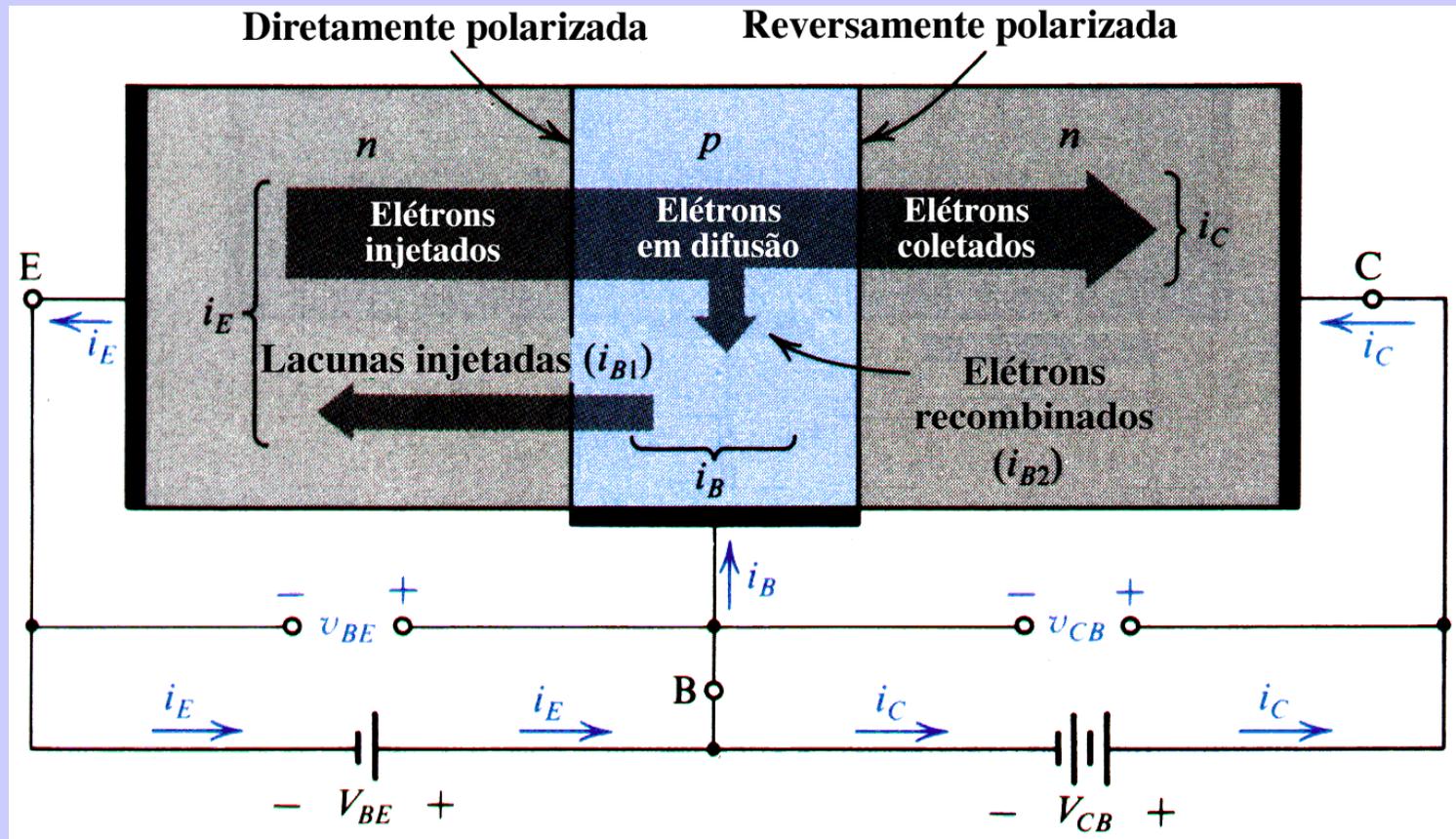
Ou:

$$i_B = i_C \left( \frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) = \frac{i_C}{\beta}$$

Onde:

$$\beta = 1 / \left( \frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right)$$

# A corrente no emissor



# A corrente no emissor

$$i_E = i_C + i_B = i_C + \frac{i_C}{\beta} = i_C \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right)$$

se  $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$  ou  $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$  então  $i_C = \alpha i_E$

então  $i_E = (I_S / \alpha) e^{v_{BE}/V_T}$

se  $\beta = 100$ , então  $\alpha \cong 0,99$ .

# Expressões para as Correntes em um Transistor Bipolar na Região Ativa

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left( \frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left( \frac{I_S}{\alpha} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C = \alpha i_E \quad i_B = (1 - \alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta + 1}$$

$$i_C = \beta i_B \quad i_E = (\beta + 1) i_B$$

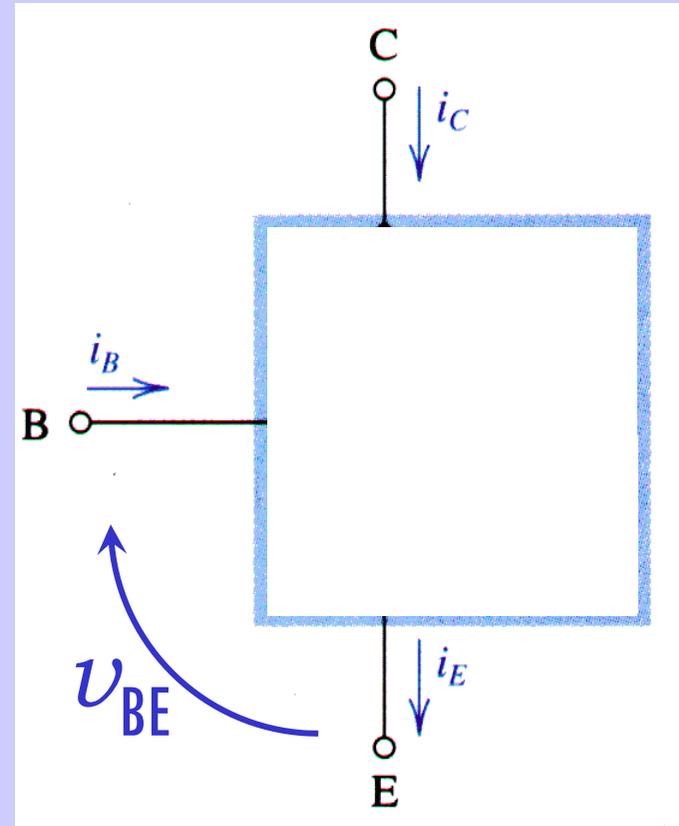
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$V_T =$  tensão térmica  $= kT/q \cong 25$  mV a temperatura ambiente

# Um modelo para o Transistor NPN na região ativa

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = (I_S/\alpha) e^{v_{BE}/V_T}$$



**Modelo (nnp) para grandes sinais na região ativa!**

**“O uso tecnológico que a sociedade faz de uma compreensão que a ciência traz nem sempre é o que o cientista recomendaria ou perdoaria... Todos os cidadãos são igualmente responsáveis pelo que é feito.”**

**Walter H. Brattain — Prêmio Nobel 2 vezes**