

# Uma introdução ao diodo e suas características

**Vitorvani Soares**

**Colaborador: Prof. Vagner Cruz**

IF-UFRJ 2017



**INSTITUTO DE FÍSICA**

**SEMINÁRIOS DO  
MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA**

# Plano da apresentação

- Introdução
- O diodo no Ensino Médio
- Um pouco da história do diodo
- O experimento
  - Resultados
  - Análise
- Conclusões

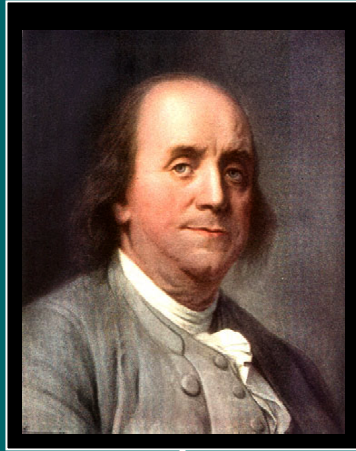
# Introdução

- O diodo e a sua importância para o desenvolvimento científico e tecnológico.
- Introdução do estudo para o terceiro ano do ensino médio.
- Metodologia em sala de aula (sugestão): apresentação, primeiro contato, experimento e conclusão.
- Experimento de baixo custo com análise de dados simples.

# O diodo no ensino médio

- Orientação dos PCNEM's para incluir aspectos da física moderna no ensino médio.
- Importância destes componentes na vida moderna.
- Os alunos podem melhorar a compreensão dos aparelhos eletrônicos utilizados no seu cotidiano.
- Escassez de abordagem deste assunto nos livros.
- O método do nosso trabalho pode ser utilizado em outros domínios como a área biomédica.

# Evolução histórica



1740



1860



1860



1860

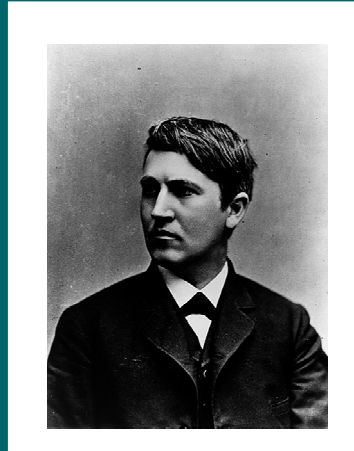
- Benjamim Franklin
- Johann Wilhelm Hittorf
- Sir William Crookes
- James Clerk Maxwell

# Evolução histórica



1870

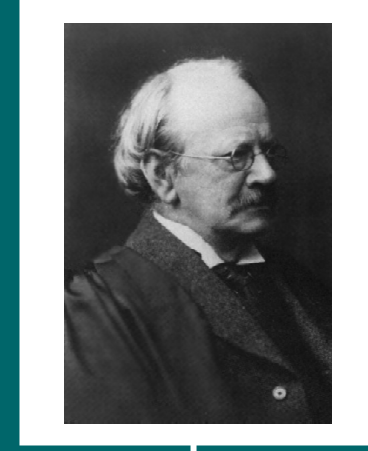
Karl Ferdinand Braun  
Thomas Alva Edison  
Rudolph Hertz  
Joseph John Thomson



1880

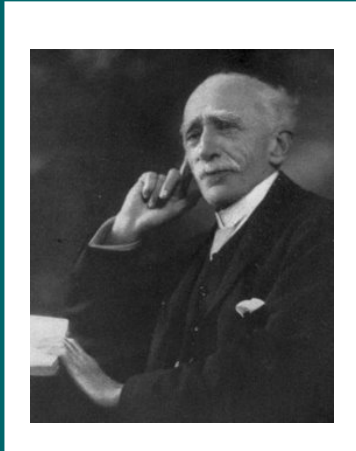


1890

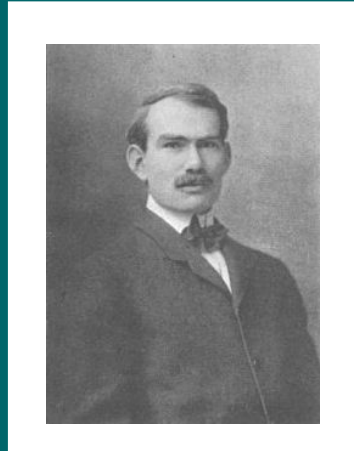


1900

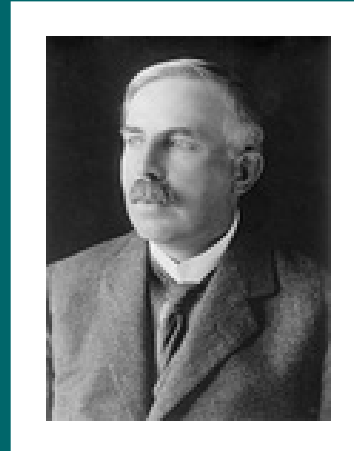
# Evolução histórica



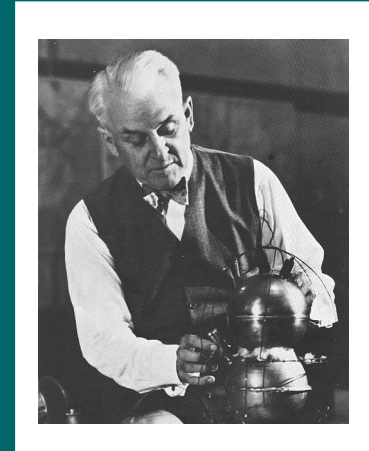
1900



1900



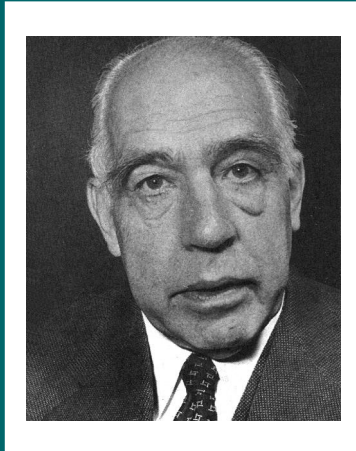
1910



1910

- Ambrose Fleming
- Lee DeForest
- Ernest Rutherford
- Robert Milikan

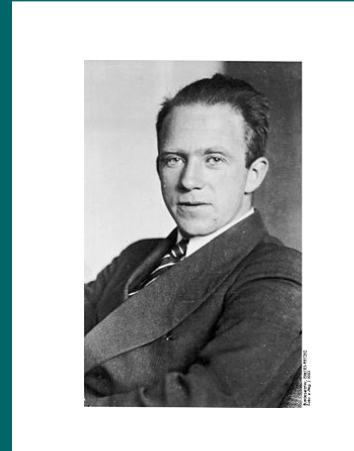
# Evolução histórica



1910



1910



1910

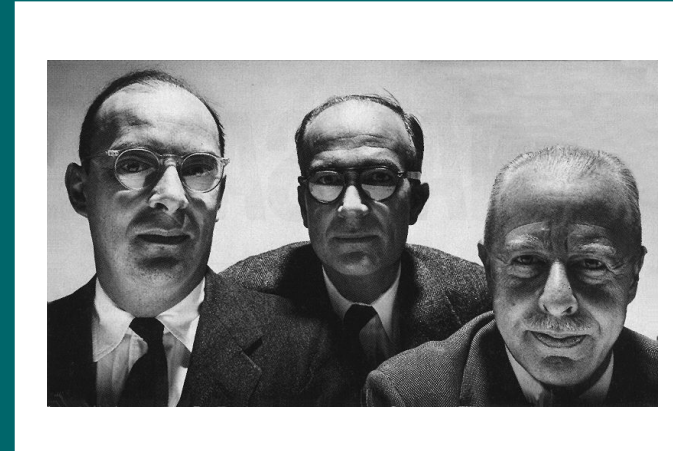
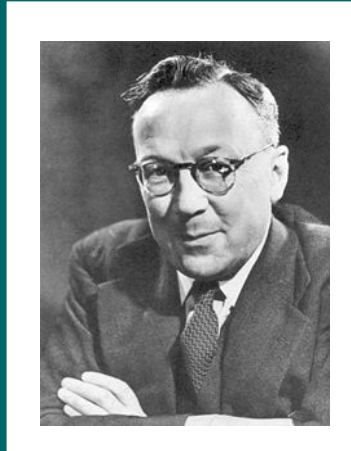
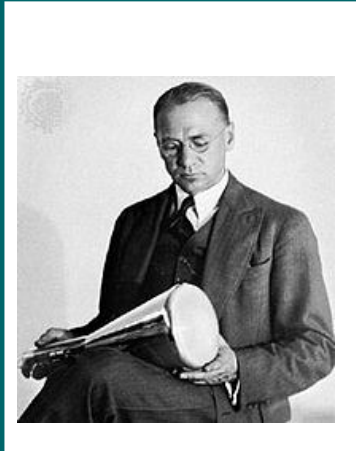


1920

- Niels Bohr
- Louis-Victor-Pierre-Raymond, sétimo duque de Broglie
- Werner Karl Heisenberg
- Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger



# Evolução histórica



**1940**

**1940**

**1950**

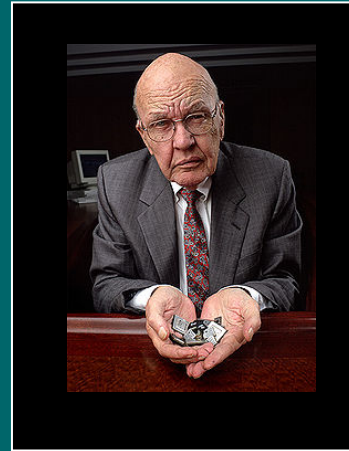
- Vladimir Kozmich Zworykin
- Sir Robert Alexander Watson-Watt
- John Bardeen, Walter Houser Brattain, William Bradford Shockley

# Evolução histórica

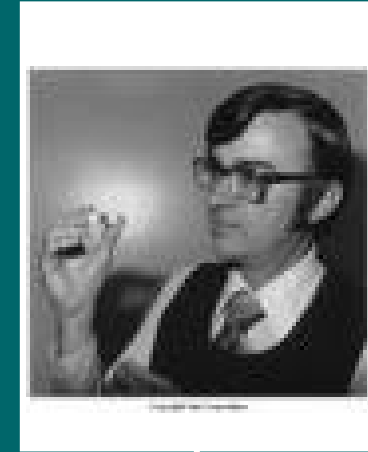


**1950**

- John Adam Presper "Pres" Eckert Jr., John William Mauchly
- Jack St. Clair Kilby
- Marcian Edward "Ted" Hoff, Jr.

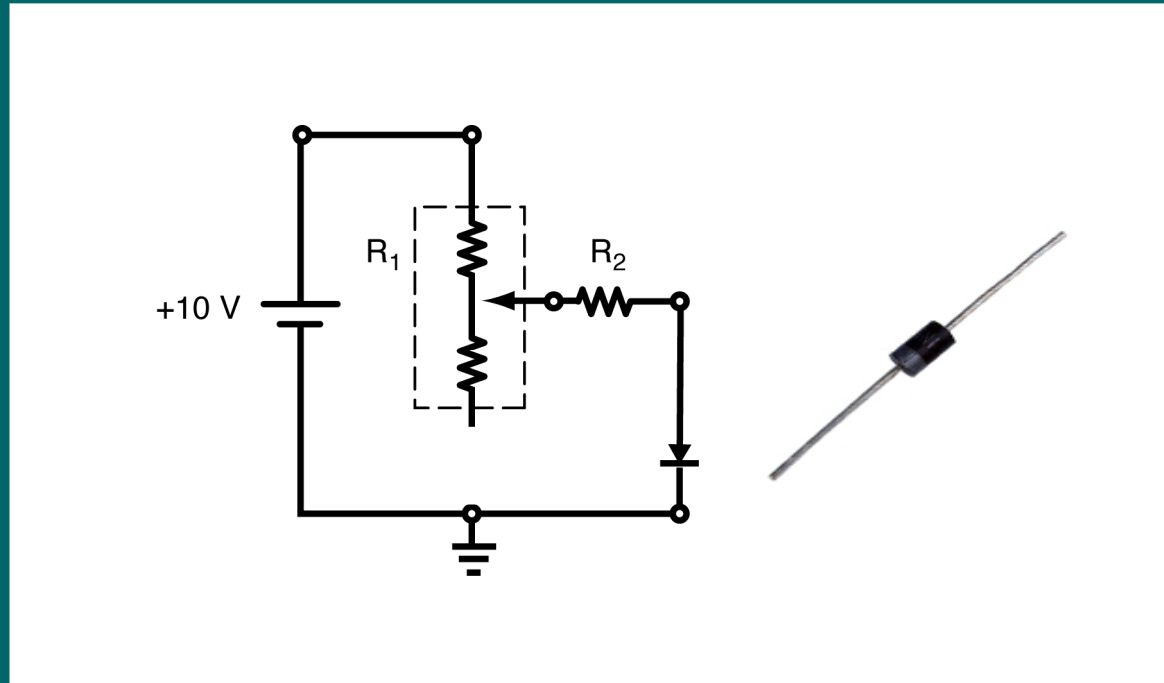


**1960**



**1970**

# O experimento



Representação esquemática do circuito simples utilizado nesta experiência para a obtenção da curva característica do diodo. A voltagem em  $R_2$  nos informa a corrente que flui através do diodo. Representamos também o diodo semicondutor tradicional. A faixa branca a esquerda indica a polaridade dele.

# O experimento



Equipamentos utilizados nos três experimentos.

# Resultados obtidos

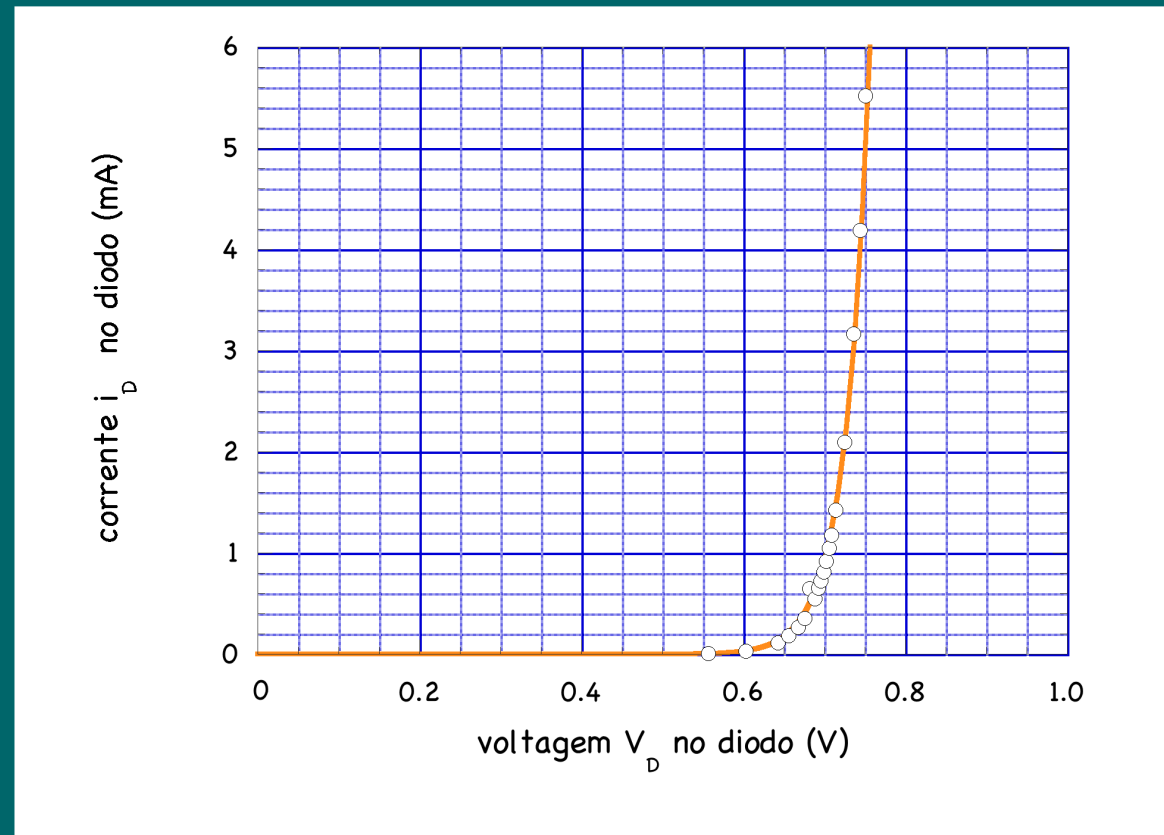


Gráfico de correlação entre a corrente elétrica e a tensão associada ao diodo, obtida através das grandezas colhidas com o auxílio dos multímetros digitais para a temperatura ambiente.

# Resultados obtidos

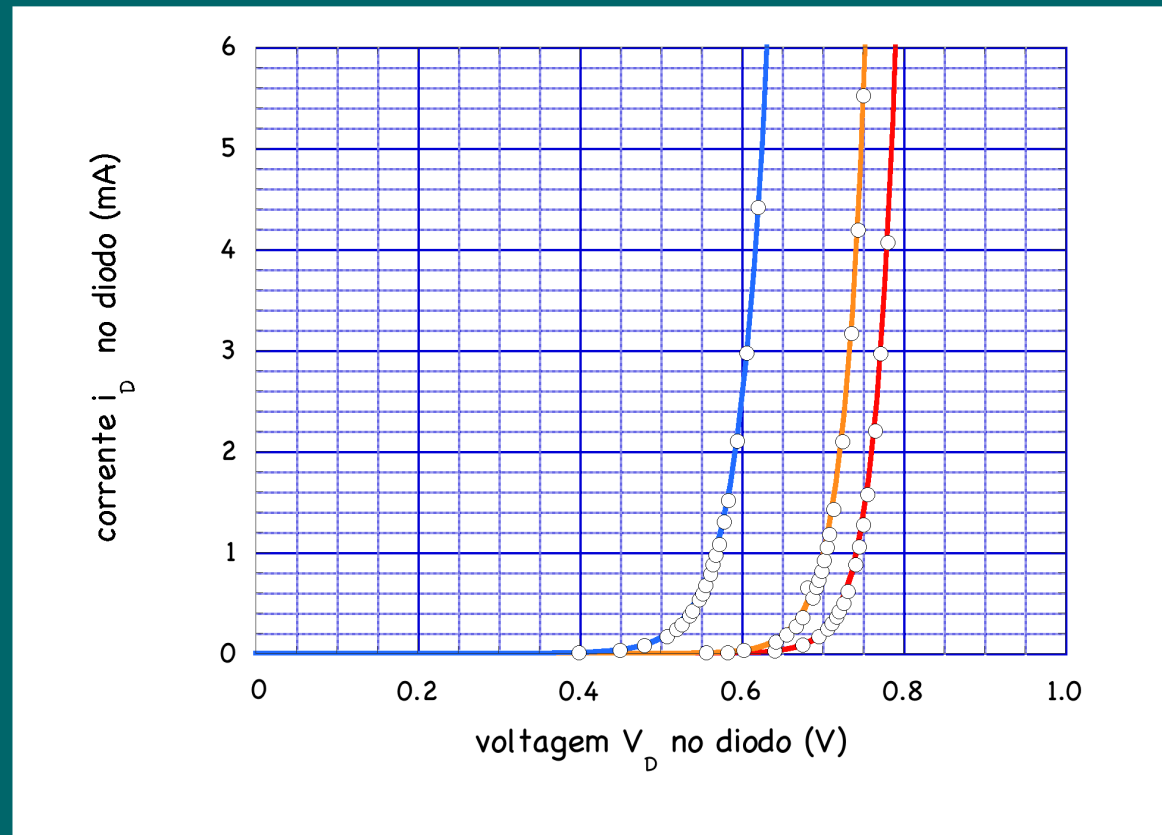
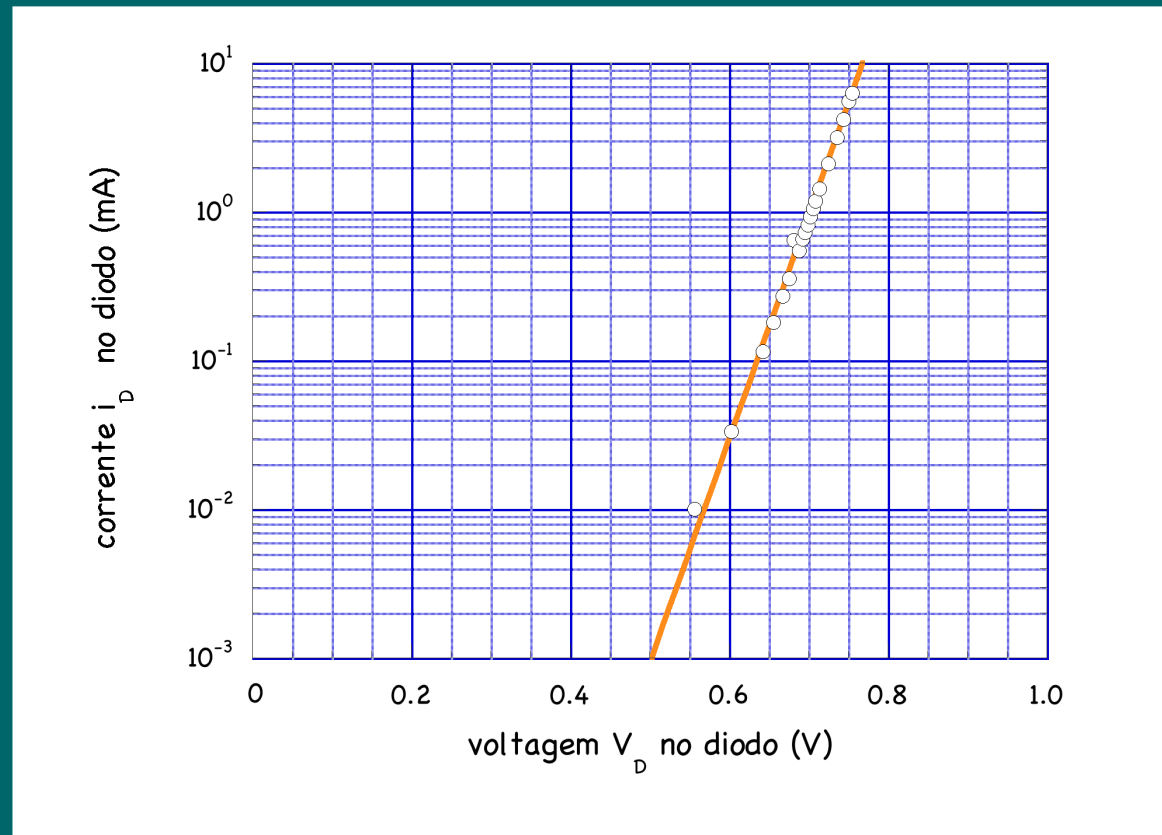


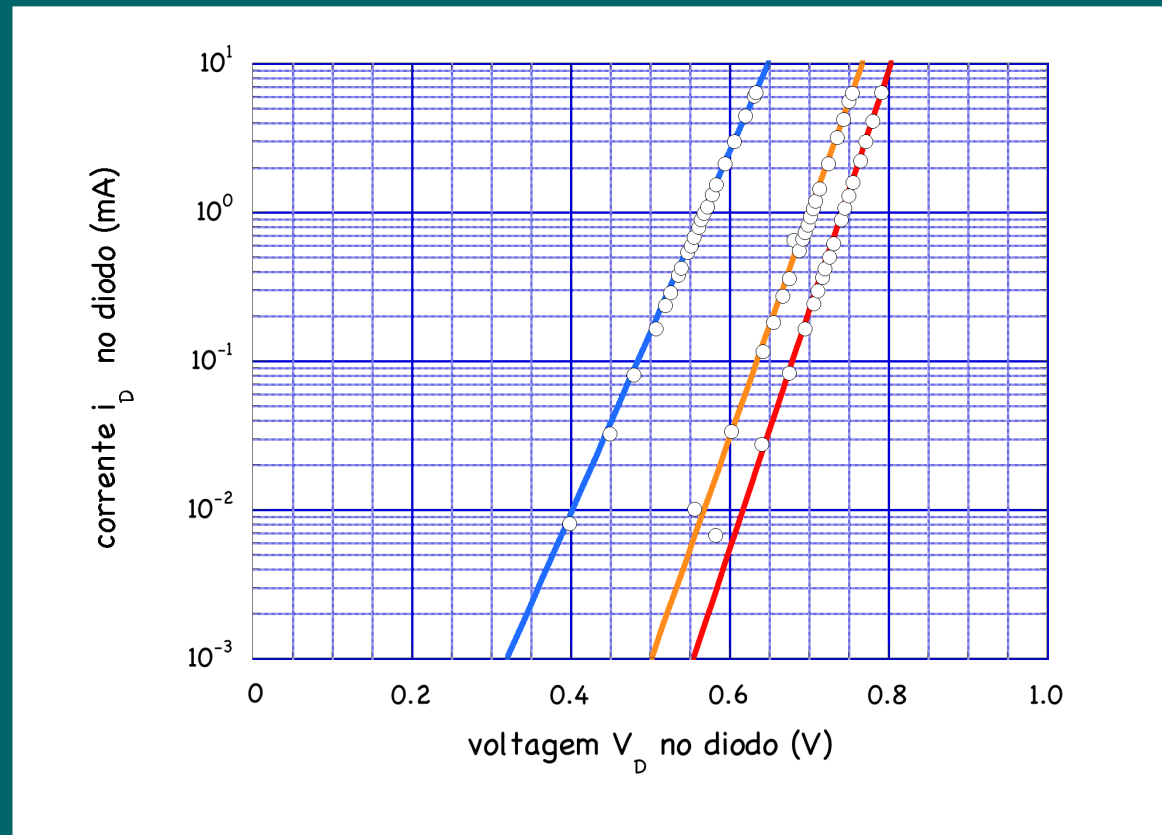
Gráfico de correlação entre a corrente elétrica e a tensão associada ao diodo, para as temperaturas de 0 °C (linha vermelha), 23 °C (linha laranja) e 100 °C (linha azul).

# Análise dos resultados



Ajuste exponencial da curva característica do diodo, para o diodo à temperatura ambiente.

# Análise dos resultados



Ajuste exponencial da curva característica do diodo, para o diodo às temperaturas de 0 °C (linha vermelha), 23 °C (linha laranja) e 100 °C (linha azul).



# Análise dos resultados

- Ajuste linear:

$$\log(I) = \log(i_0) + b \log eV$$

- Pelas regras do logaritmo:

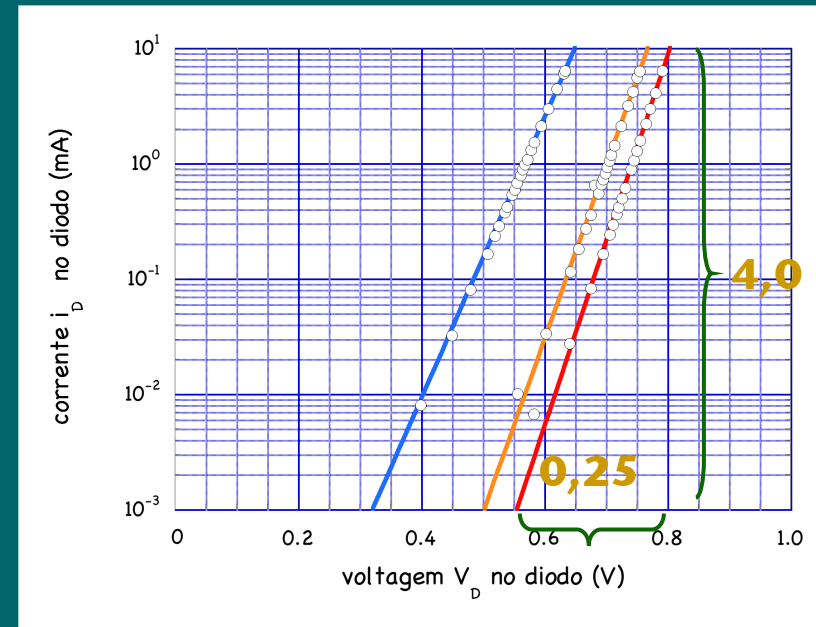
$$\ln I = \frac{\log(I)}{\log e} = \frac{\log(i_0)}{\log e} + bV$$

$$\ln I = \ln i_0 + \ln[\exp(bV)]$$

- Assim, temos:

$$I = i_0 \exp(bV)$$

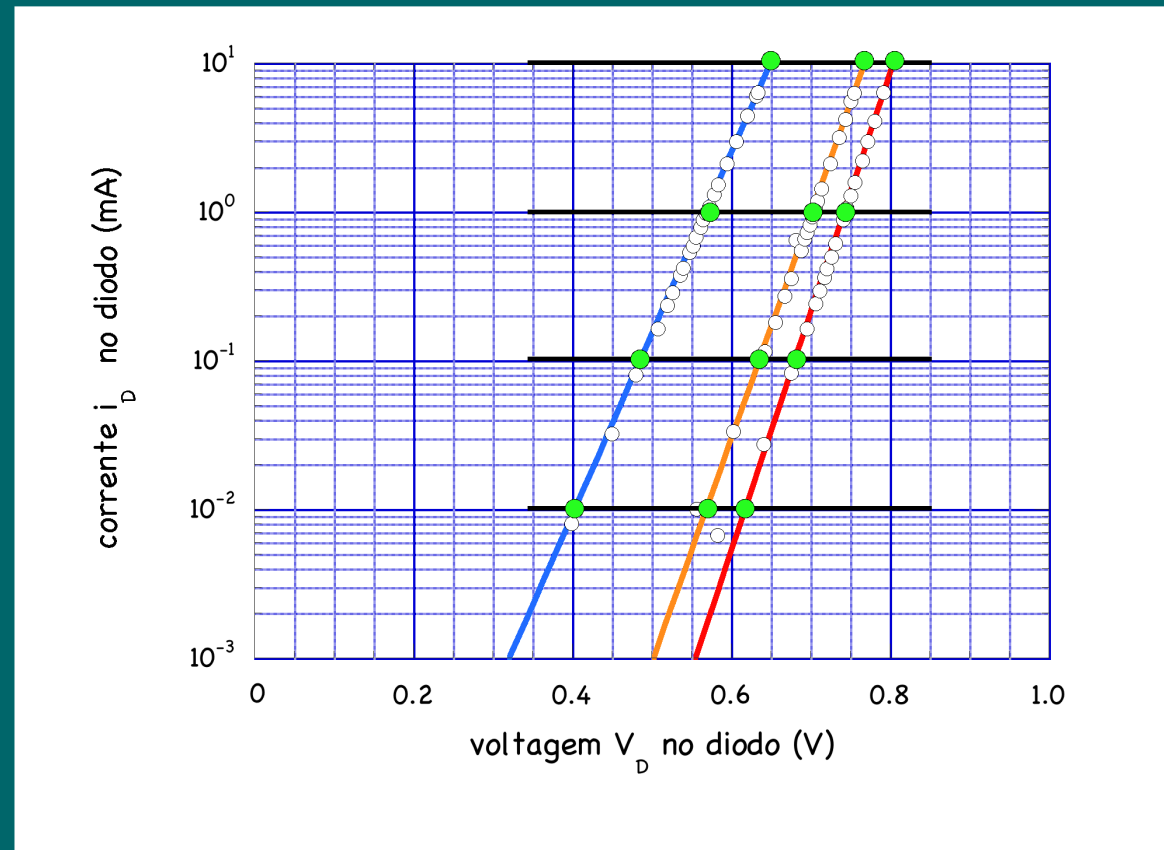
- Portanto, podemos concluir que:



$T(^{\circ}\text{C})$	$I_0 \text{ (mA)}$	$b \text{ (V}^{-1}\text{)}$
0	$(1,2 \pm 0,8) \times 10^{-12}$	$36,9 \pm 0,5$
23	$(3,0 \pm 0,4) \times 10^{-11}$	$34,6 \pm 0,5$
100	$(31 \pm 1) \times 10^{-7}$	$28,0 \pm 0,2$

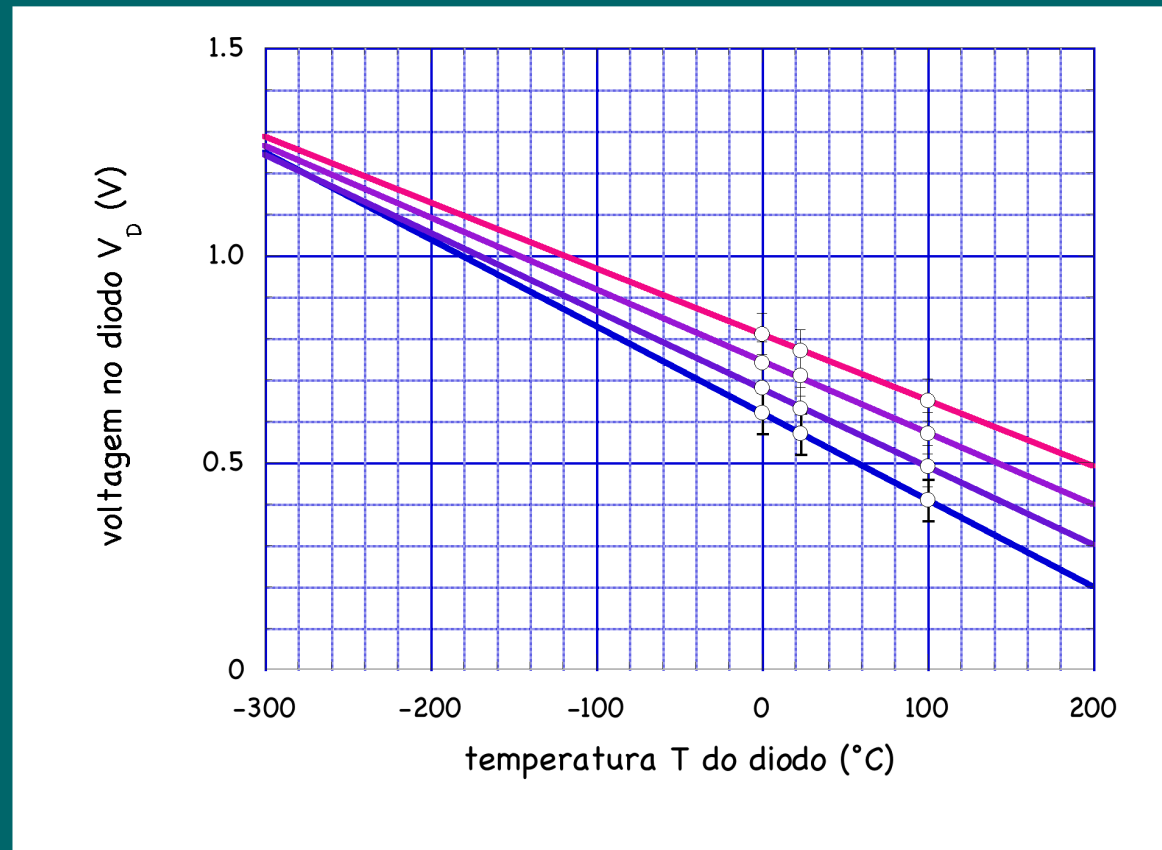
$$b = \frac{1}{\log e} \frac{4,0}{0,25} = \left( \frac{1}{0,43} \right) \left( \frac{4,0}{0,25} \right) = 37 \text{ V}^{-1}$$

# Análise dos resultados



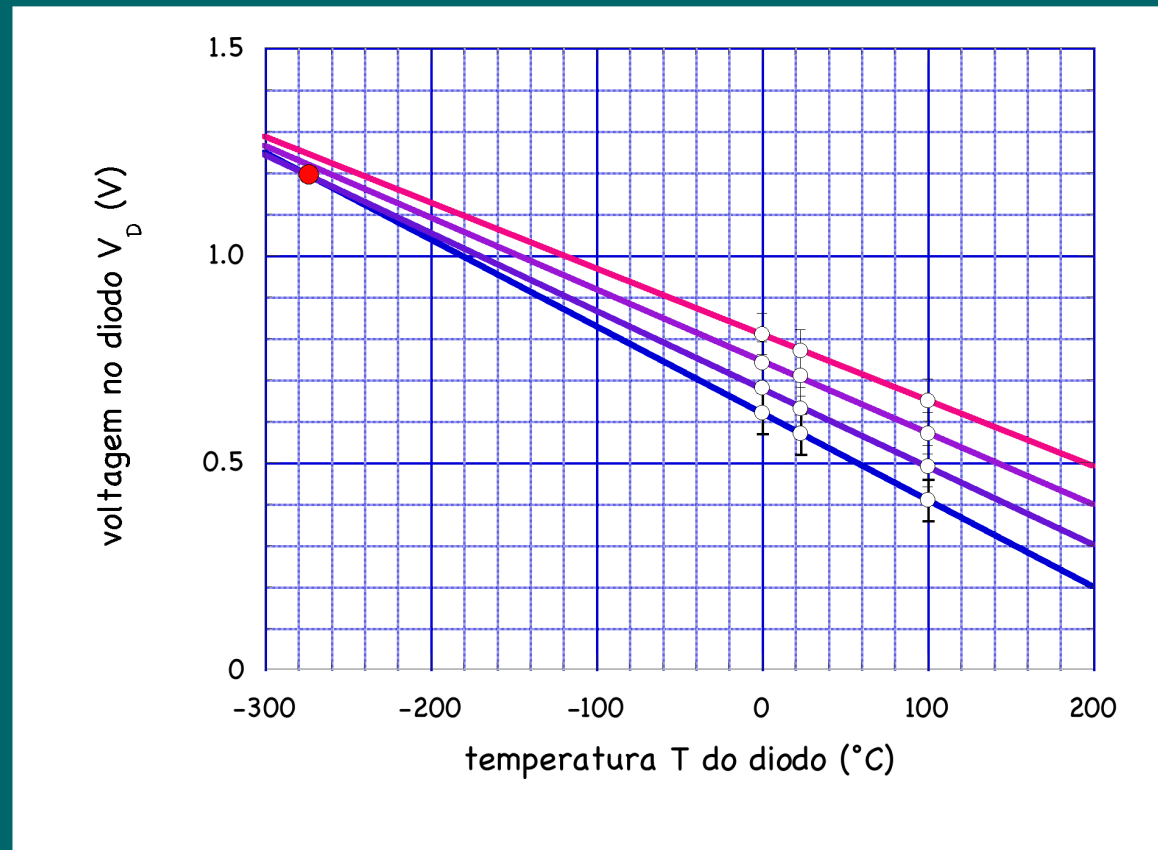
Comportamento da corrente no diodo em função da tensão a qual ele está submetido, para diferentes temperaturas. As linhas pretas indicam a tensão no diodo para diferentes temperaturas, para uma dada corrente através do diodo.

# Análise dos resultados



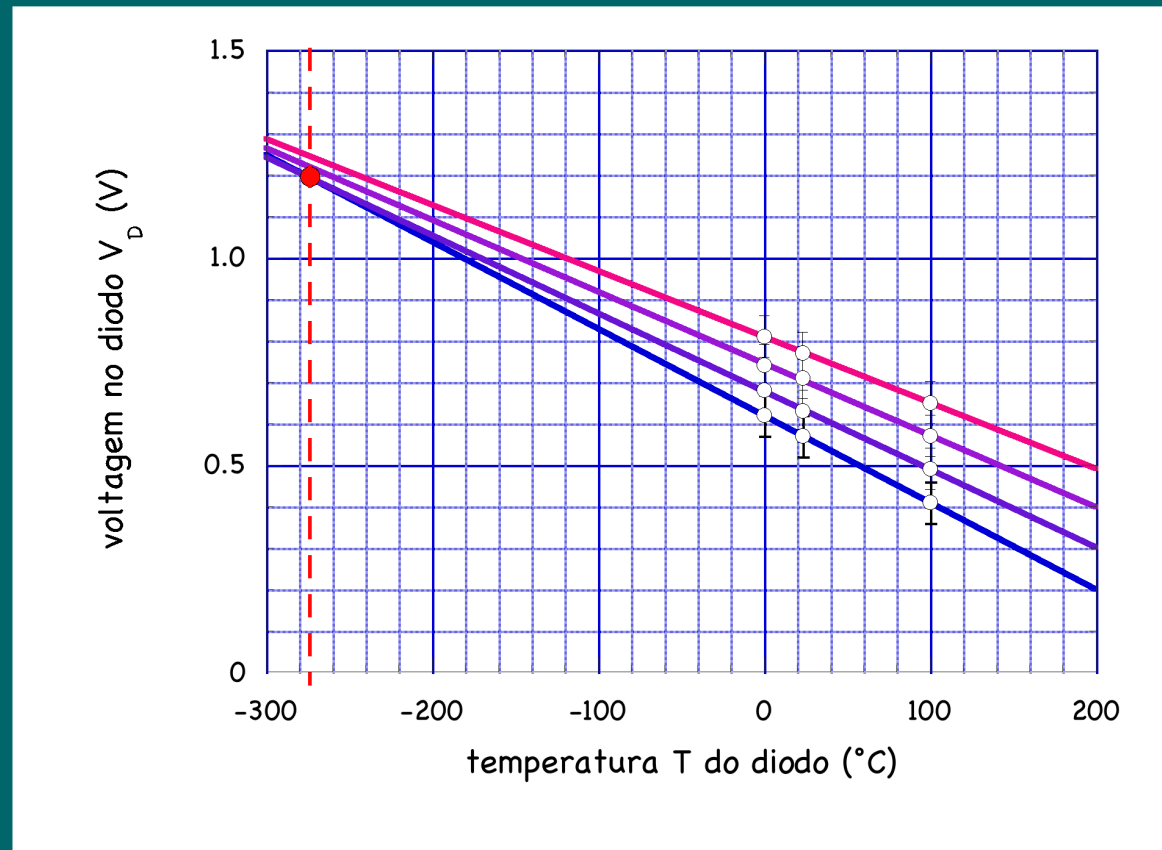
Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA.

# Análise dos resultados



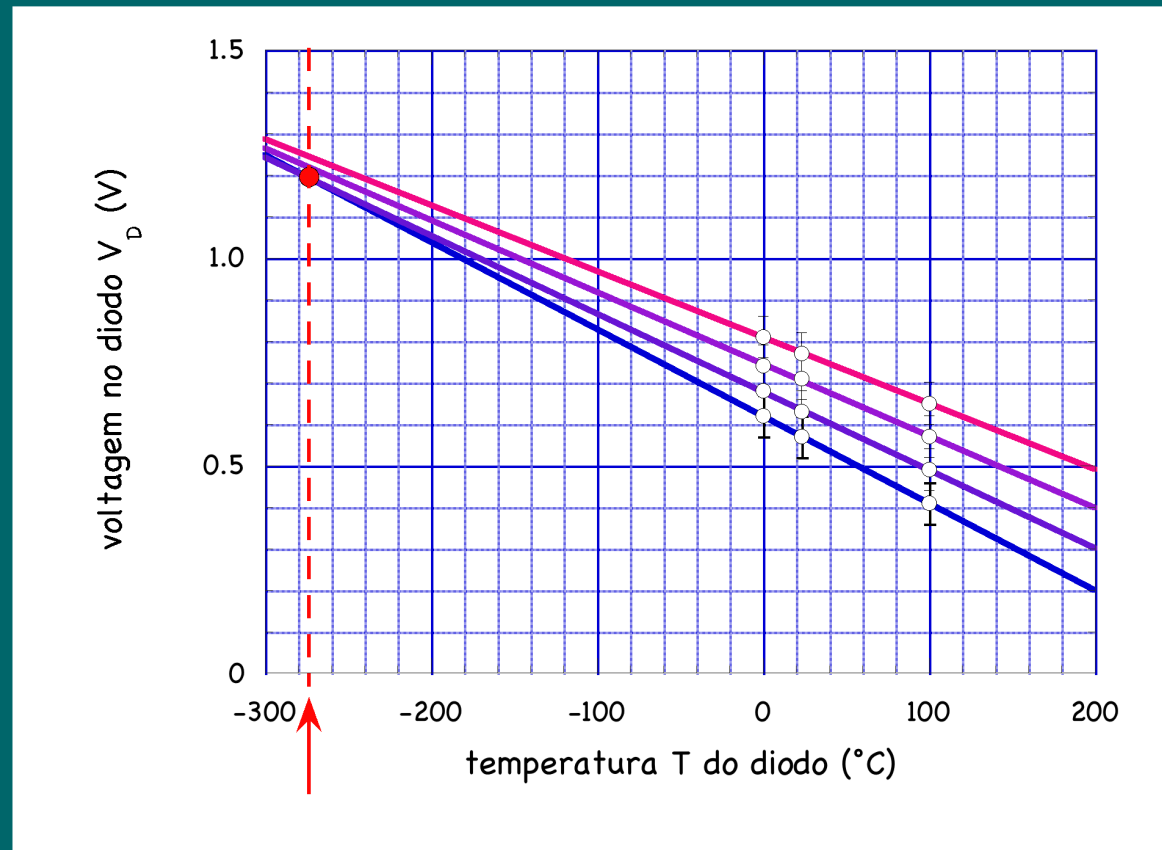
Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de voltagem a temperatura de  $-273$  °C.

# Análise dos resultados



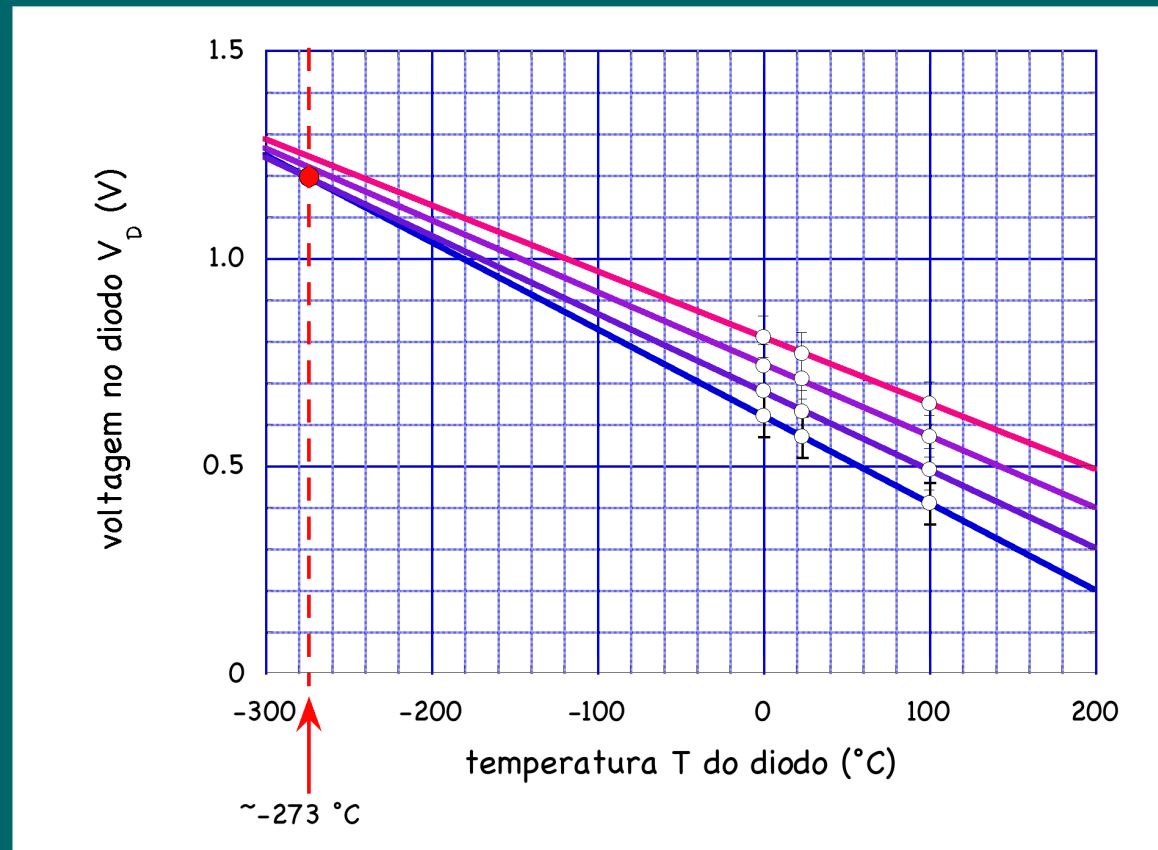
Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de voltagem a temperatura de  $-273$  °C.

# Análise dos resultados



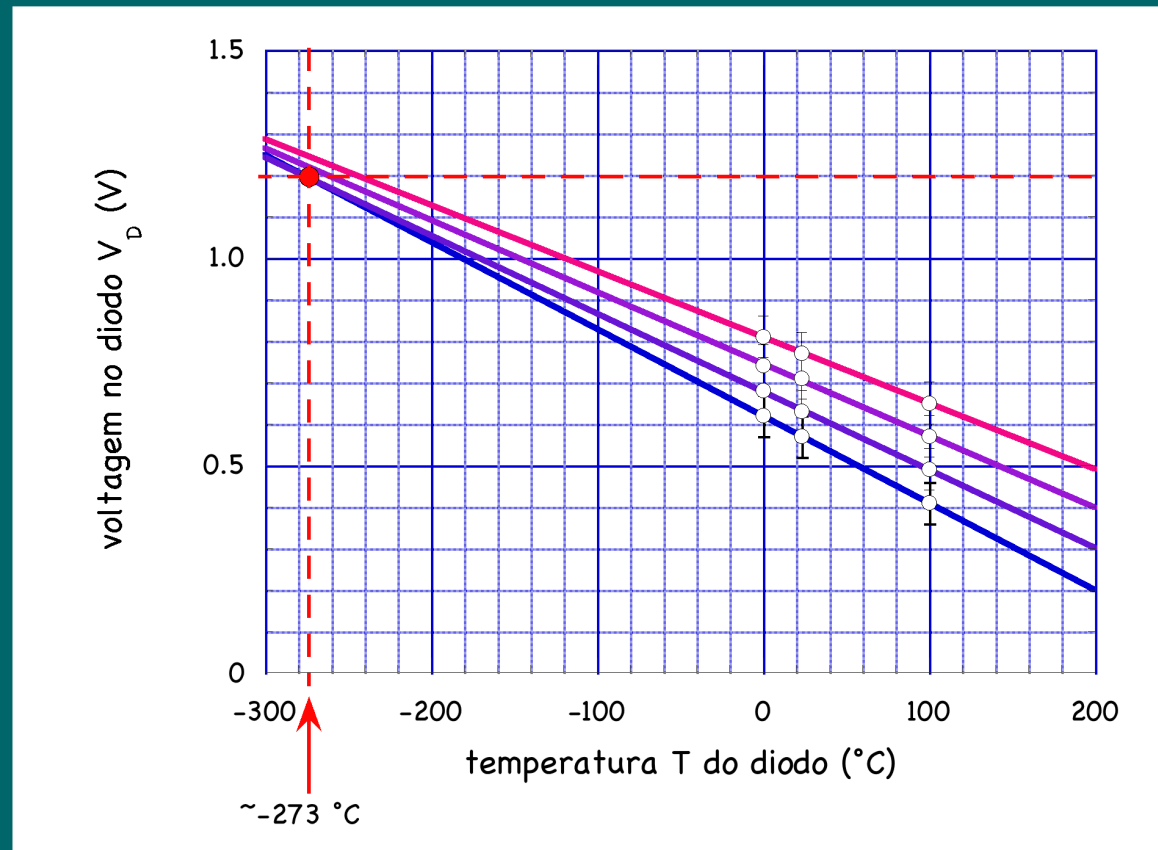
Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de voltagem a temperatura de  $-273\text{ °C}$ .

# Análise dos resultados



Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de voltagem a temperatura de  $-273$  °C.

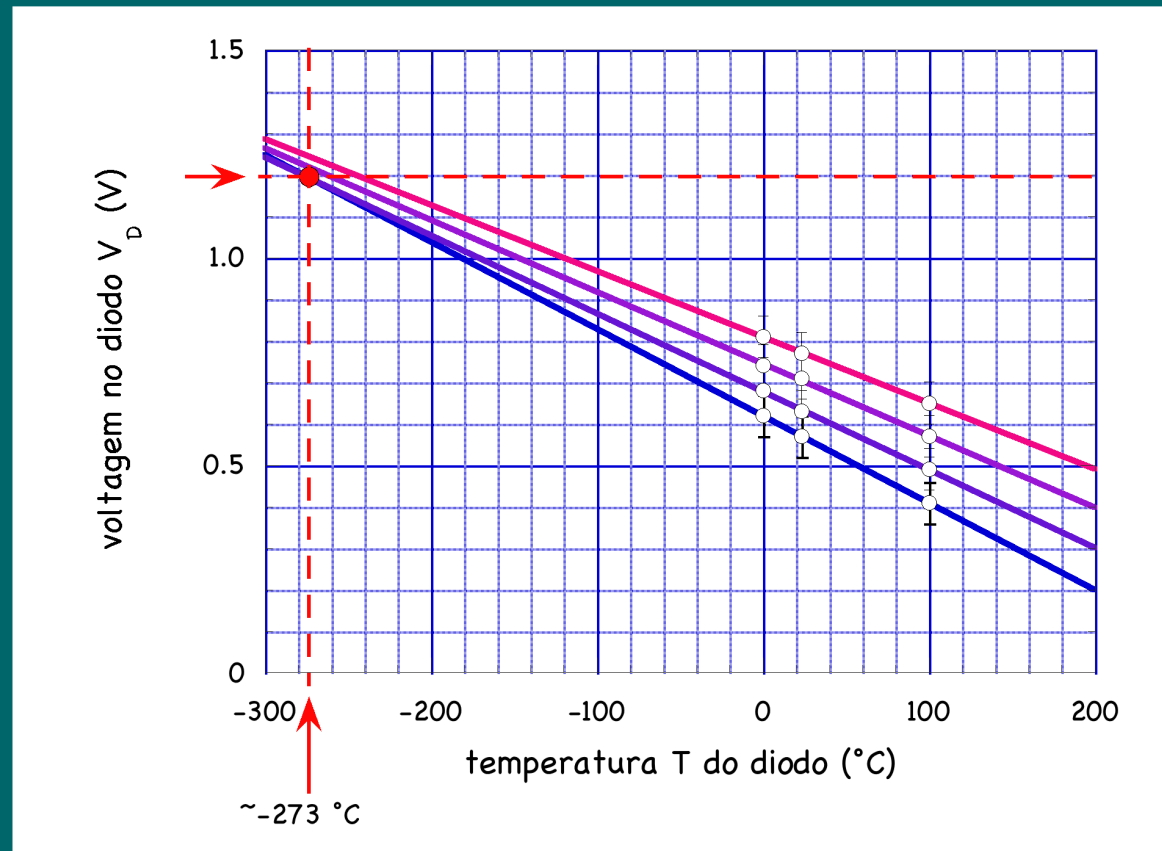
# Análise dos resultados



Comportamento da tensão no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de tensão a temperatura de  $-273$  °C.

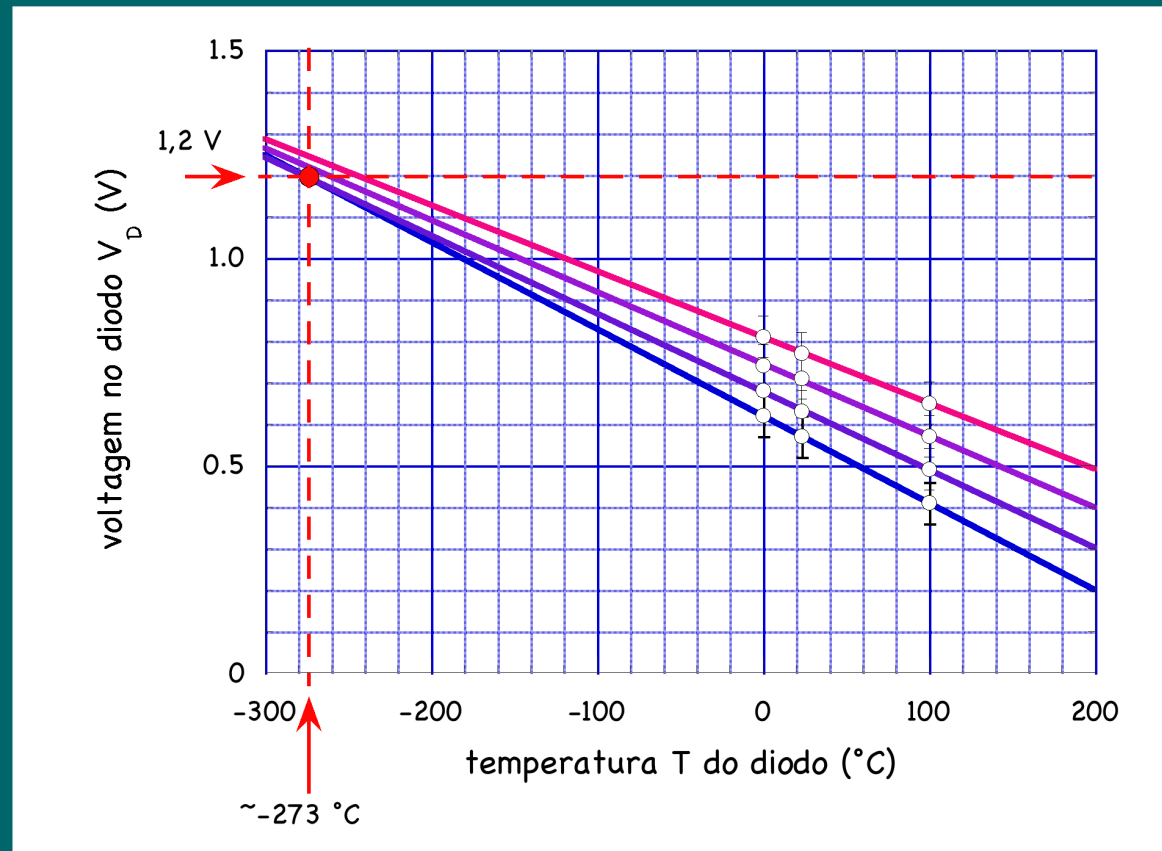


# Análise dos resultados



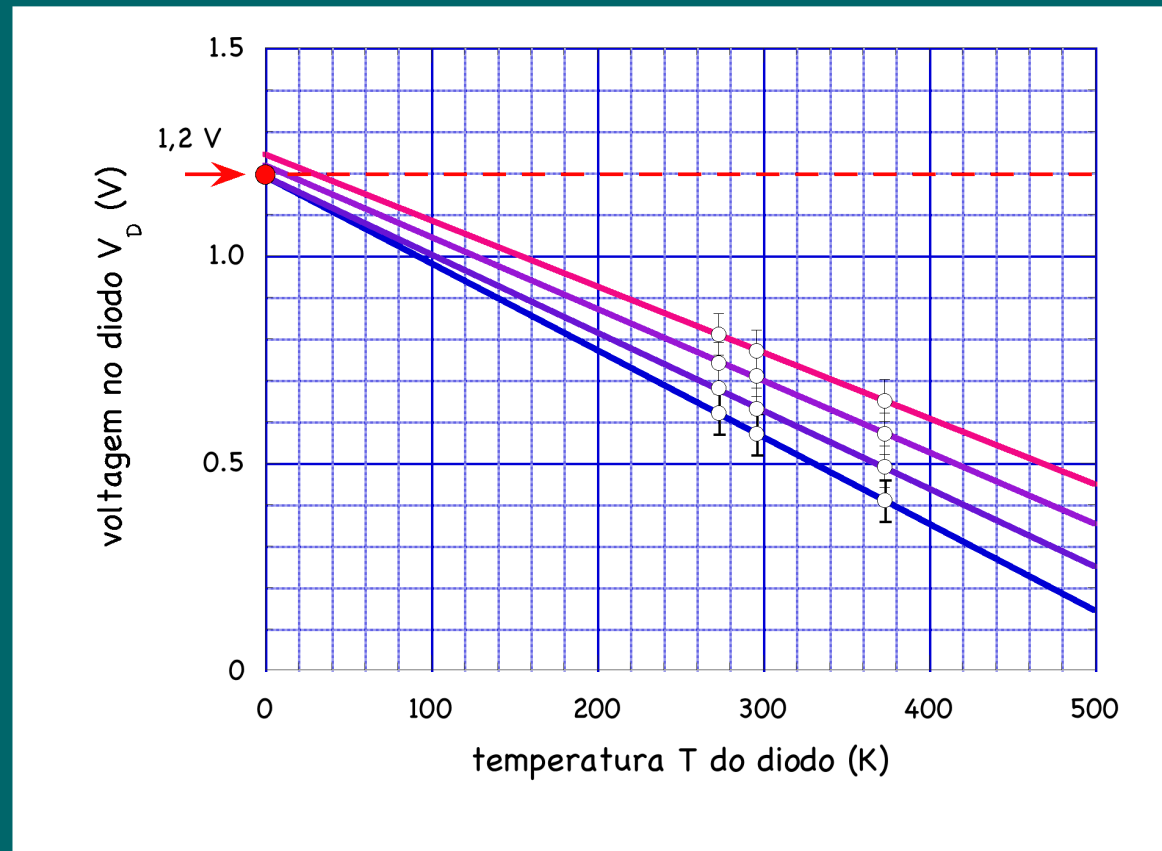
Comportamento da tensão no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de tensão a temperatura de  $-273\text{ °C}$ .

# Análise dos resultados



Comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura a qual ele está submetido, para diferentes correntes. De baixo (linha azul) para cima (linha vermelha), temos os seguintes valores de corrente:  $i = 10^{-2}$  mA,  $10^{-1}$  mA,  $10^0$  mA e  $10^1$  mA. As retas parecem convergir para um valor limite de voltagem a temperatura de  $-273$  °C.

# Análise dos resultados



Temos temos o comportamento da voltagem no diodo em função da temperatura, em kelvins, a qual ele está submetido, para diferentes correntes.

# Análise dos resultados

- Ajuste linear:

$$y = \alpha - \beta x$$

- Observamos que:

$$y = V$$

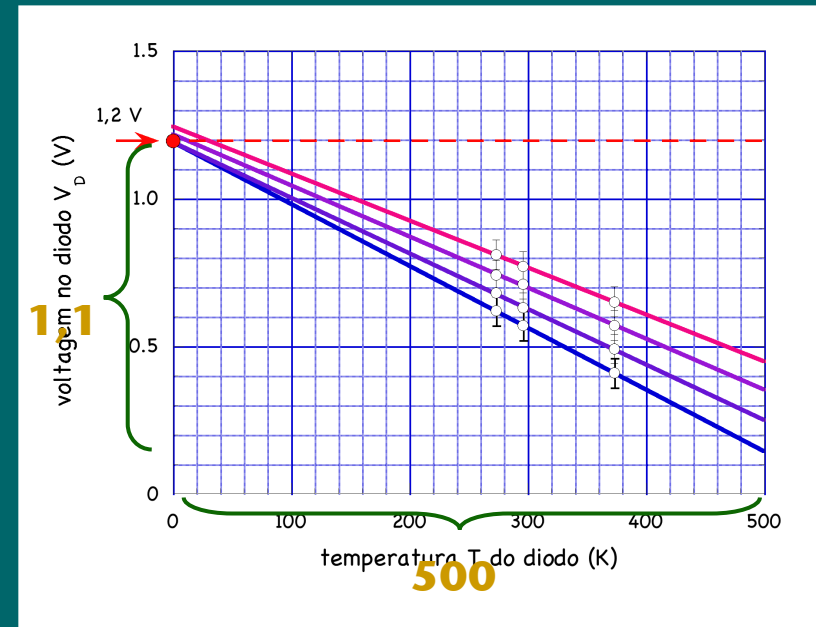
$$x = T$$

$$\alpha = V_0$$

- Assim, temos:

$$V = V_0 - \beta T$$

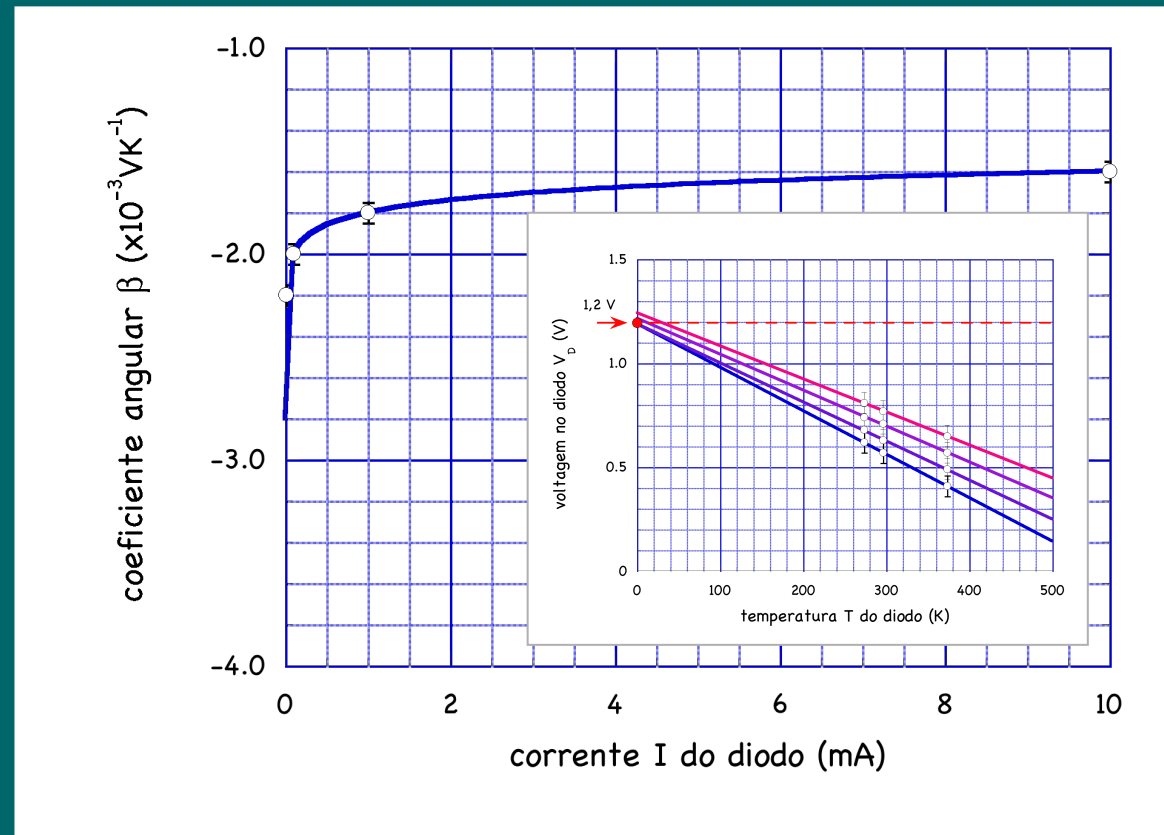
$I_0$ (mA)	$\beta$ ( $10^{-3} \text{ VK}^{-1}$ )
$10^{-2}$	$2,20 \pm 0,05$
$10^{-1}$	$2,00 \pm 0,05$
$10^0$	$1,80 \pm 0,05$
$10^1$	$1,60 \pm 0,05$



$$\beta = -\frac{1,1}{500} = -2,2 \times 10^{-3} \text{ VK}^{-1}$$

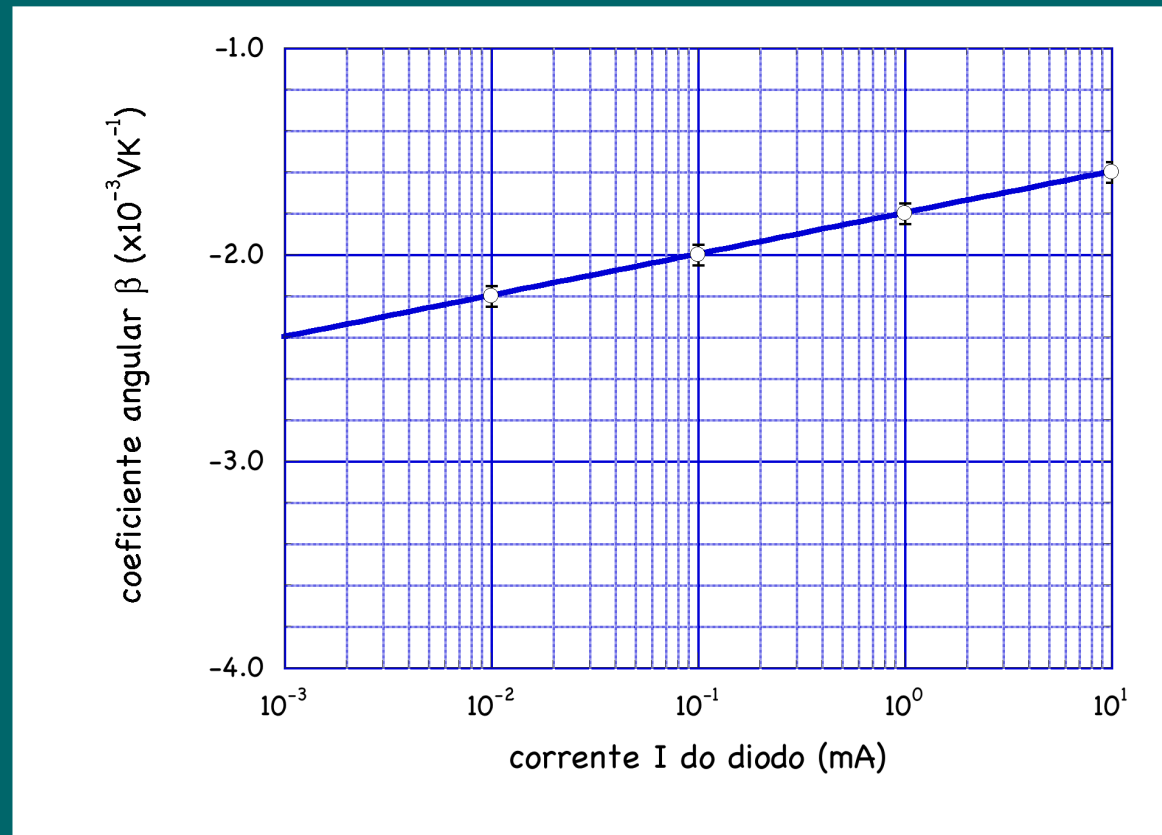
$$V_0 = 1,2 \text{ V}$$

# Análise dos resultados



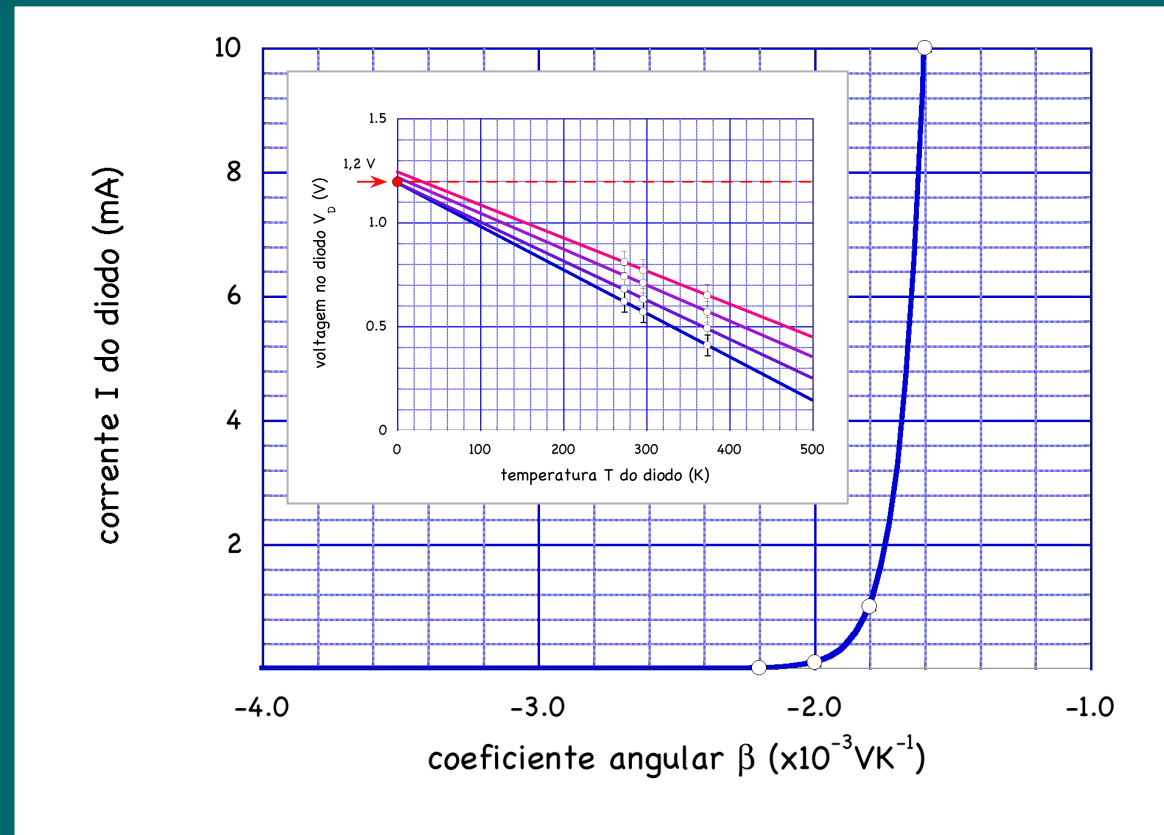
Comportamento do coeficiente angular  $\beta$  da relação entre voltagem e temperatura no diodo, em função da corrente a qual ele está submetido.

# Análise dos resultados



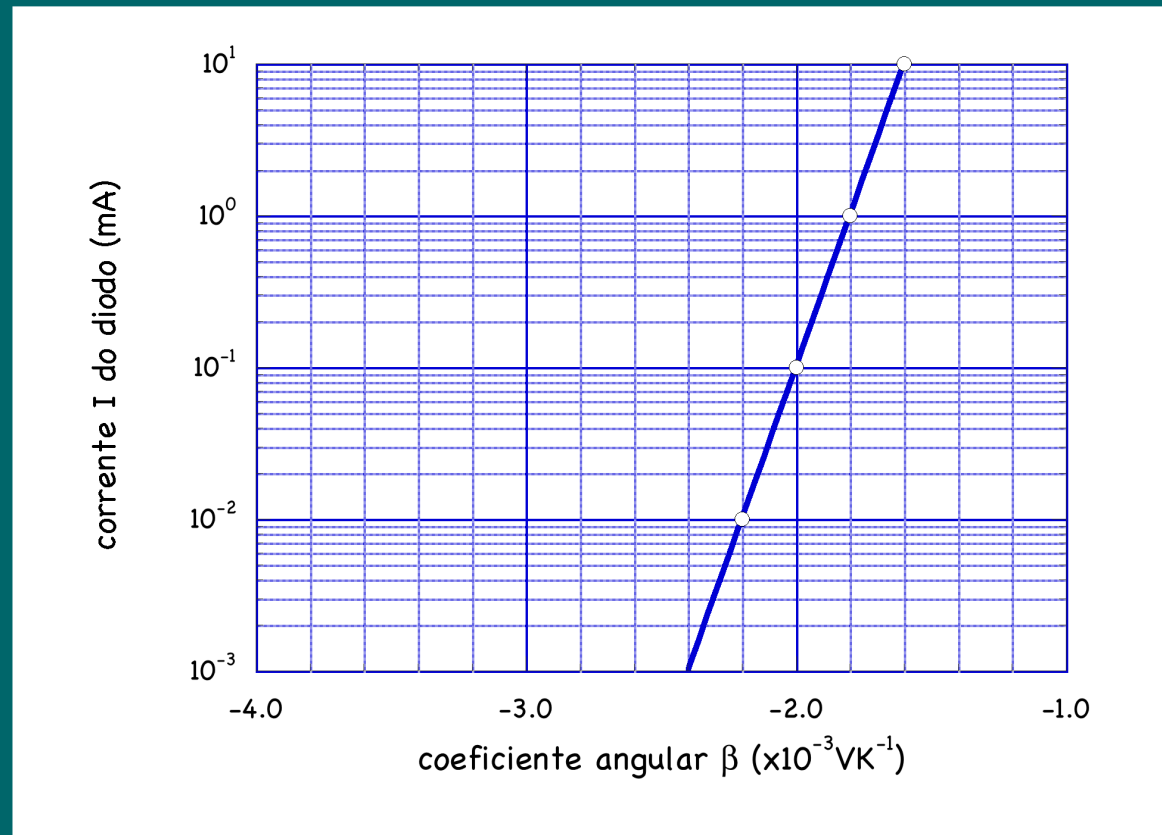
Comportamento do coeficiente angular  $\beta$  da relação entre voltagem e temperatura no diodo em função da corrente a qual ele está submetido. Este gráfico revela o comportamento linear deste coeficiente com o logaritmo da corrente.

# Análise dos resultados



Comportamento da corrente no diodo em função do coeficiente angular  $\beta$  da relação entre voltagem e temperatura no diodo a qual ele está submetido.

# Análise dos resultados



Comportamento da corrente no diodo em função do coeficiente angular  $\beta$  da relação entre voltagem e temperatura no diodo a qual ele está submetido. Este gráfico revela o comportamento exponencial da corrente com o coeficiente angular  $\beta$ .



# Análise dos resultados

- Ajuste linear ( $\beta < 0$ ):

$$\log(I) = \log(I_2) - d(\log e)\beta$$

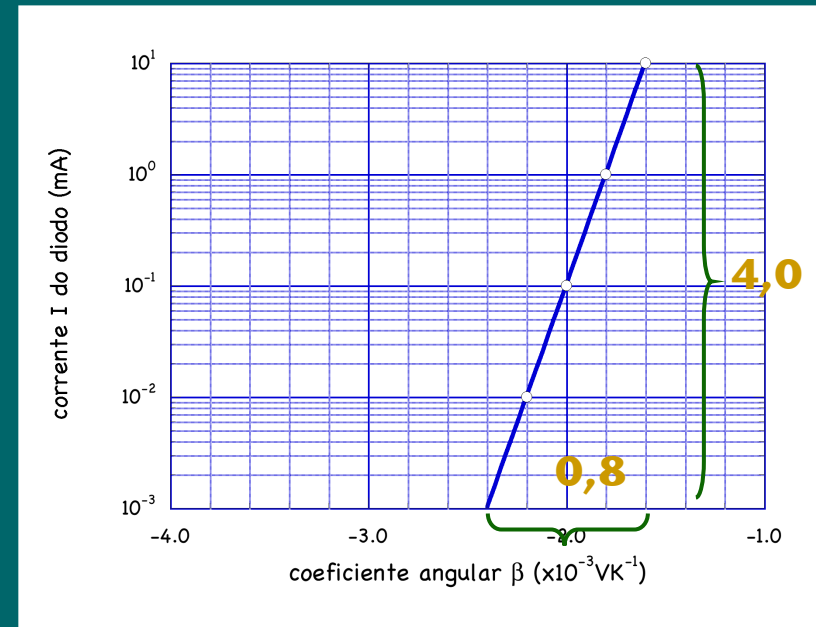
- Pelas regras do logaritmo:

$$\ln I = \frac{\log(I)}{\log e} = \frac{\log(I_2)}{\log e} - d\beta$$

$$\ln I = \ln I_2 - \ln[\exp(d\beta)]$$

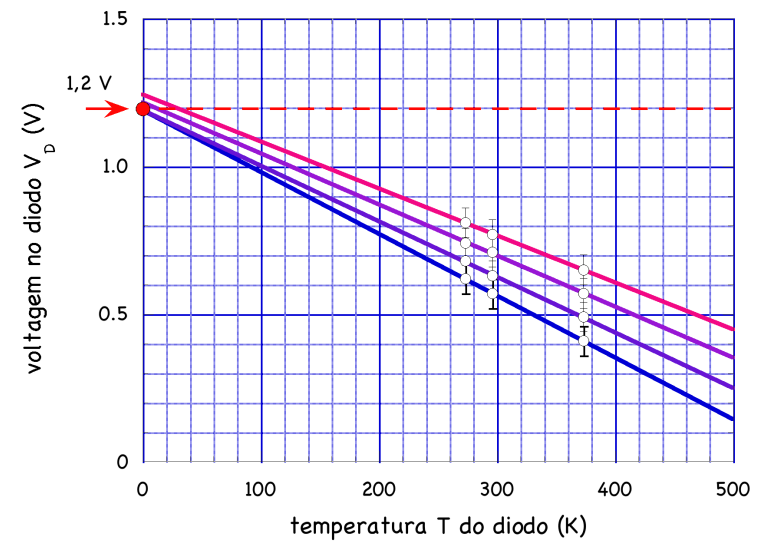
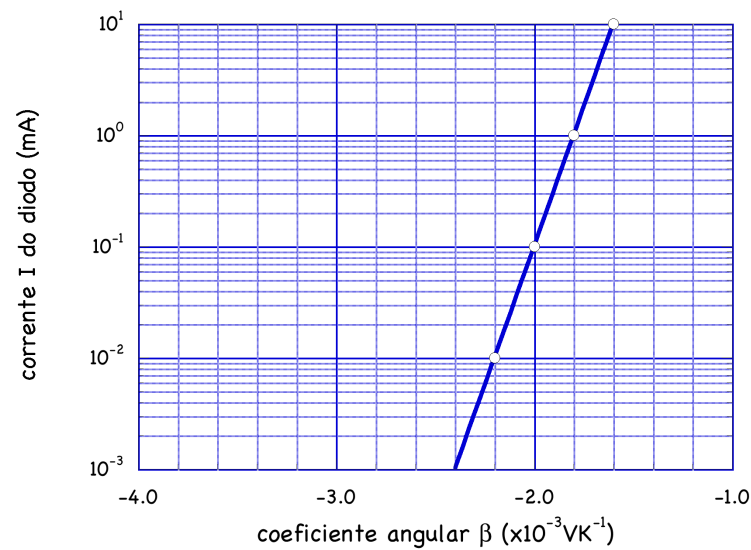
- Assim, temos:

$$I = I_2 \exp(-d\beta)$$



$$d = \frac{1}{\log e} \frac{4,0}{1,0 \times 10^{-3}} = \left( \frac{1}{0,43} \right) \left( \frac{4,0}{0,8 \times 10^{-3}} \right) = 12 \times 10^3 \text{ V}^{-1} \text{K}$$

# Análise dos resultados



- Assim, temos:  $I = I_2 \exp(-d\beta)$

$$-\beta = \frac{V - V_0}{T}$$

Então 
$$I = i_0 \exp(bV) = I_2 \exp\left(-\frac{dV_0}{T}\right) \exp\left(\frac{dV}{T}\right)$$

$$b = \frac{d}{T} \quad i_0 = I_2 \exp\left(-\frac{dV_0}{T}\right)$$

# Conclusões

- Na região de correntes considerada, a corrente no diodo é dada por:

$$I \sim I_2 \exp\left(-\frac{dV_0}{T}\right) \exp\left(\frac{dV}{T}\right)$$

- ou, melhor,

$$I \approx I_2 \exp\left(-\frac{eV_0}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) = I_0 \exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right)$$

- Constante de Boltzmann

$$k_B = \frac{e}{d} = \frac{1,602 \times 10^{-19}}{1,2 \times 10^4} = (1,3 \pm 0,2) \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

# Conclusões

- O valor tabelado da constante  $d$  é:

$$d_{TAB} = \frac{e}{k_B} = \frac{1,6 \times 10^{-12} \text{ erg} \cdot V^{-1}}{1,4 \times 10^{-16} \text{ erg} \cdot K^{-1}} = 11 \times 10^3 V^{-1} K$$

- O valor da constante  $d$  em nosso trabalho é:

$$d = (12 \pm 1) \times 10^3 V^{-1} K$$

- A discrepância é igual a:

$$\Delta\% = \frac{|d_{TAB} - d|}{d} \times 100\% = 9\%$$

# Conclusões

- Queremos incentivar os alunos a manusear equipamentos experimentais.
- Gostaríamos que os alunos comparassem os dados experimentais com suas percepções qualitativas.
- Queremos mostrar aos alunos que os fenômenos observados em um experimento podem ser representados e analisados através de uma abordagem gráfico-matemática.
- A física moderna permite melhor entendimento de certos fenômenos físicos associados ao funcionamento básico de aparelhos que o aluno manuseia no seu cotidiano.