

# **Trabalho Laboratorial**

## **Junção PN**

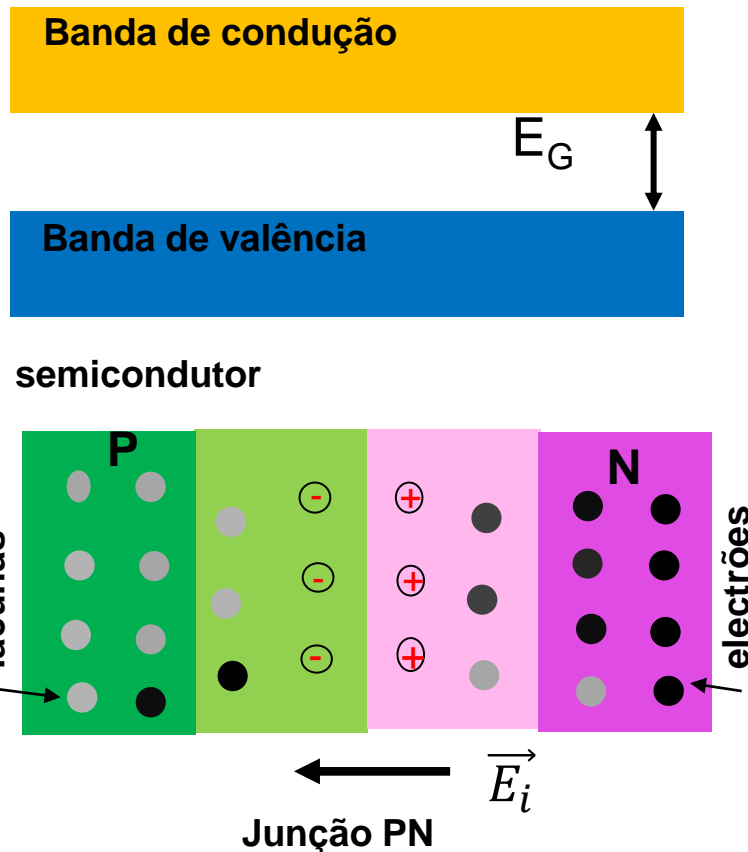
**João Figueirinhas e Raquel Crespo**

# Objetivos do trabalho

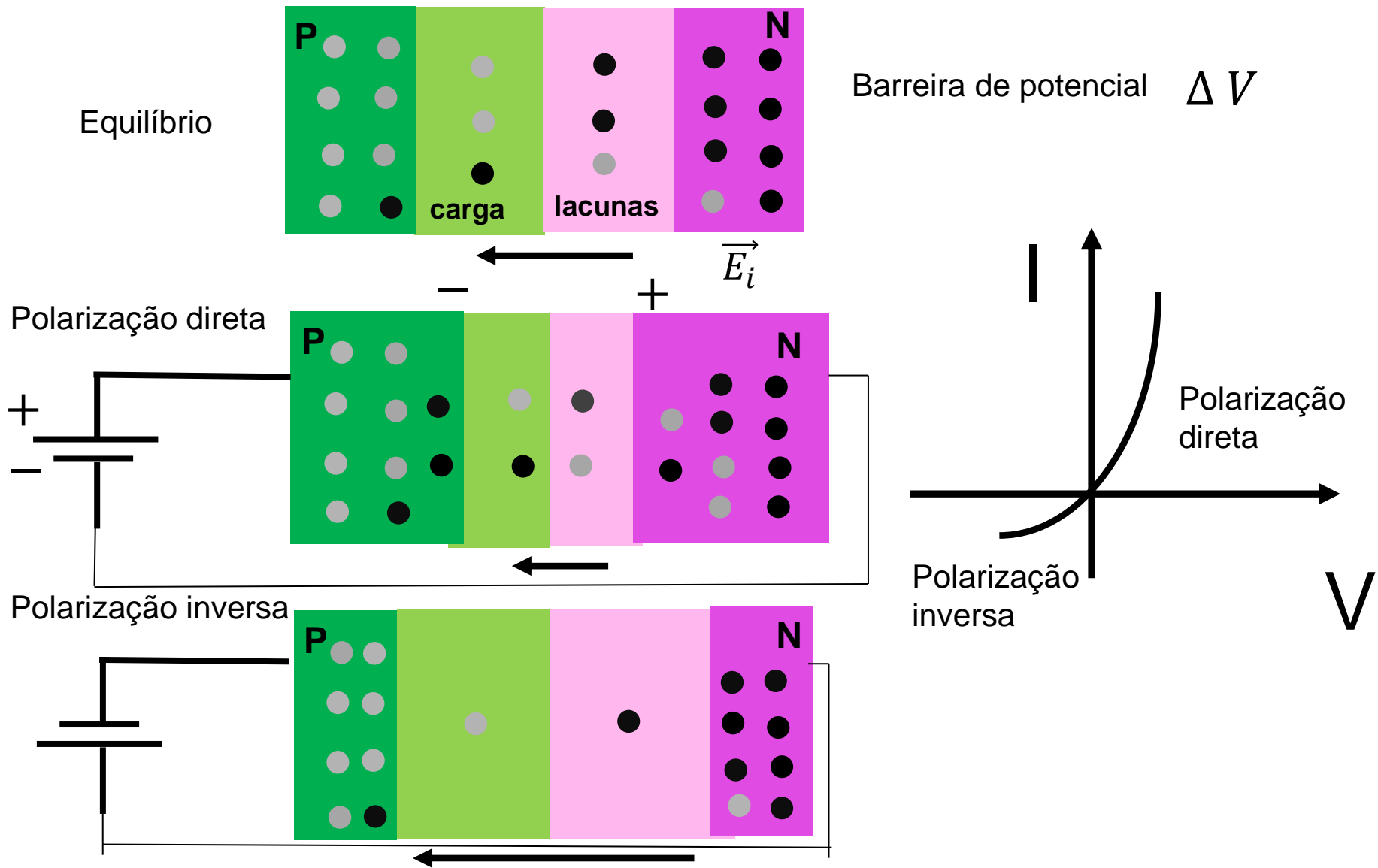
O objetivo do trabalho consiste em analisar e caracterizar o comportamento de uma **Junção PN de silício**, constituída por **dois semicondutores acoplados** de modo a formarem uma junção, um do **tipo P** e outro do **tipo N** dopados respetivamente com impurezas aceitadoras e dadoras de portadores de carga. No semiconductor do tipo N existe excesso de eletrões e no de tipo P excesso de lacunas.

Mais concretamente para polarização direta e inversa, pretende-se:

- Estudar a característica **tensão-corrente** da **Junção PN** para diferentes temperaturas comparando-a com as previsões de dois modelos distintos
- Determinar a **energia de Gap,  $E_G$** , do Silício.



# Objetivos do trabalho



# Descrição da montagem experimental

Para estudar a **Junção PN em polarização direta** dispomos da montagem apresentada na figura 1, que inclui o seguinte equipamento:

1- Díodo (com junção PN) e sistema de aquecimento

2-fonte de alimentação

3-Resistências ligadas em série

4-Voltímetro

5-Amperímetro

6- Aparato de controlo da temperatura

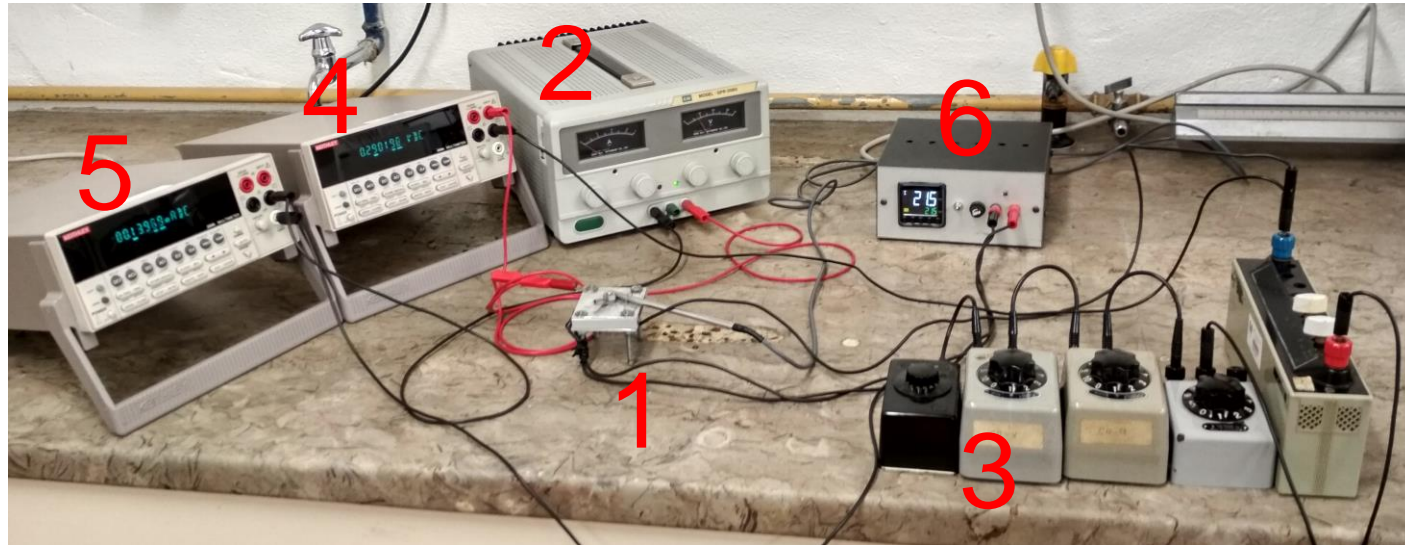


Figura 1. Montagem experimental

# Esquema elétrico e diagrama de blocos da montagem

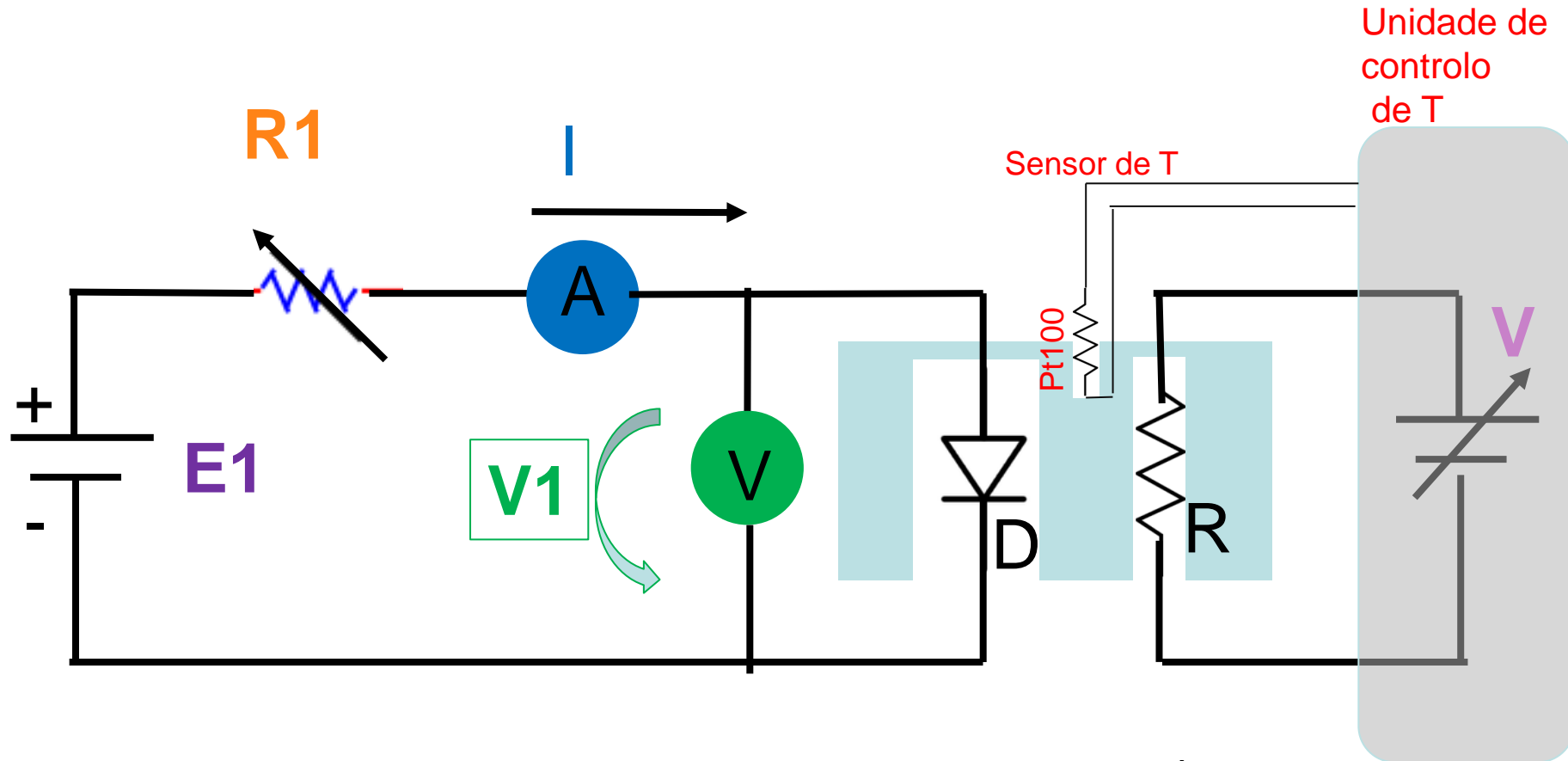


Figura 2. Esquema da montagem para polarização direta do díodo

# Esquema elétrico e diagrama de blocos da montagem

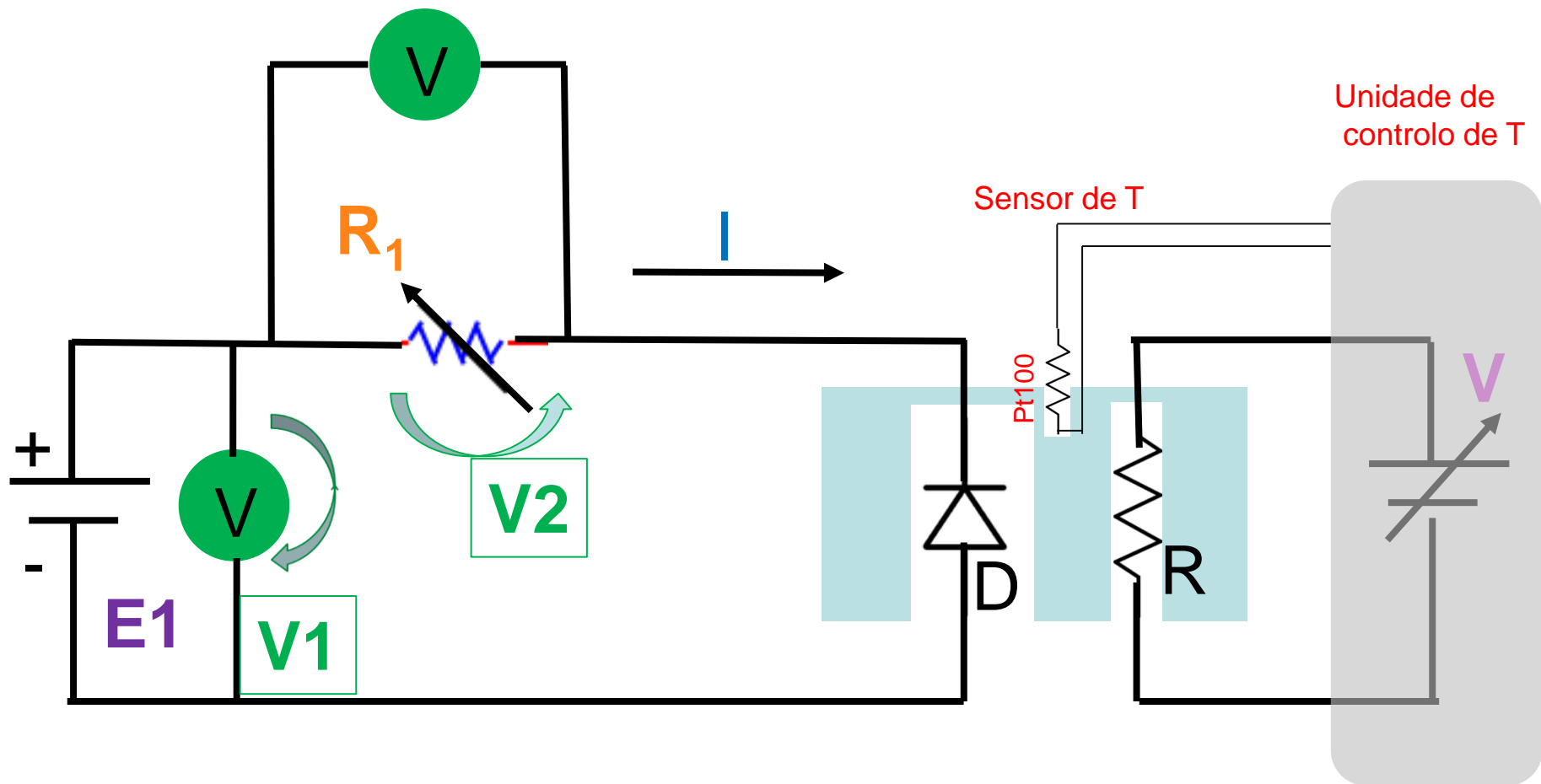
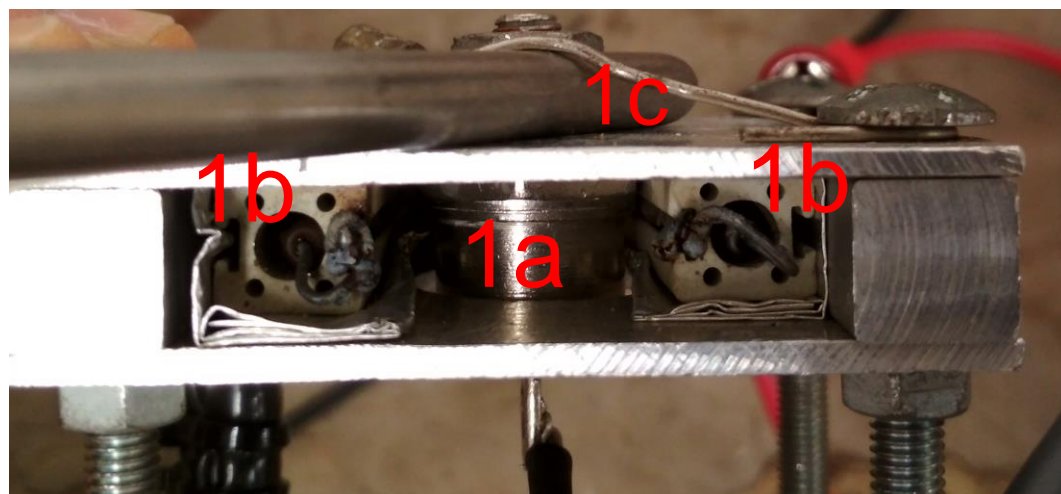


Figura 3. Esquema da montagem para polarização inversa do díodo

## Detalhes da montagem experimental

O díodo com sistema de aquecimento (**1**) é composto pelos seguintes elementos:

- uma **junção PN de silício constituída por um díodo (D) comercial de referência 1n5332** (**1a**)
- duas **resistências R de aquecimento** (**1b**).
- um **sensor de temperatura** com resistência de platina PT100 no seu extremo (**1c**).

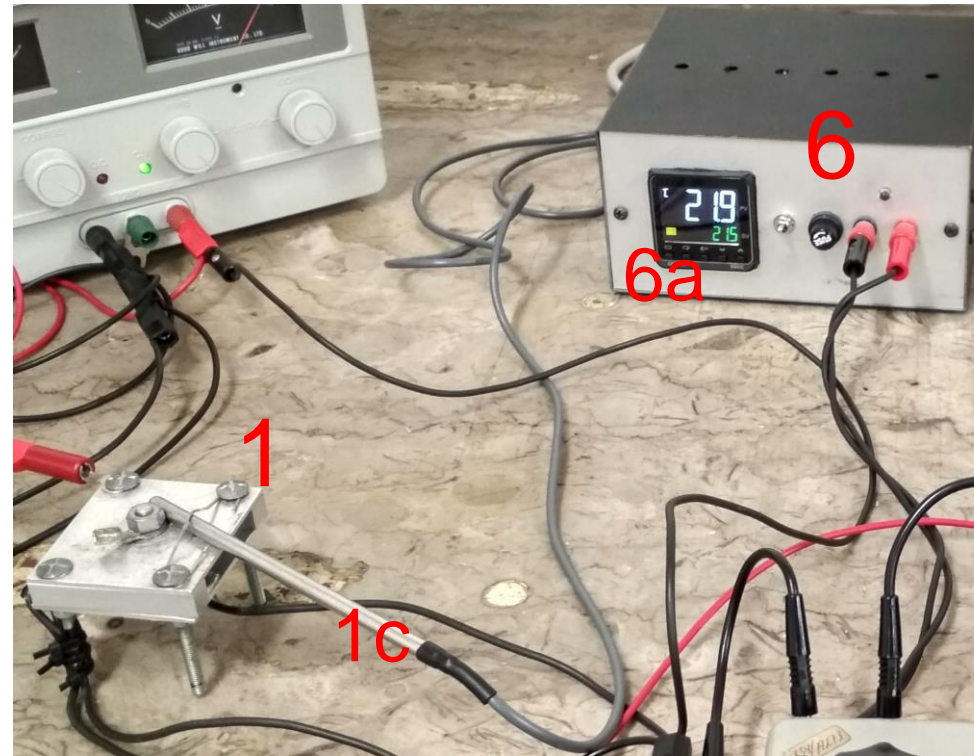




## Detalhes da montagem experimental

O díodo com sistema de aquecimento (**1**) está ligado a um aparato de controlo da temperatura (**6**), constituído por:

- Um controlador de processos PID (**6a**) associado a fonte DC variável.
- Um sensor de temperatura baseado numa resistência de platina Pt100 (**1c**)



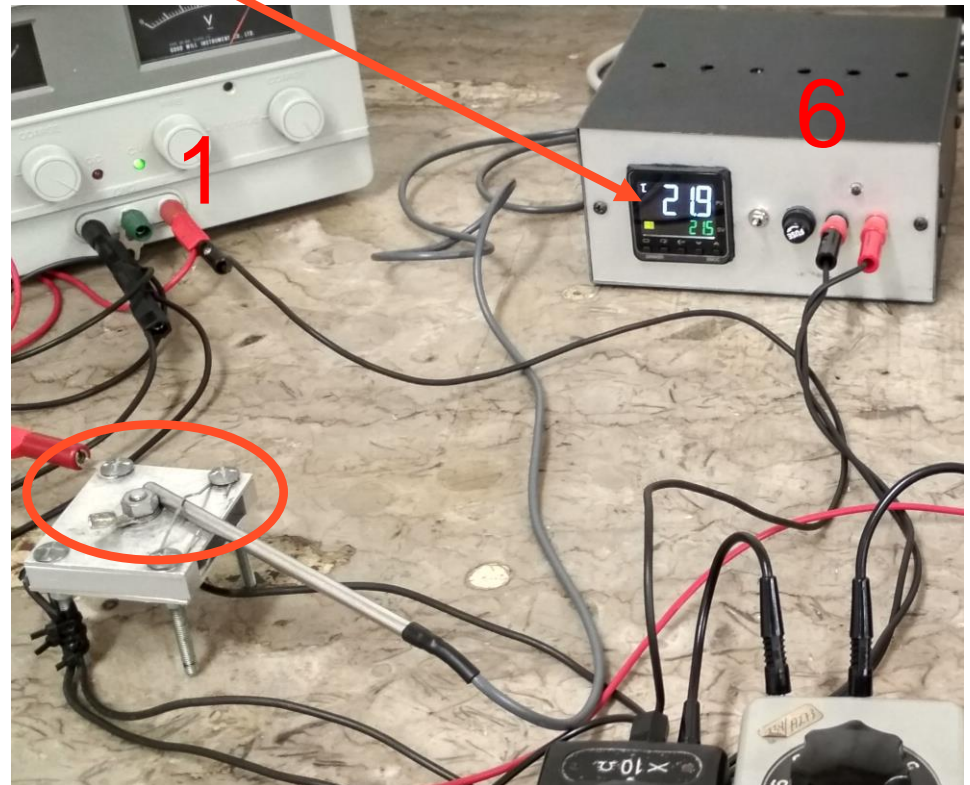
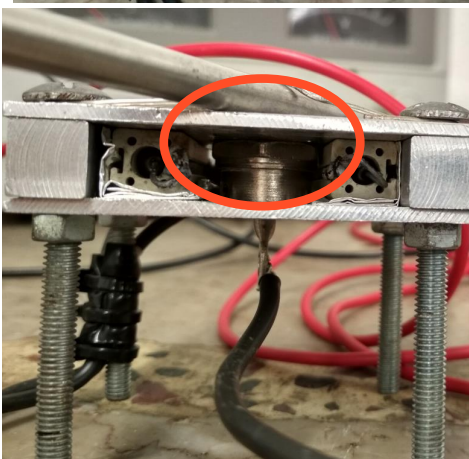
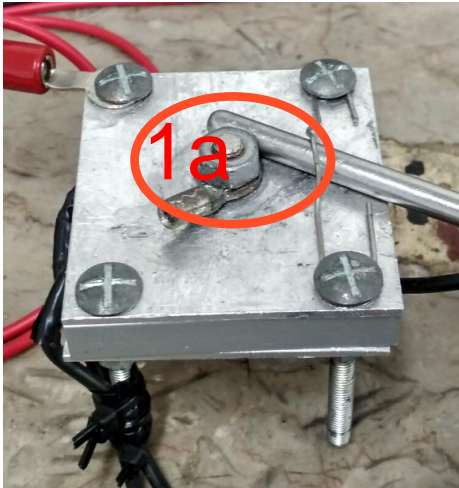
Temperatura do sistema de aquecimento

Temperatura selecionada



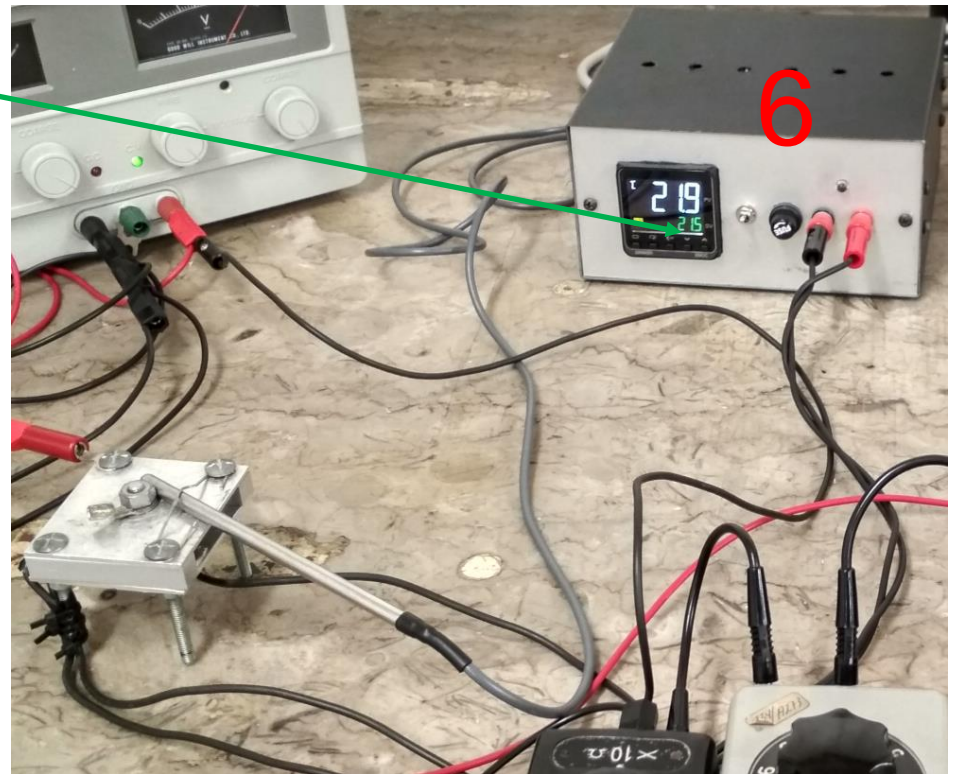
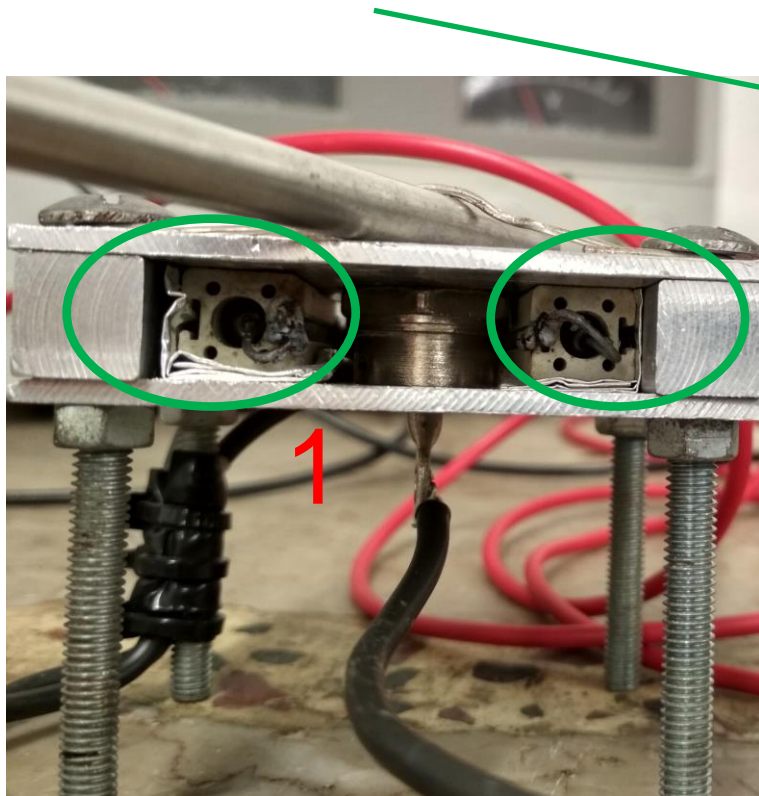
## Detalhes da montagem experimental

O díodo com sistema de aquecimento (**1a**) está termicamente acoplado a uma **vareta** que contém no seu extremo a resistência de platina (cujo valor é função da temperatura) e que permite ler a **temperatura da junção PN** no aparato de controlo de temperatura (**6**).



## Detalhes da montagem experimental

A **potência elétrica fornecida às resistência de aquecimento** da unidade de aquecimento do díodo (**1**) é automaticamente ajustada pelo aparato de controlo de temperatura (**6**), através da tensão auxiliar **V**, de modo a que a unidade de aquecimento atinja a temperatura selecionada.

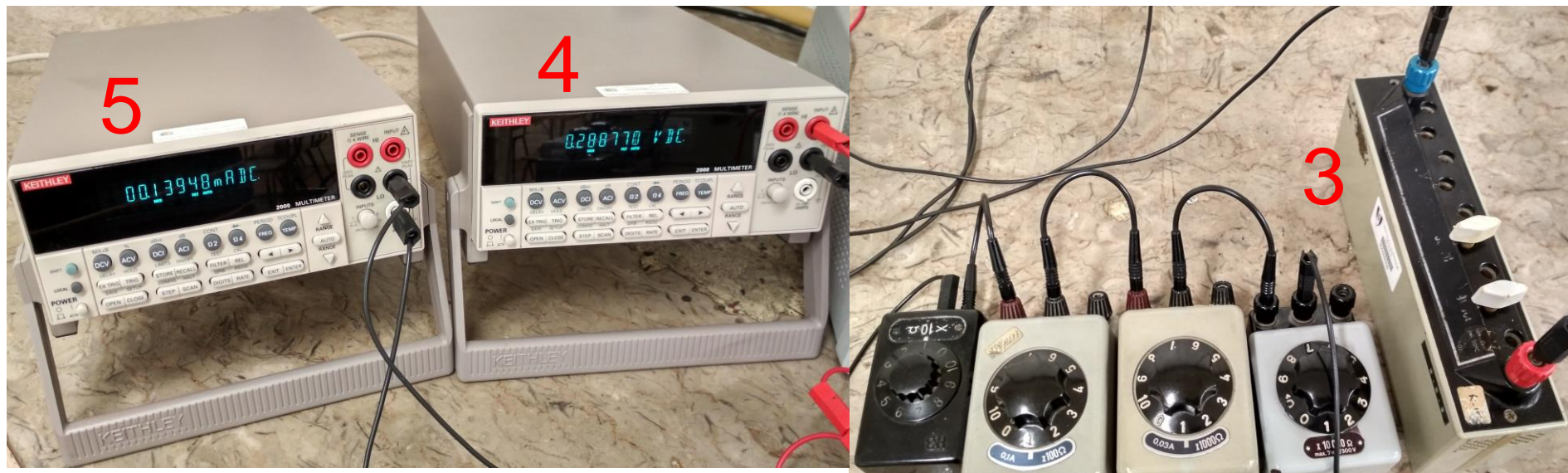




## Detalhes da montagem experimental

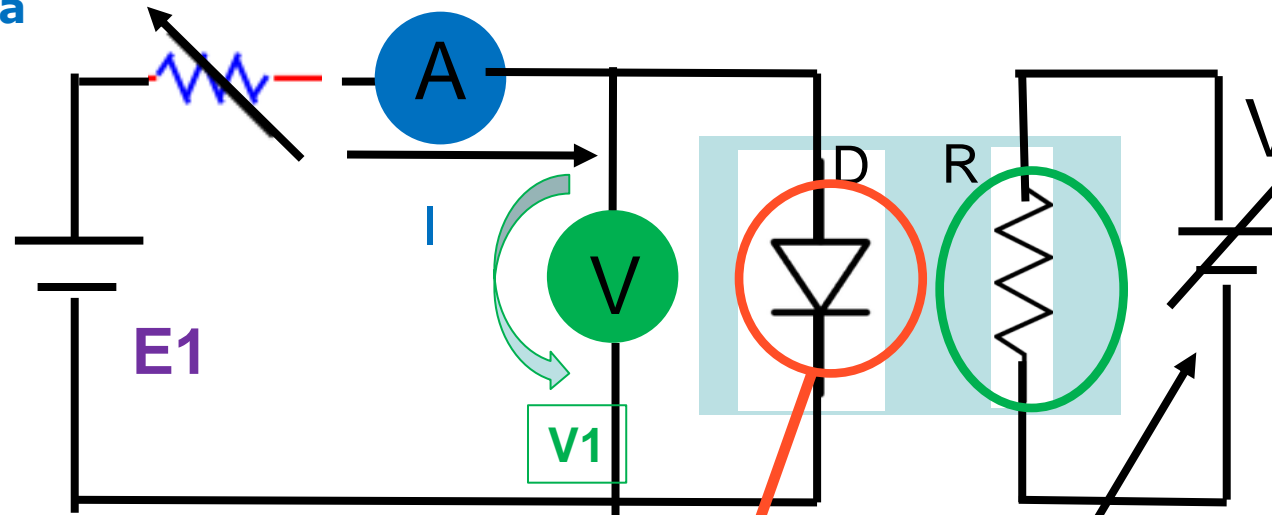
Para a polarização direta, o aparato da junção PN está ligado

- em série a uma fonte de alimentação (2)  
um conjunto de resistências (3) e um  
amperímetro (5)
- e em paralelo a um voltímetro (4).



# Execução da experiência-I

## A-Polarização direta



1) Montar o circuito com o diodo em polarização direta

2) Mantenha a temperatura selecionada no **controlador inferior à temperatura ambiente** de modo a que a temperatura da junção seja a **temperatura ambiente,  $T_1 = 21.9^\circ\text{C}$** .

**Verificar que a temperatura do diodo permanece constante.**

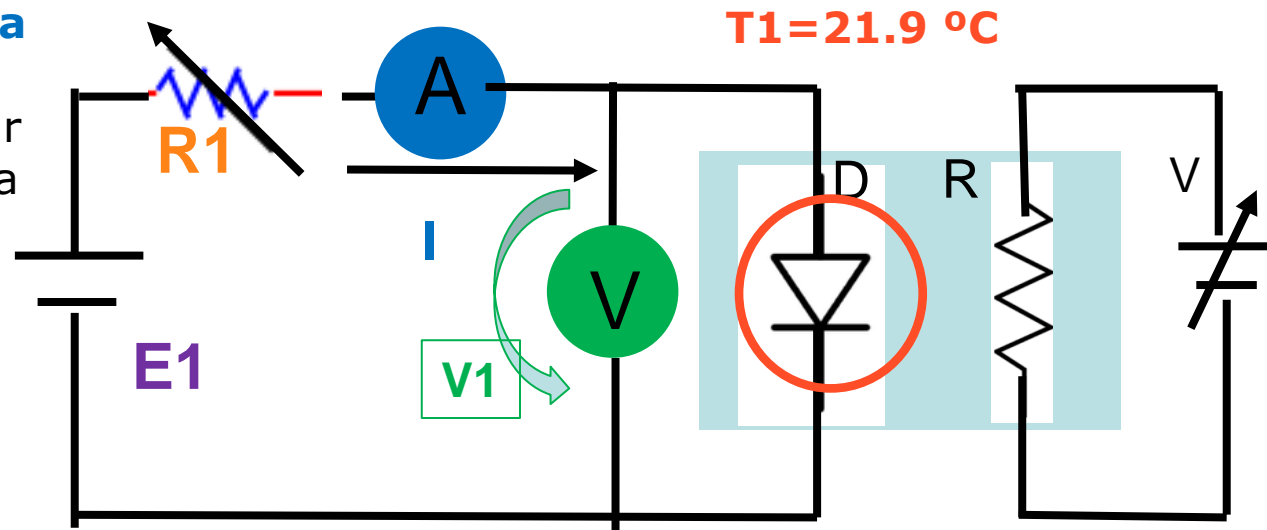


# Execução da experiência-I

## A-Polarização direta

3) Fixar  **$R1=100\text{ K}\Omega$** , e variar a tensão  **$E1$**  de modo a que a junção seja percorrida por uma corrente com os seguintes valores:  
 **$I=10\text{ }\mu\text{A}$  a  $100\text{ }\mu\text{A}$  em passos de  $10\text{ }\mu\text{A}$** ,  
registrando a **corrente  $I$**  e **tensão  $V1$** .

4) Variar a resistência para  **$R1=20\text{ K}\Omega$** , e variar a tensão  **$E1$**  de modo a que a junção seja percorrida por uma corrente com os seguintes valores:  
 **$I=100\text{ }\mu\text{A}$  a  $1000\text{ }\mu\text{A}$  em passos de  $100\text{ }\mu\text{A}$** ,  
registrando a **corrente  $I$**  e **tensão  $V1$** .



( **$I$** ,  **$V1$** )



# Execução da experiência-I

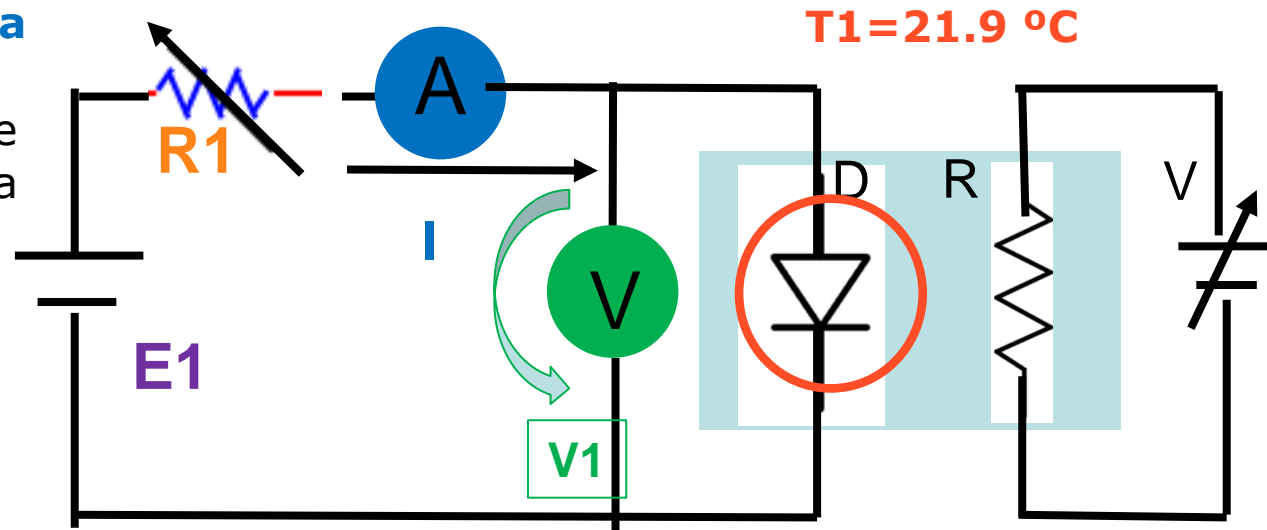
## A-Polarização direta

5) Fixar de novo  $R1=1\text{ K}\Omega$ , e variar a tensão  $E1$  de modo a que a junção seja percorrida por uma corrente com os seguintes valores:

$I=1\text{ mA}$  a  $20\text{ mA}$  em passos de  $2\text{ mA}$ , registrando a corrente  $I$  e tensão  $V1$ .

6) Variar a resistência para  $R1=200\ \Omega$ , e variar a tensão  $E1$  de modo a que a junção seja percorrida por uma corrente com os seguintes valores:

$I=20\text{ mA}$  a  $100\text{ mA}$  em passos de  $10\text{ mA}$ , registrando a corrente  $I$  e tensão  $V1$ .



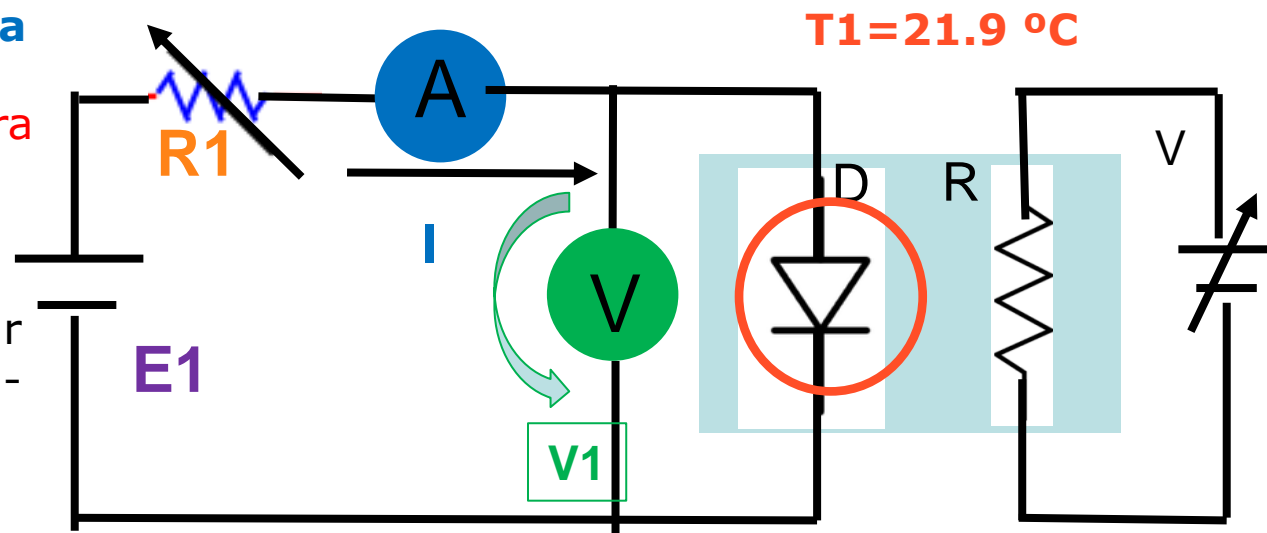
$(I, V1)$

# Execução da experiência-I

## A-Polarização direta

7) Selecionar uma temperatura de 30° no controlador e aguardar até que a temperatura no sistema de aquecimento estabilize, repetir o ciclo de medidas anterior 3)-6)

8) Repetir novamente para outras temperaturas.



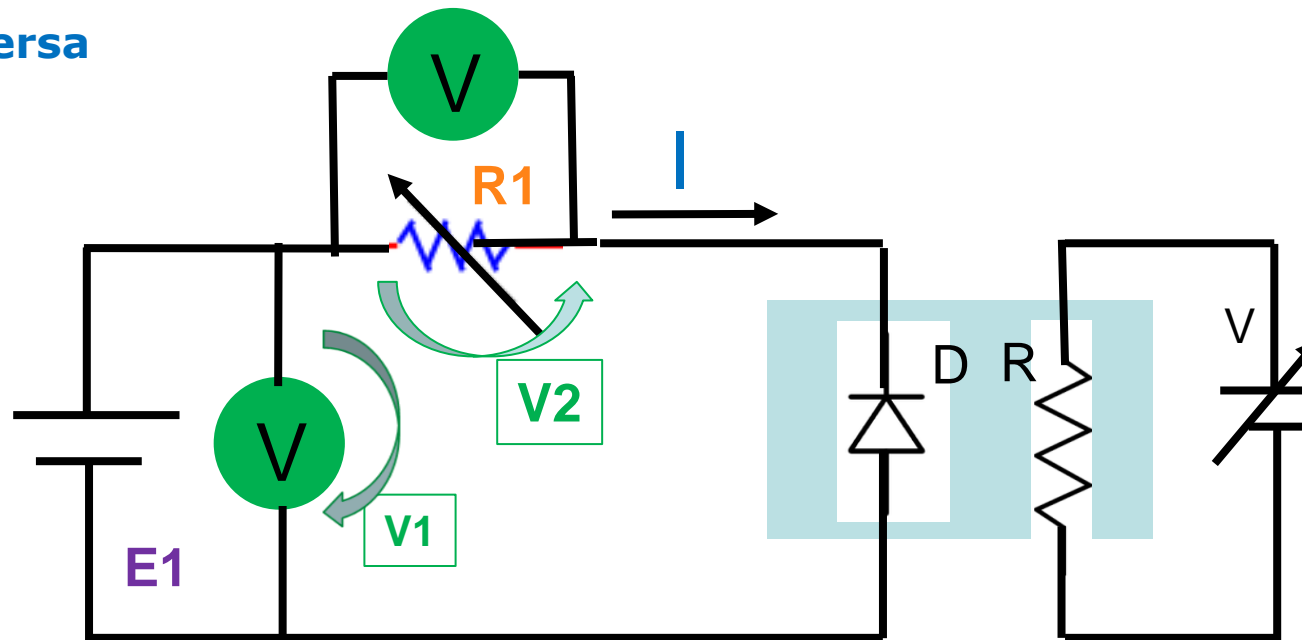
( $I, V_1$ )



# Execução da experiência-I

## B-Polarização inversa

1) Montar o circuito com o diodo em polarização inversa



2) Mantenha a temperatura selecionada no **controlador inferior à temperatura ambiente** de modo a que a temperatura da junção seja a **temperatura ambiente,  $T_1 = 21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

## Execução da experiência-I

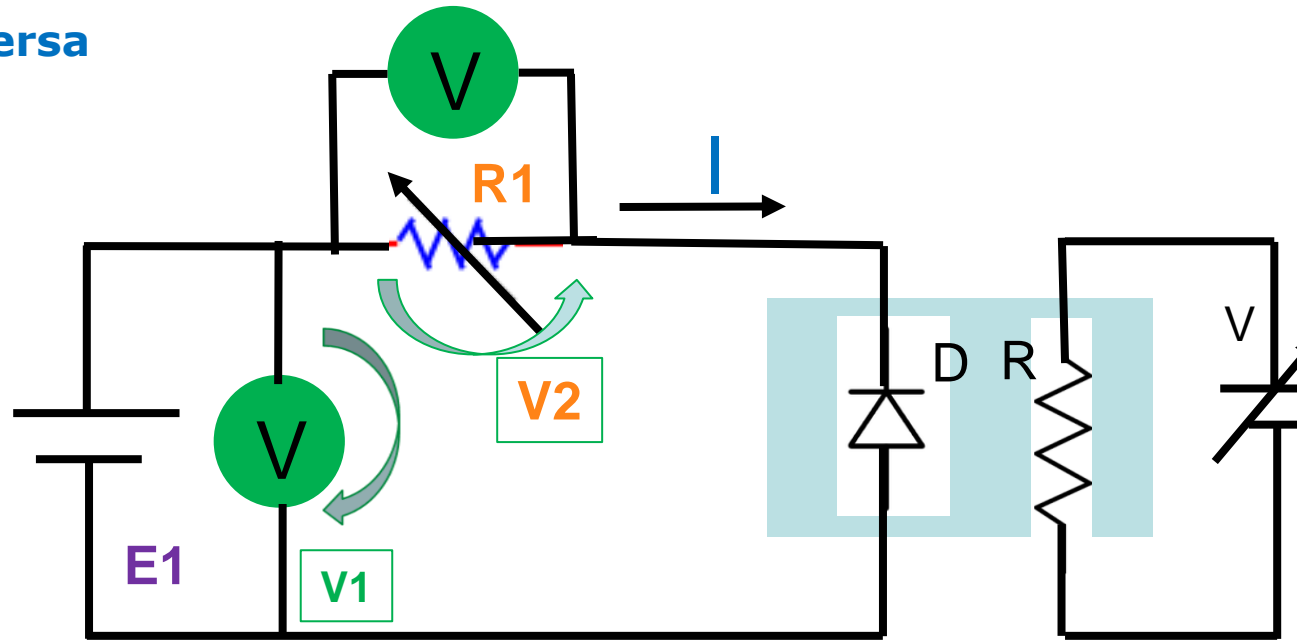
### B-Polarização inversa

3) Fixar  $R1=100\text{ K}\Omega$ , e variar a tensão  $E1$  para os seguintes valores:

$E1=5\text{V}$  a  $25\text{V}$  em passos de  $2.5\text{V}$

Registando a tensão  $V1$  e  $V2$

4) Repetir para o mesmo conjunto de temperaturas usado no procedimento da polarização direta.



$$I = V2/R1$$
$$(I, V1 - V2)$$

## (I) Modelo Standard

### Tensão aos terminais do díodo

$$V = V_D + R I$$

$V_D$  : tensão na região de transição do díodo ; R- resistência das partes neutras dos semicondutores P e N e ligações internas.

**Corrente terminais díodo:**  $I = I_S \left( e^{\frac{qV_D}{\eta K_B T}} - 1 \right) \quad \eta \in (1,2)$

Parâmetro caraterístico do díodo

$$I_S(T) = a T^3 e^{\frac{-E_G}{K_B T}} \quad \mathbf{I_s}, \text{ corrente inversa de saturação, medida quando se polariza inversamente o díodo.}$$

$$V = RI + \frac{\eta K_B T}{q} \ln \left( \frac{I}{I_S(T)} + 1 \right) \quad V = \mathbf{R(T)}I + \mathbf{b(T)} \ln \left( \frac{I}{I_S(T)} + 1 \right)$$

$$\mathbf{b(T)} = \frac{\eta K_B T}{q}$$

$$\mathbf{I_s(T)} = \mathbf{a} T^3 e^{\frac{-E_G}{K_B T}}$$

## A- Característica V-I junção PN: polarização direta

### (I) Modelo padrão

$$V = R(T)I + b(T) \ln\left(\frac{I}{I_s(T)} + 1\right) \quad b(T) = \frac{\eta K_B T}{q} \quad \eta \in (1,2)$$
$$I_s(T) = a T^3 e^{\frac{-E_G}{K_B T}}$$

- 1) Represente graficamente  $V(\ln(I))$  para todas as temperaturas analisadas e efetue um ajuste à expressão anterior  $V(\ln(I))$  de modo a determinar experimentalmente,  $R(T)$ ,  $b(T)$  e  $I_s(T)$ . Representar graficamente a evolução destas grandezas.
- 2) Comparar por ajuste  $b(T)$  e  $I_s(T)$  com as previsões teóricas obtendo os parâmetros  $\eta$ ,  $a$  e  $E_G$
- 3) Discuta a validade do modelo com base nos resultados obtidos em 1) e 2).

## (II) Modelo mais complexo

### Tensão junção PN

$$V = V_D + R I$$

$V_D$  : tensão na região de transição do díodo ; R- resistência das partes neutras dos semicondutores P e N e ligações internas.

**Corrente terminais díodo:** 
$$I = I_S \left( e^{\frac{qV_D}{K_B T}} - 1 \right) + I_R \left( e^{\frac{qV_D}{2K_B T}} - 1 \right)$$

$$I_S(T) = aT^3 e^{\frac{-E_G}{K_B T}} \quad I_R(T) = bT^{5/2} e^{\frac{-E_G}{2K_B T}}$$

$$V = \mathbf{R(T)}I + \frac{2K_B T}{q} \ln \left( \sqrt{\left( \frac{\mathbf{I_R(T)}}{2\mathbf{I_S(T)}} \right)^2 + \left( 1 + \frac{\mathbf{I_R(T)} + I}{\mathbf{I_S(T)}} \right)} - \frac{\mathbf{I_R(T)}}{2\mathbf{I_S(T)}} \right)$$

## (II) Modelo mais complexo

$$V = \mathbf{R(T)}I + \frac{2K_B T}{q} \ln \left( \sqrt{\left( \frac{I_R(T)}{2I_S(T)} \right)^2 + \left( 1 + \frac{I_R(T) + I}{I_S(T)} \right)} - \frac{I_R(T)}{2I_S(T)} \right)$$
$$I_S(T) = a T^3 e^{\frac{-E_G}{K_B T}} \quad I_R(T) = b T^{5/2} e^{\frac{-E_G}{2K_B T}}$$

- 1) Represente graficamente  $V(\ln(I))$  para todas as temperaturas analisadas e efetue um ajuste à expressão anterior  $V(\ln(I))$  de modo a determinar experimentalmente,  $\mathbf{R(T)}$ ,  $\mathbf{I_r(T)}$  e  $\mathbf{I_s(T)}$ . Representar graficamente a evolução destas grandezas.
- 2) Comparar por ajuste  $I_R(T)$  e  $I_S(T)$  com as previsões teóricas obtendo os parâmetros  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{E_G}$ .
- 3) Discutir a validade do modelo com base nos resultados encontrados em 1) e 2).
- 4) Comparar o desempenho dos dois modelos na descrição do comportamento da junção PN de silício polarizada diretamente e tentar identificar o modelo que melhor descreve globalmente o comportamento deste díodo.

## B- Caraterística V-I junção PN: polarização inversa

De acordo com os modelos anteriores para a junção PN quando esta estiver inversamente polarizada a corrente que a atravessa deverá ser independente da tensão aos terminais do díodo;

Modelo padrão:  $I = I_S \left( e^{\frac{qV_D}{\eta K_B T}} - 1 \right)$   $V_D \ll 0 \Rightarrow I = -I_S$

Modelo mais complexo:  $I = I_S \left( e^{\frac{qV_D}{K_B T}} - 1 \right) + I_R \left( e^{\frac{qV_D}{2K_B T}} - 1 \right)$   $V_D \ll 0 \Rightarrow I = -I_S - I_R$

**Análise:** Represente graficamente a corrente que atravessa o díodo em função da tensão aos seus terminais,  $V = V_1 - V_2$  para todas as temperaturas analisadas.

Determinar se  $I$  permanece ou não constante com a variação de  $V$  e caso varie propor a alteração mais simples ao modelo ou modelos, que permita que este ou estes possam descrever o comportamento do díodo para ambos os tipos de polarização (direta e inversa).

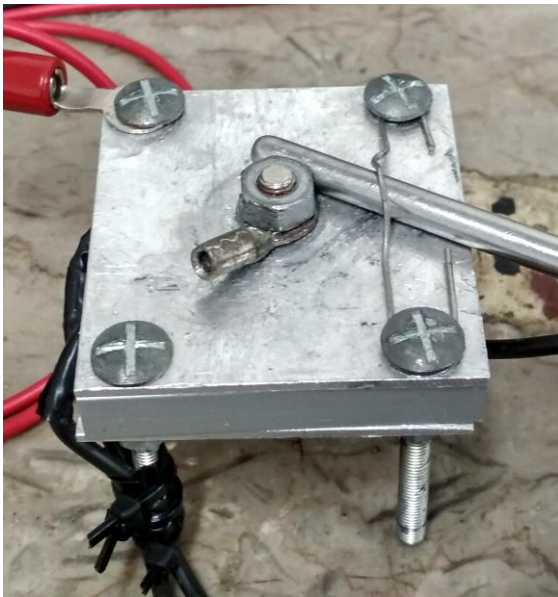


**FIM**

## Detalhes da montagem experimental

O aparato PN (**1**) é composto pelos seguintes elementos:

- Uma **junção PN de silício constituída por um díodo (D) comercial de referência 1n5332 (**1a**)**



- Uma **Resistência R de aquecimento (**1b**)**.