

# B Trabalho 3B - Característica de diodos - Grupo 2 - PL3

Diego Ramos

que quer dizer os parâmetros  
Quais os parâmetros  
quantificados do tracado  
I(V)

## Objetivos:

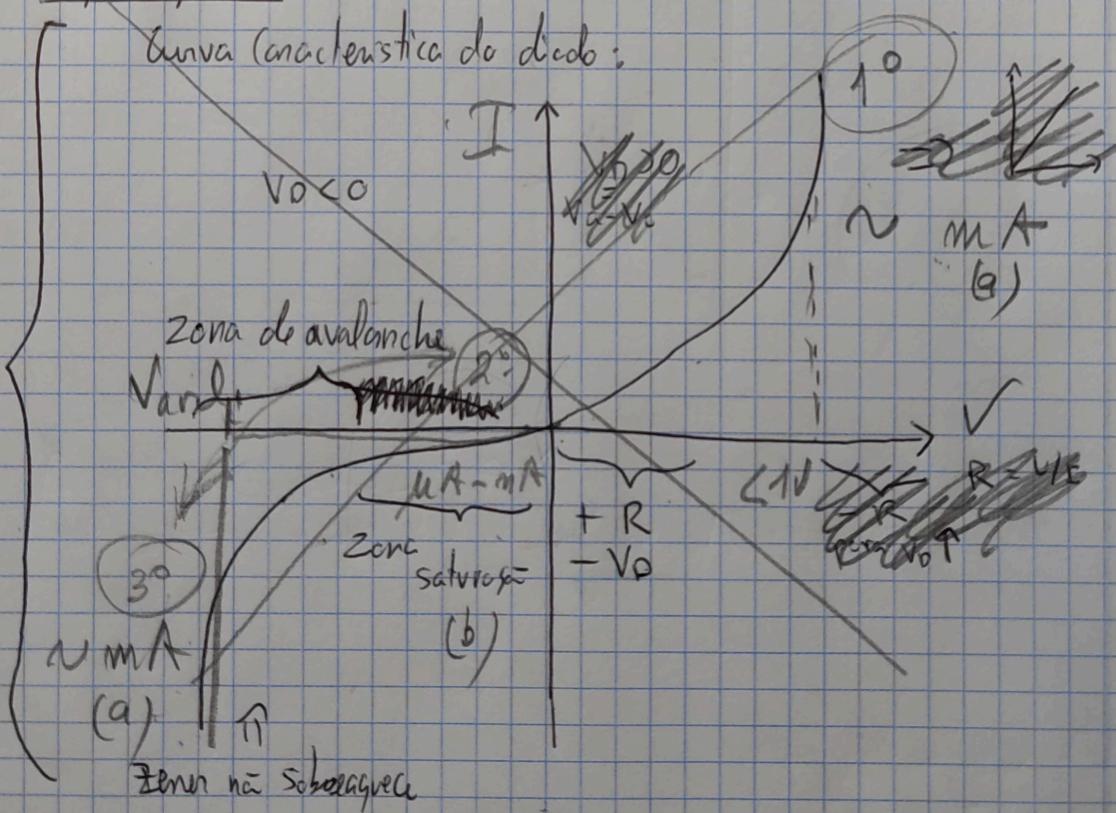
- Traçar a curva característica do diodo de zener e estificar
- Avaliar as resistências internas presentes nos vários tipos de tensão

## Contextualização:

~~Introdução ao diodo~~

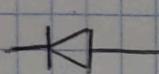
- Díodo é constituído por 2 semicondutores  $\rightarrow$  P (ânodo)  $\hookrightarrow$  N (cátodo)
- Não obedece à lei de Ohm
- Deve oferecer baixa resistência no sentido direto (ânodo  $\rightarrow$  cátodo)
- Deve oferecer elevada resistência no sentido inverso (cátodo  $\rightarrow$  ânodo)

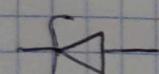
## V que esperar?



Reformulado em 3 páginas

⚠ Retificador  $\Rightarrow$  Valores de corrente elevados levam à destruição do diodo

 Retificador

 Zener

$$(1) I = I_0 \left( e^{\frac{eV}{nKT}} - 1 \right) \quad (\text{Lei de Shockley})$$

$\Downarrow$   
Corrente do diodo

$$I_0 \ll I$$

K - constante Boltzmann

T - temperatura da junção em Kelvin

$\gamma = 1$  para Silício e  $1.2$  para Germanio

$I_0$  - Corrente de saturação

$e$  - carga elétrica

$$(2) R_{AC} = \frac{\partial V}{\partial I}$$

$\Downarrow$   
Dinâmica

$\Rightarrow$  Arauto não linear

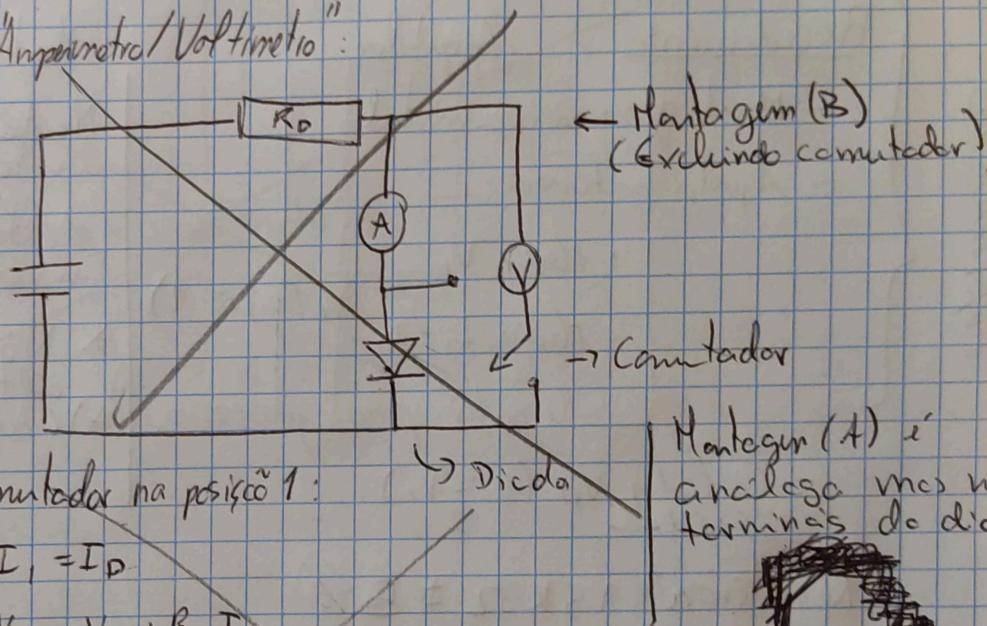
$$(3) R_{DC} = \frac{V}{I}$$

$\Downarrow$   
Estática

Método "Ampímetro/Voltímetro":

Repetido em 3 páginas

Especifico:



Com o comutador na posição 1:

$$I_1 = I_D$$

$$V_1 = V_D + R_A I_1$$

Com o comutador na posição 2:

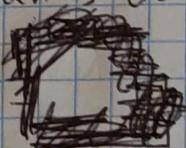
$$I_2 = I_1$$

$$V_2 = R_A I_1$$

Montagem (B)  
(Excluindo comutador)

Comutador

Montagem (A) e'  
analogas mas nos  
terminais de diodo



Aproximação a verificar

Linarização:

$$\ln(I_D + I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nRT}$$

$$I_D + I_0 \approx I_D$$

$$\Rightarrow \ln(I_n) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nRT} \quad (4)$$

Variável  
dependente  
(y)

Variável  
dependente  
origem  
(x)

eletricidade  
m

Variável independente  
(x)

Q que medir?

- Resistência fixa ( $\approx 15 \text{ k}\Omega$ )
- Tensão no voltmetro ( $V_0$  e  $V_2$ )
- Corrente elétrica ( $I_0$  e  $I_1$ )

Q que determinar?

- ~~Resistência total~~
- Resistência estética } (gamas de valores mas  $\neq$  gama
- Resistência dinâmica }  $I(v)$
- $I_0 = e^{bV}$  (5)
- $\gamma = \frac{e}{mRT}$  (6)

↑ ligar Amperímetro e Voltímetro  
para aquecer ao chegar e  
escalar os escalares prudentes

Procedimento:

Comutador

- Montagem experimental:
- Ajustar a tensão:
  - Medir  $V_1$
  - Medir  $I_1 = I_0$  (Posição 1)
  - Repetir para posição 2
- Calcular  $V_D$  ( $V_1 - V_2$ )

Montagem (A) e (B)

- Montagem (A) para polarização direta em ambas
- Montagem (B) para polarização inversa \*
- \* Na diodo de Zener para altos furos do volta para (A) (Avalanche)

M1 (J1)

Resistência:  $15 \text{ k}\Omega \pm 5\%$

Riscos - Castanho / Verde / Laranja / Dourado

Wgsp 100% OR

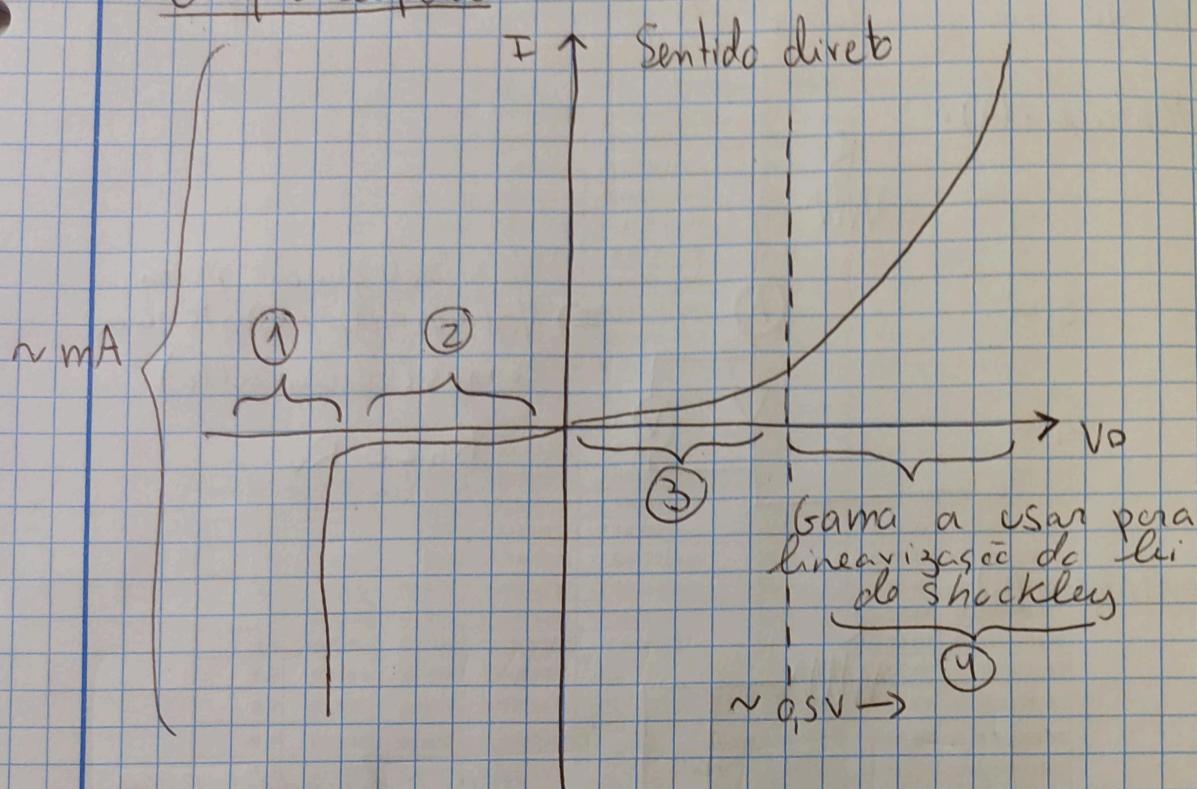
MB

completar escala

- pendente
- de facto escala

## Convergência da preparação:

O que esperar?



Zona ① - Zona de avalanche :

- Valores de  $V_0$  instabilizam
- Inatingível no ddd Retificador

Escala prudente:  $V \sim nA - mA / \text{Montagem (A)}$

② - Zona de saturação

- $I$  estabiliza ( $I_c$ )  $R_{\text{est}} \geq 10^6 \Omega$

Escala prudente:  $V \sim nA - nA / \text{Montagem (B)}$

~~③~~ ③: ③ - Zona "reversa"

- Não se recomenda nenhuma muitas partes pois só são usados pontos com  $\sim 0,5V$  para o ajuste / Montagem (A)

④ - "Zona da de Shockley"  $R_{\text{est}} = 10^3 \Omega$  a  $10^6 \Omega$

- São necessários muitos pontos para efectuar um bom ajuste

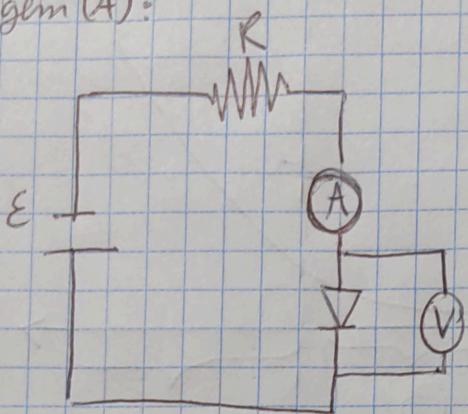
Escala prudente:  $V \sim mA$

- Montagem (A)

## Esquemas:

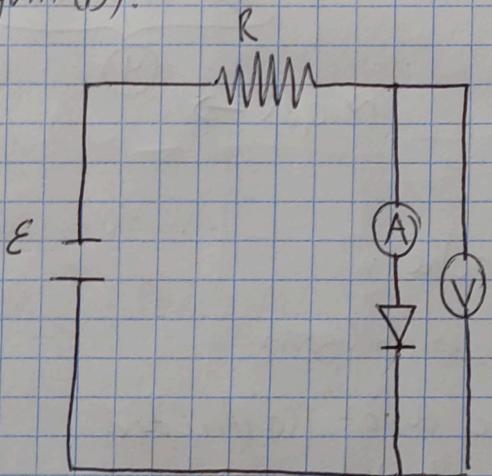
Contrariamente ao esperado foi usado o método Amperimétrico - Voltímetro sem comutador

Montagem (A):



Mais adequado para  
valores de resistência  
baixas (diâmetro alto)  
 $R_D \ll R_V$

Montagem (B):



Mais adequada para  
valores de resistência elevados  
- Zona de saturação

- Procedimento Plano de exemplo exp. → !
- 1) Montar o circuito (A)
  - 2) Medir a tensão no voltímetro para ambos os diodos no sentido direto
  - 3) Montar circuito (B)
  - 4) Medir a corrente de saturação no sentido inverso
  - 5) Para o zener, com o circuito (A) medir Vavalanche

# Registo Resultados e análise Resultados

## Dado Retificador

Polarização Direta								
V <sub>d</sub> 照顧e(V)	V <sub>D</sub> (V)	I <sub>D</sub> (mA)	I <sub>D</sub> (A)	Ln(I)	Ajuste	Resíduo	Ajuste Lei	Incerteza Ln(I)
0.3	0.3096	0.0008	0.0000008	-14.0387	N/A	N/A	5.2E-06	0.125
0.8	0.4132	0.0306	0.0000306	-10.3945	N/A	N/A	4.6E-05	0.003267974
1.2	0.4320	0.0515	0.0000515	-9.87393	N/A	N/A	6.8E-05	0.001941748
1.6	0.4474	0.0775	0.0000775	-9.46523	N/A	N/A	9.4E-05	0.001290323
2.2	0.4650	0.1213	0.0001213	-9.01724	N/A	N/A	1.4E-04	0.000824402
2.6	0.4724	0.1452	0.0001452	-8.8374	N/A	N/A	1.6E-04	0.000688705
3	0.4796	0.1727	0.0001727	-8.66395	N/A	N/A	1.9E-04	0.000579039
3.4	0.4861	0.2012	0.0002012	-8.51121	N/A	N/A	2.1E-04	0.000497018
3.8	0.4911	0.2261	0.0002261	-8.39453	N/A	N/A	2.4E-04	0.000442282
4.2	0.496	0.2529	0.0002529	-8.28252	N/A	N/A	2.6E-04	0.000395413
4.6	0.5003	0.2792	0.0002792	-8.18358	N/A	N/A	2.9E-04	0.000358166
5.1	0.5054	0.3123	0.0003123	-8.07155	N/A	N/A	3.2E-04	0.000320205
6	0.5132	0.3708	0.0003708	-7.89985	N/A	N/A	3.8E-04	0.000269687
6.3	0.5155	0.3903	0.0003903	-7.84859	N/A	N/A	3.9E-04	0.000256213
6.6	0.5182	0.4136	0.0004136	-7.79061	N/A	N/A	4.2E-04	0.000241779
6.9	0.5202	0.432	0.000432	-7.74708	N/A	N/A	4.3E-04	0.000231481
7.3	0.5231	0.4598	0.0004598	-7.68472	N/A	N/A	4.6E-04	0.000217486
7.6	0.525	0.4797	0.0004797	-7.64235	N/A	N/A	4.8E-04	0.000208464
8	0.5278	0.5091	0.0005091	-7.58287	N/A	N/A	5.1E-04	0.000196425
8.3	0.5296	0.5288	0.0005288	-7.5449	N/A	N/A	5.3E-04	0.000189107
8.6	0.5314	0.5486	0.0005486	-7.50814	-7.50577	0.00237	5.5E-04	0.000182282
8.9	0.5329	0.5674	0.0005674	-7.47445	-7.4743	0.00014	5.7E-04	0.000176243
9.2	0.5344	0.5857	0.0005857	-7.4427	-7.44284	-0.00014	5.9E-04	0.000170736
9.5	0.5363	0.6102	0.0006102	-7.40172	-7.40298	-0.00126	6.1E-04	0.000163881
9.8	0.5379	0.6301	0.0006301	-7.36963	-7.36942	0.00021	6.3E-04	0.000158705
10.1	0.5392	0.6475	0.0006475	-7.34239	-7.34215	0.00024	6.5E-04	0.000154444
10.4	0.5407	0.6685	0.0006685	-7.31047	-7.31068	-0.00021	6.7E-04	0.000149589
10.7	0.5421	0.6886	0.0006886	-7.28085	-7.28132	-0.00047	6.9E-04	0.000145222
11	0.5431	0.7037	0.0007037	-7.25916	-7.26034	-0.00118	7.0E-04	0.000142106
11.2	0.5443	0.7205	0.0007205	-7.23557	-7.23517	0.00040	7.2E-04	0.000138793
11.7	0.5464	0.7549	0.0007549	-7.18893	-7.19111	-0.00219	7.5E-04	0.000132468
12	0.5475	0.7712	0.0007712	-7.16756	-7.16804	-0.00048	7.7E-04	0.000129668
12.2	0.5485	0.7869	0.0007869	-7.14741	-7.14706	0.00035	7.9E-04	0.000127081
12.5	0.5497	0.8067	0.0008067	-7.12256	-7.12189	0.00067	8.1E-04	0.000123962
12.8	0.5509	0.8285	0.0008285	-7.09589	-7.09672	-0.00082	8.3E-04	0.0001207
13.1	0.5521	0.8486	0.0008486	-7.07192	-7.07155	0.00038	8.5E-04	0.000117841
13.4	0.5533	0.871	0.000871	-7.04587	-7.04637	-0.00050	8.7E-04	0.000114811
13.7	0.5545	0.8925	0.0008925	-7.02148	-7.0212	0.00028	8.9E-04	0.000112045
14	0.5553	0.9078	0.0009078	-7.00449	-7.00442	0.00007	9.1E-04	0.000110156
14.3	0.5567	0.9317	0.0009317	-6.9785	-6.97505	0.00345	9.3E-04	0.000107331
14.6	0.5575	0.9514	0.0009514	-6.95758	-6.95827	-0.00069	9.5E-04	0.000105108
14.9	0.5587	0.9751	0.0009751	-6.93297	-6.9331	-0.00013	9.7E-04	0.000102554
15	0.5588	0.9775	0.0009775	-6.93051	-6.931	-0.00049	9.8E-04	0.000102302
0.5	0.367	0.0078	0.0000078	-11.7614	N/A	N/A	1.7E-05	0.012820513
5.5	0.5058	0.3369	0.0003369	-7.99572	N/A	N/A	3.2E-04	0.000296824
11.5	0.545	0.7386	0.0007386	-7.21075	N/A	N/A	7.3E-04	0.000135391
Incerteza	0.1	0.0001	0.0001	0.0000001				

Tabela(1) Dados sentido direto  
Dado Retificador

(A impressão saiu um pouco deslocada)  
menores divisões dos aparelhos

$$u(Ln(I)) = u(I) \Rightarrow \text{Usado para os bairros de erro}$$

\* ponto retirado, pois foi concluído através do gráfico de resultados (sem dúvida) duvidoso - provavelmente erro de digitação

Vende → Corresponde à gama utilizada na linearização

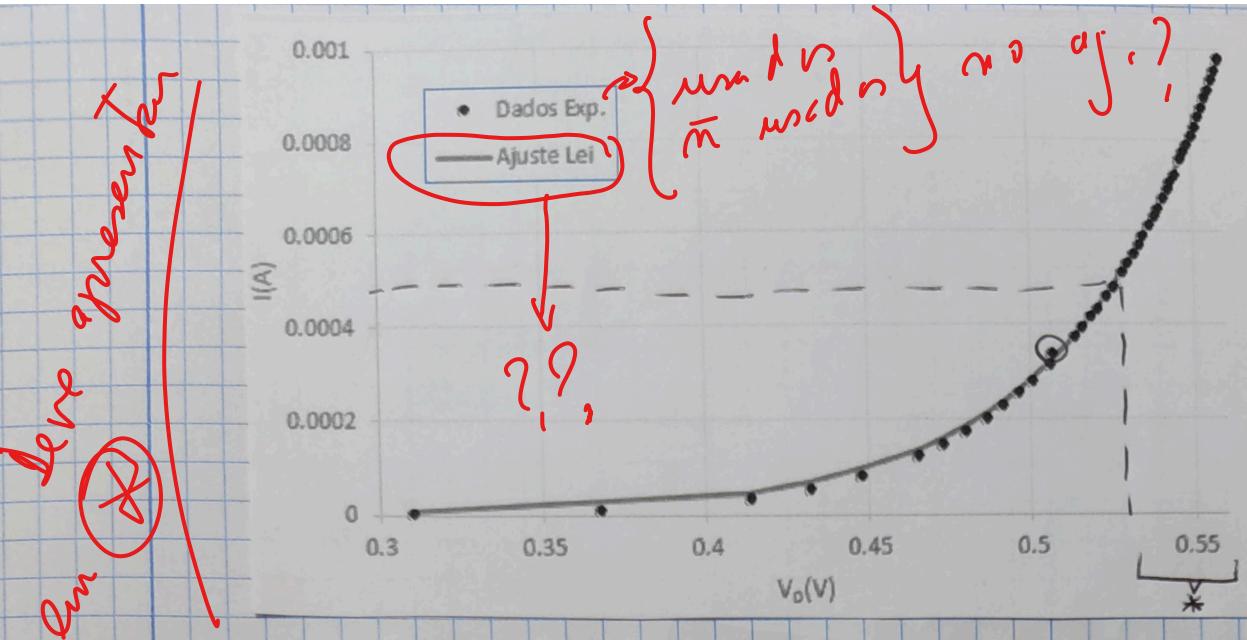


Gráfico (1) -  $I(V_d)$  no sentido direto

- Ao compararmos o gráfico (1) com o previsto nessa zona verificamos a tendência exponencial prevista pela lei de Shockley.
- A curva "Ajuste Lei" foi calculada a partir da substituição na lei de Shockley dos valores finais obtidos:
$$I \approx I_0 e^{\frac{eV}{nkT}}$$
- Dado a proximidade dos dados exp. com o ajuste concluimos de facto que  $I_0 + I_0 \approx I_0$  é uma boa aproximação.

\* Zona escolhida para a linearização e com mais pontos

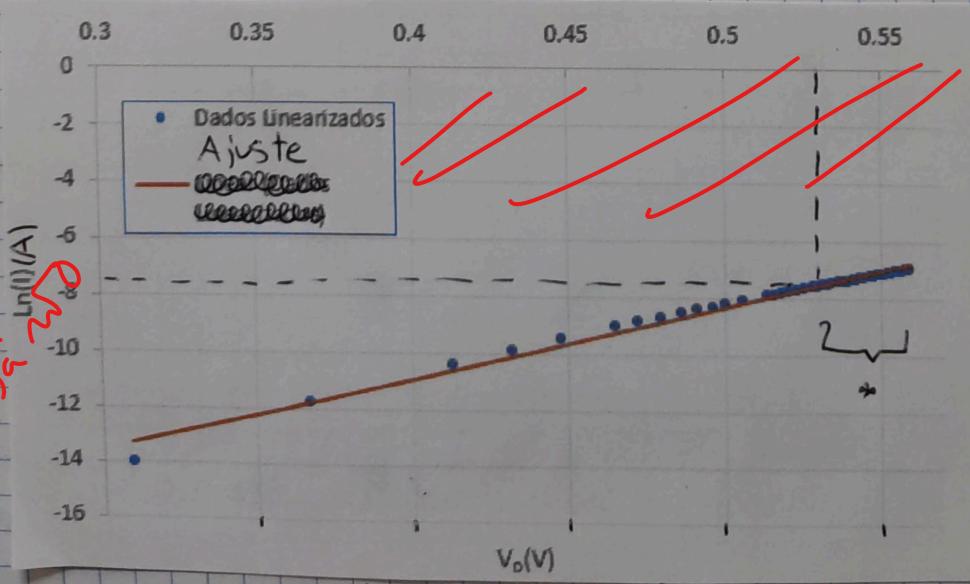
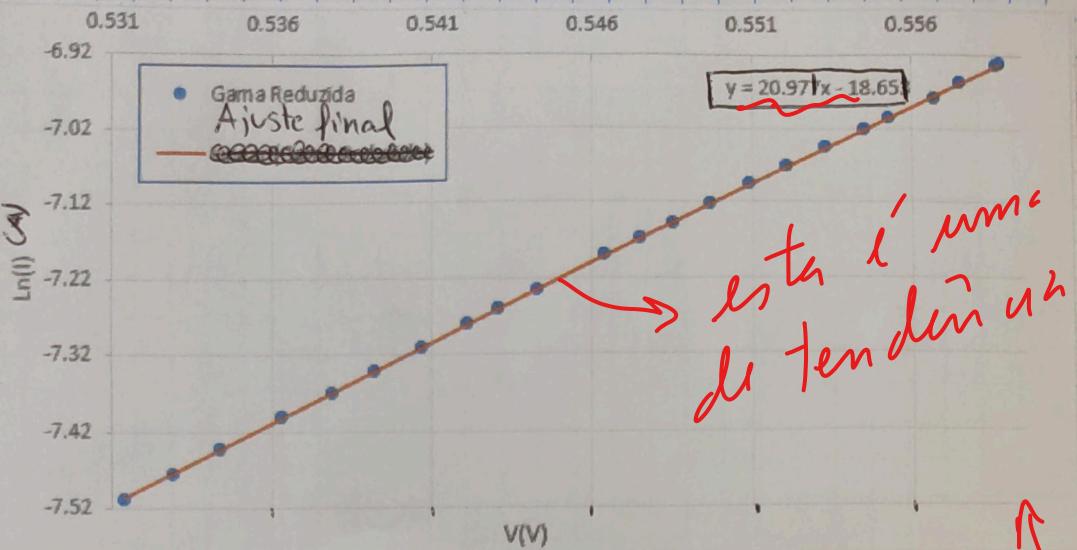


Gráfico (2) -  $\ln(I)/I$  em função de  $V_d$

\* gama final



LINEST Gama Reduzida			
m	20.98	-18.65	y
$\sigma_m$	0.03	0.02	$\sigma_y$
$r^2$	1.000	0.001	$\sigma_{y\_aj}$

- Através de  $r^2 = 1.000$  concluímos que o ajuste tem boa representatividade dos dados experimentais.
- Observe-se o ajuste:  $y = 20.98x - 18.65$
- Incertezas com 1 alig. sig., pois temos menos de 50 pontos

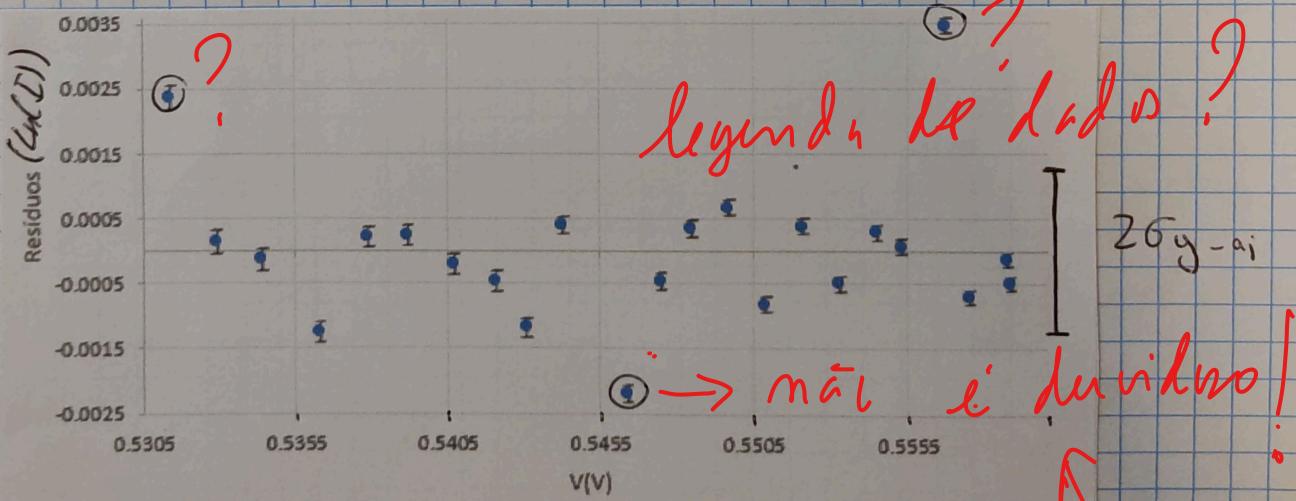


Gráfico (4) - Resíduos de  $\ln(I)$

- Barras de erro da tabela (1), última coluna
- Não é observada qualquer tendência

• Gráfico I(V) e/limite de aj.?

- Os pontos rejeitados não foram considerados como desvios pois os seus valor são relativamente baixos mesmo que um deles tenha valor superior a  $2 \times 6\sigma_{\text{ap}}^{\text{ap}}$ .

- Confirma-se que foi um bom ajuste

→ Sentido inverso

~~Rejeito inicial~~

Polarização Inversa			
$V_{\text{fonte}}(\text{V})$	$V_D(\text{V})$	$I_D(\mu\text{A})$	$I_D(\text{A})$
1.8	1.87	0.138	0.000000138
3	3.10	0.137	0.000000137
5.1	5.18	0.137	0.000000137
6.5	6.63	0.136	0.000000136
7.3	7.39	0.136	0.000000136
8	8.14	0.137	0.000000137
9.4	9.51	0.136	0.000000136
10.4	10.47	0.136	0.000000136
11.7	11.78	0.136	0.000000136
12.6	12.64	0.136	0.000000136
13.8	13.99	0.136	0.000000136
14.6	14.74	0.136	0.000000136
Incerteza	0.1	0.01	0.001
			-1E-09

⇒ menor desvio

Tabela (3) - Dados do diodo Retificador no sentido inverso

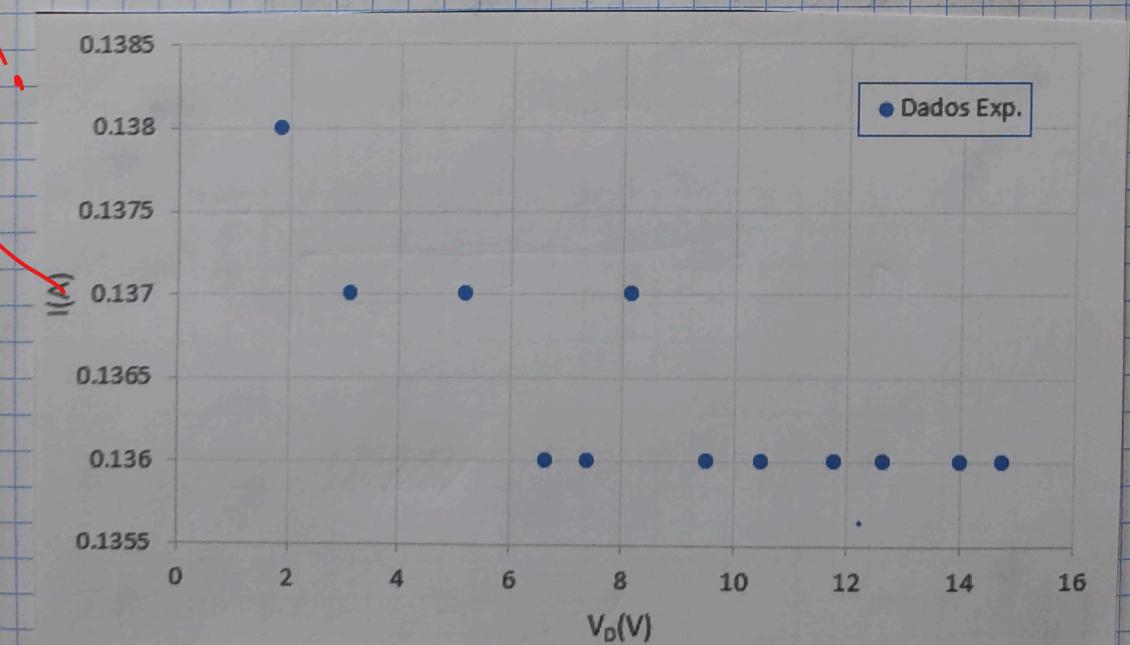


Gráfico (3) - Valores em modo de saturação

→ dá  $I_A \sim 0.1 \mu\text{A}$

- Os valores de corrente e do fator do gráfico estão errados, pois deveriam estar negativos. É não uma questão
  - Mesmo assim, é claro que a corrente se flutua pouco nesse intervalo e podemos calcular uma estimativa de  $I_0$  através da média
  - Não se atingida a zona de avalanche
- Resultados finais:

Resultados Finais		
	Valor	Incerteza
$I_0(A)$ -Ajust	7.9E-09	1E-10
$\eta$	1.900	0.003
$I_0(A)$ Médi	1.36E-07	1E-09

Tabela 19) - Valores finais

$I_0$  - Ajuste: foi calculado a partir de (5)

$$u(I_0) = e^b u(b) \quad (7)$$

$\eta$ : calculado a partir de (4)

$$u(\eta) = \frac{e'}{KTm^2} u(m) \quad (8)$$

$$u(I_0\text{média}) = \frac{\text{desvio padrão}}{\sqrt{12}}$$

Assim temos:

$$I_{0-\text{aj}} = (7,9 \pm 0,1) \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$I_{0-\text{média}} = (1,36 \pm 0,01) \times 10^{-7} \text{ A}$$

Ambos os valores são bastante próximos de 0 como previsto e confirmam que  $I_D \approx I_D + I_0$  é uma boa aproximação

$$\text{Ex}\% = \frac{|I_{0-\text{aj}} - I_{0-\text{média}}|}{I_{0-\text{média}}} \times 100\% = 9,19\%$$

cálculo inicial

~~Há uma diferença entre o valor calculado e o real  
(muito maior que qualquer incerteza relativa)~~

!!

de resultado pragmático!

discutível!  
(Também no  
intervalo a  
vez de grande  
erro)

• Como não foi medida a temperatura no dia foi tomado o valor das previsões meteorológicas:  $T = (18^\circ \pm 1)^\circ\text{C}$

A incerteza foi dada como estimativa o que faz o resto dos cálculos de serem incertos apenas estimativos.

•  $1 < h < 2$ , como esperávamos - provavelmente o efeito é de germinação

	$R_{rest} (\Omega)$	$R_{din} (\Omega)$	Incerteza $R_{rest}$	Incerteza $R_{din}$
$V_{fonte} = 11V$	772	71.43	928	0
$V_{fonte} = 14V$	621	52.29	827	0
$V_{fonte} = 8V$	1037	91.37	1587	0
Ordem de Grandeza	$\sim 10^3 \text{ a } 10^4$		$\sim 10^2$	

		Gama Reduzida	Gama Lei de Shockley	Gama Saturada
$R_{rest} (\Omega)$	Max	<sup>Zona</sup> $0 = 10^5$	$0 = 10^3$	<sup>Zona</sup> $0 = 10^9$
	Min	$0 = 10^3$	$0 = 10^3$	$0 = 10^8$
$R_{din} (\Omega)$	Max	$0 = 10^3$	$0 = 10^2$	$\infty$
	Min	$0 = 10^2$	$0 = 10$	$0 = 10^3$

Tabelas (5) e (6) - Alguns ponto para cálculo das resistências estáticas e dinâmicas e as ordens de grandeza em cada gama

• A resistência estática foi calculado com  $\frac{V_0}{I}$  e os valores confirmam as previsões:

$$\text{Zona saturada} \rightarrow \geq 10^6 \Omega \quad \checkmark$$

$$\text{Sentido direto} \rightarrow 10^3 \Omega - 10^6 \Omega \quad \checkmark$$

• A resistência dinâmica foi calculado com  $\frac{\partial V_0}{\partial I}$ , tomando a regressão linear com pontos tangentes como approximação.

$$u(R_{din}) = 0 \text{ (Ajuste com dois pontos)}$$

$$u(R_{rest}) = \sqrt{\left(\frac{u(V)}{I}\right)^2 + \left(\frac{V u(I)}{I^2}\right)^2} \quad (a)$$

$$\text{Inc rel}(y) = \frac{0,003}{1,900} \times 100\% = 0,2\%$$

$$\text{Inc rel}(I_{0-0.1}) = 1,57\%$$

$$\text{Inc rel}(I_{0-\text{medida}}) = 0,73\%$$

V a partir da qual  $I(V)$  tem uma relação linear  $\Rightarrow \approx 0,588V$

A  
Último ponto

## Dado de Zener

→ OBS. idênticos ao caso do refrigerador!

Sentido direto:

Polarização Direta								
V <sub>fonte</sub> (V)	I <sub>0</sub> (V)	I <sub>0</sub> (mA)	I <sub>0</sub> (A)	U(f)	Ajuste	Resíduos	Ajuste rel	Incertezas I(f)
0.5	0.5488	0.01161	0.00001614	-13.3308	N/A	N/A	8.8E-07	0.000619579
0.8	0.6177	0.01234	0.000012342	-11.3025	N/A	N/A	9.8E-08	8.10241E-05
1.1	0.647	0.01084	0.00001084	-10.3867	N/A	N/A	2.7E-05	1.24254E-05
1.4	0.6611	0.01082	0.00001082	-9.94015	N/A	N/A	4.4E-05	2.07409E-05
1.7	0.6711	0.01076	0.00001076	-9.61441	N/A	N/A	6.2E-05	1.49791E-05
2	0.6786	0.010519	0.000010519	-9.37063	N/A	N/A	8.0E-05	1.17183E-05
2.3	0.6855	0.010726	0.000010726	-9.14025	N/A	N/A	1.0E-04	9.32314E-06
2.6	0.69	0.01242	0.00001242	-8.93162	N/A	N/A	1.2E-04	8.05153E-06
3	0.6958	0.013093	0.000013093	-8.73069	N/A	N/A	1.5E-04	6.62399E-06
3.3	0.6996	0.017104	0.000017104	-8.67361	N/A	N/A	1.7E-04	5.84699E-06
3.6	0.7025	0.018812	0.000018812	-8.57843	N/A	N/A	1.8E-04	5.31570E-06
4	0.7084	0.2284	0.00002284	-8.38441	N/A	N/A	2.1E-04	0.000437828
4.5	0.7126	0.2641	0.00002641	-8.21918	N/A	N/A	2.6E-04	0.000378844
5	0.7158	0.294	0.0000294	-8.13193	N/A	N/A	2.9E-04	0.000340136
5.5	0.7186	0.3238	0.00003238	-8.03538	N/A	N/A	3.2E-04	0.000308813
5.8	0.7206	0.3465	0.00003465	-7.98763	N/A	N/A	3.4E-04	0.00028886
6.2	0.7227	0.3716	0.00003716	-7.89769	N/A	N/A	3.7E-04	0.000269107
6.6	0.7248	0.3995	0.00003995	-7.8293	N/A	N/A	4.0E-04	0.000250313
7	0.7266	0.426	0.0000426	-7.76107	N/A	N/A	4.2E-04	0.00024742
7.3	0.7279	0.4449	0.00004449	-7.71766	N/A	N/A	4.4E-04	0.00022477
7.5	0.7291	0.4638	0.00004638	-7.67806	N/A	N/A	4.6E-04	0.00021561
7.8	0.7303	0.4819	0.00004819	-7.63777	-7.63712	0.00064518	4.8E-04	0.000207512
8.1	0.7315	0.5035	0.00005035	-7.59393	-7.59341	0.001486172	5.0E-04	0.00019861
8.4	0.7326	0.5224	0.00005224	-7.55708	-7.55718	0.000100279	5.2E-04	0.000191424
8.7	0.7338	0.5451	0.00005451	-7.51454	-7.51347	0.000924228	5.4E-04	0.000183453
9	0.7347	0.5623	0.00005623	-7.48348	-7.48418	0.000706677	5.6E-04	0.000177841
9.3	0.7358	0.5828	0.00005828	-7.44767	-7.44595	0.001720523	5.8E-04	0.000171369
9.6	0.7367	0.6023	0.00006023	-7.41473	-7.41406	9.27398E-05	6.0E-04	0.00016603
10	0.738	0.6311	0.00006311	-7.36805	-7.36947	-0.001428214	6.1E-04	0.000158453
10.3	0.7389	0.6495	0.00006495	-7.31931	-7.33019	0.001117081	6.3E-04	0.000153965
10.6	0.7398	0.6704	0.00006704	-7.30764	-7.30691	0.000729171	6.7E-04	0.000149185
10.9	0.7407	0.6911	0.00006911	-7.27723	-7.27562	0.001602991	6.9E-04	0.000144697
11.3	0.7416	0.7146	0.00007146	-7.24379	-7.24434	0.000951821	7.1E-04	0.000139938
11.6	0.7425	0.7371	0.00007371	-7.21279	-7.21306	0.000268441	7.4E-04	0.000135667
11.7	0.7429	0.7474	0.00007474	-7.19891	-7.19915	0.000241477	7.5E-04	0.000133797
12.1	0.7439	0.7726	0.00007726	-7.18375	-7.18439	0.00133737	7.7E-04	0.000129433
12.4	0.7447	0.7935	0.00007935	-7.13654	-7.13658	-4.42028E-05	8.0E-04	0.000125707
12.7	0.7453	0.8128	0.00008128	-7.11503	-7.11573	-0.000702563	8.1E-04	0.000121301
13	0.7461	0.8339	0.00008339	-7.08954	-7.08792	0.001476847	8.4E-04	0.000119918
13.3	0.7469	0.8591	0.00008591	-7.05963	-7.06011	-0.000487167	8.6E-04	0.000116401
13.7	0.7476	0.8799	0.00008799	-7.0357	-7.03578	-7.82538E-05	8.8E-04	0.000113649
14	0.7482	0.8983	0.00008983	-7.01501	-7.01492	8.17899E-05	9.0E-04	0.000111321
14.4	0.7491	0.9286	0.00009286	-6.98183	-6.98364	0.001808396	9.3E-04	0.000107889
14.8	0.7498	0.9522	0.00009522	-6.95874	-6.95931	-0.00257357	9.5E-04	0.00010302
15	0.7502	0.966	0.0000966	-6.94235	-6.94341	-0.003058396	9.6E-04	0.00010352
Incertezas	0.1	0.0001	***	***				

***	Incertezas	Graus	Kelvin
Medidos na escala mA	1E-7A	Temperatura	18
Medidos na escala μA	1E-9A		291.15

Tabela (7) - Dados exp. e de ajuste

Laranja → gama usada para ajuste

Incertezas correspondem à menor divisão

Estimativa

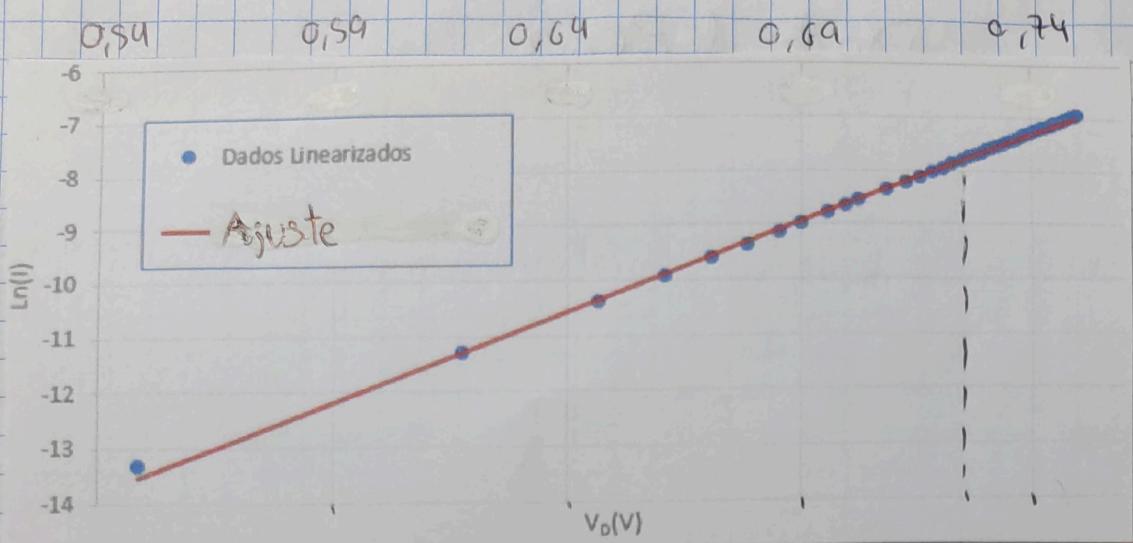
$$T = (291 \cancel{1} \pm 1) K$$

||

incerteza estimada

||

O resto das incertezas serão também incertezas



Gráfico(6) -  $\ln(I)$  em função de  $V_D$  (V) gama usada

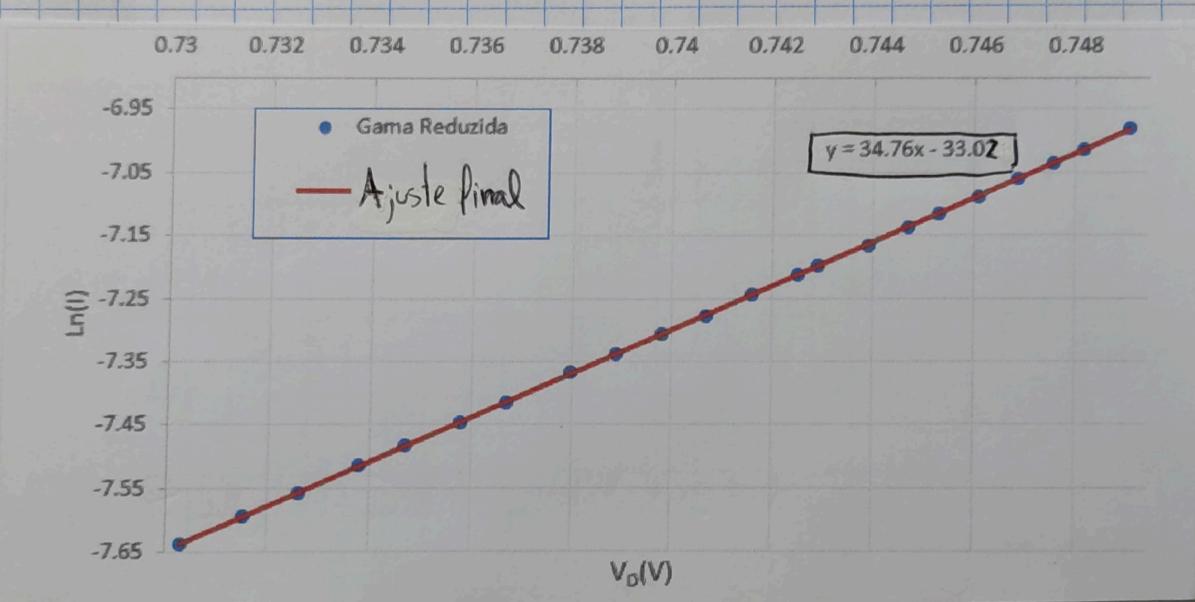


Gráfico (7) - Ajuste da gama final

- Mas uma vez os bairros de zero calculados só são visíveis no gráfico de resíduos

LINEST Gama Reduzida			
m	34.76	-33.02	y
$\sigma_m$	0.04	0.03	$\sigma_y$
$r^2$	1.0000	0.0010	$\sigma_{y,s}$

alg. signif.  
erros

Tabela(8) - Parâmetros do ajuste

~~Foram usados para o ajuste apenas os valores com tensão superior a 0,7303 V~~

- $r^2 = 1,0000$  comprova que os dados são bem representados pela reta de ajuste

• equação de ajuste:  $y = 34,76x - 33,02$

A partir das equações (5) e (6) é possível calcular os valores de  $I_C$  e  $b$  que substituindo na Lei de Shockley que considera a aproximação  $I_P \approx I_{C0} + I_D$  dão-nos o ajuste.

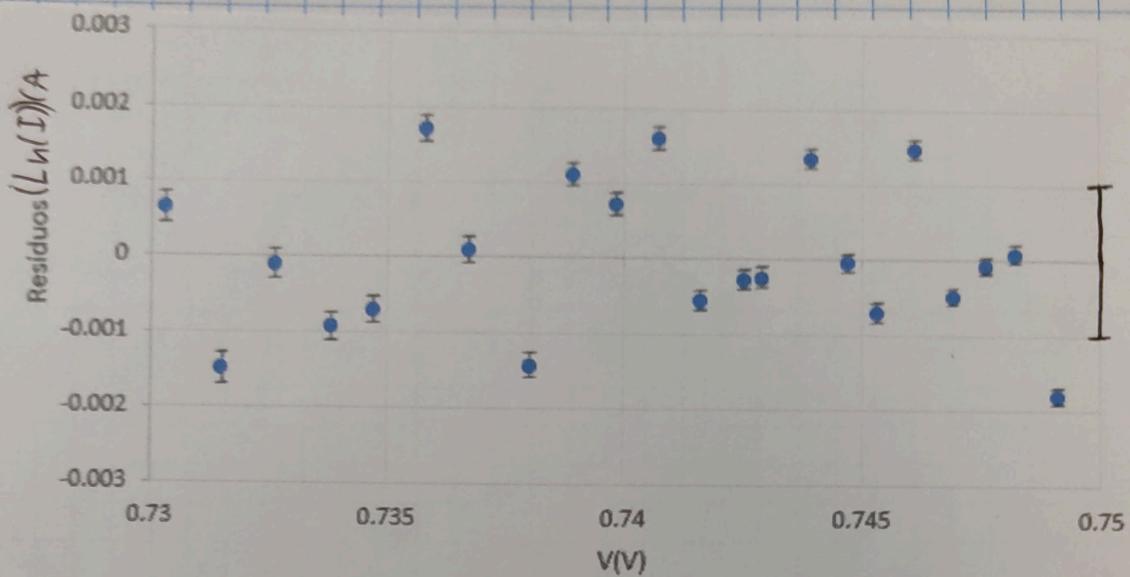


Gráfico (8) - Resíduos do ajuste da  $\ln(I)$

- Não há qualquer tendência nos resíduos e todos os pontos enquadram-se a uma distância menor do que  $2\sigma_{y-x}$  do 0.
- Podemos concluir que a reta de ajuste enquadra os dados perfeitamente

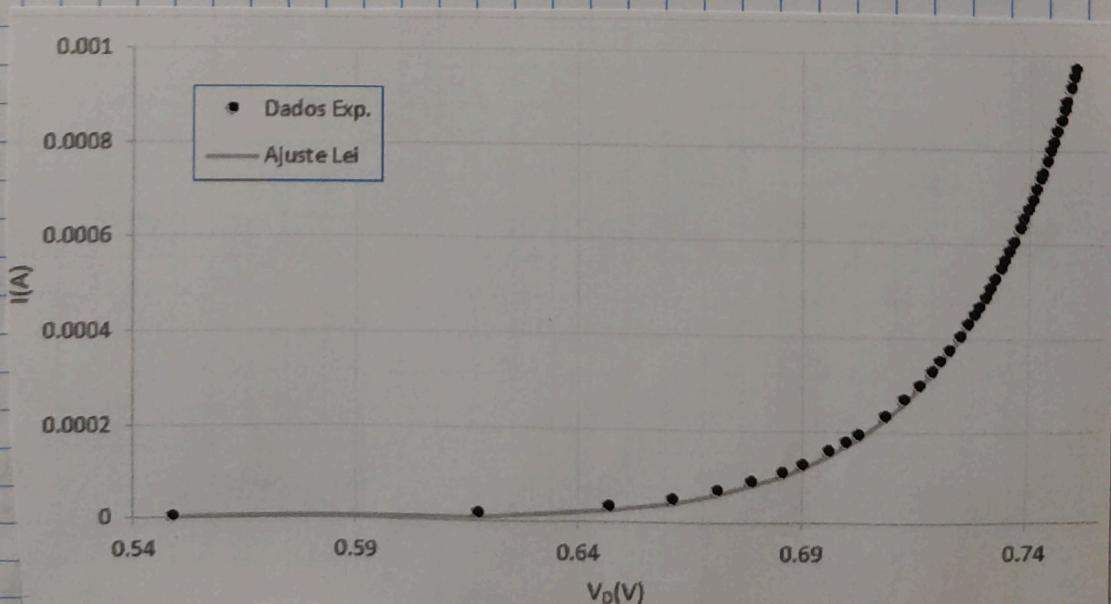


Gráfico (9) - Dados exp e ajuste por Lei de Shockley

- Mais uma vez verificamos que se considerarmos  $I_p \approx I_{sat}$ , as ~~desordens~~ diferenças são desprezável e a curva represta os dados bem
- Verifica-se a curva característica esperada para polarização direta

Polarização Inversa				***	Incerteza
$V_{fonte}(V)$	$V_D(V)$	$I_p(mA)$	$I_p(A)$		
1	-1.03	-0.00014	-1.40E-07		
2.5	-2.59	-0.00014	-1.40E-07		
3.3	-3.41	-0.00014	-1.40E-07		
4.3	-4.43	-0.00014	-1.40E-07		
5.3	-5.37	-0.00014	-1.40E-07		
6.7	-6.78	-0.00014	-1.40E-07		
7.6	-7.7	-0.00014	-1.39E-07		
8	-8.11	-0.00014	-1.39E-07		
10.2	-10.03	-0.019	-0.0000193		
11.2	-10.03	-0.084	-0.0000838		
12.3	-10.03	-0.161	-0.000161		
13.4	-10.03	-0.234	-0.0002336		
13.8	-10.03	-0.265	-0.0002652		
14.4	-10.03	-0.301	-0.0003014		
14.9	-10.03	-0.341	-0.000341		
Incerteza	0.1	0.01 ***	***		

Tabela (9) - Dados sentido inverso

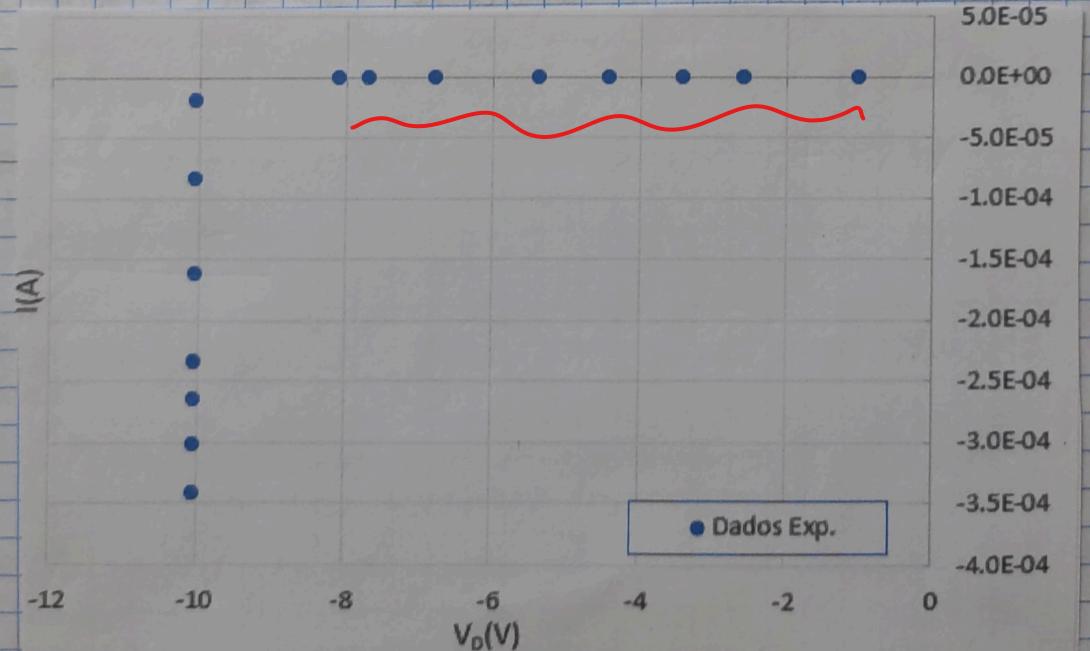


Gráfico (10) - Valores da corrente e tensão nos zonas de saturação e avalanche.

- É clara a distinção em zonas neste gráfico visto que os valores obtidos permanecem constantes

Ita - Verifica-se o provisto

→ mal estruturado e  
misterioso para  
a análise

Nossos Resultados Finais.

Resultados Finais		
	Valor	Incerteza
$I_o(A)$ -Ajuste	4.6E-15	1E-16
$\eta$	1.147	0.001
$I_o(A)$ -Média	-1.40E-07	1E-09
$V_{\text{avalanche}}(V)$	-10.03	0.01

Verificar?

Tabela (1c) - Valores finais

- O cálculo dos valores finais e respectivas incertezas foi feito da mesma maneira que o diodo diodo.
- A incerteza de  $I_o(A)$  muda o diodo pelo incerteza de  $I(A)$  visto que os valores são constantes.
- Com medida em laboratório a tensão estabiliza em  $V_{\text{avalanche}} = 10.03 \pm 0.01$  (incerteza dada pelo incerteza de  $V(V)$ )

Como este valor de  $\eta$  é mais próximo de 1 podemos concluir o erro relativo do diodo ser de silício:

$$\text{Gr}\% = \frac{|1.147 - 1|}{1} \times 100\% = 15\%$$

$$\text{Incr}\% = \frac{0.001}{1.147} \times 100\% = 0.09\%$$

Máis h<sub>o</sub> { cálculos }  
não resultados  
não finais

Comparando a incerteza relativa com o erro relativo concluimos que muito provavelmente o diodo é não de silício, mas sim de germanio, por exemplo, com diferentes composição que a retificadora

- Neste Diodo  $I_o$  são ainda mais próximos de 0, logo a aproximação feita é ainda melhor.

- O valor de  $I_o$  medido é, no entanto, bastante diferente do calculado pelo ajuste.

Existe uma diferença grande entre os dois.

Avaliação das  $R_{\text{dim}}$  e  $R_{\text{ext}}$ ?

	$R_{est} (\Omega)$	$R_{din} (\Omega)$	Incerteza $R_{est}$	Incerteza $R_{din}$
$V_{fonte}=10V$	1169	48.91	586	0
$V_{fonte}=13V$	895	31.75	340	0
$V_{fonte}=9V$	1307	53.66	735	0
Ordem de Grandeza	$\sim 10^3$ a $10^4$		$\sim 10^2$	

	Gama Reduzida	Gama Lei de Shockley	Gama Saturada	Gama Avalanche
$R_{est} (\Omega)$	Max	$0=10^5$	$0=10^3$	$0=10^6$
	Min	$0=10^3$	$0=10^3$	$0=10^5$
$R_{din} (\Omega)$	Max	$0=10^4$	$0=10^2$	$\infty$
	Min	$0=10^2$	$0=10$	0

Tabelas (1) e (2) - Valores das resistências estáticas e dinâmicas

- Os mesmos métodos para calcular as resistências internas aparentes e as incertezas foram usados.
- Foram também do mesmo modo verificados os valores previstos das resistências em cada gama.
  - A Gama saturado apresenta como resistência aparente infinita visto que o gráfico constitui uma linha horizontal.
  - Na zona de avalanche verifica-se o contrário - a reta é vertical e aparentemente não há qualquer resistência.
  - Podemos estimar o valor a partir do qual  $I_d$  cessa de obedecer à lei de Ohm como o último ponto  $\approx V \approx 0,7502V$ .
- Conclusões: → inc / Lei de Shockley?

- convergência*
- As curvas características dos diodos foram semelhantes ao esperado e o ajuste final em ambos os diodos englobou perfeitamente os dados.
  - Assim concluímos que a aproximação  $I_D \approx I_A + I_B$  pode ser feita sem que haja alteração substancial das resultadas finais.
  - No sentido direto, com o aumento da tensão temos uma diminuição da resistência e o valor máximo é obtido verifica-se na zona de saturação e o mínimo na de avalanche.
  - O fator  $n$  teve um valor de  $(1,900 \pm 0,003)$  para o *Peltier* e  $(1,147 \pm 0,001)$  para o *Zener* e os seus respectivos erros são respetivamente  $45\%$  e  $15\%$ .
  - Assim ambos os diodos são predominantemente de germaníio ou outro material cujo fator varia entre 1 e 2.