

Trabalho 3B

Vol const.

o.g. $I_o \ll o.g. I$
inversa direta

B

Traçado da Curva Característica de Diodos

Objetivos

- "Traçar" a curva característica de diodos retificadores Zener, parametrizá-la (I_o não linear)
 - Caracterizar o traçado do gráfico com ordens de grandeza
- Avaliar as resistências internas aparentes nas várias gamas de tensão, em ambos os diodos.

Execução Experimental

* Material

Fonte de Tensão
0 - 15VResistência de Proteção
15 k Ω 

Diodo Retificador



com base nos
gráficos de residuos
é fácil!

Voltímetro
Multímetro 0,1mV - 15 V
resolução de 4,5 dígitos

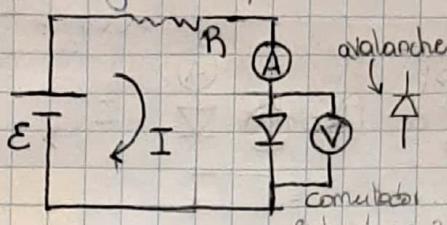
Ampêmetro
Multímetro nA - mA
resolução 4,5 dígitos

Diodo Zener



* Montagem Experimental

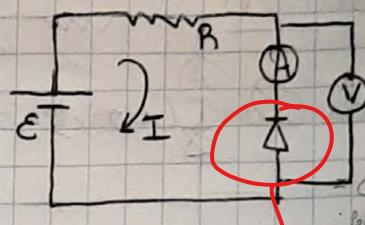
R_{diodo} ~ R_N



Montagem a

comutador fechado em 1

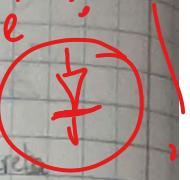
R_{diodo} ~ R_N



Montagem b

de fact é

- I_{máx} = [1, 2] mA
- comutador polarização direta



Tira menos pontos

Montagem Mista

Notes:

Incertezas de medida

associados à escala escolhida ; Corrente inversa → Inversão polaridade da fonte

* Metodologia

→ Diodo Retificadora - Montagem Mista

- Procedimento de medida com ajuste $I_2 = I_1$,
→ medir (V_0 , I_0)

1. Com o comutador em 1, medir V_1 e I_1 ,
valores diferem c/ comutador em 2

2. Com o comutador em 2, ajustar a tensão na fonte
para se ter $I_2 = I_1$ e medir V_2

⇒ A tensão no diodo é : $V_D = V_1 - V_2$

- Procedimento de medida com $I_2 \neq I_1$,
→ medir (V_1, I_1) e (V_2, I_2) em separado
resistência do amperímetro - R_A : $V_2 = R_A I_2$

1. Com o comutador em 1, medir V_1 e I_1 ,
(repetir sequencialmente para todos os pontos) (V_1, I_1)
 $I_1 = I_0$; $V_1 = V_0 + R_A I_1$

2. Com o comutador em 2, medir V_2 e I_2
(repetir sequencialmente para todos os pontos) (V_2, I_2)
ajusta-se E ; $I_2 = I_1$; $V_2 = R_A I_2$

⇒ A tensão no diodo é : $V_D (I_1) = V_1 - R_A I_1$

↳ O valor de R_A obtém-se pelo declive do gráfico de $V_2 (I_2)$

→ Diodo Retificadores

→ Montagem a ($R_{diodo} \ll R_V$)

Medir os valores V , no voltmetro, e I , no amperímetro

→ Montagem b ($R_{diodo} \sim R_V \Rightarrow R_{diodo} \gg R_A$)

Medir os valores V , no voltmetro, e I , no amperímetro

~~Proceder da mesma forma~~

- Inverter o sentido da corrente, e repetir o procedimento
- Proceder da mesma forma para o diodo zener

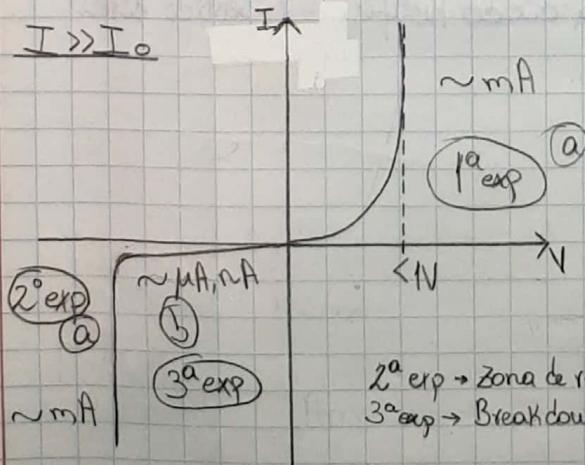
MLST

Notas de Aula

- Escalas prudentes (fonte: 1,5A ; 15V) : 2000mA ; 100V

	Montagem a	Montagem b
Escalas previstas :	2mA ou 20mA ; 1V	2mA ; 100V
Escalas usadas :	2mA ; 1V	2mA ; 100V

- Ordem de recolha de dados:



2^o exp) → identificar V mais p/ fazer a 3^o
→ usar o circ. (a) já montado

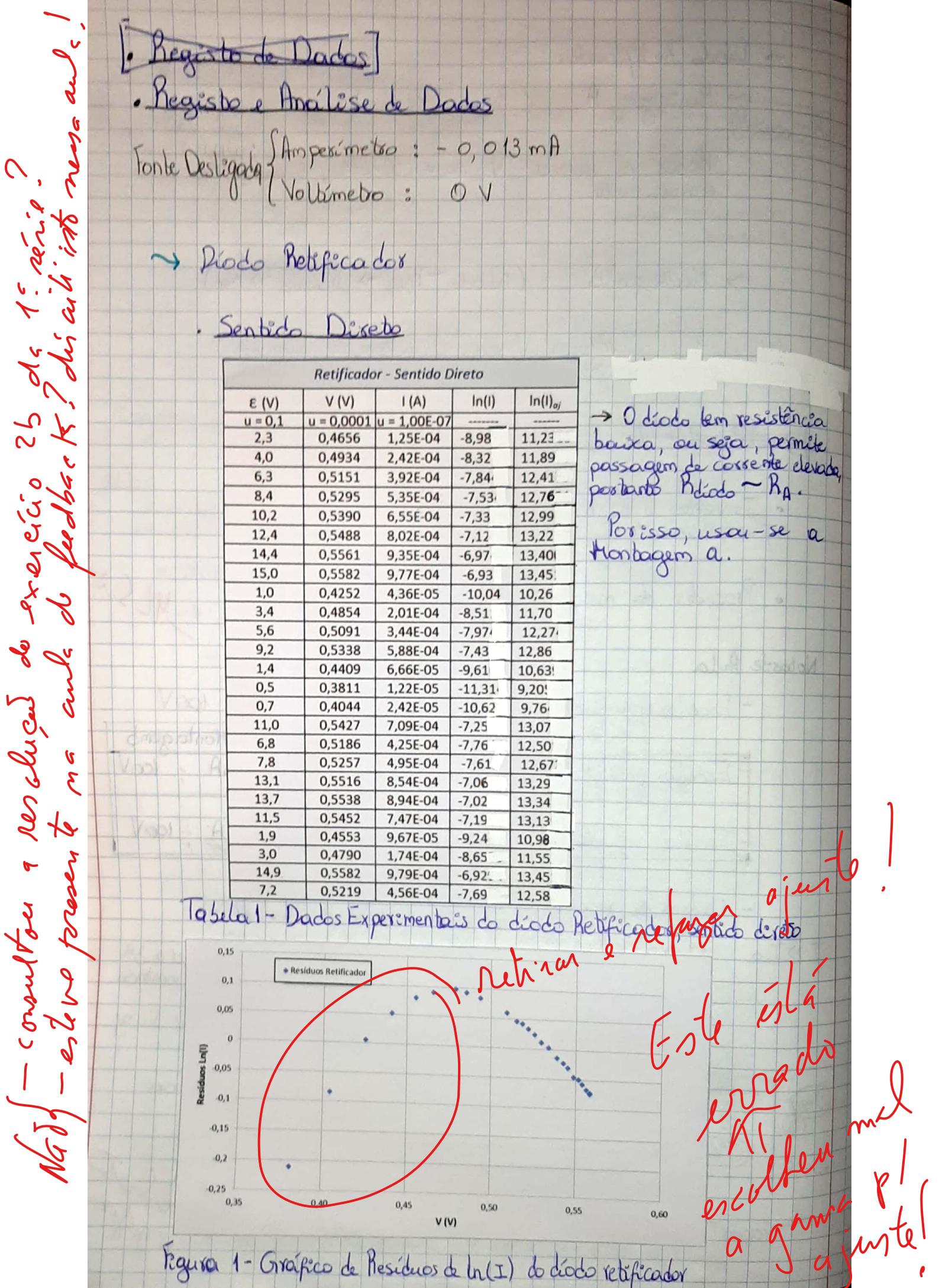
3^o exp) I_0 exp. p/ comparar c/ I_0 aj

Montagem b → polarização inversa

2^a exp → Zona de retificação
3^a exp → Breakdown

"Traçar" a característica I_0 aj, V_s , I_{0exp} , V_{aval} .

MLST
OK
B+



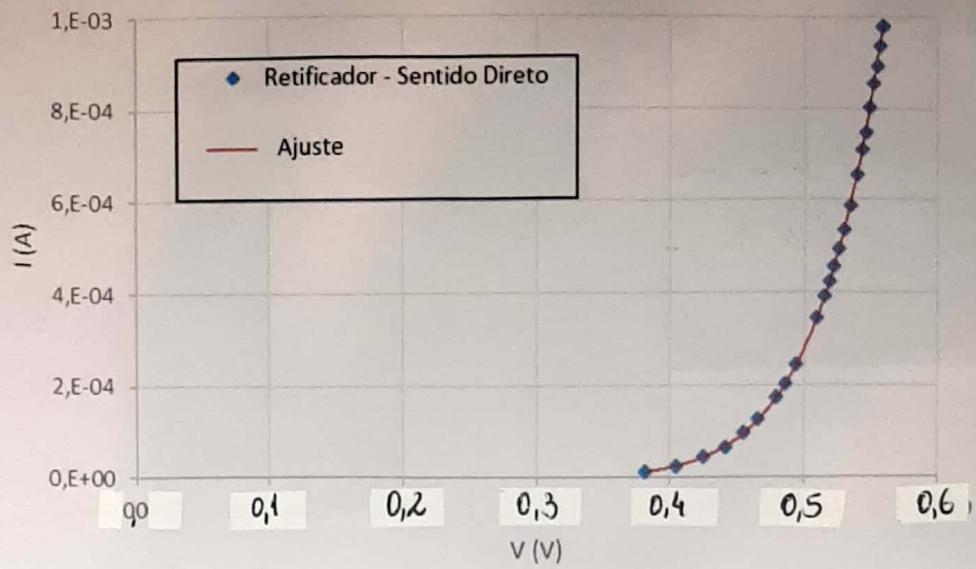


Figura 2 - Gráfico de $I(V)$ do diodo retificador no sentido direto
(Perfil do Díodo Retificador em Sentido Direto)

Linearizando pela Lei de Shockley: $I = I_0 (e^{\frac{eV}{nKT}} - 1)$

$$\ln(I + I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nKT} \Rightarrow \ln(I) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nKT}$$

\downarrow

$$I_0 \ll I \Rightarrow \ln(I + I_0) = \ln(I)$$

$$\ln I = mx + b \Leftrightarrow I = e^{mx+b} \Leftrightarrow I = e^{mx} \cdot e^b$$

Tendo V como x e m e b da Matriz de Ajuste da Figura 3

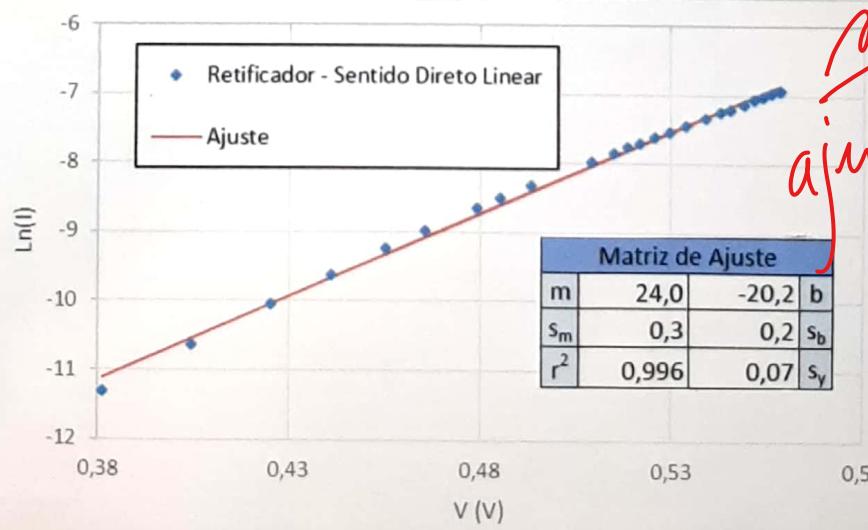


Figura 3 - Gráfico de $\ln(I)$ em função de V do diodo retificador

$$\text{Assim: } I = e^{24,0V} \cdot e^{-20,2} \Rightarrow I \approx 1,69 \cdot 10^{-9} \cdot e^{24,0V}$$

$$I_{0g} = e^b \approx 1,69 \cdot 10^{-9} \text{ A}$$

\hookrightarrow comprovação de que I_0 é desprezável

$$\eta = \frac{e}{mkT} ; e = 1,602 \times 10^{-19} C$$

$$k = 1,381 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$$

$$T = 289,15 K \text{ (estimativa da temperatura ambiente)}$$

$$n = 1,67 \pm 0,02$$

$$I_{oaj} = (1,7 \pm 0,3) \times 10^{-9} A$$

Sentido Inverso

Retificador - Sentido Inverso		
E (V)	V (V)	I (A)
u = 0,1	u = 0,001	u = 1,00E-07
1,0	-1,011	-1,38E-04
2,0	-2,097	-1,38E-04
3,0	-3,076	-1,38E-04
4,0	-4,078	-1,38E-04
5,0	-5,058	-1,38E-04
6,0	-6,124	-1,38E-04
7,0	-7,128	-1,37E-04
8,0	-8,052	-1,37E-04
9,0	-9,125	-1,37E-04
10,0	-10,08	-1,37E-04
11,0	-11,101	-1,37E-04
12,0	-12,102	-1,37E-04
13,0	-13,139	-1,37E-04
14,0	-14,127	-1,37E-04
15,0	-15,081	-1,37E-04

→ A resistência do diodo não permite a passagem de corrente, ou seja, $R_{diodo} \sim \infty$, por isso usou-se a Montagem b

Tabela 2 - Dados experimentais do diodo retificador, sentido inverso



Figura 4 - Gráfico de diodo retificador no sentido inverso

$I_S \sim ?$

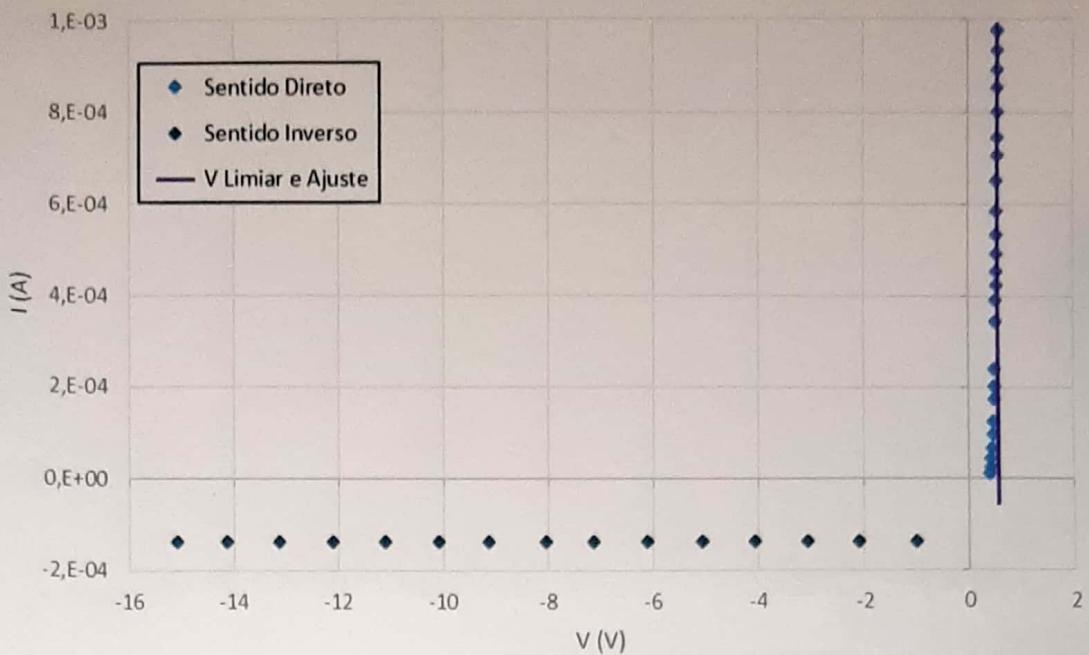


Figura 5 - Curva característica do diodo retificador
(Representação de Vlimiar)

$$V_{\text{limiar}} \approx 0,56 \text{ V}$$

→ Díodo Zener

Sentido Direto

Zener - Sentido Direto				
ϵ (V)	V (V)	I (mA)	$\ln(I)$	$\ln(I)_{aj}$
u = 0,1	u = 0,0001	u = 1,00E-04	-----	-----
1,0	0,6423	2,57E-02	-3,661	-3,688
1,9	0,6771	8,10E-02	-2,513	-2,512
2,6	0,6918	1,321E-01	-2,024	-2,016
3,3	0,7008	1,789E-01	-1,721	-1,712
3,9	0,7062	2,148E-01	-1,538	-1,529
4,4	0,7106	2,488E-01	-1,391	-1,381
4,9	0,7146	2,853E-01	-1,254	-1,246
5,3	0,7170	3,100E-01	-1,171	-1,165
6,0	0,7213	3,577E-01	-1,028	-1,019
6,3	0,7231	3,813E-01	-0,964	-0,959
6,9	0,7262	4,230E-01	-0,860	-0,854
7,4	0,7281	4,520E-01	-0,794	-0,790
8,1	0,7310	4,986E-01	-0,696	-0,692
8,7	0,7332	5,382E-01	-0,620	-0,617
9,2	0,7352	5,739E-01	-0,555	-0,550
9,8	0,7371	6,164E-01	-0,484	-0,486
10,3	0,7386	6,491E-01	-0,432	-0,435
10,9	0,7403	6,876E-01	-0,375	-0,378
11,3	0,7416	7,186E-01	-0,330	-0,334
11,9	0,7430	7,561E-01	-0,280	-0,286
12,3	0,7440	7,832E-01	-0,244	-0,253
13,3	0,7463	8,491E-01	-0,164	-0,175
14,3	0,7486	9,161E-01	-0,088	-0,097
15,0	0,7500	9,654E-01	-0,035	-0,050

→ Como o estudo efetuado é semelhante ao do diodo retificador, foi usada a Montagem a.

Tabela 3 - Dados experimentais do diodo zener no sentido direto

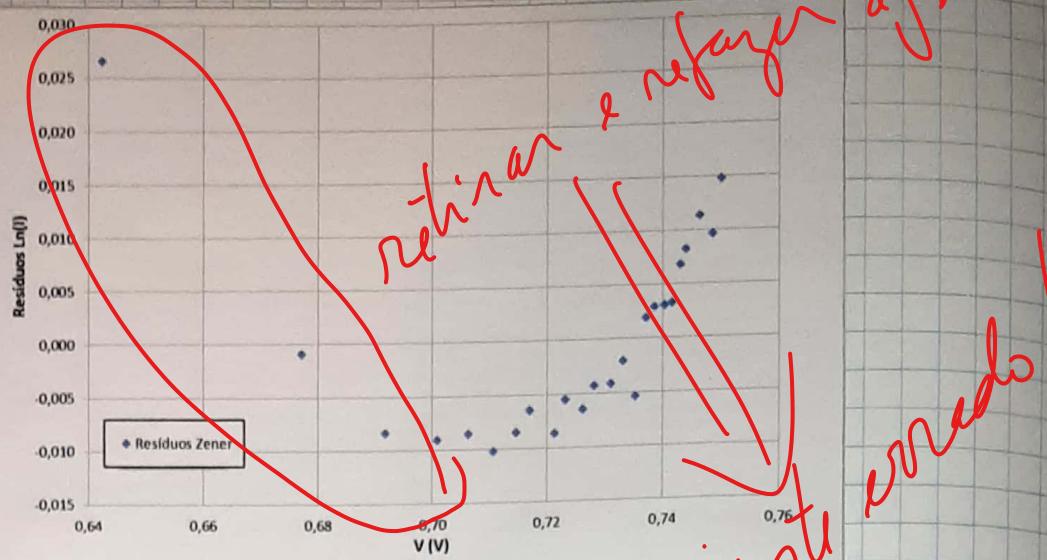


Figura 6 - Gráfico de Resíduos de $\ln(I)$ do diodo Zener

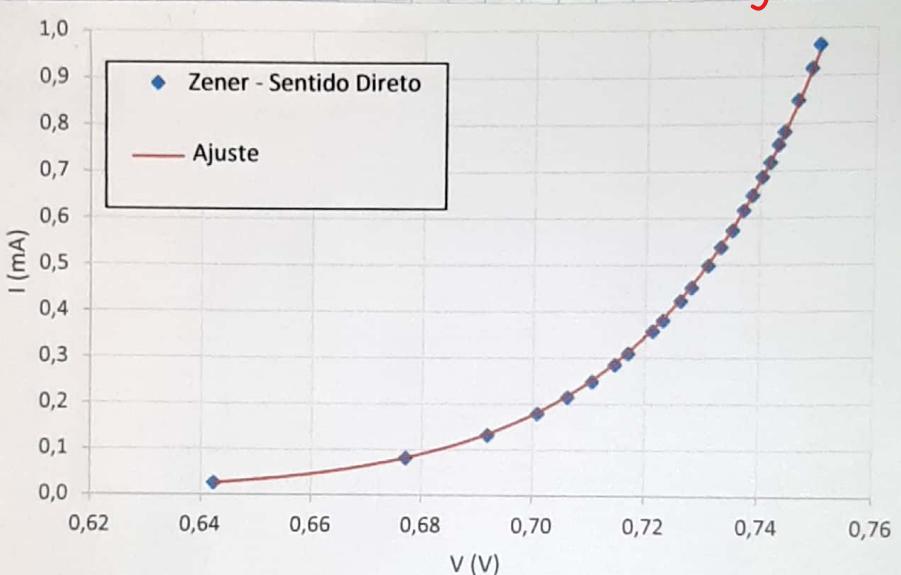


Figura 7 - Gráfico de $I(V)$ do diodo zener no sentido direto
(Perfil do Díodo Zener no Sentido Direto)

Tal como anteriormente, procedeu-se à linearização

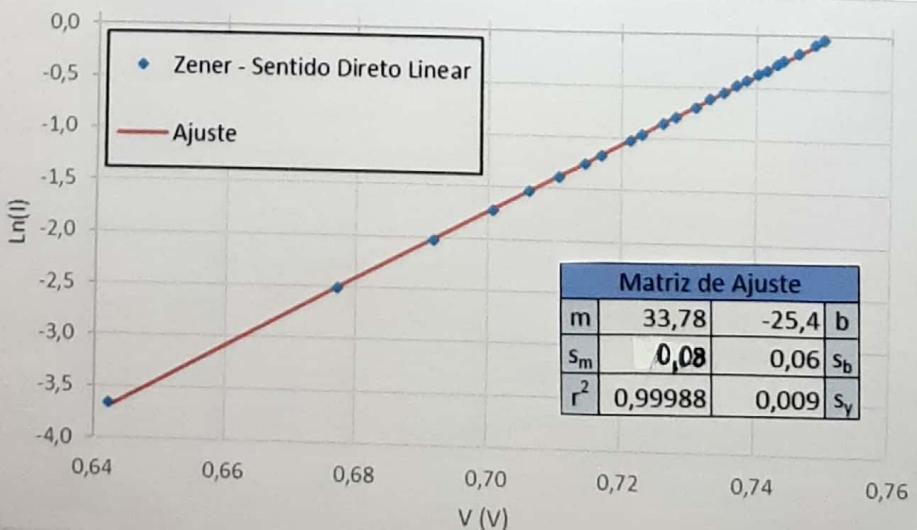


Figura 8 - Gráfico de $\ln(I)$ em função de V do diodo zener

Novamente pela Lei de Shockley obtém-se:

$$I = e^{m\alpha} \cdot e^b$$

$$\Rightarrow I = e^{33,78V} \cdot e^{-25,4} \Leftrightarrow I \approx 9,0 \times 10^{-12} \cdot e^{33,78V}$$

$$I_{eq} = (9,0 \pm 0,6) \times 10^{-12} \text{ A}$$

$$\eta = 1,188 \pm 0,003$$

• Sentido Inverso

Zener - Sentido Inverso		
E (V)	V (V)	I (mA)
$u = 0,1$	$u = 0,001$	$u = 0,0001$
1,0	-1,018	0,0130
2,0	-2,013	0,0130
3,0	-3,028	0,0130
4,0	-4,041	0,0130
5,0	-5,088	0,0130
6,0	-6,105	0,0130
7,0	-7,078	0,0130
8,0	-8,071	0,0130
9,0	-9,065	0,0130
10,0	-10,014	0,0080
11,0	-10,029	-0,0590
12,0	-10,029	-0,1310
13,0	-10,031	-0,1950
14,0	-10,033	-0,2650
15,0	-10,035	-0,3300

→ Foi usada a Montagem b

Tabela 4 - Dados experimentais do diodo zener no sentido inverso

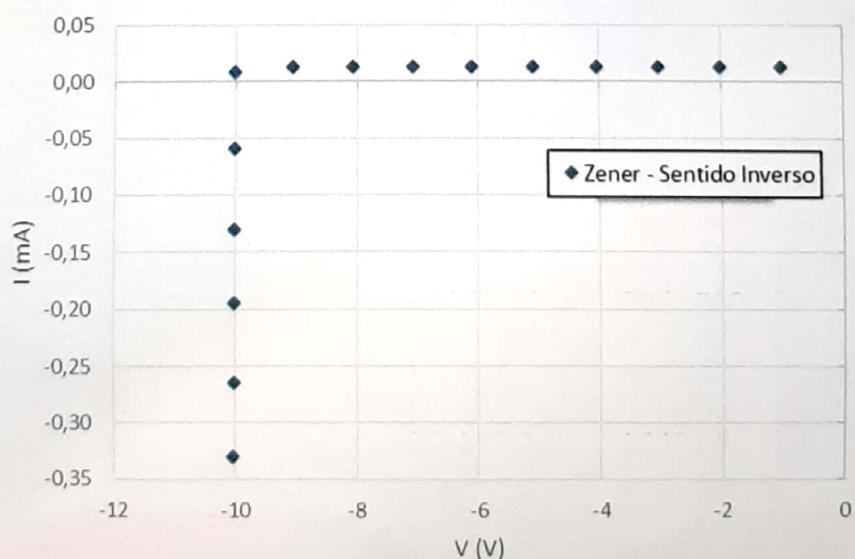


Figura 9 - Gráfico de diodo zener no sentido inverso

↓ aval ~ ?

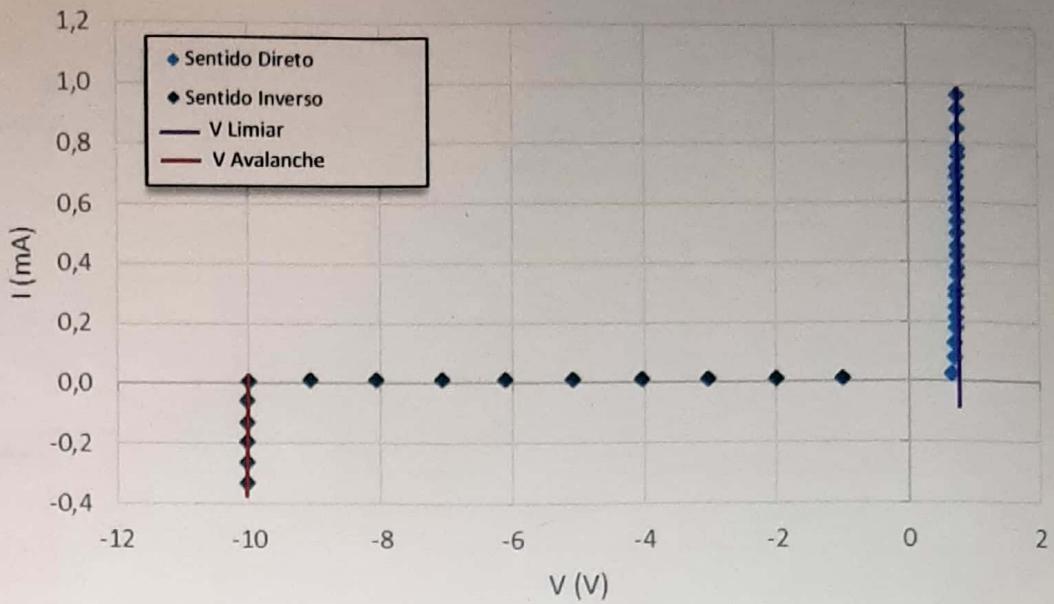


Figura 10 - Curva característica do diodo Zener
 (Representação de Viesniar e Navalanche)

$$\text{Volumen} \approx 0,45 \text{ V} ; \text{ Avalanche} \approx -10,04 \text{ V}$$

Quattro-Sintese

Resultados Finais!

	Rebificadores	Zenex
Volumenar (V)	0,56	0,75
Vavalanche(V)	—	-10,04
I _o (A)	$1,7 \times 10^{-9}$	$9,0 \times 10^{-12}$
n	1,6 F	1,188

$$R = \frac{V}{I}$$

	$V(V)$	$I(A)$	$R_{DC} (k\Omega)$
Rectificador	-14,12V	$-1,37 \times 10^{-4}$	103,11k
	-1,011	$-1,38 \times 10^{-4}$	7,326
	0,3811	$1,22 \times 10^{-5}$	31,238
	0,4656	$1,25 \times 10^{-4}$	3,725
	0,5151	$3,92 \times 10^{-4}$	1,314
	0,5582	$9,77 \times 10^{-4}$	0,571
Zener	-10,031	$-1,95 \times 10^{-4}$	51,441
	-1,018	$1,30 \times 10^{-5}$	-78,308
	0,6423	$2,57 \times 10^{-5}$	24,992
	0,7170	$3,100 \times 10^{-4}$	2,313
	0,7371	$6,164 \times 10^{-4}$	1,196
	0,7486	$9,16 \times 10^{-4}$	0,817

Zona 000

$$\rightarrow R \in [,]$$

Discussão e Conclusão

Díodo Retificador

Os resultados obtidos estão de acordo com o esperado. A curva característica obtida tem o aspecto previsto para o díodo retificador.

- Em sentido direto, a intensidade da corrente aumenta exponencialmente com a tensão no circuito (com approximação à zona de franca condução, a resistência diminui).
- Em sentido inverso, a resistência é muito elevada e a corrente passa no circuito com intensidade muito próxima de 0.
- O valor de n está no intervalo $[1,2]$ e é $1,67$.

Díodo Zener

Os resultados foram novamente os esperados. A curva característica obtida para o díodo zener tem o aspecto semelhante ao previsto.

- No sentido inverso, antes do breakdown, a resistência é muito elevada (passa corrente muito baixa).
- O valor de n está no intervalo $[1,2]$ e é $1,188$.

Ambos

- Verificou-se que o valor de I_0 é desprezível na linearização (ordem de grandeza = $\{-9, -12\}$ bastante inferiores à ordem de grandeza de $I = \{-4, -5\}$). **unidade?**

e *linearizável* } } Verificou-se a validade da equação $\ln(I+I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nKT}$.

- Verificou-se o comportamento exponencial das curvas de ambos os diodos.

- Confirmou-se o comportamento da resistência com a tensão em ambos os sentidos e diodos.

quanto figura!