

RELATÓRIO 1: DIODOS SEMICONDUTORES

Professor: Egídio Raimundo Neto

Monitores: Danilo de Oliveira Palma, Fábio Luiz Fiorita Pontes, Heytor Daniel Vicente Rizo, Hyago Vieira Lemes Barbosa Silva, Isadora Silva Brandão, Letícia Calixto Alves, Marina Ribeiro Barba e Raissa Lara Moura Brito Borin.

Nomes: _____

1 – INTRODUÇÃO

Os Diodos Semicondutores nada mais são do que junções *pn* devidamente encapsuladas. A junção *pn* corresponde à união de um cristal semicondutor do tipo *p* com outro do tipo *n*. O cristal semicondutor do tipo *p* é obtido a partir da dopagem de um semicondutor intrínseco com impurezas trivalentes. Já o cristal semicondutor do tipo *n* é obtido a partir da dopagem de um semicondutor intrínseco com impurezas pentavalentes. Os materiais semicondutores *in natura* utilizados na fabricação de diodos semicondutores são o Silício (Si) e o Germânio (Ge), entretanto já está disponível o semicondutor composto de átomos de Arsênio e de Gálio (GaAs)

2 – TIPOS DE DIODOS

2.1 – Diodo de Potência:



São diodos desenvolvidos para suportar altos níveis de potência e temperaturas elevadas. Normalmente são utilizados em processos de retificação, onde sinais ac (de valor médio nulo) passam a apresentar valores médios (ou componente dc). Quando utilizados para gerar valores dc, os diodos de potência são denominados **Diodos Retificadores**. A figura 1 ilustra um diodo retificador, sendo que o terminal do lado da faixa é o Catodo e o outro é o Anodo.

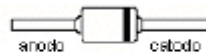


Figura 1: Diodo Retificador

2.2 – Diodo Zener:



Normalmente construídos com Si, operam com polarização reversa e na região de ruptura. A tensão reversa de ruptura (Breakdown Voltage) é denominada Tensão Zener (V_Z) e se caracteriza por permanecer praticamente constante para uma ampla faixa de variação da corrente reversa pelo diodo, característica que permite ao diodo zener operar como regulador de tensão. Seus valores comerciais apresentam tensões na faixa de 1,8 V a 200 V, com especificações de potência entre $\frac{1}{4}$ W a 50 W.

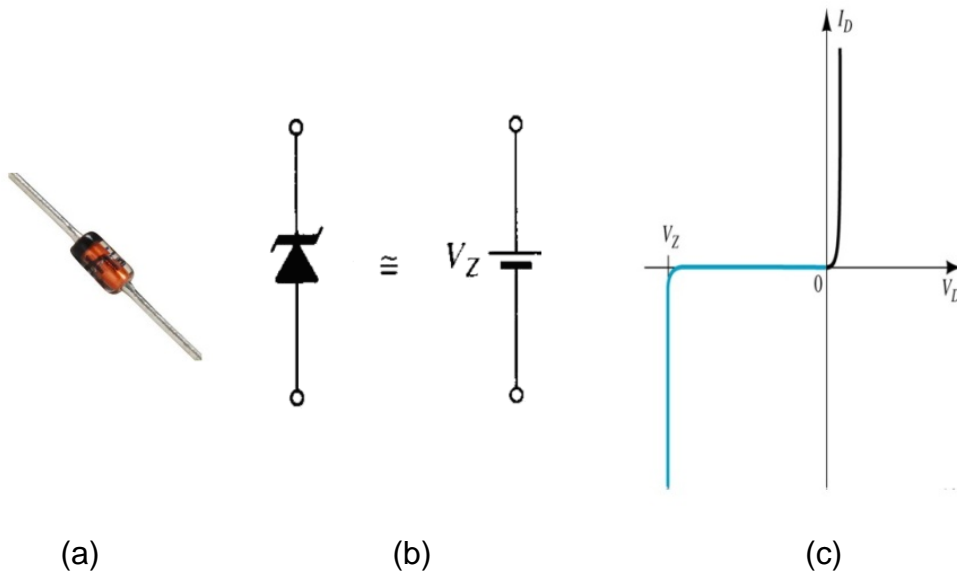


Figura 2: (a) Diodo Zener, (b) Circuito equivalente, (c) Curva Característica

2.3 – LED – Light Emitter Diode:



Quando polarizados diretamente, os diodos semicondutores de Si e de Ge, devido ao seu baixo *gap* de energia, liberam energia na forma de calor. Já os diodos fabricados com GaAs, por possuírem uma *gap* de energia maior, emitem radiações na forma de luz não visível (infravermelho). Através da utilização de compostos tais como, o fosfeto de arseneto de gálio (GaAsP) ou o fosfeto de gálio (GaP), dentre outros, é possível de obter radiações de luz visível em diversas cores. Este tipo de diodo é denominado LED.



(a)

Cor	Construção	Tensão direta comum (V)
Âmbar	AlInGaP	2,1
Azul	GaN	5,0
Verde	GaP	2,2
Laranja	GaAsP	2,0
Vermelho	GaAsP	1,8
Branco	GaN	4,1
Amarelo	AlInGaP	2,1

(b)

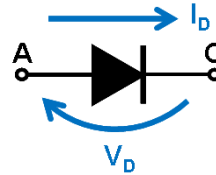
Figura 3: (a) Diodo Emissor de Luz (LED), (b) Cores de LED

3 – DIODO SEMICONDUTOR

O diodo semicondutor é um dispositivo de dois terminais (anodo e catodo). Sua característica básica é ser unidirecional, ou seja, conduz corrente em apenas um sentido. Quando polarizado diretamente, circula corrente (sentido convencional) de anodo para catodo e quando polarizado reversamente não circula corrente entre seus terminais. Resumindo o diodo opera como uma chave eletrônica.

A equação a seguir define as regiões de polarização reversa e direta do diodo:

$$I_D = I_S (e^{\frac{q}{kT_K \eta} V_D} - 1)$$



Sendo: I_D a corrente pela junção, I_S a corrente de saturação (reversa), q a carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ J), k a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/k), T_K a temperatura em kelvin, η , para o Si, uma constante igual a 2 até o joelho da curva e 1 após o limiar de disparo e V_D a tensão aplicada à junção.

A expressão de I_D pode ser reescrita como abaixo:

$$I_D = I_S (e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1)$$

Onde V_T é denominada Tensão Térmica (ou equivalente térmico) e dada por:

$$V_T = \frac{k \cdot T_K}{q}$$

A corrente existente em condições de polarização reversa é chamada de corrente de saturação e representada por I_S . A corrente de saturação está na faixa de algumas dezenas de nano ampères para diodos de Si e micro ampères para diodos de Ge.

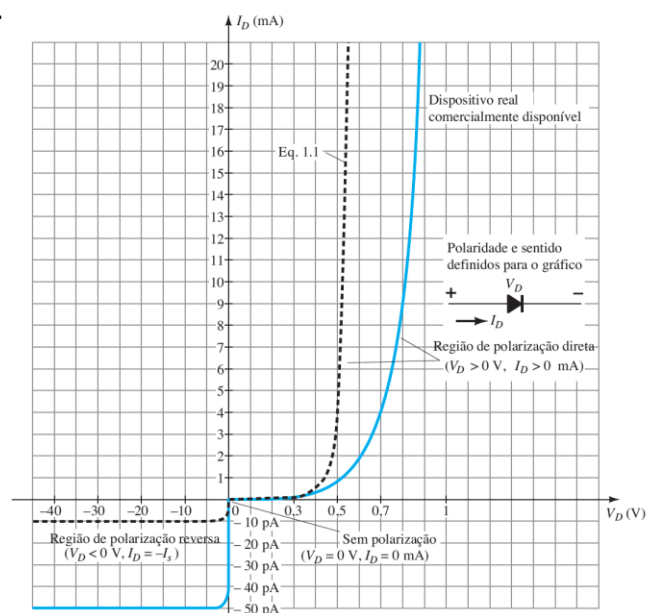


Figura 4: Curva Característica $I_D = f(V_D)$ x Diodo real

Vemos que o diodo apresenta um comportamento não linear, sendo que sua resistência tende a infinito para polarização reversa e para polarização direta até o limiar de disparo. Após o limiar de disparo a resistência da junção diminui com o aumento da tensão de polarização.

3.1 – RETA DE CARGA E PONTO DE OPERAÇÃO

A reta de carga é uma ferramenta que permite uma solução gráfica para a determinação do ponto de operação de um dispositivo semicondutor.

A Figura 4 apresenta um circuito típico para determinação da curva característica e reta de carga de um diodo.

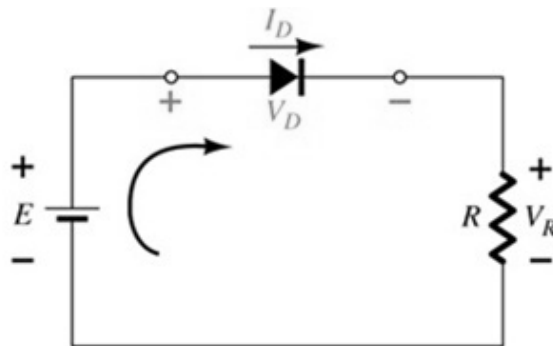


Figura 4: Circuito típico para a determinação da curva característica de um diodo semicondutor.

Usando a LKT no circuito acima, temos:

$$E = V_D + I_D \cdot R$$

Portanto, variando-se a tensão da fonte de alimentação podemos medir, para cada valor de “E” os correspondentes valores de “ V_D ” e “ I_D ” e traçar a curva $I_D = f(V_D)$.

A reta de carga é traçada a partir das coordenadas de dois pontos situados sobre os eixos de I_D e V_D , determinados como mostrado abaixo:

Na equação do circuito fazemos I_D igual a zero e determinamos o correspondente valor de V_D . Depois fazemos V_D igual a zero e determinamos o correspondente valor de I_D , ou seja:

$$\text{Para: } I_D = 0 \rightarrow V_D = E$$

$$\text{Para: } V_D = 0 \rightarrow I_D = \frac{E}{R}$$

Então, traçamos a reta de carga sobre as curvas características do diodo semicondutor, como mostrado na Figura 5.

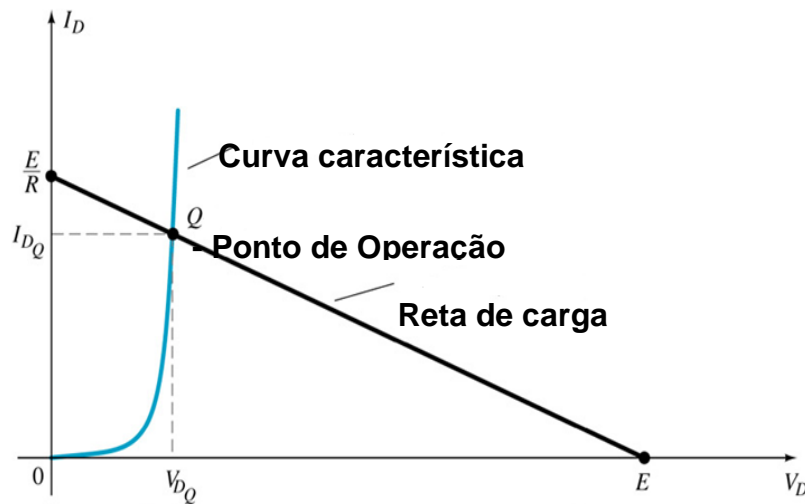


Figura 5: Reta de Carga e Ponto de Operação

As coordenadas do ponto de Operação V_{DQ} e I_{DQ} fornecem a queda de tensão sobre o diodo e a corrente que circula pela junção.

3.2 – RESISTÊNCIA ESTÁTICA E RESISTÊNCIA DINÂMICA

A resistência estática de um diodo pode ser determinada por:

$$R_{DQ} = \frac{V_{DQ}}{I_{DQ}}$$

Já a resistência dinâmica do diodo é dada por:

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \right|_Q = \left. \frac{26[\text{mV}]}{I_{DQ}} \right|_{T=T_{\text{amb}} \text{ e } \eta=1}$$

Devido a resistência do material semicondutor utilizado na construção do diodo (resistência de corpo) e ao seu encapsulamento (resistência de contato),

não consideradas na expressão para o cálculo de r_d , o valor real da resistência dinâmica é determinado por:

$$r'_d = r_d + r_B$$

Onde r_B varia entre 0,1 [Ω], para diodos de potência, e 2 [Ω] para diodos com potências menores.

3.3 – PARÂMETROS DATA SHEET

Os parâmetros dos dispositivos semicondutores são fornecidos pelo fabricante de forma simplificada ou detalhada. Normalmente os dados são apresentados por meio de uma breve descrição ou, então, é apresentada uma análise completa das características do dispositivo utilizando-se tabelas, gráficos, etc.

Alguns dados são:

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{RRM}	repetitive peak reverse voltage 1N4007G		–	1000	V
$I_{F(AV)}$	average forward current	averaged over any 20 ms period; $T_{amb} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$; see Fig.2	–	1.00	A
		averaged over any 20 ms period; $T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$; see Fig.2	–	0.75	A
I_F	continuous forward current	$T_{amb} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$; see Fig.2	–	1.00	A
I_{FRM}	repetitive peak forward current		–	10	A
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	half sinewave; 60 Hz	–	30	A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage	$I_F = 1\text{ A}$; see Fig.3	1.1	V
$V_{F(AV)}$	full-cycle average forward voltage	$I_{F(AV)} = 1\text{ A}$	0.8	V
I_R	reverse current	$V_R = V_{Rmax}$	10	μA
		$V_R = V_{Rmax}$; $T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	50	μA

4 – TESTE DE DIODOS

Quando se testa um diodo utilizando um multímetro esperam-se três possíveis situações:

- Diodo em perfeitas condições:
O diodo está adequado para uso;

b) Diodo em curto:

O diodo conduz nos dois sentidos. Neste caso ele é considerado defeituoso e deve ser descartado;

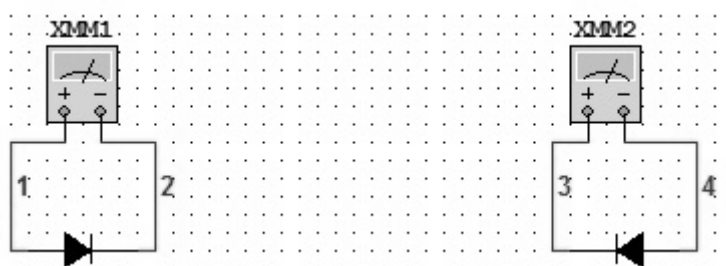
c) Diodo aberto:

O diodo não conduz em nenhum dos dois sentidos. Neste caso ele também é considerado defeituoso e deve ser descartado.

4.1- PROCEDIMENTO

Podemos testar um diodo de duas maneiras:

1) Na escala para medida de resistência do multímetro, usamos sua bateria interna para polarizar a junção diretamente, o que deve resultar em um valor baixo de resistência. Depois, polarizamos o diodo reversamente, o que deve resultar em um valor elevado de resistência. A figura abaixo ilustra:



Polarização direta

Polarização reversa

2) Usamos a Escala de Curto (Teste de Continuidade) do multímetro. Esta escala está representada no equipamento pelo símbolo elétrico do diodo. O teste também é feito polarizando-se o diodo direta e depois reversamente. Como já vimos, o esperado é que diretamente ele conduza e reversamente ele não conduza. Na polarização direta, se o display do multímetro mostrar um valor numérico, geralmente na faixa de 400 a 700, o diodo estará conduzindo. Este valor indica a DIFERENÇA DE POTENCIAL SOBRE A JUNÇÃO pn , mas há de se interpretar este resultado. Por exemplo, se numa medida o multímetro mostrou no display o valor 680, significa que a tensão sobre a junção é 0,68 [V].

Na polarização reversa, se o display do multímetro mostrar o valor “1” significa que a junção está aberta, ou seja, o diodo está atuando como chave aberta e, portanto, não está conduzindo.

PARTE TEÓRICA

1) Consulte a folha de dados (DataSheet) do diodo 1N4007 e transcreva todos os parâmetros citados no item 3.3, **explicando com suas palavras cada um deles**. Dica: consulte o site www.alldatasheet.com e faça uma busca a partir do Part Number do componente.

$$V_{RRM} = \text{_____} [\quad]$$

$$I_F = \text{_____} [\quad]$$

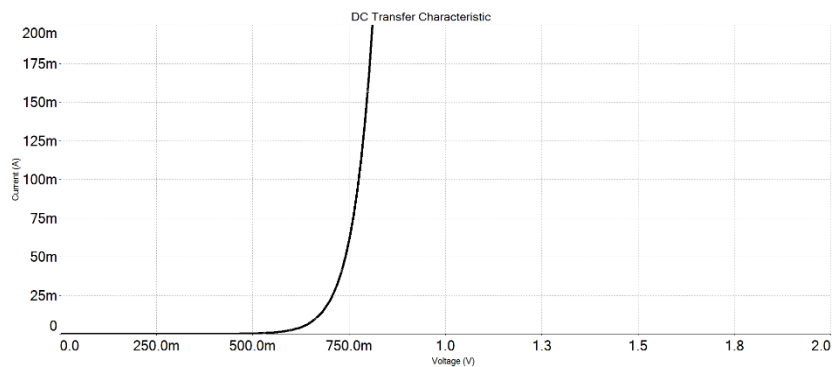
$$I_{FRM} = \text{_____} [\quad]$$

$$I_{FSM} = \text{_____} [\quad]$$

$$V_F = \text{_____} [\quad]$$

$$I_R = \text{_____} [\quad]$$

2) Usando o circuito do item 3.1, trace a reta de carga para $E = 2 \text{ [V]}$ e $R = 20 \text{ [}\Omega\text{]}$ sobre a curva característica do diodo 1N4007 e encontre o ponto de operação do diodo, V_{DQ} e I_{DQ} .

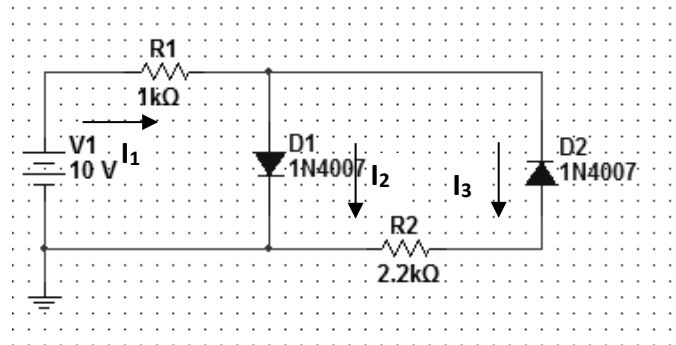


$$V_{DQ} = \text{_____} [\quad]$$

$$I_{DQ} = \text{_____} [\quad]$$

3) Para os circuitos a seguir, determine as tensões e as correntes onde solicitado:

a)

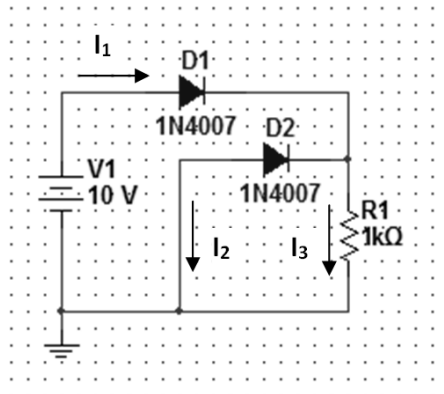


$$V_{D1} = \text{_____} [\quad]; \quad V_{D2} = \text{_____} [\quad]$$

$$V_{R1} = \text{_____} [\quad]; \quad V_{R2} = \text{_____} [\quad]$$

$$I_1 = \text{_____} [\quad]; \quad I_2 = \text{_____} [\quad]; \quad I_3 = \text{_____} [\quad]$$

b)

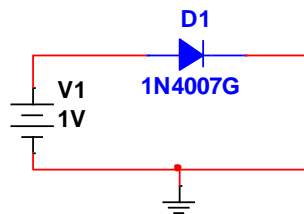


$$I_1 = \text{_____} [\quad]; \quad I_2 = \text{_____} [\quad]; \quad I_3 = \text{_____} [\quad]$$

$$V_{D1} = \text{_____} [\quad]; \quad V_{D2} = \text{_____} [\quad]; \quad V_{R1} = \text{_____} [\quad]$$

SIMULAÇÃO

*1) Utilizando o Software Multisim 13.0 – da National Instruments monte os circuito abaixo. Utilize os comandos “Simulate”, “Analyses” e “DC sweep...” para traçar a curva $I_D = f(V_D)$. Para isso, no menu “Analyses parameters” ajuste os parâmetros para análise em “Start Value” = 0 V, Stop Value” = 1 V e “Increment” = 0.01 V e no menu “Output, selecione I_{D1} .



Com o auxílio do cursor do Multisim, anote o valor de V_D para $I_D = 1[A]$ (corrente direta máxima), V_D para $I_D = 62[mA]$ e V_D para $I_D = 1[mA]$, compare e comente o que acontece com a queda de tensão no diodo de acordo com a variação da corrente. Responda se o diodo funcionaria de forma correta se fosse aplicada uma tensão de 1,1[V] em seus terminais?

2) Utilizando o Software Multisim 13.0 – da National Instruments monte os circuitos do exercício 3 da parte teórica e meça, por simulação, os parâmetros abaixo. Compare com os valores calculados

a) $V_{D1} = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $V_{D2} = \underline{\hspace{2cm}}$ []
 $V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $V_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ []
 $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ []

b) $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ []
 $V_{D1} = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $V_{D2} = \underline{\hspace{2cm}}$ []; $V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ []

PARTE PRÁTICA

1 – Teste do diodo 1N4007 com um multímetro.

- Usando a Escala de Curto (Teste de Continuidade)
 - Ponta de prova vermelha (lado +) no catodo do diodo
 - Ponta de prova preta (lado -) no anodo do diodo.

Anote o valor acusado pelo multímetro: _____

- Ponta de prova vermelha (lado +) no anodo do diodo
- Ponta de prova preta (lado -) no catodo do diodo

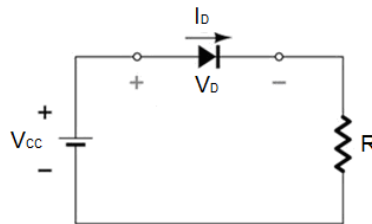
Anote o valor acusado pelo multímetro: _____

Obs: Não esqueça de colocar as unidades.

O diodo que você está testando está em perfeita condições de uso? _____

2 – Curva característica do diodo

a) Monte o circuito abaixo:



b) Varie a tensão V_{CC} de 0 [V] a 10 [V] conforme os valores indicados na tabela abaixo e meça os correspondentes valores de I_D e V_D , para $R = 20$ [Ω] / 20 [W]

V_{CC} [V]	2	5	10
I_D [mA]			
V_D [V]			
V_R [V]			

Compare e comente o que acontece com a queda de tensão no diodo de acordo com o aumento da corrente.

3) Monte os circuitos simulados e meça seus parâmetros elétricos. Compare com os valores calculados e determinados por simulação

a) $V_{D1} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad V_{D2} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]$
 $V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad V_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]$
 $I_1 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]$

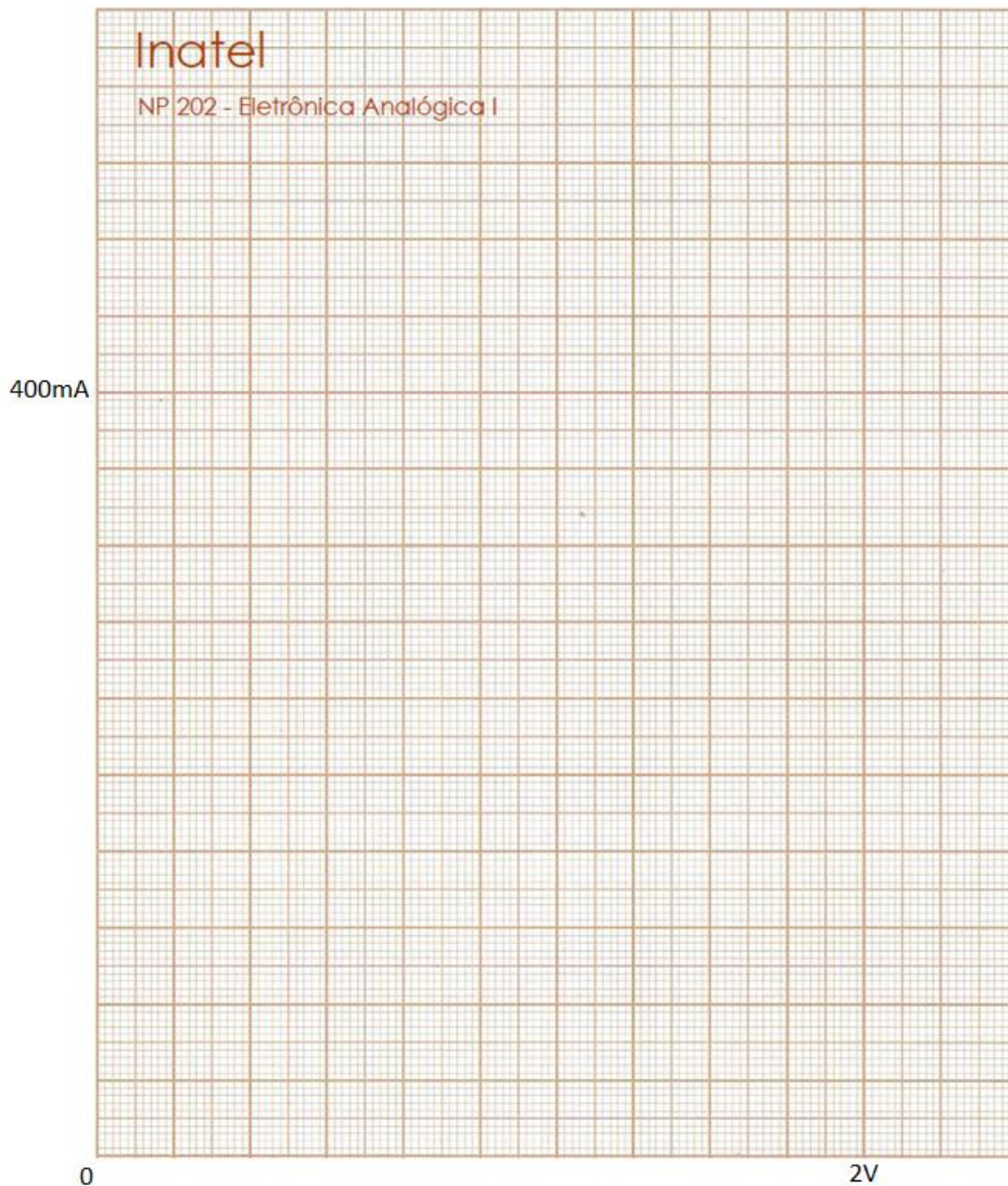
b) $I_1 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]$
 $V_{D1} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad V_{D2} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]; \quad V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} [\quad]$

EXTRA

Complete o restante da tabela abaixo medindo os correspondentes valores de I_D , V_D e V_R , para $R = 20 [\Omega] / 20 [W]$ no circuito do item 3.1

$V_{CC} [V]$	0	0,2	0,6	0,7	0,8	1	2	5	8	10
$I_D [mA]$										
$V_D [V]$										
$V_R [V]$										

Trace a curva característica do diodo 1N4007 usando os valores de I_D e V_D , depois compare com a do item 2 da parte teórica. Comente as possíveis diferenças.



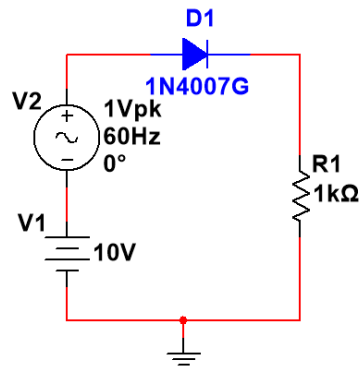
Sobre a curva característica do item (b), trace a reta de carga para $V_{CC} = 2 \text{ [V]}$ e encontre o ponto de operação do diodo.

$$I_{DQ} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ []}$$

$$V_{DQ} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ []}$$

Compare o valor de I_{DQ} e V_{DQ} encontrado por reta de carga com o valor medido e com o encontrado no item 2 da parte teórica e comente o resultado.

Utilizando o Software Multisim 13.0 – da National Instruments monte o circuito abaixo.



Meça a resistência estática e a resistência dinâmica do diodo D1.

R_D (estática) = _____ []

r_d (dinâmica) = _____ []