INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS – IFAM

CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL – CURSO TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

NERIVAN DOS SANTOS LEÃO

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO DE SINAL 1N4148

Manaus – AM

2023

NERIVAN DOS SANTOS LEÃO

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO DE SINAL 1N4148

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM/CMDI), como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

Manaus - AM

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L433c

Leão, Nerivan dos Santos.
Caracterização elétrica do diodo de sinal 1N4148 / Nerivan dos Santos Leão. — Manaus, 2023.
41f.: il. (color.).

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023.
Orientador: Prof.º Celso Souza Cordeiro, Esp.

1. Diodo de sinal. 2. Caracterização elétrica. 3. Multisim. 4. Excell. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.381

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

NERIVAN DOS SANTOS LEÃO

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO DE SINAL 1N4148

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Presidente: Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

1° Examinador: Prof. Me. José Geraldo de Pontes e Souza.

2° Examinador: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro.

Manaus - AM

2023

Dedico primeiramente a Deus, por permitir essa realização.

Dedico esse trabalho a minha esposa Dayse e a minha filha Luna Isadora, pela compreensão e paciência.

Dedico a meus pais Thelma e Nilcinaldo, agradeço a base que me deram pra me tornar a pessoa que sou hoje.

Dedico aos meus irmãos, Linara, Marcel e Ramom, por me apoiarem nos estudos e serem exemplos de pessoas dedicadas.

Dedico às pessoas que me incentivaram a nunca desistir de ser um Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por permitir que eu tivesse saúde e determinação para finalizar este trabalho.

A minha esposa Dayse e minha filha Luna Isadora, pelo apoio nos momentos difíceis.

Aos meus pais Thelma e Nilcinaldo, aos meus irmãos Linara, Marcel e Ramom, por todo apoio financeiro e incentivo aos estudos.

Ao meu Orientador Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro, pelas orientações e contribuições valiosas a este trabalho, mas principalmente, por ter aceitado o desafio de me orientar.

A todos os meus colegas de curso, que me deram força para continuar no curso.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Campus Manaus Distrito industrial, por tudo que aprendi ao longo do curso.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo a caracterização elétrica diodo de sinal 1N4148. Para o presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas do funcionamento do componente, montou-se uma bancada convencional no laboratório de Indústria II do IFAM-CMDI, serão coletados os dados de tensão e corrente do componente no circuito montado em uma protoboard, no programa Excel será plotado o gráfico de dispersão XY da curva característica da tensão versus corrente do diodo de sinal 1N4148, no programa Multisim será simulado o circuito e a curva característica do componente para ser comparado com os dados coletados na bancada convencional e do Datasheet do diodo de sinal 1N4148. Os resultados das medições elétricas obtidos no experimento prático em laboratório foram bastante satisfatórios, como observado nos gráficos da curva característica do componente, os valores são próximos aos do Datasheet do fornecido pelo fabricante e dos valores obtidos em simulações no programa Multisim. Com o desenvolvimento do trabalho também conseguimos o melhorar os conhecimentos sobre o funcionamento, características elétricas e aplicações de diodos. O trabalho poderá ser usado por estudantes de nível técnico e superior, facilitando seu aprendizado em levantamento das curvas características do diodo de sinal, através da bancada convencional e o programa Multisim e Excel.

Palavras-chave: Diodo de Sinal, Caracterização Elétrica, Multisim, Excel.

ABSTRACT

The objective of this work is the electrical characterization of the 1N4148 signal diode. For the present work, bibliographic research was used on the functioning of the component, a conventional workbench was set up in the laboratory of Industry II of the IFAM-CMDI, the voltage and current data of the component will be collected in the circuit mounted on a protoboard, in the Excel program it will be After plotting the XY dispersion graph of the characteristic curve of the voltage versus current of the 1N4148 signal diode, the Multisim program will simulate the circuit and the characteristic curve of the component to be compared with the data collected on the conventional bench and from the Datasheet of the 1N4148 signal diode . The results of the electrical measurements obtained in the practical experiment in the laboratory were quite satisfactory, as observed in the graphs of the characteristic curve of the component, the values are close to the Datasheet supplied by the manufacturer and the values obtained in simulations in the Multisim program. With the development of the work we also managed to improve the knowledge about the operation, electrical characteristics and applications of diodes. The work can be used by technical and higher level students, facilitating their learning in surveying the characteristic curves of the signal diode, through the conventional workbench and the Multisim and Excel programs.

Keywords: Signal Diode, Electrical Characterization, Multisim, Excel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Símbolo esquemático diodo semicondutor 14
Figura 2 - Estrutura de um Diodo de Junção PN 16
Figura 3 Camada de depleção da Junção PN 16
Figura 4 - Curva Característica do Efeito da Temperatura no diodo de Junção PN . 17
Figura 5 - Gráfico da curva característica dos diodos de silício e germânio 18
Figura 6 - Diodo polarizado diretamente 19
Figura 7 - Polarização reversa do diodo 19
Figura 8 - Diodo de Sinal 1n4148 encapsulamento SMD LL-34 e PTH DO-35 23
Figura 9 - Tela inicial do Multisim 12.0 25
Figura 10 - Área de trabalho do Multisim 25
Figura 11 - Fonte Keithley 2231A-30-3 26
Figura 12 - Multimetro Keysight 34460A 6 1/2 27
Figura 13 - Gráfico da curva I x V 29
Figura 14 - Layout do circuito no Multisim 12.0 30
Figura 15 - Layout do Circuito real Montado na bancada convencional 30
Figura 16 - Diodo de Sinal 1N4148 32
Figura 17 - Exemplo de Gráfico de Dispersão X Y com valores aleatórios 35
Figura 18 - Bancada Convencional para Caracterização Elétrica do Diodo 1N4148 36
Figura 19 - Gráfico da curva característica do diodo 1N4148 plotado no Excel 38
Figura 20 - Circuito simulado no Multisim 39
Figura 21 - Gráfico da curva característica gerado no Multisim 40
Figura 22 - Gráfico da Curva Característica do Diodo 1N4148 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Diodos de Sinal 22
Tabela 2 - Classificações Máximas absolutas do Diodo na temperatura de 25 °C ... 28
Tabela 3 - Características elétrica do Diodo na temperatura de 25 °C 29
Tabela 4 - Valores de para n < 20 33
Tabela 5 - Tabela de dados de tensão e corrente 34
Tabela 6 - Tabela de dados do Diodo 1N4148 obtidos da Bancada Convencional .. 36
Tabela 7 - Tratamento dos dados coletados na Bancada Convencional 37
Tabela 8 - Características elétricas de corrente e tensão do diodo 1n4148. 40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

I – Corrente

V – Tensão

IFAM – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas

CMDI – Campus Manaus Distrito Industrial

P – Positivo

N – Negativo

Ge – Germânio

Si – Silício

K – Kelvin

EV – Elétron Volt

Vd – Tensão no Diodo

VZK – Tensão de Joelho da Curva Característica

Is – Correntes de saturação reversa

A – Amperagem

.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Tema 12

1.2 Problema 12

1.3 Justificativa 12

1.4 Objetivo 13

1.5 Objetivo específico 13

2 REFERENCIAL TEÓRICO 14

2.1 Conceito de Diodos 14

2.2 Materiais Semicondutores 14

2.3 Materiais extrínsecos do tipo N e do tipo P 15

2.4 Junção p-n 15

2.5 Barreira de potencial ou depleção da junção PN 16

2.6 Barreira de potencial e temperatura da Junção PN 16

2.7 Características elétricas dos diodos de Junção PN 17

2.8 Diodos de Sinal 21

2.9 Diodo de Sinal 1n4148 22

2.10 Fabricantes de Diodo de Sinal 23

3 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS 24

3.1 Multisim 12.0 24

3.2 Fonte de Alimentação Keithley 2231A-30-3 26

3.3 Multimetro digital Keysight 34460A 27

4 METODOLOGIA 28

4.1 Local de estudo 28

4.2 Análise 28

4.3 Justificativa da escolha do Diodo 1n4148 28

4.4 Datasheet ou Folha de Dados do Diodo 1N4148 28
4.5 Circuito caracterizado no Multisim para coleta de amostras 29
4.6 Procedimentos para coleta e análise de dados 31
4.7 Teste do Componente 31
4.8 Quantidade de leituras 32
4.9 Calculo estatístico no Excel. 32
5 RESULTADOS E COMENTÁRIOS 35
5.1 Resultados do circuito montado na bancada convencional 35
5.2 Resultados do Circuito simulado no Multisim 38
5.3 Datasheet do Diodo 1N4148 40
6 CONCLUSÃO 41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

1 INTRODUÇÃO

No mundo de hoje com o avanço de novas tecnologias, a eletrônica assume grande importância no desenvolvimento industrial e os componentes eletrônicos como os diodos estabelecem um marco nas invenções, com o aumento da produção de diodos existe uma demanda de controle de qualidade desses componentes.

A importância de se estudar esse tema e que ele tem grande relevância na área eletrônica, este trabalho envolve conhecimento no programa de simulação de circuitos eletrônicos Multisim, Excel e Caracterização do diodo de sinal.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe-se caracterizar eletricamente o diodo de sinal a fim de verificar a confiabilidade do mesmo do ponto de vista técnico, numa bancada convencional serão medidas as tensões e correntes que passam pelo circuito, será feito o levantamento dos dados e com o programa Excel gerar o gráfico da curva característica, levando em conta o desvio padrão e média da I XV (corrente versus tensão).

1.1 Tema

Caracterização elétrica do diodo de sinal 1N4148.

1.2 Problema

Com a grande escala de produção de componentes eletrônicos, existe uma grande necessidade de fazer testes de qualidade dos componentes eletrônicos, para verificar se suas características estão dentro do especificado no Datasheet.

1.3 Justificativa

Este trabalho pretende auxiliar professores na didática de ensino de técnicos e estudantes de graduação da área de eletrônica, facilitando o entendimento nas praticas de laboratório dos equipamentos de teste e caracterização.

1.4 Objetivo

O presente trabalho tem por finalidade caracterizar eletricamente o diodo de sinal através de um experimento prático em laboratório e comparar os resultados com o Datasheet e com o circuito no programa Multisim.

1.5 Objetivo específico

- Adquirir conhecimentos sobre o funcionamento do Diodo de Sinal 1n4148;
- Caracterizar eletricamente o Diodo de Sinal 1n4148;
- Realizar ensaios e testes em ambientes real e simulado utilizando o Diodo de Sinal 1n4148;
- Administra controle de qualidade por meio de tratamento de dados no Excel;
- Utilizar o programa Multisim para levantamento de curva característica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito de Diodos

O diodo semicondutor e um dispositivo eletrônico de dois terminais, criado pela junção de um material do tipo P com outro do tipo N, criando assim a junção P-N. É o tipo mais simples de componente semicondutor, sua aplicação mais comum e controlar a passagem de corrente elétrica, comparado com uma válvula mecânica o diodo permite a passagem de corrente em apenas um sentido e bloqueando na direção oposta. (TAVARES e TEXEIRA, 2018). A figura 1 mostra representação do símbolo esquemático do diodo semicondutor.

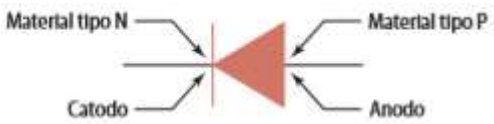

Figura 1 - Símbolo esquemático diodo semicondutor

Fonte: Schuler, (2013).

2.2 Materiais Semicondutores

Os semicondutores são uma parte muito importante da eletrônica, a construção de cada dispositivo eletrônico começa como um material semicondutor de alta qualidade, eles são uma classe de elementos cuja condutividade está entre um condutor e a de um isolante. Os materiais semicondutores mais utilizados na construção de dispositivos eletrônicos são Ge (Germânio) e Si (Silício), materiais esses que são fabricados com um nível elevado de pureza e baixo custo. (BOYLESTAD, 2013).

Semicondutores são caracterizados por uma banda de valência cheia e uma banda de condução vazia com a temperatura a 0 K (zero Kelvin), estas que são separadas por um “gap” de energia relativamente pequeno, sendo Silício da ordem de 1,16 eV e germânio 0,62, a concentração de elétrons na banda de condução de um semicondutor puro varia exponencialmente com a temperatura. (RESENDE 2004).

A condutividade nos materiais semicondutores exibe um aumento de nível mediante o aumento da temperatura, com isso um número de elétrons de valência absorve energia térmica, suficiente pra quebrar a ligação covalente contribuindo com o número de portadores livres. (BOYLESTAD, 2013).

2.3 Materiais extrínsecos do tipo N e do tipo P

Os semicondutores extrínsecos são muito utilizados em dispositivos, são semicondutores com certa quantidade de impurezas, de tipo e concentração controlados e colocados nos cristais. Semicondutores com impurezas são chamados de extrínsecos, através do processo de dopagem e possível fazer com que o número de elétrons seja maior que o de buracos, ou vice-versa. (RESENDE 2004).

A dopagem do material do tipo N (negativo), materiais do tipo N são formados pela adição de um número predeterminado de átomos de impurezas a uma base de silício, impurezas que tem cinco elétrons de valência (penta valentes), tais como antimônio, arsênio e fósforo, impurezas difundidas com cinco elétrons de valência são chamadas de átomos doadores. (BOYLESTAD, 2013).

A dopagem do material do tipo P (positivo), materiais do tipo P são formados pela dopagem de um cristal puro de germânio ou silício com átomos de impurezas que possuem três elétrons de valência, tais como boro, gálio e índio, impurezas difundidas com três elétrons de valência são chamados de átomos aceitadores. (BOYLESTAD, 2013).

2.4 Junção p-n

Um material semicondutor contendo uma região do tipo P e uma do tipo N, separadas por uma camada fina de transição forma a junção P-N, em quase todos os dispositivos semicondutores existe uma junção P-N. A figura 2 mostra a representação da estrutura de um diodo de junção. O comportamento dos elétrons e lacunas nas junções de um dispositivo determina as características corrente-tensão em seus terminais. A tecnologia de fabricação de junções evoluiu muito desde 1948 quando foi inventado o transistor de junção. Atualmente os métodos mais utilizados são a difusão e a implantação iônica, com a tecnologia planar introduzida no início da década de 60. (REZENDE 2004).

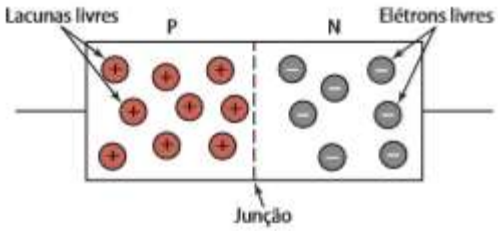

Figura 2 - Estrutura de um Diodo de Junção PN

Fonte: Schuler, (2013).

2.5 Barreira de potencial ou depleção da junção PN

A camada de depleção da junção PN e a fronteira ou a linha divisória, e a parte do cristal que marca o fim do material tipo P e o inicio do material do tipo N, no momento da construção do diodo, os elétrons do material tipo N e lacunas do material tipo P, se combinam na região da junção, formando uma região sem portadores livres, chamada camada de depleção como mostrado na figura 3, o movimento de elétrons termina porque uma carga negativa e formada no material tipo P repelindo os demais elétrons que tentem cruzar a junção. Essa carga negativa e chamada de potencial de ionização ou de barreira porque impede a passagem dos elétrons pra outra parte da junção. (SCHULER, 2013).

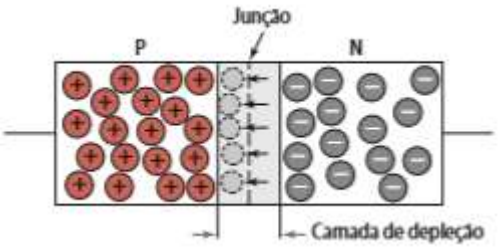

Figura 3 Camada de depleção da Junção PN

Fonte: Schuler, (2013)

2.6 Barreira de potencial e temperatura da Junção PN

O valor da barreira de potencial depende da temperatura na junção, temperaturas altas geram mais elétrons livres e lacunas, fazendo com que a largura da camada de depleção reduza equivalente a diminuir a barreira de potencial. O Silício conduz melhor em temperaturas elevadas a razão para isso e que a tensão de barreira na polarização direta Vf diminui com o aumento da temperatura, diminuindo a resistência o que confirma o fato do silício possuir um coeficiente de temperatura negativo como mostra a figura 4. A 25 °C, esta barreira de potencial é aproximadamente igual a 0,7 V para os diodos de silício, diodos de germânio tem barreira de potencial de aproximadamente 0,3 V. (BOYLESTAD, 2013).

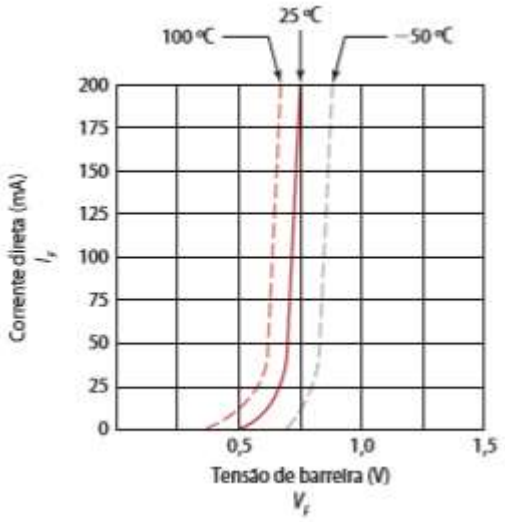

Figura 4 - Curva Característica do Efeito da Temperatura no diodo de Junção PN

Fonte: Schuler, (2013).

2.7 Características elétricas dos diodos de Junção PN

A propriedade fundamental dos diodos e a condução quando polarizado diretamente e não conduzir quando inversamente polarizado, pois o diodo se comportará como um circuito aberto. As características elétricas de um diodo podem ser apresentadas de varias maneiras, uma delas e o levantamento de dados por meio de teste feitos com equipamentos eletrônicos, onde serão aplicados vários valores de tensão e serão medidas as correntes, esses valores podem ser apresentados em uma tabela e ou em um gráfico. (SCHULER, 2013)

O gráfico da curva característica tensão por corrente e um dos mais utilizados na eletrônica, no qual os valores de tensão são levantados no eixo x e os valores de correntes no eixo y. (SCHULER, 2013). A figura 3 mostra o gráfico da curva características de um diodo de silício ou germânio.

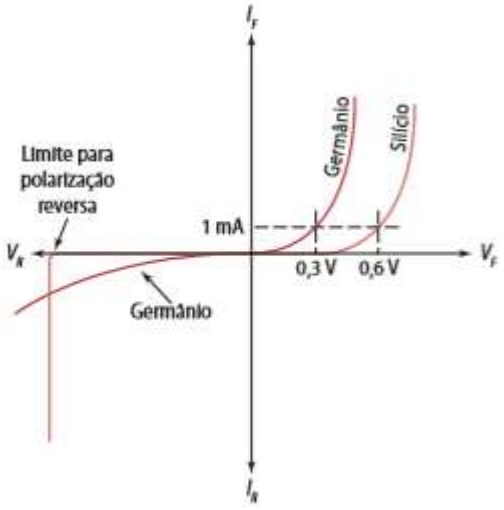

Figura 5 - Gráfico da curva característica dos diodos de silício e germânio

Fonte: Schuler, (2013).

A curva característica consiste em três regiões distintas, a primeira região e a de polarização direta que e determinada por (Vd > 0V), a segunda região e a de polarização inversa determinada por (Vd < 0V), a terceira região e a região de ruptura determinada por (Vd< - VZK). (SMITH, 2007).

Na condição de polarização direta (Vd > 0V), como exemplificado na figura 4, um potencial positivo e aplicado ao material do tipo p e ao material do tipo n e aplicado um potencial negativo, ao aplicar um potencial de polarização direta forçará os elétrons do material tipo n e as lacunas do material tipo p a se recombinarem com os íons próximos da região de depleção fazendo com que aja uma redução da barreira de depleção, assim ocorre um intenso fluxo de majoritários através da junção, quanto maior for o potencial aplicado menor vai ser a barreira de depleção e maior o fluxo de elétrons. (BOYLESTAD, 2013).

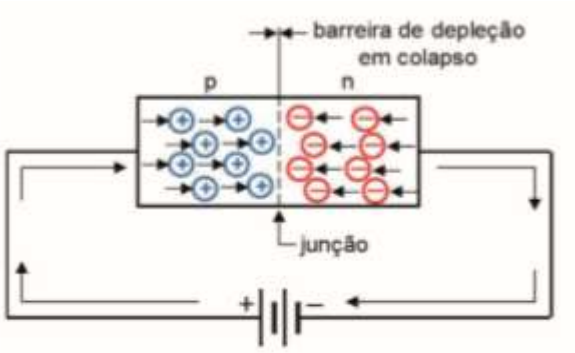

Figura 6 - Diodo polarizado diretamente

Fonte: Tavares e Texeira, (2018).

Na condição de polarização reversa (Vd < 0V), como exemplificado na figura 5, um potencial positivo e aplicado ao terminal negativo do material do tipo n da junção pn, e um potencial negativo e aplicado ao terminal positivo do material do tipo p, os elétrons da região de depleção do material do tipo n são atraídos pelo potencial positivo da tensão aplicada, deixando íons positivos descobertos da na região de depleção do material do tipo n, e as lacunas da região de depleção do material do tipo p são atraídas pelo potencial negativo da tensão aplicada deixando íons negativos descobertos na região do material do tipo p, com isso a barreira de depleção ficara mais larga, não permitindo o fluxo dos portadores majoritários, quanto mais maior a polarização reversa maior a barreira de depleção. (BOYLESTAD, 2013).

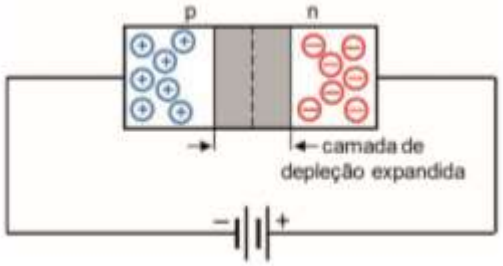

Figura 7 - Polarização reversa do diodo

Fonte: Tavares e Texeira, (2018).

Na região de ruptura determinada por (Vd < - VZK), o diodo de silício terá um aumento rápido da corrente inversa, com um aumento muito pequeno da queda de tensão associada, com o aumento da tensão de polarização reversa, a velocidade dos portadores minoritários responsáveis pela corrente de saturação reversa Is também aumentará, eles ganharam energia para colidir com elétrons de valência, desprendendo eles dos seus átomos, a ruptura do diodo não e geralmente destrutiva, contanto que a potência dissipada no diodo seja limitada pelo circuito externo em um nível seguro. A tensão de ruptura por avalanche para diodos de silício varia entre 50 e 1000 V de pendendo da fabricação do diodo. O fato de a característica i – v do diodo na região de ruptura ser quase uma linha vertical permite que o diodo seja usado na regulação de tensão. (SCHULLER, 2013).

E possível demonstrar por meio da física do estado solido que as características gerais de um diodo semicondutor podem ser definidas pela seguinte equação conhecida como equação de Shockley mostrada na equação 1, para as regiões de polarização direta e reversa:

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

Equação 1 - Equação de Shockley

Onde:

- Id: corrente do diodo que tem uma dependência logarítmica de Vd;
- Is: é a corrente de saturação em polarização reversa;
- Vd: é a tensão de polarização direta aplicada ao diodo;
- n: é um fator de idealidade, que é função das condições de operação e construção física, tem intervalo entre 1 e 2, dependendo de uma grande variedade de fatores.

- VT: é a tensão térmica que e determinada pela equação 2:

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

Equação 2 - Equação de Shockley para Tensão Térmica

Onde:

- K: é a constante de Boltzmann = 1,38 x 10^-23 J/K
- TK: é a temperatura absoluta em Kelvin = 273 + temperatura em °C
- q: é a magnitude da carga eletrônica = 1,6 x 10^-19 C

2.8 Diodos de Sinal

Diodo de sinal são pequenos componentes de circuito elétrico fabricado a parti de materiais semicondutores, são projetados para trabalhar com circuitos de baixa potência diodos que conduzem baixas correntes (< 1 A), bloqueiam baixas tensões (< 100 V), porem tem tempo de comutação muito baixo alguns Nano segundos, por possuir um baixo valor de capacitância lhe permite ter um baixo tempo de resposta, são ideais para uso em processamento de sinais e comunicação, a tabela 1 mostra os principais diodos de sinal e suas características elétricas. (COSTA, 2022)

Onde:

BV = Tensão de ruptura;
Io = Corrente média retificada;
VF = Tensão direta;
VR = Tensão reversa;
IF = Corrente direta;
IR = Corrente reversa;
Trr = Tempo de recuperação reversa;
C = Capacitância.

Diodo	BV Min (V)	Io (mA)	VF Max. (V)	@ IF (mA)	IR Max. (nA)	@ VR (V)	Trr Max. (ns)	C Max. (pF)
1N914	75	200	1.0	10	25	20	4.0	4.0
1N914A	75	200	1.0	20	25	20	4.0	4.0
1N914B	75	200	1.0	100	25	20	4.0	4.0
1N2651	3	75	.78	10	--	--	--	--
1N4148	75	200	1.0	10	25	20	4.0	4.0
1N4149	100	150	1.0	10	25	20	4.0	--
1N4150	50	200	1.0	200	100	50	4.0	--
1N4151	75	200	1.0	50	50	50	4.0	2.0
1N4152	40	200	.81	10	50	30	3.6	2.0
1N4154	35	200	1.0	30	100	25	4.0	4.0
1N4446	100	200	1.0	20	25	20	4.0	4.0
1N4448	100	200	1.0	100	25	20	4.0	4.0
1N4454	75	150	1.0	10	100	50	4.0	--
BA128	75	75	1.0	50	100	50	--	5.0
BA130	30	50	1.0	10	100	25	--	2.0
BA216	10	75	1.0	15	1000	11	4.0	3.0
BA218	--	75	1.0	10	200	50	4.0	3.0
BA314	--	100	.96	100	5000	4	--	--
BA315	--	100	1.05	100	1500	5	--	3.0
BA316	--	100	1.1	100	200	10	4.0	3.0
BAX13	50	75	1.0	20	100	50	4.0	3.0
BAX16	180	200	1.3	100	100	150	120.0	10.0
BAX17	200	200	1.1	100	100	150	120.0	10.0
BX1619	10	100	.69	3	100	8	--	--
BX1640	20	100	.75	12	100	15	--	--

Tabela 1 – Principais Diodos de Sinal

Fonte: Kabelão, (2022).

2.9 Diodo de Sinal 1n4148

O diodo de sinal 1n4148 e um diodo de comutação feito de silício e um dos mais utilizados na eletrônica por ter especificações confiáveis e seu baixo custo, muito usado em circuitos para aplicações de chaveamentos até 100 MHz, o seu tempo de recuperação reversa e muito rápido em torno de 4ns. (NOVA ELETRONICA, 2022).

Em 1960 surgiu na empresa Texas Instruments o diodo de sinal 1n914, após seu registro muito fabricantes adquiriram o direito de fabricá-lo, em 1968 surgiu o diodo de sinal 1n4148 com o registro de JEDEC muito usado por militares e

indústrias da época, o que diferencia o 1n914 do 1n4148 e a penas as suas especificações de corrente de fuga. (HARDWARELIBRE).

O diodo 1n4148 possui dois terminais um positivo chamando de ânodo e um negativo chamado de cátodo, atualmente ele pode ser encontrado em vários encapsulamentos, desde os mais comuns SDO-27 e DO-35, os SMD tradicionais STO-23 e SDO-123 e o LL-34 um SMD cilíndrico de vidro, a figura 6 mostra o diodo 1n4148 no encapsulamento DO-35 e no SMD LL-34. (NOVA ELETRONICA, 2022).

Figura 8 - Diodo de Sinal 1n4148 encapsulamento SMD LL-34 e PTH DO-35

Fonte: Nova Eletrônica, (2022).

2.10 Fabricantes de Diodo de Sinal

Dentre os principais fabricantes do diodo de Sinal 1n4148 se destacam os seguintes: ON Semiconductor; Diotec Semiconductor; Semtech; Dc Components; Fairchild Semiconductor.

3 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS

Os instrumentos a serem utilizados para o levantamento de dados são: Multisim 12.0, Voltímetro e Amperímetro.

3.1 Multisim 12.0

O Multisim e um software de simulação de projetos de circuitos elétricos, originalmente pensado para fins acadêmicos e de pesquisa de eletrônica digital, analógica e de potência, em 1995 foi criado o software Electronics Workbench (EWB), como era anteriormente conhecido o Multisim, por uma empresa canadense chamada de Interactive Image Technologies, o software tinha como objetivo servir como ferramenta didática de apoio para ensino de eletricidade básica e eletrônica.

O software EWB começou a desenvolve-se e ganhar notoriedade após a fusão da empresa canadense “Interactive Image Technologies”, com a companhia holandesa “Ultimate Tchnology”, com a fusão surgiu à nova companhia chamada de “Electronics Workbench” após a fusão o software evoluiu para versões acadêmicas mais complexas e versão profissional, o que levou à National Instruments a adquirir a empresa em 2005.

O Multisim com a National Instruments reúne uma vertente didática e profissional, incluindo projeto de simulação de projetos com microprocessadores, eletrônica de potencia e também interação com o software Lab View, o Multisim e gerido pelo grupo NI Workbench Group, a figura 7 mostra a tela inicial do Multisim e a figura 8 mostra a área de trabalho do programa.

Figura 9 - Tela inicial do Multisim 12.0

Fonte: Multisim 12.0, (2022).

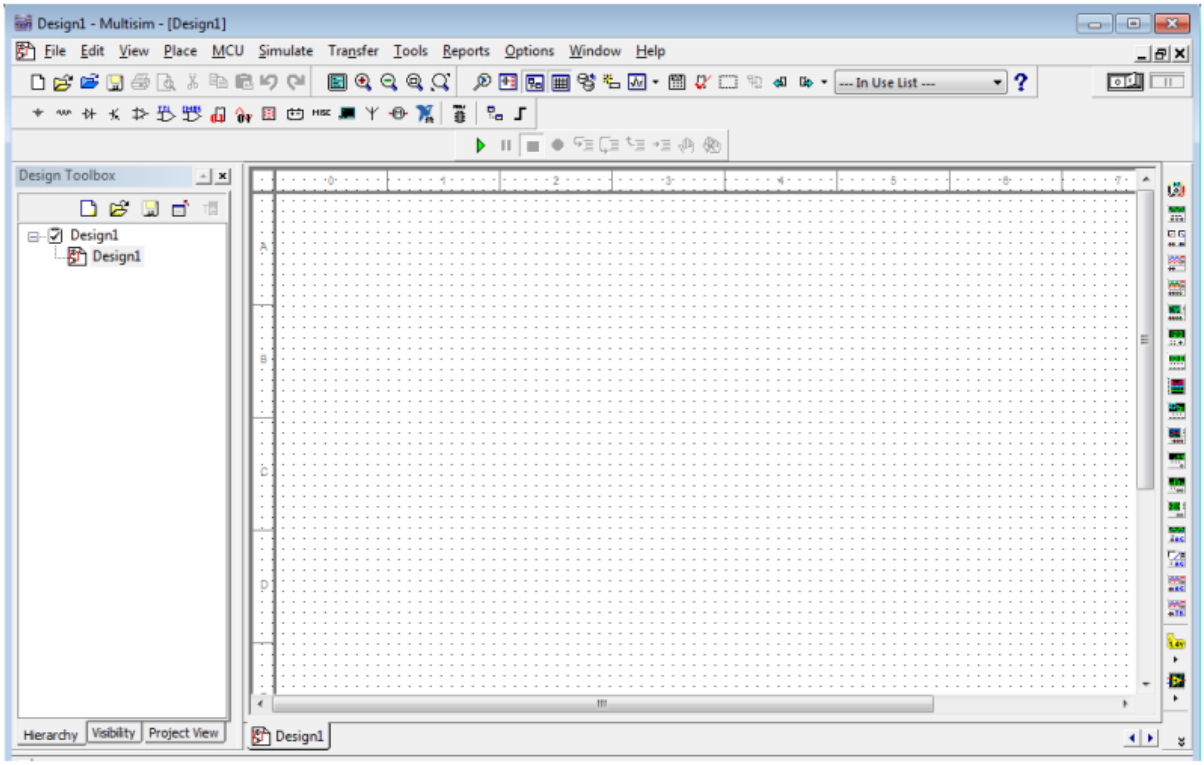

Figura 10 - Área de trabalho do Multisim

Fonte: Multisim 12.0, (2022).

> O Multisim integra a simulação SPICE padrão da indústria com um ambiente esquemático e interativo para visualizar e analisar instantaneamente o comportamento de circuitos eletrônicos. Sua interface intuitiva ajuda os educadores a reforçar a teoria dos circuitos e melhorar a compreensão sobre os conceitos teóricos em todo o currículo de engenharia. Ao acrescentar a poderosa simulação e análise de circuitos ao fluxo do projeto, o Multisim ajuda pesquisadores e projetistas a reduzir as iterações dos protótipos de placas de circuito impresso (PCB) e economizar seus custos de desenvolvimento. (National Instruments, 2022).

3.2 Fonte de Alimentação Keithley 2231A-30-3

A fonte de bancada Keithley 2231A-30-3 é uma fonte tripla, 195 W de potencia, saídas isoladas, programável, ou seja, você pode estabelecer níveis de tensões ao longo do tempo, pode gravar as configurações e executar as sequencias quando quiser. A fonte Keithley esta entre as melhores sistemas de alimentação para se ter em uma bancada, a figura 9 mostra a fonte Keithley.

Figura 11 - Fonte Keithley 2231A-30-3

Fonte: Cistek, (2022).

Suas características Técnicas:

- Duas saídas variáveis de 0 – 30V e 0 – 3A;
- Uma saída variável de 0 – 5V e 0 – 3A;
- Três saídas eletricamente isoladas;
- Display com tensão e corrente dos três canais simultaneamente;
- Regulação linear com baixo ruído;
- Modo serie e paralelo para aumentar tensão ou corrente;

- 30 configurações;
- Modo rastreado, permite que as saídas mantenham razão entre si.

3.3 Multimetro digital Keysight 34460A

O multímetro digital Keysight 34460A possui visor gráfico colorido com gráfico de barras integrado, histograma, matemática e estatística, mede com a confiança do truevolts, AC digital, menor ruído de medição derivado de ISO / IEC e especificações compatíveis, a figura 10 mostra o multímetro Keysight.

Figura 12 - Multimetro Keysight 34460A 6 1/2

Fonte: Keysight, (2022).

Suas Características Técnicas:

- Dígitos de resolução 6 ½;
- Precisão básica 75 ppm;
- Taxa de leitura máxima 300 leituras;
- Memória 1000 leituras;
- Interface USB;
- Voltagem máxima de entrada: 1000 V, corrente máxima de entrada: 3 A.
- Medições básicas: DCV, ACV, DCI, ACI, resistência de 2 e 4 fios, frequência, período, continuidade, diodo, temperatura e capacitância.

4 METODOLOGIA

4.1 Local de estudo

Nossa metodologia irá caracterizar o componente por meio de uso dos equipamentos do laboratório de Indústria II, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas.

4.2 Análise

As análises serão feitas pelos seguintes passos: Selecionar o componente, montar o circuito em uma bancada convencional, aplicar tensão no circuito desenvolvido e medir corrente, coletar os dados e plotar a curva característica no gráfico do Excel e comparar com os dados do Datasheet e do circuito no Multisim.

4.3 Justificativa da escolha do Diodo 1n4148

Será escolhido o Diodo 1n4148 devido ao componente trabalhar com valor de corrente e tensão baixos.

4.4 Datasheet ou Folha de Dados do Diodo 1N4148

A folha de dados ou Datasheet é um documento que resume o desempenho e outras características técnicas de um componente eletrônico, normalmente a folha de dados é fornecida pelo fabricante do componente. Tabelas 2 e 3 retiradas do Datasheet do componente com suas características elétricas, afim de comparação.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)				
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**VALUE**	**UNIT**
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V
Reverse voltage		V_R	75	V
Peak forward surge current	t_p = 1 µs	I_{FSM}	2	A
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA
Forward continuous current		I_F	300	mA
Average forward current	V_R = 0	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	l = 4 mm, T_L = 45 °C	P_{tot}	440	mW
	l = 4 mm, $T_L \leq$ 25 °C	P_{tot}	500	mW

Tabela 2 - Classificações Máximas absolutas do Diodo na temperatura de 25 °C

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1n4148, (2017).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**MIN.**	**TYP.**	**MAX.**	**UNIT**
Forward voltage	I_F = 10 mA	V_F			1	V
Reverse current	V_R = 20 V	I_R			25	nA
	V_R = 20 V, T_j = 150 °C	I_R			50	µA
	V_R = 75 V	I_R			5	µA
Breakdown voltage	I_R = 100 µA, t_p/T = 0.01, t_p = 0.3 ms	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	V_R = 0 V, f = 1 MHz, V_{HF} = 50 mV	C_D			4	pF
Rectification efficiency	V_{HF} = 2 V, f = 100 MHz	η_r	45			%
Reverse recovery time	I_F = I_R = 10 mA, i_R = 1 mA	t_{rr}			8	ns
	I_F = 10 mA, V_R = 6 V, i_R = 0.1 x I_R, R_L = 100 Ω	t_{rr}			4	ns

Tabela 3 - Características elétrica do Diodo na temperatura de 25 °C

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1n4148, (2017).

Será utilizado o gráfico da curva característica tensão versus corrente do diodo 1n4148 na polarização direta e mostrado na figura 11:

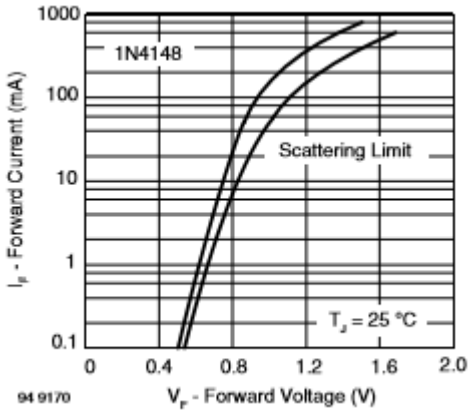

Figura 13 - Gráfico da curva I x V

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1n4148, (2017).

4.5 Circuito caracterizado no Multisim para coleta de amostras

As amostras foram coletadas por meio do circuito montado no Software Multisim como mostrado na figura 12 e por meio do circuito montado em uma bancada convencional como mostrado na figura 13.

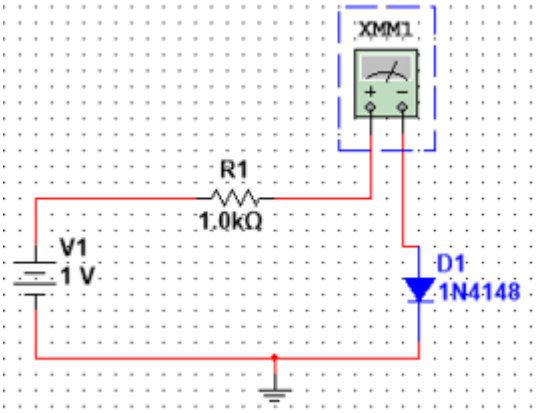

Figura 14 - Layout do circuito no Multisim 12.0

Fonte: Multisim, (2022).

Circuito real montado na bancada convencional para caracterização do diodo de sinal 1N4148

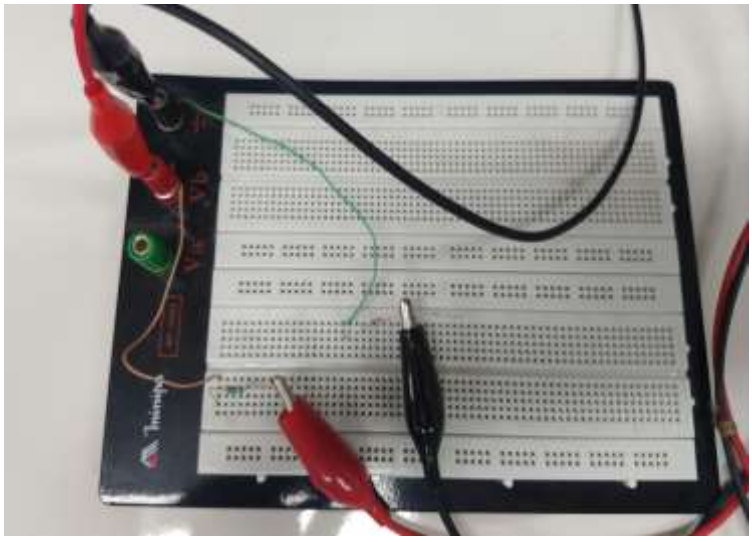

Figura 15 - Layout do Circuito real Montado na bancada convencional

Fonte: Nerivan, (2022).

4.6 Procedimentos para coleta e análise de dados

Para caracterizar o componente deverá ser utilizada Normas do IMETRO ou alguma certificadora, porem não foi encontrado esses dados. No entanto para fins de comparação utilizamos o Datasheet do componente Diodo 1N4148 onde ira ser caracterizado apenas a passagem da corrente no diodo e o momento em que começa a conduzir quebrando a barreira de potencial.

Para realizar esse procedimento utilizamos uma bancada convencional com fonte de tensão com saídas variável de 0 a 5V e 0 a 30V, multímetro, protoboard, fios de cobre para interligar o circuito, resistor de 1K e Diodo de sinal 1N4148 montaram um circuito básico para posicionamento do Diodo 1N4148 mostrado na figura 18, a tabela 6 mostra os dados obtidos da Bancada Convencional.

Os instrumentos que serão utilizados oferecem uma grande precisão das medições por serem equipamentos modernos e atualizados com tolerância de tensão de 0,1V e tolerância de corrente de 0,1 mA.

Os componentes são muito utilizados no mercado de fabricação de placas de circuito impresso (PCI), o diodo de sinal com tolerância de tensão direta máxima de 1V e corrente de 10 mA.

4.7 Teste do Componente

No procedimento será verificado e testado o diodo 1n4148 mostrado na figura 14, no corpo do componente pode-se identificar qual terminal e o anodo (positivo) e qual o catodo (negativo), o catodo tem uma lista preta próxima ao terminal. Após a montagem do circuito na bancada convencional, foram feitas varias medidas de corrente e tensão (I x V), variando a tensão gradativamente.

Figura 16 - Diodo de Sinal 1N4148

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1N4148, (2017).

4.8 Quantidade de leituras

Será definido dez pontos de coleta de variação da tensão aplicada e coleta de corrente, será repetido 5 vezes esse processo para maior confiabilidade. Os dez pontos é a escala de tensão definido previamente. Para cada ponto de tensão aplicado no circuito foi aguardado 30 segundos, para a maior precisão na coleta da corrente.

4.9 Calculo estatístico no Excel.

Vai ser tirada a média aritmética das 5 medidas de tensão e corrente, a formula usada no Excel da media foi =MÉDIA(n1;n2...).

$$\overline{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Equação 3 - Formula da média

Fonte: Bia Nunes, (2019).

Em que:

- X: valor da média aritmética;
- Σ: Sigma que indica a soma de todos os termos;
- n: Número de elementos contidos na sequencia (n1, n2,.....);
-Xi: Todos os valores da serie.

Vai ser calculado o desvio padrão da media das 5 medidas de tensão e corrente, pela formula =DESVPAD.A(n1;n2) do Excel, que e usada para calcular desvio padrão de uma amostra.

$$s = \sqrt{\frac{\sum \left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

Equação 4 - Formula do Desvio Padrão

Fonte: Alice Soares, (2021).

Em que:

- S: Desvio padrão;
- Xi: Número de conjunto de dados utilizados (i= 1, 2, 3...);
- X: Média aritmética;
- n: Quantidade de numero de conjunto de dados.

Vai ser usada a distribuição devida a Student, em função do numero de medidas n e para o nível de confiança de 95% em que (n = 5) o intervalo e dado por (n = 2,776 s), valores foram tirados da tabela 4 da Student.

n	Nível de confiança, *n.c.* (%)		
	60%	90%	95%
2	1,376	6,314	12,706
3	1,061	2,920	4,306
4	0,978	2,353	3,182
5	0,941	2,132	2,776
6	0,920	2,015	2,571
7	0,906	1,943	2,447
8	0,896	1,895	2,365
9	0,889	1,860	2,306
10	0,883	1,833	2,262
15	0,868	1,761	2,145
20	0,861	1,729	2,093

Tabela 4 - Valores de para n < 20

Fonte: Costa e Cabral, (2013).

Vai ser usada uma tabela no programa Excel, para inserir as leituras de tensão e corrente e plotar o gráfico da curva característica.

Pontos	Tensão Aplicada (V)	Corrente no Diodo (mA)				
		Número de Amostras				
	V↑↓	I1↑	I2↓	I3↑	I4↓	I5↑
1	0,1					
2	0,2					
3	0,3					
4	0,4					
5	0,5					
6	0,6					
7	0,7					
8	0,8					
9	0,9					
10	1					

Tabela 5 - Tabela de dados de tensão e corrente

Fonte: Excel, (2010)

Usamos o Gráfico de dispersão x e y do programa Excel para plotar a curva característica do Diodo, é um gráfico que relaciona cada valor de tensão aplicado com a respectiva corrente elétrica que atravessa o diodo quando polarizado diretamente, a figura 17 e um exemplo de gráfico de dispersão com valores aleatórios.

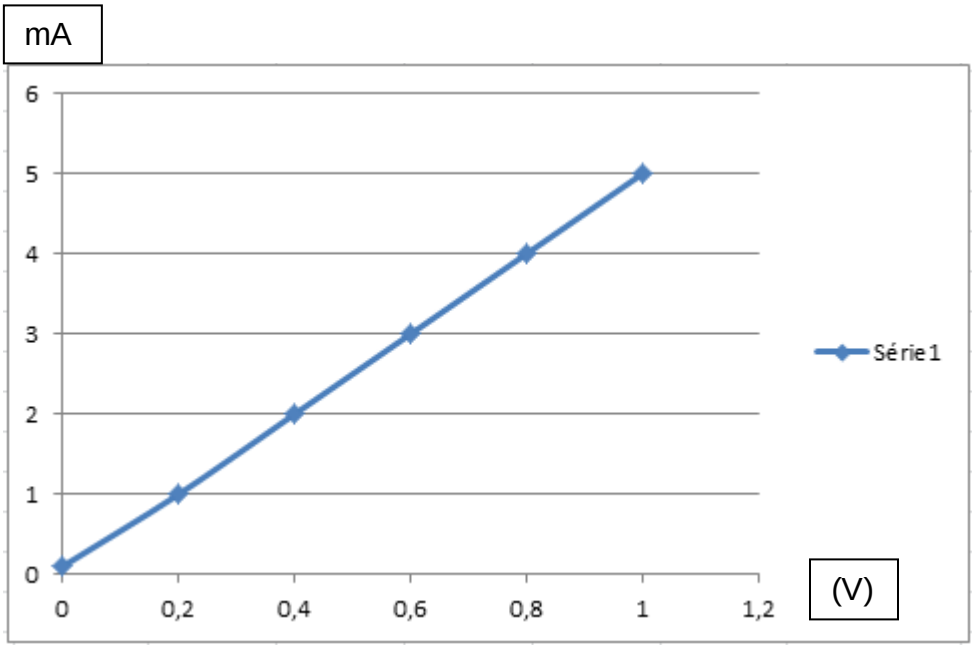

Figura 17 - Exemplo de Gráfico de Dispersão X Y com valores aleatórios

Fonte: Excel, (2010)

5 RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.1 Resultados do circuito montado na bancada convencional

No experimento variamos a tensão na fonte de 0,10 V até 1 V, que e a tensão que o componente suporta polarizado diretamente, essa variação foi feita 5 vezes, três vezes crescente de 0,10 V até 1 V e duas vezes decrescente de 1V ate 0,10 V, a cada variação de tensão aguardou-se 30 segundos, para obtermos resultados compatíveis com os do Datasheet do Diodo 1N4148. A tabela 6 mostra os dados coletados no experimento na bancada convencional, a tabela 7 mostra os dados já tratados no Excel com média, desvio padrão A e nível de confiança dos instrumentos, para maior qualidade dos dados. A relação corrente tensão nos mostra o comportamento do componente na polarização direta e o momento em que o componente recebe a tensão necessária para conduzir corrente aproximadamente 0,7v, com a temperatura de 25 °C.

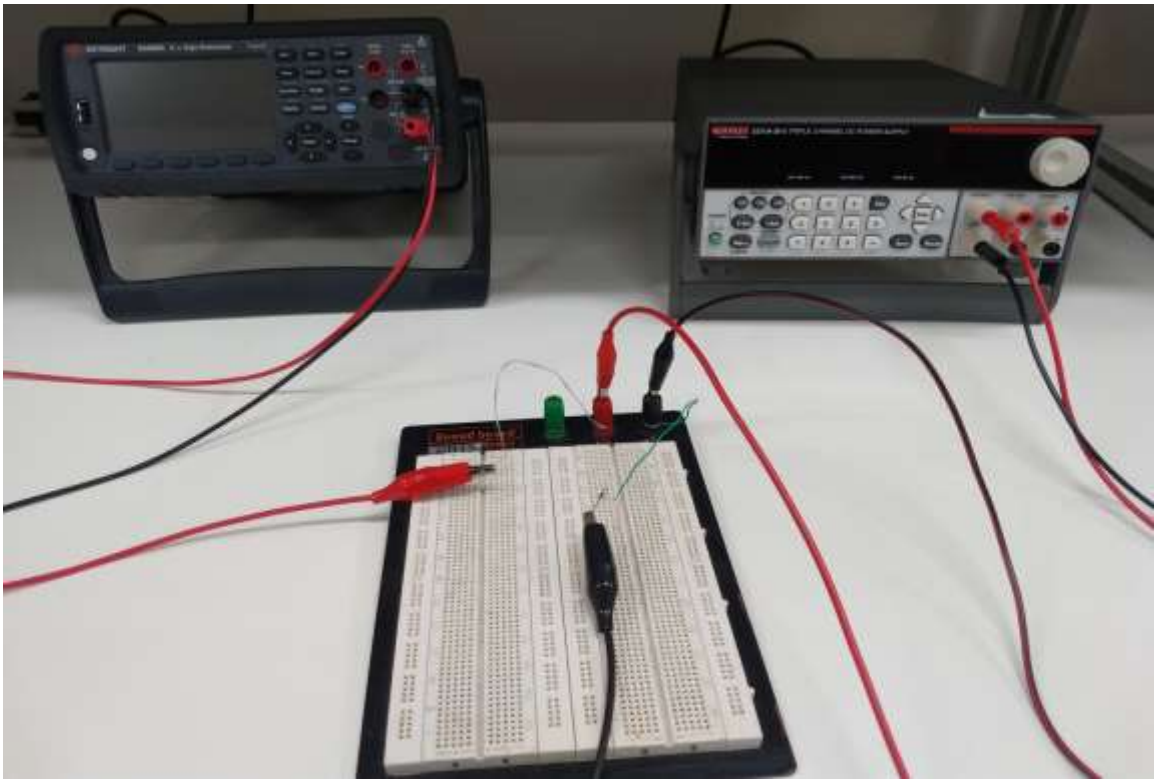

Figura 18 - Bancada Convencional para Caracterização Elétrica do Diodo 1N4148

Fonte: Nerivan, (2022)

A tabela 6 mostra os dados de tensão aplicada variando 5 vezes e a corrente medida com essas variações de tensão, dados obtidos a partir do circuito montado em bancada convencional como mostra a figura 18.

Pontos	Tensão Aplicada (V)	Corrente no Diodo (mA)				
		Número de Amostras				
	v↑↓	I1↑	I2↓	I3↑	I4↓	I5↑
1	0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
4	0,4	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011
5	0,5	0,043	0,043	0,042	0,043	0,042
6	0,6	0,098	0,098	0,097	0,096	0,096
7	0,7	0,165	0,165	0,164	0,164	0,163
8	0,8	0,240	0,239	0,239	0,239	0,238
9	0,9	0,318	0,318	0,317	0,317	0,316
10	1	0,399	0,398	0,397	0,397	0,396

Tabela 6 - Tabela de dados do Diodo 1N4148 obtidos da Bancada Convencional

Fonte: Excel, (2010)

Tabela de simulação da banca convencional

Pontos	Tensão Aplicada (V)	Correntes no diodo (mA) Número de Amostras					Média Corrente (mA)	Desvio Padrão A (mA)	Erro do Si + Instrumentos	
	V1↑↓	I1↑	I2↓	I3↑	I4↓	I5↑	Ii	Si	+n.c*Si	-n.c*Si
1	0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002
4	0,4	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,000	0,012	0,010
5	0,5	0,043	0,044	0,042	0,043	0,042	0,043	0,001	0,045	0,040
6	0,6	0,098	0,098	0,097	0,096	0,096	0,097	0,001	0,099	0,095
7	0,7	0,165	0,166	0,164	0,164	0,163	0,164	0,001	0,167	0,162
8	0,8	0,240	0,239	0,239	0,239	0,238	0,239	0,001	0,241	0,236
9	0,9	0,318	0,318	0,317	0,317	0,316	0,317	0,001	0,320	0,315
10	1	0,399	0,398	0,397	0,397	0,396	0,397	0,001	0,401	0,394

Tabela 7 - Tratamento dos dados coletados na Bancada Convencional

Fonte: Excel, (2010)

As formulas usadas no Excel para montagem da tabela e tratamento dos dados:

- Média: N/5
- Desvio Padrão: DESVPAD.A;
- Erro Aleatório: ±n x DESVPAD.A;
- N: Número de amostras;
- n.c: Nível de Confiança;
- n.c: 2,776.

Gráfico de dispersão XY da curva característica do Diodo 1N4148 em polarização direta mostrada na figura 19, plotado no Excel a partir dos dados da tabela 7.

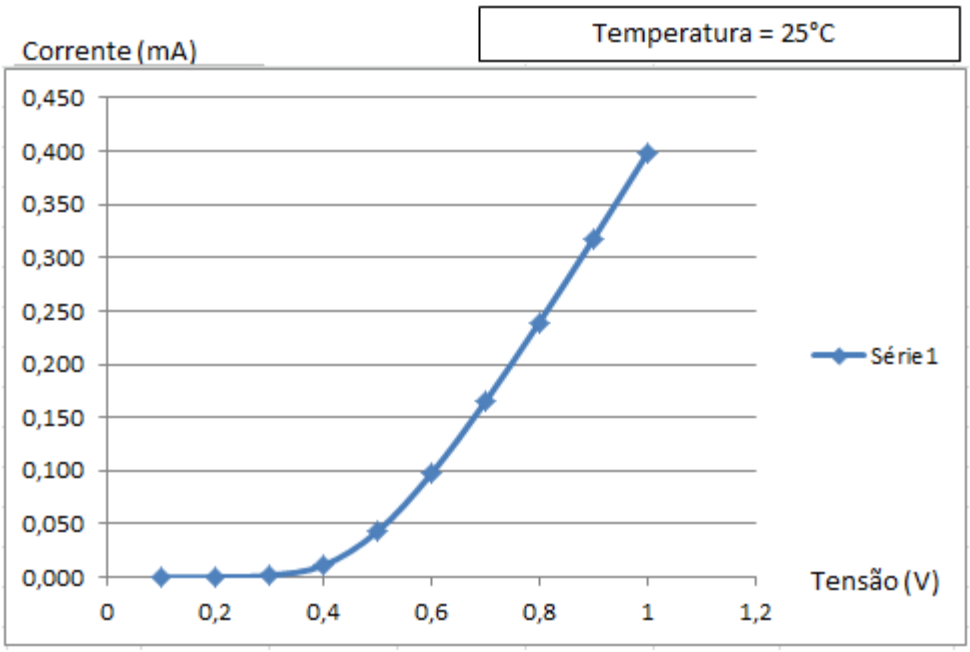

Figura 19 - Gráfico da curva característica do diodo 1N4148 plotado no Excel

Fonte: Excel, (2022).

5.2 Resultados do Circuito simulado no Multisim

No experimento simulado no Multisim variamos a tensão de 0,10 até 1 V, com os resultados geramos o gráfico da tensão versus corrente, mostrado na figura 21, compararmos com os valores obtidos com os da bancada convencional e com valores do Datasheet do componente.

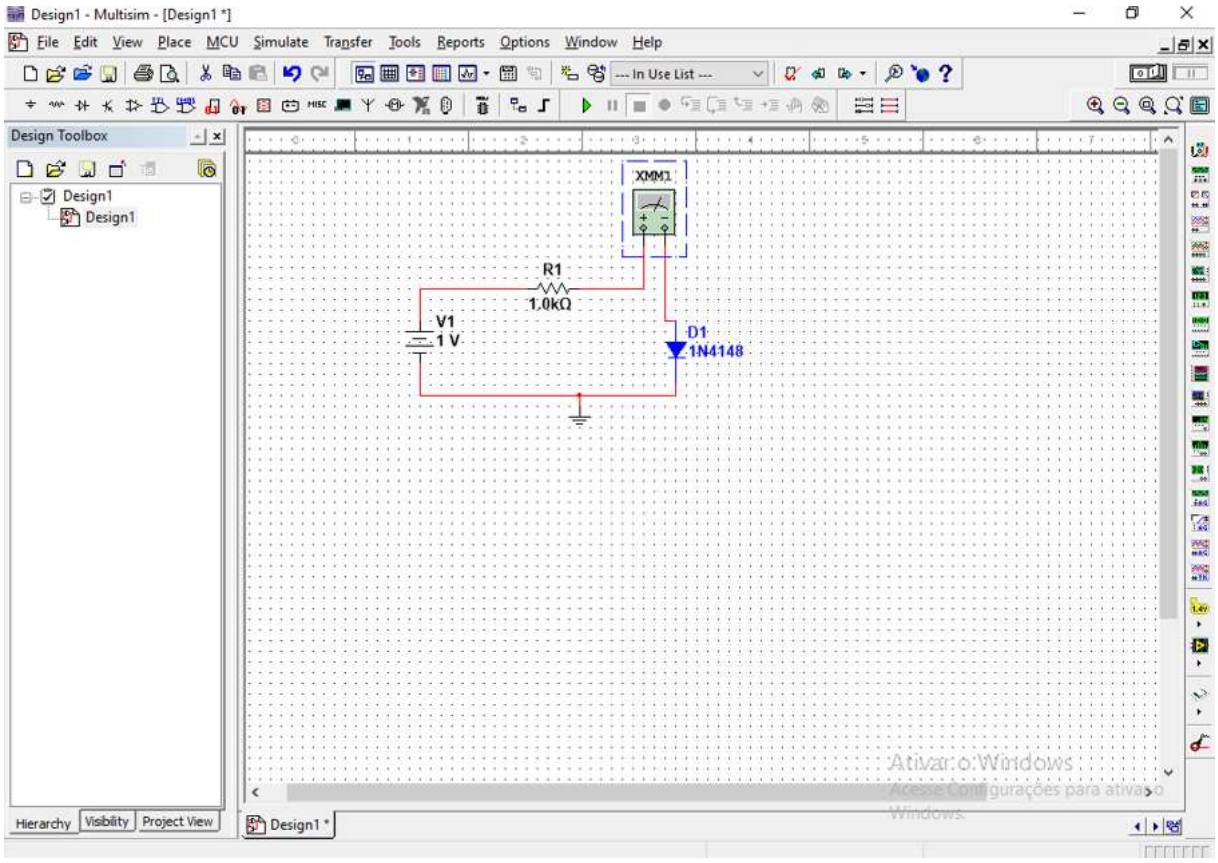

Figura 20 - Circuito simulado no Multisim

Fonte: Multisim, (2022)

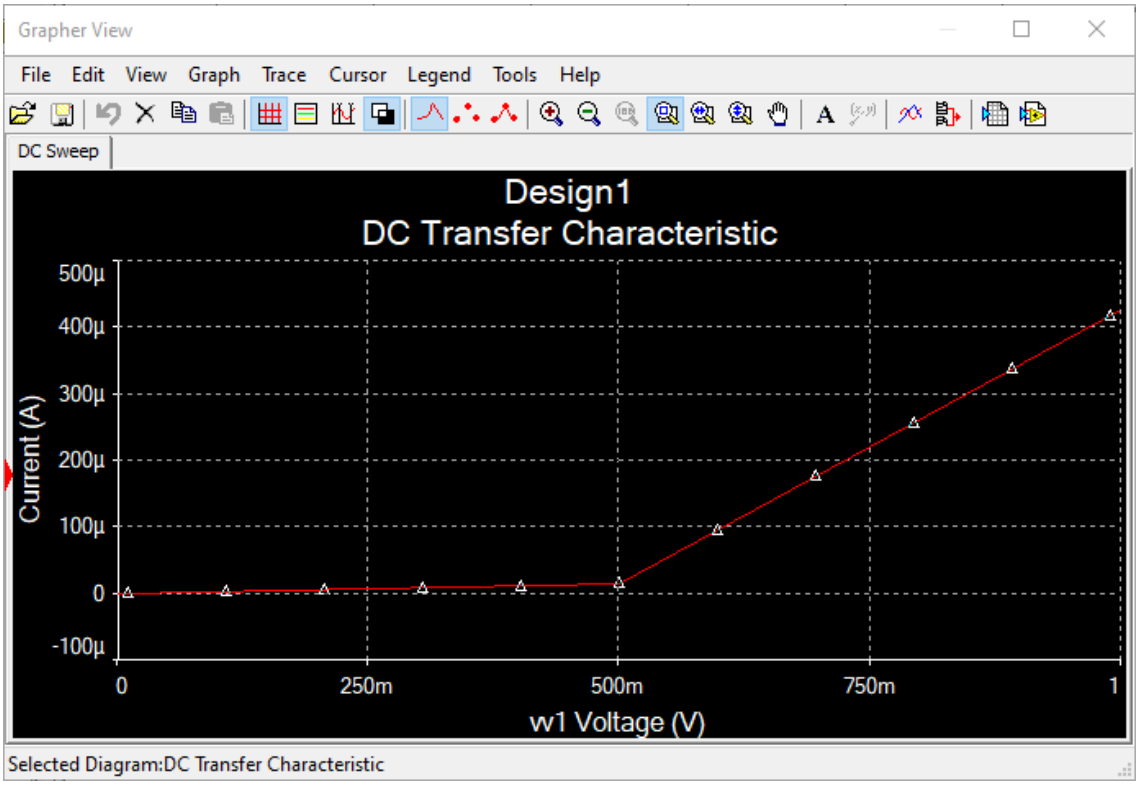

Figura 21 - Gráfico da curva característica gerado no Multisim

Fonte: Multisim, (2022)

5.3 Datasheet do Diodo 1N4148

A tabela 8 mostra dos dados das características elétricas do diodo 1n4148 no Datasheet do fabricante, a figura 23 mostra a curva características com dados do fabricante a uma temperatura de 25 °C.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**MIN.**	**TYP.**	**MAX.**	**UNIT**
Forward voltage	I_F = 10 mA	V_F			1	V
Reverse current	V_R = 20 V	I_R			25	nA
	V_R = 20 V, T_j = 150 °C	I_R			50	µA
	V_R = 75 V	I_R			5	µA
Breakdown voltage	I_R = 100 µA, t_p/T = 0.01, t_p = 0.3 ms	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	V_R = 0 V, f = 1 MHz, V_{HF} = 50 mV	C_D			4	pF
Rectification efficiency	V_{HF} = 2 V, f = 100 MHz	η_r	45			%
Reverse recovery time	I_F = I_R = 10 mA, i_R = 1 mA	t_{rr}			8	ns
	I_F = 10 mA, V_R = 6 V, i_R = 0.1 x I_R, R_L = 100 Ω	t_{rr}			4	ns

Tabela 8 - Características elétricas de corrente e tensão do diodo 1n4148.

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1N4148, (2017)

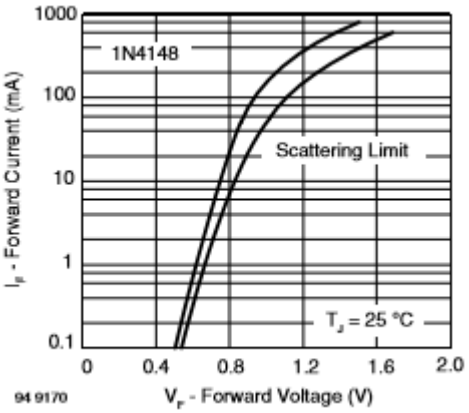

Figura 22 - Gráfico da Curva Característica do Diodo 1N4148

Fonte: Vishay Datasheet Diodo 1N4148, (2017)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho realizou um experimento em laboratório sobre caracterização elétrica de diodo de sinal 1N4148. Os resultados das medições elétricas obtidos em bancada convencional foram bastante satisfatórios, como observado nos gráficos da curva característica do componente, os valores são próximos aos do Datasheet fornecido pelo fabricante e dos valores simulado no programa Multisim. Com o desenvolvimento do trabalho também conseguimos melhorar os conhecimentos sobre o funcionamento, características elétricas e aplicações de diodos.

O trabalho poderá ser usado por estudantes de nível técnico e superior, facilitando seu aprendizado em levantamento de curvas do diodo de sinal, através de experimentos práticos em laboratório e simulações de circuitos no programa Multisim.

De forma a continuar a progressão dos estudos das características deste diodo, uma proposta de trabalho futuro pode-se sugerir a criação de uma bancada virtual por meio do programa Lab View e a plataforma NIELVIS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

34460A Digital Multimeter, 6 ½ Digit, Basic Truevolt. **Keysight**. 2022. Disponível em: https://www.keysight.com/br/pt/product/34460A/digital-multimeter-6-5-digit-basic-truevolt.html. Acesso em 06 de jan. 2023.

BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 11. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

CLOVIS. 1n4148 – Diodo de comutação de alta velocidade. **Nova Eletrônica**. 01 Dez. 2022. Disponível em: https://blog.novaeletronica.com.br/1n4148-diodos-de-comutacao-de-alta-velocidade/. Acesso em 01 de dez. de 2022.

COSTA, Alexandre B.; CABRAL, Francisco C. F. **Física 1**. Teoria dos erros. Bahia. Apostila de laboratório, 2013.

COSTA, M. **O que é um diodo de sinal e onde ele e usado**. [S.l]. 2022. Disponível em: https://viverdeeletrica.com/diodo-de-sinal/. Acesso em: 30/11/2022.

FREITAS, Z.G. **1N4148 Diodo de comutação de alta velocidade**. [S.l.]. 2016. Disponível em: https://www.zenilto.com.br/1n4148-diodo-de-comutacao-de-alta-velocidade/. Acesso em 27 nov. 2022.

KEITHLEY 2231A-30-3 - Fonte de Alimentação Tripla de bancada 30V 3ª. **Cistek**. 2022. Disponível em: https://www.cistek.com.br/fontes-e-cargas/keithley-2231-30-3-fonte-de-alimentacao-tripla-de-bancada-30v-3a. Acesso em 06 de jan. de 2023.

MESQUITA, R, A.; SILVA, R. A. F.; LOPES, P. S. F.; MAJUSTE, D.; CALDEIRA, C. L.; CIMINELLI, V. S. T. Caracterização de componentes eletrônicos de placas de circuito impresso visando a recuperação de ouro e cobre. **XXVII Encontro Nacional de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Belém, 2017.

MULTISIM. Software de aplicação para instrumentação e teste eletrônico. **NI National Instruments.** 2022. Disponível em: https://www.ni.com/pt-br/shop/software/products/multisim.html. Acesso em 04 de jan. de 2023.

NUNES, Bia. Medidas importantes para estatística. **Medium**. 31 Mar. 2019. Disponível em: https://medium.com/@beatrizznunes13/medidas-importantes-para-estat%C3%ADstica-947e8d7557a1. Acesso em: 10 de jan. de 2013.

PTCOMPUTADOR. **O que é um diodo de sinal**. [S.l.]. [2015]. Disponível em: http://ptcomputador.com/Ferragens/ram-cards-motherboards/60126.html. Acesso em 27 nov. 2022.

RESENDE, Sergio M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**, 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

SCHULER, C. **Eletrônica 1**, 7 ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

SILVA, A.R. **Desenvolvimento da bancada virtual para caracterização elétrica do Triac – Utilizando a Plataforma Lab View**. 2012. Monografia. Instituto Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

SMITH, Kenneth C.; SEDRA, Adel S. **Microeletrônica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

SOAREA, Alicia. O que é desvio padrão e como calculá-lo? Saiba mais sobre essa variante estatística!. Voitto. 24 Dez. 2021. Disponível em: https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-desvio-padrao. Acesso em: 10 de jan. de 2023.

TABELA dos principais diodos de sinal. **Kabelão**. 2012. Disponível em: https://kabelao.webnode.page/tabelas/tabela-diodo-sinal/. Acesso em 12 de dez. de 2022.

TAVARES, M.F; TEIXEIRA, H.T. **Eletrônica Analógica**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018.