



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

PEDRO DIEGO DE LIMA

**LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA BÁSICA: ROTEIROS EXPERIMENTAIS PARA
OS CURSOS DE FÍSICA**

FORTALEZA

2022

PEDRO DIEGO DE LIMA

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA BÁSICA: ROTEIROS EXPERIMENTAIS PARA OS
CURSOS DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Física do Centro
de Ciências da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Cordeiro
Barroso

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L711 Lima, Pedro Diego de.
Laboratório de Eletrônica Básica : roteiros experimentais para os cursos de física / Pedro Diego de Lima. –
2022.
158 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Física, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso.
1. Laboratório de Eletrônica. 2. Formação de professores de Física. 3. Ensino de Física. I. Título.
CDD 530
-

PEDRO DIEGO DE LIMA

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA BÁSICA: ROTEIROS EXPERIMENTAIS PARA OS
CURSOS DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciado em Física.

Aprovada em: 08 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Alves de Lima Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Para minha bisavó Júlia Ana Dias (*in memoriam*)
por toda a preocupação que teve com a minha
educação e por ter sido uma verdadeira mãe.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, à minha mãe Geruza Socorro de Lima, ao meu irmão Paulo David de Lima e ao senhor Francisco Almeida de Sousa.

Ao meu orientador, o professor Giovanni Cordeiro Barroso, pela paciência e por ter aceitado me orientar neste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora: José Alves de Lima Júnior e Nildo Loiola Dias, pelas considerações a este trabalho.

Aos técnicos de laboratório, em especial ao técnico Osmar Araújo Lima do departamento de Física da UFC e ao Engenheiro Edson Bezerra da Silva do Departamento de Engenharia de Teleinformática da UFC (DETI-UFC).

Ao coordenador do curso de Física Licenciatura, na época, o professor Afrânio de Araújo Coelho, pela orientação durante as práticas de ensino em meio à pandemia de Covid 19.

À escola municipal Aldemir Martins, por ter permitido que eu cumprisse meus estágios; e à escola estadual Almeida Monte, por ter permitido que eu estagiasse e trabalhasse como professor tutor.

Em especial aos professores: Antônio José da Silva, Francisco Ivo dos Santos, Wellisson Pires Lima, Victória Santos das Neves, pelas orientações e supervisões durante os estágios.

Ao secretário do Curso de Física Licenciatura, Anderson de Paulo da Silva Brandão, pela ajuda nos assuntos burocráticos do curso.

Aos meus professores da época de Escola, em especial à Janayna e o Marcos Davi.

A todos os meus amigos, em especial: Rafaela, Waley, Felipe, Yuri, Edson.

Aos professores e funcionários: Mazé, Neide, Evanilce, Ana Lúcia e Josa.

A todos aqueles que acreditaram em mim, pelas palavras de apoio.

A história da ciência nos ensina que cada vez que acreditamos ter chegado ao fim do caminho, a natureza abre sua caixa de surpresas radicais e volta a exigir mudanças significativas e por vezes drásticas na nossa maneira de considerar o funcionamento do mundo.

(GREENE, 2001, p. 409).

RESUMO

Com o objetivo de atender a demanda por um ambiente escolar aprimorado, atualizado, e que consiga fazer o elo entre o ensino de Física e a tecnologia atual, é necessário levar em consideração a importância da Eletrônica na formação de professores de Física. Para ter uma noção do incentivo dado a essa disciplina nos cursos de graduação em Física das universidades públicas no país, foi feita uma pesquisa sobre a oferta dessa disciplina nos mesmos. Supondo que, para alcançar a melhoria na qualidade do ensino básico, precisamos primeiro começar pela formação de professores, e sabendo que as aulas no laboratório de Eletrônica, nos cursos de graduação em Física, orientadas por roteiros propostos, são de fundamental importância, o presente trabalho tem a intenção de contribuir com nove roteiros experimentais de Eletrônica Básica, para serem usados nos cursos de graduação em Física.

Palavras-chave: laboratório de eletrônica; formação de professores de física; ensino de física.

ABSTRACT

In order to meet the demand for an improved, up-to-date school environment that can make the link between Physics teaching and current technology, it is necessary to take into account the importance of Electronics in the formation of Physics teachers. To get a sense of the incentive given to this discipline in undergraduate Physics courses at public universities in the country, a survey was carried out on the offer of this discipline in them. Assuming that, in order to improve the quality of basic education, we must first start by training teachers, and knowing that classes in the Electronics laboratory, in undergraduate Physics courses, guided by proposed scripts, are of fundamental importance, the present This work intends to contribute with nine experimental scripts of Basic Electronics, to be used in undergraduate courses in Physics.

Keywords: electronics laboratory; training of physics teachers; physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contagem das Instituições de Ensino Superior Públicas do País (IESPP) que participaram da pesquisa sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica por regiões do Brasil- 45 IESPP participantes.	27
Figura 2 – Contagem das IESPP que participaram da pesquisa sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica por unidades federativas brasileiras- 45 IESPP participantes.	28
Figura 3 – Contagem sobre o tipo de grau acadêmico ofertado nos cursos de graduação em Física - 45 IESPP participantes.	28
Figura 4 – Contagem sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica nos cursos de graduação em Física - 45 IESPP participantes.	29
Figura 5 – Materiais para a prática de Thévenin e Norton.	32
Figura 6 – Substituição de um circuito complexo pelo circuito equivalente de Thévenin.	33
Figura 7 – Circuito equivalente de Norton	34
Figura 8 – Circuito para o procedimento 1	35
Figura 9 – Circuito para verificação do teorema de Thévenin para R_5	36
Figura 10 – Circuito para verificação do teorema de Thévenin para R_4	37
Figura 11 – Circuito para o procedimento 2	37
Figura 12 – Circuito para os procedimentos: 2.5, 2.6 e 2.7.	38
Figura 13 – Circuito para os procedimentos: 2.10, 2.11 e 2.12.	39
Figura 14 – Materiais para a prática de osciloscópio.	41
Figura 15 – Tubo de Raios Catódicos (TRC).	42
Figura 16 – A voltagem V_H , gerada internamente, é aplicada às placas que defletem o feixe horizontalmente. Tela frontal com tensão dente de serra aplicada nas PDH: (a) tensão nula nas PDV, (b) tensão positiva nas PDV e (c) tensão negativa nas PDV	43
Figura 17 – Três representações medindo uma tensão senoidal de $20V_{p-p}/1kHz$ com ganho vertical ajustado em: (a) 5 V/DIV, (b) 20 V/DIV e (c) 2 V/DIV.	44
Figura 18 – Três representações medindo período de senoide de 1 kHz com ganho horizontal ajustado em: (a) 0,2 ms/DIV, (b) 2 ms/DIV e (c) 50 μs /DIV.	44
Figura 19 – Painel frontal do Osciloscópio.	45
Figura 20 – Painel frontal do Gerador de Funções.	48

Figura 21 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRADOR.	51
Figura 22 – Circuito com diodo e resistor.	52
Figura 23 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio - Figura da questão 3.	53
Figura 24 – Materiais para a prática de Diodo Retificador.	54
Figura 25 – Diodo ideal com: (a) simbolo mostrando os seus terminais: o anodo (A) e o catodo (K); e (b) as características	55
Figura 26 – Curva característica do diodo semiconductor de silício.	56
Figura 27 – Configuração com diodo em série: (a) circuito simples.	58
Figura 28 – Desenhando a reta de carga e determinando o ponto de operação.	59
Figura 29 – Circuito com diodo diretamente polarizado.	61
Figura 30 – Circuito com diodo reversamente polarizado.	62
Figura 31 – Circuito para a questão 7.	63
Figura 32 – Circuitos para a questão 8.	64
Figura 33 – Materiais para a prática de Circuitos Retificadores.	65
Figura 34 – Diagrama em blocos de um circuito retificador com filtro.	66
Figura 35 – (a) Entrada para o retificador de meia onda; (b) diagrama do circuito; (c) saída do retificador de meia onda; (d) saída de um retificador negativo de meia onda.	67
Figura 36 – (a) Retificador de onda completa; (b) circuito equivalente para o semiciclo positivo; (c) circuito equivalente para o semiciclo negativo; (d) onda completa de saída.	68
Figura 37 – (a) Ponte retificadora; (b) circuito equivalente para semiciclo positivo; (c) circuito equivalente para semiciclo negativo; (d) onda completa na saída. . .	70
Figura 38 – (a) Filtro de entrada com capacitor com carga; (b) a corrente de saída é contínua com uma pequena ondulação; (c) a saída com retificador de onda completa tem uma menor ondulação.	71
Figura 39 – Circuito retificador de meia onda.	73
Figura 40 – Circuito retificador de onda completa com dois diodos.	74
Figura 41 – Circuito retificador em ponte (onda completa).	75
Figura 42 – Circuito da questão 4.	76

Figura 43 – Materiais para a prática de Diodo Zener.	77
Figura 44 – Características de diodo Zener com o modelo equivalente para cada região. (diodo Zener de $10\text{ V} \pm 20\%$ e 500 mW).	78
Figura 45 – Sentido de condução: (a) do diodo Zener; (b) do diodo semiconductor; (c) do elemento resistivo.	79
Figura 46 – Circuito de uma fonte estabilizadora usando um diodo Zener. (Simplificado).	80
Figura 47 – Circuito para o procedimento 1.2.	82
Figura 48 – Circuito para o procedimento 1.3.	83
Figura 49 – Circuito para o procedimento 2.1.	83
Figura 50 – Circuito para o procedimento 2.2.	84
Figura 51 – Circuito para o procedimento 3.1.	85
Figura 52 – Materiais para a prática de TBJ.	86
Figura 53 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN; (b) PNP.	87
Figura 54 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN e PNP; (b) Transistor BC337. Da esquerda para a direita (região plana): coletor-base-emissor.	88
Figura 55 – Circuitos para os procedimentos: 2 e 3 - TBJ.	89
Figura 56 – Materiais para a prática de TBJ como amplificador de pequenos sinais.	92
Figura 57 – Modelo π híbrido.	93
Figura 58 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN e PNP; (b) Transistor BC337. Da esquerda para a direita (região plana): coletor-base-emissor.	94
Figura 59 – Diagrama do circuito para o procedimento 1.1.	95
Figura 60 – Modelo π - híbrido para pequenos sinais.	97
Figura 61 – Materiais para a prática de AMP-OP: integrador e diferenciador.	98
Figura 62 – Diagrama do circuito para o integrador elementar.	99
Figura 63 – Diagrama do circuito para o diferenciador elementar.	100
Figura 64 – Improvisando uma fonte simétrica utilizando duas fontes simples.	103
Figura 65 – Configuração do encapsulamento DIP e as funções dos pinos do LM741.	103
Figura 66 – Diagrama do circuito para o integrador prático.	104
Figura 67 – Diagrama do circuito para o diferenciador prático.	106
Figura 68 – Materiais para a prática de AMP-OP: comparador com referência zero.	108
Figura 69 – Circuito elementar de um comparador não-inversor com referência zero.	109
Figura 70 – Circuito elementar de um comparador inversor com referência zero.	110

Figura 71 – Circuito comparador de tensões de diferentes polaridades.	111
Figura 72 – Circuito comparador com controle de habilitação (strobe).	112
Figura 73 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRA- DOR. (1)	118
Figura 74 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRA- DOR. (2)	118
Figura 75 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda senoidal proveniente do GERADOR DE FUNÇÃO. (1)	119
Figura 76 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda senoidal proveniente do GERADOR DE FUNÇÃO. (2)	119
Figura 77 – Tela do Osciloscópio mostrando DUAS ONDAS.	120
Figura 78 – Tela do Osciloscópio mostrando a SOMA DAS ONDAS.	120
Figura 79 – Tela do Osciloscópio mostrando a SUBTRAÇÃO DAS ONDAS.	121
Figura 80 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de meia onda sem filtro capacitivo).	125
Figura 81 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de meia onda com filtro capacitivo).	125
Figura 82 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa com dois diodos sem filtro capacitivo).	126
Figura 83 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa com dois diodos com filtro capacitivo).	126
Figura 84 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo).	127
Figura 85 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo).	127
Figura 86 – Formas de onda observadas no procedimento 3: Tensão de Ripple na carga e tensão de Ripple no capacitor.	129
Figura 87 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN Satu- rado - Pré - Laboratório.	130
Figura 88 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor PNP Satu- rado - Pré - Laboratório.	130

Figura 89 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como chave - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório. . . .	131
Figura 90 – Ondas quadradas observadas na entrada e na saída - Transistor como chave - Procedimento 3.	132
Figura 91 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como amplificador - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.	133
Figura 92 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como amplificador - Determinação dos parâmetros CC - Pré - Laboratório.	133
Figura 93 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - Offset de entrada de 700 mV _p - Procedimento 1.1.	134
Figura 94 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - Offset de entrada de 1,4 V _p - Procedimento 1.2.	134
Figura 95 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito integrador prático - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório. . .	137
Figura 96 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 Hz.	139
Figura 97 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 1 kHz.	139
Figura 98 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 10 kHz.	140
Figura 99 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 kHz.	140
Figura 100 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 Hz.	141
Figura 101 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 1 kHz.	141
Figura 102 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 10 kHz.	142
Figura 103 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 kHz.	142
Figura 104 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 100 Hz.	143

Figura 105–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 1 kHz.	143
Figura 106–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 10 kHz.	144
Figura 107–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 100 kHz.	144
Figura 108–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 Hz.	145
Figura 109–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 1 kHz.	145
Figura 110–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 10 kHz.	146
Figura 111–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 kHz.	146
Figura 112–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 Hz.	147
Figura 113–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 1 kHz.	147
Figura 114–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 10 kHz.	148
Figura 115–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 kHz.	148
Figura 116–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 100 Hz.	149
Figura 117–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 1 kHz.	149
Figura 118–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 10 kHz.	150
Figura 119–Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 100 kHz.	150
Figura 120–Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito comparador de tensões - Pré - Laboratório.	151

Figura 121 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito comparador com habilitação nível alto - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.	151
Figura 122 – Montagem do circuito - Circuito comparador de tensões - LED verde aceso.	152
Figura 123 – Montagem do circuito - Circuito comparador de tensões - LED vermelho aceso.	152
Figura 124 – Circuito comparador com habilitação nível baixo - Visualizando os sinais na entrada e na saída.	153
Figura 125 – Circuito comparador com habilitação nível alto - Visualizando os sinais na entrada e na saída.	153
Figura 126 – Datasheet Diodo Zener 1N4732.	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medidas de Resistência	35
Tabela 2 – Medidas de corrente e tensão.	35
Tabela 3 – Parâmetros Thévenin.	36
Tabela 4 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_5	36
Tabela 5 – Parâmetros Thévenin.	36
Tabela 6 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_4	37
Tabela 7 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_5	38
Tabela 8 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton.	38
Tabela 9 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_4	39
Tabela 10 – Valores de tensão e corrente.	39
Tabela 11 – Valores de V_{TH} (Volts) e R_{TH} (Ω).	40
Tabela 12 – Valores de tensão e corrente.	40
Tabela 13 – Valores de I_N (mA) e R_N (Ω).	40
Tabela 14 – Componentes do TRC.	43
Tabela 15 – CONTROLES DO FEIXE DE ELÉTRONS.	46
Tabela 16 – CONTROLES DO EIXO VERTICAL.	46
Tabela 17 – CONTROLES DA BASE DE TEMPO (HORIZONTAL).	47
Tabela 18 – CONTROLES DO GATILHO (TRIGGER).	47
Tabela 19 – OUTROS.	48
Tabela 20 – CONTROLES DO GERADOR DE FUNÇÕES.	49
Tabela 21 – AJUSTES PRELIMINARES.	50
Tabela 22 – Teste do diodo com multímetro analógico.	60
Tabela 23 – Teste do diodo com multímetros digitais.	61
Tabela 24 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de silício).	61
Tabela 25 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de silício).	62
Tabela 26 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de germânio).	62
Tabela 27 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de germânio).	62
Tabela 28 – Retificadores sem filtro. $V_{p(2)}$ = tensão de pico no secundário; $V_{p(out)}$ = tensão de pico na saída.	71
Tabela 29 – Retificador de meia onda.	73
Tabela 30 – Retificador de onda completa com dois diodos..	74

Tabela 31 – Retificador em ponte (onda completa).	75
Tabela 32 – Teste do diodo Zener.	82
Tabela 33 – Resultados para o procedimento 1.2.	82
Tabela 34 – Resultados para o procedimento 1.3.	83
Tabela 35 – Resultados para o procedimento 2.1.	84
Tabela 36 – Resultados para o procedimento 2.2.	84
Tabela 37 – Resultados para o procedimento 1.1.	89
Tabela 38 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC337.	90
Tabela 39 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC327.	90
Tabela 40 – Resultados para os procedimentos: 2.1 e 2.2.	96
Tabela 41 – Resultados para o procedimento 2.1.	96
Tabela 42 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal.	105
Tabela 43 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada.	105
Tabela 44 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular.	105
Tabela 45 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal.	106
Tabela 46 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada.	107
Tabela 47 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular.	107
Tabela 48 – Medidas de Resistência	116
Tabela 49 – Medidas de corrente e tensão.	116
Tabela 50 – Parâmetros Thévenin. (R_5)	116
Tabela 51 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_5	116
Tabela 52 – Parâmetros Thévenin. (R_4)	116
Tabela 53 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_4	117
Tabela 54 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton. (R_5)	117
Tabela 55 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_5	117
Tabela 56 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton. (R_4)	117
Tabela 57 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_4	117
Tabela 58 – Teste do diodo com multímetro analógico.	122
Tabela 59 – Teste do diodo com multímetros digitais.	122
Tabela 60 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de silício).	122
Tabela 61 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de silício).	122
Tabela 62 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de germânio).	123

Tabela 63 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de germânio).	123
Tabela 64 – Retificador de meia onda.	124
Tabela 65 – Retificador de onda completa com dois diodos.	124
Tabela 66 – Retificador em ponte (onda completa).	124
Tabela 67 – Teste do diodo Zener.	128
Tabela 68 – Resultados para o procedimento 1.2.	128
Tabela 69 – Resultados para o procedimento 1.3.	128
Tabela 70 – Resultados para o procedimento 2.1.	128
Tabela 71 – Resultados para o procedimento 2.2.	129
Tabela 72 – Resultados para o procedimento 1.1.	131
Tabela 73 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC337.	131
Tabela 74 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC327.	132
Tabela 75 – Resultados para os procedimentos: 2.1 e 2.2.	135
Tabela 76 – Resultados para o procedimento 2.1.	135
Tabela 77 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal.	137
Tabela 78 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada.	137
Tabela 79 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular.	138
Tabela 80 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal.	138
Tabela 81 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada.	138
Tabela 82 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular.	138
Tabela 83 – Valores de tensão (em Volt) comercialmente disponíveis para diodos Zener de 0,5 e 1 Watt.	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DETI-UFC Departamento de Engenharia de Teleinformática da UFC

IESPP Instituições de Ensino Superior Públicas do País

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	PESQUISA SOBRE A DISCIPLINA DE ELETRÔNICA NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS NO BRASIL	27
3	ROTEIROS EXPERIMENTAIS DE ELETRÔNICA BÁSICA	31
3.1	Roteiro 1: teoremas de Thévenin e Norton	32
3.1.1	<i>Objetivos</i>	32
3.1.2	<i>Materiais</i>	32
3.1.3	<i>Fundamentos</i>	33
3.1.4	<i>Procedimentos</i>	35
3.1.5	<i>Questionário</i>	39
3.2	Roteiro 2: osciloscópio	41
3.2.1	<i>Objetivos</i>	41
3.2.2	<i>Materiais</i>	41
3.2.3	<i>Fundamentos</i>	42
3.2.4	<i>Procedimentos</i>	49
3.2.5	<i>Questionário</i>	52
3.3	Roteiro 3: diodo retificador	54
3.3.1	<i>Objetivos</i>	54
3.3.2	<i>Materiais</i>	54
3.3.3	<i>Fundamentos</i>	55
3.3.4	<i>Procedimentos</i>	60
3.3.5	<i>Questionário</i>	63
3.4	Roteiro 4: circuitos retificadores	65
3.4.1	<i>Objetivos</i>	65
3.4.2	<i>Materiais</i>	65
3.4.3	<i>Fundamentos</i>	66
3.4.4	<i>Procedimentos</i>	73
3.4.5	<i>Questionário</i>	76
3.5	Roteiro 5: diodo Zener	77

3.5.1	<i>Objetivos</i>	77
3.5.2	<i>Materiais</i>	77
3.5.3	<i>Fundamentos</i>	78
3.5.4	<i>Procedimentos</i>	82
3.5.5	<i>Questionário</i>	85
3.6	Roteiro 6: transistor bipolar de junção - (TBJ)	86
3.6.1	<i>Objetivos</i>	86
3.6.2	<i>Materiais</i>	86
3.6.3	<i>Fundamentos</i>	87
3.6.4	<i>Procedimentos</i>	89
3.6.5	<i>Questionário</i>	91
3.7	Roteiro 7: TBJ como amplificador de pequenos sinais	92
3.7.1	<i>Objetivos</i>	92
3.7.2	<i>Materiais</i>	92
3.7.3	<i>Fundamentos</i>	93
3.7.4	<i>Procedimentos</i>	95
3.7.5	<i>Questionário</i>	97
3.8	Roteiro 8: amplificador operacional - (AMP-OP): integrador e diferenciador	98
3.8.1	<i>Objetivos</i>	98
3.8.2	<i>Materiais</i>	98
3.8.3	<i>Fundamentos</i>	99
3.8.4	<i>Procedimentos</i>	104
3.8.5	<i>Questionário</i>	107
3.9	Roteiro 9: amplificador operacional - (AMP-OP): comparador com referência zero	108
3.9.1	<i>Objetivos</i>	108
3.9.2	<i>Materiais</i>	108
3.9.3	<i>Fundamentos</i>	109
3.9.4	<i>Procedimentos</i>	111
3.9.5	<i>Questionário</i>	113
4	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	114

REFERÊNCIAS	115
APÊNDICE A–GABARITO DO ROTEIRO 1	116
APÊNDICE B–GABARITO DO ROTEIRO 2	118
APÊNDICE C–GABARITO DO ROTEIRO 3	122
APÊNDICE D–GABARITO DO ROTEIRO 4	124
APÊNDICE E–GABARITO DO ROTEIRO 5	128
APÊNDICE F–GABARITO DO ROTEIRO 6	130
APÊNDICE G–GABARITO DO ROTEIRO 7	133
APÊNDICE H–GABARITO DO ROTEIRO 8	137
APÊNDICE I– GABARITO DO ROTEIRO 9	151
ANEXO A–EMENTA DA DISCIPLINA ELETRÔNICA BÁSICA . . .	154
ANEXO B–DATASHEET DIODO ZENER 1N4732	158

1 INTRODUÇÃO

É impressionante como as coisas a nossa volta sofreram aprimoramentos e atualizações. É fácil perceber isso através da história e evolução nos seguintes exemplos:

- Dos meios de comunicação, passando pelo rádio, telefone, TV até a internet;
- Dos dispositivos eletrônicos, desde o advento da Física do estado sólido com os transistores até a chegada dos microprocessadores;
- Dos dispositivos de armazenamento de dados informáticos, quando comparamos por exemplo: a primeira unidade de disco rígido de 5 megabytes em 1956 com os atuais cartões micro SD's de 1 terabyte dos dias atuais.

Pode-se dizer que todos esses avanços apontados são frutos das últimas grandes revoluções industriais, que segundo Schwab (2016) são:

- Segunda Revolução Industrial (final do século XIX até os anos 60 e 70 do século XX): quando o surgimento da eletricidade, das linhas de montagem e dos motores elétricos, trouxe grandes inovações técnicas;
- Terceira Revolução Industrial (1960 até o início do século XXI): quando houve o desenvolvimento dos semicondutores, da computação, da robótica, das telecomunicações, da química fina, da indústria de novos materiais, etc...
- E hoje fala-se da quarta revolução industrial (indústria 4.0): que é caracterizada por uma internet mais universal e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos, pela inteligência artificial e aprendizagem automática (aprendizado de máquina). E também por descobertas simultâneas em áreas como engenharia genética, nanotecnologia, energias renováveis e computação quântica.

Mas, se for feito um estudo sobre a história e a evolução do ambiente escolar, este, com exceção é claro das escolas modelo e de primeiro mundo, ainda permanece atrasado frente às alternativas tecnológicas presentes a todo momento. A sala de aula ainda mantém a mesma estrutura: os alunos dispostos em filas, assistindo uma aula expositiva, pouco participativa e centrada no professor. Alternativamente, computadores e smartphones, games, aplicativos e softwares, todos conectados à internet, são uma realidade. “Os jovens estudantes já têm a tecnologia integrada à sua vida cotidiana e esperam isso também da escola, então, as instituições precisam atender a essas necessidades para acompanhar as mudanças e evoluir.” (SAE DIGITAL, 2020). Com a pandemia de Covid 19, as escolas, que ainda estavam em processo lento de transformação para o uso do meio digital, de repente tiveram de trabalhar com o ensino a distância

e os estudantes tiveram de assistir aulas online pelos ambientes virtuais de aprendizagem em casa. Isso acabou causando uma certa modificação desse ambiente escolar tradicional. Todos de alguma forma perceberam as vantagens e desvantagens do ensino remoto. À medida que mais e mais pessoas foram se vacinando, passamos a adotar o ensino híbrido, e hoje, o ensino voltou a ser presencial. Toda essa experiência de transformação para o digital na educação mostrou a importância das chamadas metodologias ativas. E o ensino híbrido faz parte dessas metodologias. Entretanto, existe outro, do grupo das metodologias ativas, que merece um especial destaque:

“Na Educação 4.0 também aparece o conceito *“learning by doing”* (aprender fazendo). Ele traz a ideia de que o aprendizado acontece de forma mais rápida e rica quando ocorre por meio de experiências práticas e atividades chamadas “mão na massa.” Melhor ainda se acontecerem em espaços *maker*, outro conceito de inovação.” (UNISUL, 2021).

O movimento *Cultura Maker* é uma evolução do *“Do it yourself”* ou, em bom português, do “Faça você mesmo”.

O conceito principal é que qualquer pessoa, dotada das ferramentas certas e do devido conhecimento, pode criar as suas próprias soluções para problemas do cotidiano.

[...]

O que tem impulsionado o movimento é o surgimento de novas tecnologias, como as impressoras 3D, máquinas de corte à laser, kits de robótica e o próprio acesso massivo à internet de banda larga.

(FIA, 2019)

Sobre a importância da experimentação para o ensino de ciências, Neves (2019, p. 31) trás uma diversidade de objetivos pedagógicos atribuídos a essas práticas experimentais:

motivar os alunos, capacitá-los na resolução de problemas e nas técnicas e metodologias da pesquisa científica, facilitar a compreensão de conceitos, desenvolver habilidades manipulativas, trabalhar coletiva e cooperativamente, estabelecer conflitos cognitivos entre a observação e as concepções prévias dos alunos, favorecer a transposição didática de conteúdo científico contemporâneo, compreender o desenvolvimento da ciência, inclusive entendendo o papel do erro e da não linearidade em sua construção, compreender a limitação e o caráter não definitivo do conhecimento científico, estabelecer os limites da aplicação e da validade de uma teoria, permitir ao aluno interpretar fenômenos e processos naturais, enculturar cientificamente os alunos, tornando-os aptos a compreenderem, expressarem-se e argumentarem utilizando corretamente termos científicos, incorporar conceitos da matemática, compreender a tecnologia atual, atribuir significado à fórmulas, conceitos e leis, entre outros.

Ou seja, para melhorar e atualizar o ensino, precisamos do *“learning by doing”*. Precisamos de uma metodologia que trabalhe a educação através da experimentação, em espaços *maker*, baseada em projetos, e que consiga relacionar, por exemplo, a Física com a tecnologia atual. Uma disciplina dentro da cultura *maker* que pode fazer isso de forma excelente é a

Eletrônica. A Eletrônica pode ser um bom caminho para mudarmos esse ambiente escolar tradicional.

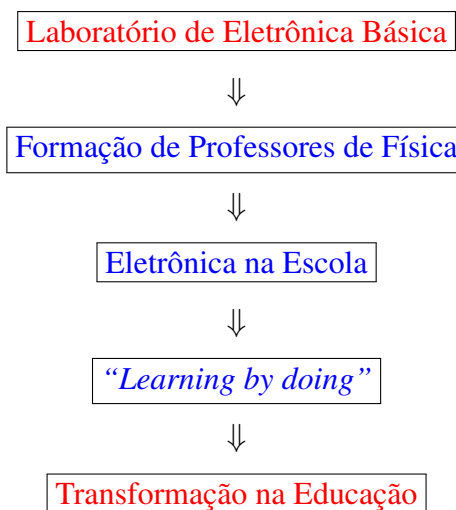
Em Neves (2019, p. 52) também encontramos o seguinte:

ainda que uma quantidade considerável de documentos oficiais que tratam da educação no país recomende a utilização de recursos tecnológicos nas aulas de Ciências e de Física, incluindo os componentes e dispositivos eletroeletrônicos, estes mesmos documentos alertam para a existência de obstáculos e desafios para a inserção da tecnologia na sala de aula. Dentre esses obstáculos e desafios podemos destacar: a rápida evolução da tecnologia considerada cotidiana; e **a necessidade de uma formação adequada por parte dos professores, que precisam estar aptos a lidar com os novos materiais educacionais.**

Por isso, é necessário pensarmos também na formação de professores. Os professores de Física devem ter tido algum contato com o básico da Eletrônica durante a graduação. Precisam ter conhecido o básico sobre o laboratório de Eletrônica: circuitos, osciloscópio, diodos, transistores, amplificadores operacionais, etc...

Assim, pensando na educação 4.0 (fazendo referência à indústria 4.0). Pensando em uma transformação da educação que acompanhe o ritmo da nova era usando as metodologias ativas. Pensando em uma sala de aula diferente, participativa, inovadora, onde o aluno possa aprender de forma prática: fabricando, construindo, reparando, alterando, criando, fazendo e realizando. Confiando na Eletrônica como uma disciplina que pode servir a todos esses propósitos e pensando também na formação de professores, o presente trabalho foi feito. Desse modo, o presente trabalho consiste em nove roteiros experimentais de Eletrônica Básica, que foram pensados para serem usados nos laboratórios dos cursos de graduação em Física.

A ideia contida nesta introdução está resumida por meio do seguinte diagrama hierárquico, onde as setas indicam uma relação de dependência:



Neste trabalho também está presente uma pesquisa feita com as Instituições de Ensino Superior Públicas do País (IESPP) sobre a disciplina de Eletrônica.

Sobre o capítulo de roteiros, temos:

- O roteiro 1 que trata dos teoremas de Thévenin e Norton e tem como objetivos: verificar o teorema de Thévenin experimentalmente e verificar o teorema de Norton experimentalmente;
- O roteiro 2 que trata do osciloscópio e tem como objetivos: aprender a manusear o osciloscópio e o gerador de função, medir amplitudes e frequências com o osciloscópio e observar o comportamento de um diodo retificador;
- O roteiro 3 que trata do diodo retificador e tem como objetivos: levantar a curva característica de um diodo retificador e determinar o ponto de trabalho de um diodo, utilizando uma reta de carga;
- O roteiro 4 que trata dos circuitos retificadores e tem como objetivos: montar e verificar as características dos circuitos retificadores de meia onda, com e sem filtro capacitivo e estudar o comportamento de circuitos retificadores de onda completa, com e sem filtro capacitivo;
- O roteiro 5 que trata do diodo Zener e tem como objetivos: levantar a curva característica de um diodo Zener e utilizar o diodo Zener para estabilizar um sinal;
- O roteiro 6 que trata do Transistor Bipolar de Junção (TBJ) e tem como objetivos: estudar e verificar as características elétricas básicas do TBJ e demonstrar e compreender o TBJ como chave (switch);
- O roteiro 7 que trata do TBJ como amplificador de pequenos sinais e tem como objetivos: verificar como um TBJ pode ser utilizado para operar como um amplificador e aprender a usar o modelo equivalente π - híbrido;
- O roteiro 8 que trata de amplificadores operacionais dos tipos integrador e diferenciador e tem como objetivos: comprovar o funcionamento dos circuitos: integrador prático e diferenciador prático, para uma variação de três décadas na frequência do sinal de entrada e verificar a resposta do integrador e do diferenciador para diferentes formas de onda de entrada;
- O roteiro 9 que trata de amplificadores operacionais do tipo comparador com referência zero e tem como objetivos: comparar tensões de diferentes polaridades usando o amplificador somador e comparar usando um controle de habilitação (strobe).

2 PESQUISA SOBRE A DISCIPLINA DE ELETRÔNICA NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS NO BRASIL

Com o objetivo de saber quais das Instituições de Ensino Superior Públicas do País (IESPP) apresentam ou ofertam a disciplina de Eletrônica Básica nos currículos dos cursos de graduação em Física, bem como, se essa disciplina é obrigatória ou opcional, nos mesmos, foi feito uma pesquisa por meio do Google Formulários com várias IESPP, atingindo um total de 45 respostas. A pesquisa tomou como exemplo a disciplina eletiva de Eletrônica Básica, ofertada no Departamento de Física da UFC, cuja ementa encontra-se no anexo A. Essa pesquisa foi enviada ou encaminhada via E-mail aos secretários ou coordenadores de cada curso de Física, ficando disponível durante o período de: 03/03/2022 à 27/06/2022.

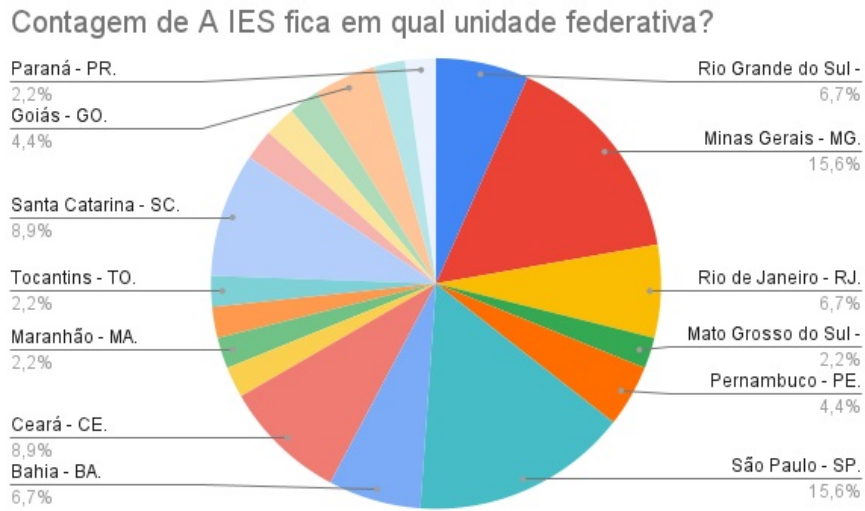
Inicialmente na pesquisa, pediu-se para as IESPP se identificarem por regiões e unidades federativas brasileiras. Como resultado da contagem por regiões brasileiras, temos que a maioria das IESPP são da região Sudeste com 37,8%; em segundo lugar vem as IESPP da região Nordeste com 26,7%; e em terceiro lugar vem as IESPP da região Sul com 17,8%. (Ver Figura 1). Como resultado da contagem por unidades federativas brasileiras, temos que a maioria das IESPP são de São Paulo e Minas Gerais, com 15,6% cada; em segundo lugar temos as IESPP do Ceará e de Santa Catarina, com 8,9% cada; e em terceiro lugar, temos as IESPP da Bahia, do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul, com 6,7% cada. (Ver Figura 2).

Figura 1 – Contagem das IESPP que participaram da pesquisa sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica por regiões do Brasil- 45 IESPP participantes.



Fonte: produzido pelo autor.

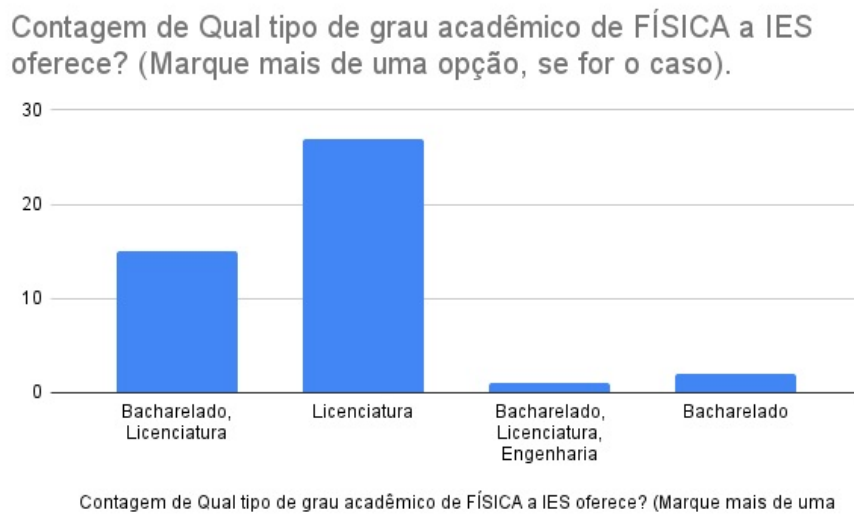
Figura 2 – Contagem das IESPP que participaram da pesquisa sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica por unidades federativas brasileiras- 45 IESPP participantes.



Fonte: produzido pelo autor.

Depois perguntou-se às IESPP sobre o tipo de grau acadêmico de Física ofertado nas mesmas. O resultado da contagem foi que a maioria das IESPP ofertam somente uma habilitação: Licenciatura em Física; Em segundo lugar aparecem as IESPP que ofertam até duas habilitações: Licenciatura e Bacharelado em Física; e apenas uma IESPP oferta até três habilitações: Licenciatura, Bacharelado e Engenharia Física. (Ver Figura 3).

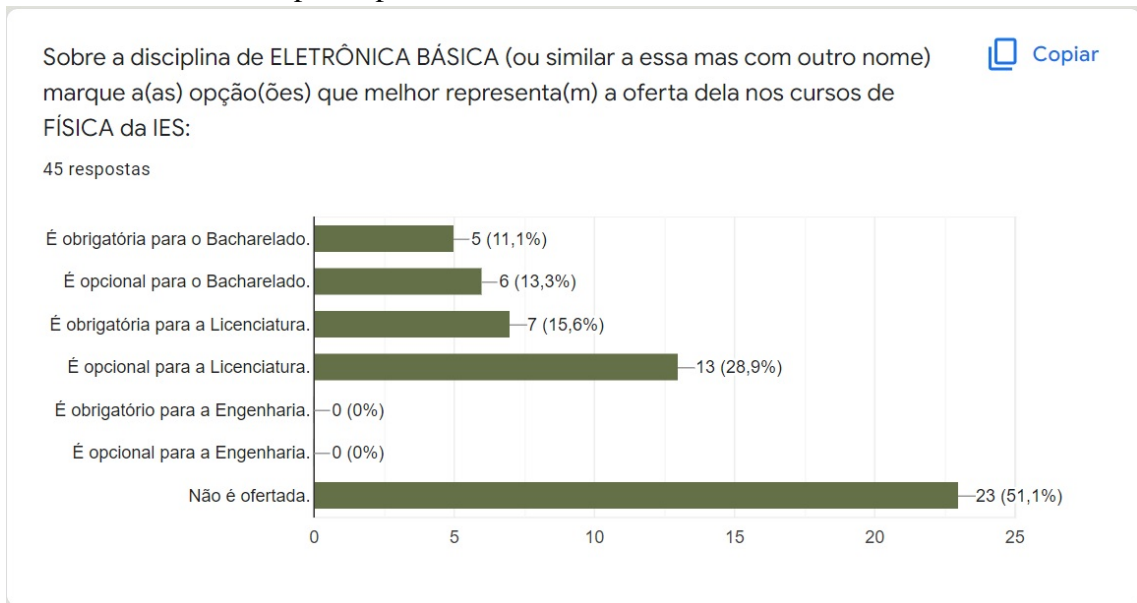
Figura 3 – Contagem sobre o tipo de grau acadêmico ofertado nos cursos de graduação em Física - 45 IESPP participantes.



Fonte: produzido pelo autor.

Por último, a pesquisa quis saber sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica nos cursos de graduação em Física das IESPP, e em caso dela ser ofertada, se é obrigatória ou opcional. Tomamos como exemplo a ementa da disciplina de Eletrônica Básica ofertada no Departamento de Física da UFC, de modo que as IESPP puderam comparar com as ementas dos seus respectivos cursos de Física. Como resultado da contagem, a maioria das IESPP, com 51,1%, disse não ofertar essa disciplina.

Figura 4 – Contagem sobre a oferta da disciplina Eletrônica Básica nos cursos de graduação em Física - 45 IESPP participantes.



Fonte: produzido pelo autor.

Também foi deixado um espaço no caso das IESPP ofertarem um disciplina similar a Eletrônica Básica mas com nome diferente. Como resultado algumas IESPP escreveram:

- ROBÓTICA EDUCACIONAL, disciplina eletiva do curso de licenciatura em Física.
EMENTA: Princípios Básicos de Eletrônica, Plataformas de Prototipagem Eletrônica de Hardware Livre, Arduino, Construção de Projetos: Piano, Alarme, Termostato, Dimmer, Iluminação Automatizada, Alarme Multipropósito, Frequencímetro, LED RGB, Timer;
- Laboratório de Eletrônica (Licenciatura em Física);
- Laboratório de Física III;
- Laboratório de Eletrônica I (Optativa) e Instrumentação em Eletrônica (Optativa);
- Eletrônica I - Eletiva Definida para o Curso de Física - Licenciatura e Bacharelado;
- Eletrônica Experimental;
- Não sei especificar os nomes, mas o departamento de engenharia elétrica oferta tal disci-

- plina, que podem ser cursadas como optativas no currículo dos cursos de Física;
- FUNDAMENTOS DA ELETRICIDADE NAS CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA;
 - Introdução à Robótica (Licenciatura);
 - Laboratório de Instrumentação Científica;
 - Lab. de Física Moderna-Eletrônica. Cobrimos o uso de arduino, medidas de i vs. v em diodos, montagem com OpAmp de amplificadores e integradores e uma aula com portas lógicas;
 - ELETRÔNICA BÁSICA PARA FÍSICA (Curso de Licenciatura em Física);
 - Fundamentos de eletrônica I / Fundamentos de eletrônica II.

3 ROTEIROS EXPERIMENTAIS DE ELETRÔNICA BÁSICA

Os roteiros foram elaborados com base em outros já existentes: no Departamento de Física da UFC, no DETI-UFC e nos livros: Pertence Júnior (2003) e Malvino e Bates (2016a). Cada roteiro foi devidamente trabalhado em práticas de laboratório. Foram feitas medidas, e todas essas medidas, assim como as respostas dos procedimentos, encontram-se nos gabaritos em apêndices. Os cinco primeiros roteiros foram trabalhados no laboratório de eletricidade do Departamento de Física da UFC e os demais foram trabalhados no laboratório de hardware do DETI-UFC. Foram feitas atualizações nos roteiros do Departamento de Física (a parte teórica é inteiramente nova com algumas exceções). Os roteiros do DETI-UFC foram atualizados e modificados e os demais roteiros foram totalmente modificados.

A disciplina de Eletrônica Básica é ofertada no Departamento de Física da UFC como optativa para o 8º semestre dos cursos de Licenciatura e Bacharelado, ora com: 4 créditos - 64 h - presencial, ora com: 6 créditos - 96 h - presencial, cuja ementa encontra-se no anexo A. Essa disciplina apresenta tanto a parte teórica quanto a parte prática de laboratório.

3.1 Roteiro 1: teoremas de Thévenin e Norton

3.1.1 Objetivos

- Verificar o Teorema de Thévenin experimentalmente;
- Verificar o Teorema de Norton experimentalmente.

3.1.2 Materiais

- Fonte de Tensão 0 a 32V-DC/ Fonte de Corrente 0 a 5A-DC;
- Resistores: 22 Ω , 22 Ω , 100 Ω , 180 Ω , 460 Ω e 470 Ω ;
- Potenciômetro de 1k Ω ;
- Multímetros (dois);
- Cabos, lupa e tabela com código de cores.

(Foto do kit de materiais: Figura 5).

Figura 5 – Materiais para a prática de Thévenin e Norton.



Fonte: produzido pelo autor.

3.1.3 Fundamentos

TEOREMA DE THÉVENIN

O teorema de Thévenin estabelece que qualquer circuito composto por elementos lineares pode ser substituído por uma Fonte de Tensão (V_{TH}) em série com uma resistência (R_{TH}), constituindo o gerador equivalente de Thévenin.

Em Boylestad (2012, p. 294) encontramos o seguinte procedimento para o Teorema de Thévenin:

Passos preliminares:

Remova a parte do circuito para a qual deseja obter um equivalente de Thévenin. No caso da Figura 6, é necessário remover temporariamente o resistor R_L .

Assinale os terminais do circuito remanescente. (A importância desse passo ficará óbvia à medida que avançarmos em direção a circuitos mais complexos.)

R_{TH} :

Calcule R_{TH} , colocando primeiro todas as fontes em zero (substituindo as fontes de tensão por curtos-circuitos e as fontes de corrente por circuitos abertos), e, em seguida, determine a resistência equivalente entre os dois terminais escolhidos. (Se o circuito original incluir as resistências internas de fontes de tensão e/ou fontes de corrente, essas resistências devem ser mantidas quando as fontes forem colocadas em zero.)

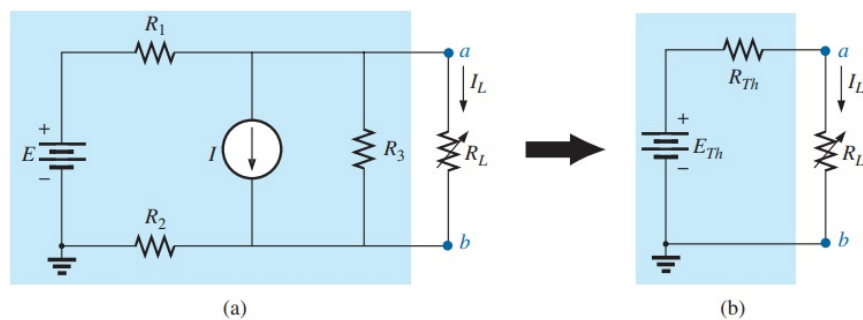
E_{TH} :

Calcule E_{TH} retornando primeiro todas as fontes à suas posições originais no circuito, e, em seguida, determine a tensão entre os dois terminais escolhidos. (Esse passo é invariavelmente um dos que costuma causar a maior parte de confusões e erros. Tenha sempre em mente que a diferença de potencial deve ser calculada com o circuito aberto entre os terminais assinalados no passo 2.)

Conclusão:

Desenhe o circuito equivalente de Thévenin e recoloca entre os terminais do circuito equivalente a parte que foi previamente removida. Esse passo é indicado pela inserção do resistor R_L entre os terminais do circuito equivalente de Thévenin, como indicado pela Figura 6

Figura 6 – Substituição de um circuito complexo pelo circuito equivalente de Thévenin.



Fonte: Boylestad (2012, p. 295).

TEOREMA DE NORTON

O teorema de Norton estabelece que todo circuito composto por elementos lineares pode ser substituído por um gerador de corrente (I_N) em paralelo com uma resistência (R_N), constituindo o gerador equivalente de Norton. Figura 7.

Em Boylestad (2012, p. 304) encontramos o seguinte procedimento para o Teorema de Norton:

Passos preliminares:

Remova a parte do circuito para a qual deseja obter o equivalente de Norton.

Assinale os dois terminais do circuito remanescente.

R_N :

Para calcular R_N , configure todas as fontes em zero (substituindo as fontes de tensão por curtos-circuitos e as fontes de corrente por circuitos abertos) e em seguida determine a resistência equivalente entre os dois terminais assinalados. (Se o circuito original incluir as resistências internas de fontes de tensão e/ou fontes de correntes, essas resistências devem ser mantidas quando as fontes forem configuradas em zero.) Como $R_N = R_{TH}$, esse passo é idêntico ao que foi descrito quando discutimos o teorema de Thévenin.

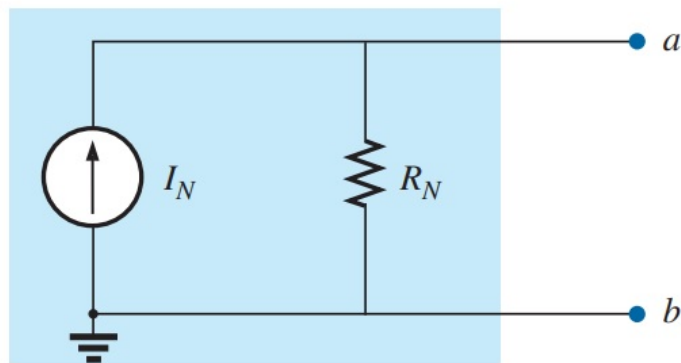
I_N :

Para calcular I_N , retorne todas as fontes às suas posições originais e em seguida determine a corrente de curto-circuito entre os dois terminais assinalados. Essa corrente é a mesma que seria medida por um amperímetro conectado entre os terminais assinalados.

Conclusão:

Desenhe o circuito equivalente de Norton e recoloque entre os terminais do circuito equivalente a parte que foi previamente removida.

Figura 7 – Circuito equivalente de Norton



Fonte: Boylestad (2012, p. 304).

3.1.4 Procedimentos

PROCEDIMENTO 01: Gerador equivalente de Thévenin.

1. Meça as resistências que serão utilizadas nesta prática e anote na Tabela 1.

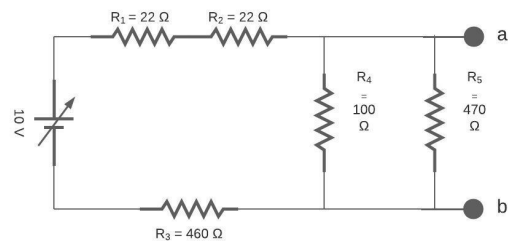
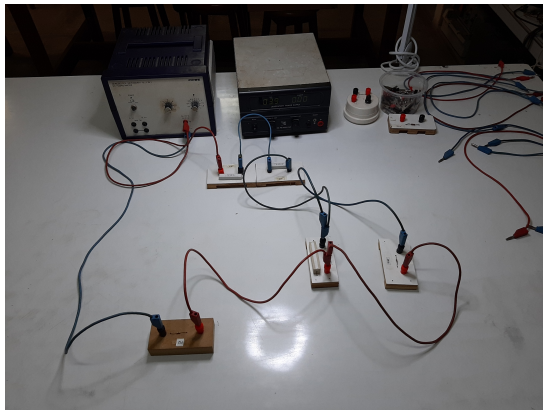
Tabela 1 – Medidas de Resistência

Resistor	Valor nominal (Ω)	Valor medido (Ω)
R_1 (22 Ω)		
R_2 (22 Ω)		
R_3 (460 Ω)		
R_4 (100 Ω)		
R_5 (470 Ω)		
R_6 (180 Ω)		

Fonte: produzido pelo autor.

2. Monte o circuito apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Circuito para o procedimento 1



Fonte: produzido pelo autor.

3. Meça e anote na Tabela 2 a corrente e a tensão em cada um dos resistores R_4 e R_5 .

Tabela 2 – Medidas de corrente e tensão.

	I (mA)	V (Volts)
R_4 (100 Ω)		
R_5 (470 Ω)		

Fonte: produzido pelo autor.

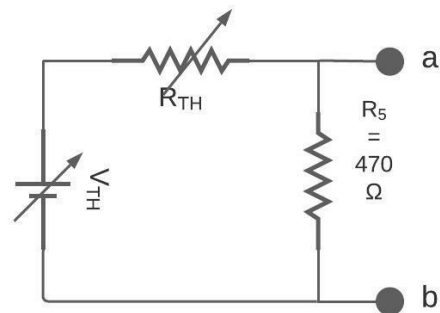
4. Retire o resistor R_5 do circuito e meça com o voltímetro a tensão V_{TH} entre os terminais a e b. Anote o resultado na Tabela 3.
5. Substitua a fonte de alimentação por um curto-circuito. Meça com o ohmímetro a resistência R_{TH} , entre os mesmos pontos a e b. Anote o resultado na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros Thévenin.

V_{TH} (V)	
R_{TH} (Ω)	

Fonte: produzido pelo autor.

6. Monte o circuito apresentado na Figura 9, ajustando a fonte e o potenciômetro, conforme os valores obtidos de V_{TH} e R_{TH} no item anterior.

Figura 9 – Circuito para verificação do teorema de Thévenin para R_5 .

Fonte: produzido pelo autor.

(Obs.: Deve-se conectar o potenciômetro nos bornes: A (preto) e B (vermelho).

Na figura 9 o potenciômetro não está conectado da forma correta.)

7. Meça e anote na Tabela 4 a corrente e a tensão no resistor R_5 (470 Ω).

Tabela 4 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_5 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)

Fonte: produzido pelo autor.

8. Repita os procedimentos 1.4 e 1.5 retirando o resistor R_4 em vez do R_5 . Anote os valores correspondentes na Tabela 5.

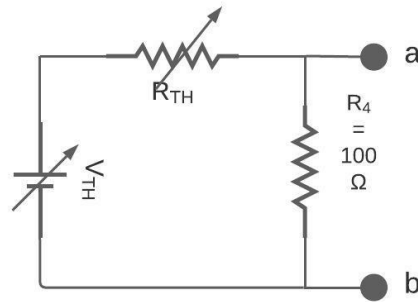
Tabela 5 – Parâmetros Thévenin.

V_{TH} (V)	
R_{TH} (Ω)	

Fonte: produzido pelo autor.

9. Monte o circuito apresentado na Figura 10, ajustando a fonte e o potenciômetro, conforme os valores obtidos de V_{TH} e R_{TH} no procedimento anterior.
10. Meça e anote na Tabela 6 a corrente e a tensão no resistor de R_4 (100 Ω).

Figura 10 – Circuito para verificação do teorema de Thévenin para R_4 .



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 6 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_4 .

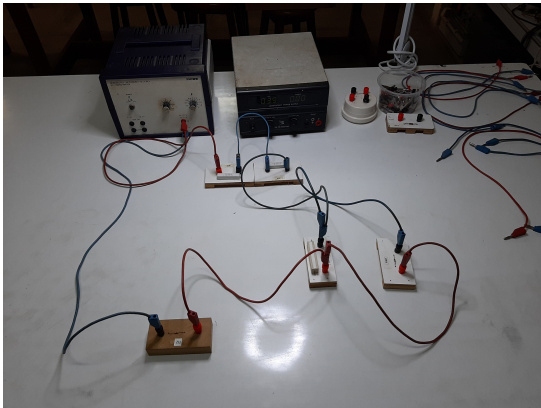
R (Ω)	I (mA)	V (Volts)

Fonte: produzido pelo autor.

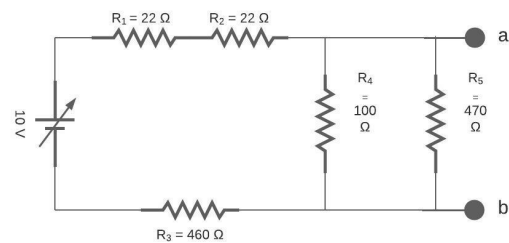
PROCEDIMENTO 02: Gerador equivalente de Norton.

1. Monte o circuito da Figura 11.

Figura 11 – Circuito para o procedimento 2

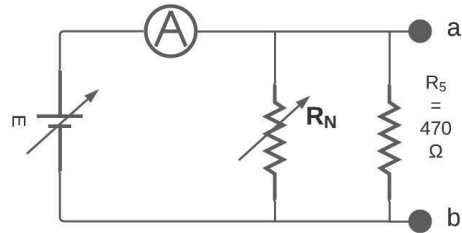
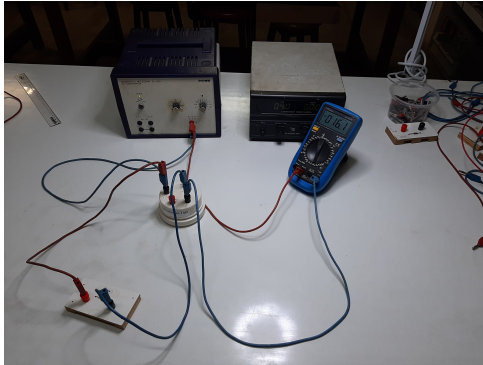


Fonte: produzido pelo autor.



2. Retire o resistor R_5 substituindo-o por um curto-circuito. Meça e anote a corrente I_N nesse fio: $I_N = \quad \text{mA}$
3. Volte a abrir os pontos a e b e substitua a fonte de tensão por um curto-circuito. Meça e anote a resistência R_N , entre os mesmos pontos a e b. Este procedimento já foi realizado para o gerador de Thévenin. Basta anotar o valor obtido no procedimento 1.5.
 $R_N = \quad \Omega$
4. Ajuste o potenciômetro para o valor R_N , obtido acima.
5. Monte o circuito da Figura 12 com o potenciômetro ajustado para R_N . Coloque a fonte com a saída em zero volt (0 V).

Figura 12 – Circuito para os procedimentos: 2.5, 2.6 e 2.7.



Fonte: produzido pelo autor.

(Obs.: Deve-se conectar o potenciômetro nos bornes: A (preto) e B (vermelho).

Na figura 12 o potenciômetro não está conectado da forma correta.)

6. Ajuste a tensão E , de maneira que o amperímetro indique o valor I_N obtido no procedimento 2.2.
7. Meça e anote na Tabela 7 a corrente e a tensão no resistor de R_5 (470Ω).

Tabela 7 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_5 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)

Fonte: produzido pelo autor.

8. Repita os procedimentos: 2.2 e 2.3, retirando o resistor R_4 em vez do R_5 . Anote os valores correspondentes na Tabela 8.

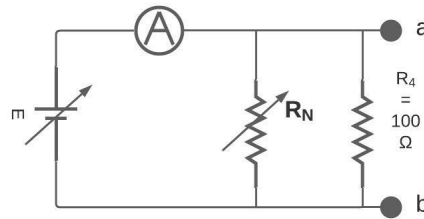
Tabela 8 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton.

I_N (mA)	
R_N (Ω)	

Fonte: produzido pelo autor.

9. Ajuste o potenciômetro para o valor R_N , obtido acima. Utilize um resistor complementar de 180Ω se necessário.
10. Monte o circuito da Figura 13 com o potenciômetro ajustado para R_N . Coloque a fonte com a saída em zero volt (0 V).
11. Ajuste a tensão E , de maneira que o amperímetro indique o valor I_N obtido no procedimento 2.8.
12. Meça e anote na Tabela 9 a corrente e a tensão no resistor R_4 (100Ω).

Figura 13 – Circuito para os procedimentos: 2.10, 2.11 e 2.12.



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 9 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_4 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)

Fonte: produzido pelo autor.

3.1.5 Questionário

- Calcule para o circuito da Figura 8, a tensão e a corrente nos resistores indicados abaixo:
 - No resistor de 470 Ω ;
 - No resistor de 100 Ω .
- Compare os valores de tensão e corrente obtidos teoricamente no item anterior com os valores medidos diretamente no circuito da Figura 8 e com os valores experimentais obtidos nos geradores equivalentes de Thévenin em cada caso. Comente os resultados da Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de tensão e corrente.

	Cálculo teórico		Medidas no circuito da Figura 8		Medidas no gerador equivalente de Thévenin	
	V (Volts)	I (mA)	V (Volts)	I (mA)	V (Volts)	I (mA)
470 Ω						
100 Ω						

Fonte: Dias (2015).

- Calcule para o circuito da Figura 8, o gerador equivalente de Thévenin em cada caso (R_4 e R_5).
- Compare os valores de V_{TH} (Volts) e R_{TH} (Ω) obtidos teoricamente no item anterior com os valores experimentais. Comente os resultados da Tabela 11.
- Compare os valores de tensão e corrente obtidos teoricamente na questão 1 acima com os valores medidos diretamente no circuito da Figura 8 e com os valores experimentais obtidos nos geradores equivalentes de Norton em cada caso. Comente os resultados da Tabela 12.

Tabela 11 – Valores de V_{TH} (Volts) e R_{TH} (Ω).

	Teórico		Experimental	
	V_{TH} (Volts)	R_{TH} (Ω)	V_{TH} (Volts)	R_{TH} (Ω)
470 Ω				
100 Ω				

Fonte: Dias (2015).

Tabela 12 – Valores de tensão e corrente.

	Cálculo teórico		Medidas no circuito da Figura 8		Medidas no gerador equivalente de Norton	
	V (Volts)	I (mA)	V (Volts)	I (mA)	V (Volts)	I (mA)
470 Ω						
100 Ω						

Fonte: Dias (2015).

- Calcule para o circuito da Figura 8, o gerador equivalente de Norton em cada caso (R_4 e R_5).
- Compare os valores de I_N (mA) e R_N (Ω) obtidos teoricamente no item anterior com os valores experimentais. Comente os resultados da Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de I_N (mA) e R_N (Ω).

	Teórico		Experimental	
	I_N (mA)	R_N (Ω)	I_N (mA)	R_N (Ω)
470 Ω				
100 Ω				

Fonte: Dias (2015).

3.2 Roteiro 2: osciloscópio

3.2.1 Objetivos

- Aprender a manusear o osciloscópio e o Gerador de Função;
- Medir amplitudes e frequências com o Osciloscópio;
- Observar o comportamento de um diodo retificador.

3.2.2 Materiais

- osciloscópio;
- Gerador de Função;
- Cabos BNC-BNC;
- Pontas de prova;
- Diodo;
- Resistor.

(Foto do kit de materiais: Figura 14).

Figura 14 – Materiais para a prática de osciloscópio.



Fonte: produzido pelo autor.

3.2.3 Fundamentos

O osciloscópio é um instrumento que utiliza um tubo de raios catódicos, TRC (alguns Osciloscópios modernos utilizam telas de cristal líquido em vez de TRC), para mostrar o gráfico de uma voltagem em função do tempo. O Osciloscópio é um instrumento bastante versátil e de larga utilização em pesquisas, no desenvolvimento de componentes e equipamentos eletrônicos, em monitoramentos os mais diversos, na manutenção e assistência técnica de equipamentos, etc. Embora seja um instrumento com muitos controles, dificilmente o mesmo poderá ser danificado desde que você observe os seguintes cuidados:

- Nunca use o Osciloscópio para estudar altas voltagens, em particular, não o conecte diretamente a uma fonte residencial de 220 V

- Procure sempre manter o brilho (INTEN) em um nível baixo para não danificar a tela fluorescente, especialmente quando o ponto luminoso estiver parado na tela. Um halo de luz em torno do ponto luminoso ou do sinal mostrado na tela indica um brilho excessivo; reduza-o imediatamente!

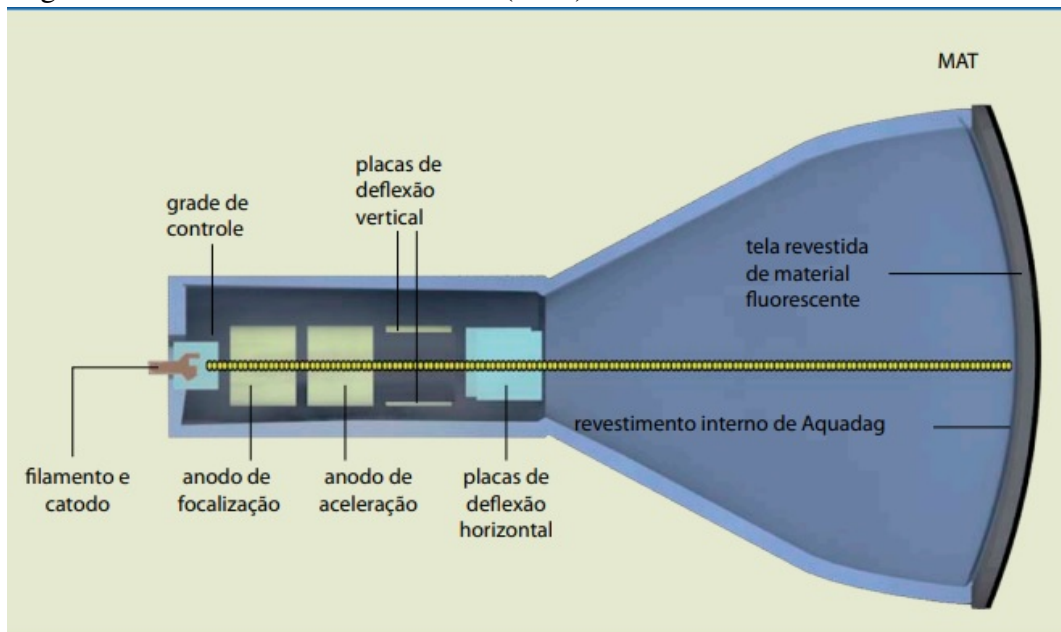
(DIAS, 2015)

O osciloscópio é um instrumento utilizado para visualizar a forma de onda dos sinais, possibilitando análises qualitativa e quantitativa dos componentes eletrônicos que geram as diversas formas de onda.

(PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 18)

Uma representação esquemática do TRC pode ser visto na Figura 15, e seus principais eletrodos de controle do feixe de elétrons podem ser vistos na Tabela 14.

Figura 15 – Tubo de Raios Catódicos (TRC).



Fonte: (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 19).

Tabela 14 – Componentes do TRC.

MAT (muito alta tensão) – É uma tensão aplicada na superfície do Aquadag. O circuito é fechado por meio dela.

Catodo – Fonte de emissão do feixe de elétrons. Consiste em um pequeno cilindro coberto por uma camada de material (óxido de terras raras) que emite elétrons ao ser aquecido.

Filamento – Está localizado no interior do catodo, mas isolado dele. Ao ser submetido a uma tensão, o filamento se aquece e emite calor. O catodo, por estar próximo, também se aquece, provocando a emissão do feixe de elétrons.

Grade de controle – Permite aumentar ou diminuir o fluxo de elétrons do catodo para o anodo.

Anodo de focalização – Eletrodo que funciona como uma lente, direcionando o feixe para a tela.

Anodo de aceleração – Ligado a uma tensão positiva, esse eletrodo tem a função de acelerar os elétrons em direção à tela, para que adquiram energia suficiente para produzir um ponto e gerar a fluorescência.

Placas de deflexão vertical (PDV) – Nelas é aplicada a tensão do sinal que se deseja ver na tela. O movimento do feixe de elétrons na vertical depende da polaridade e intensidade da tensão.

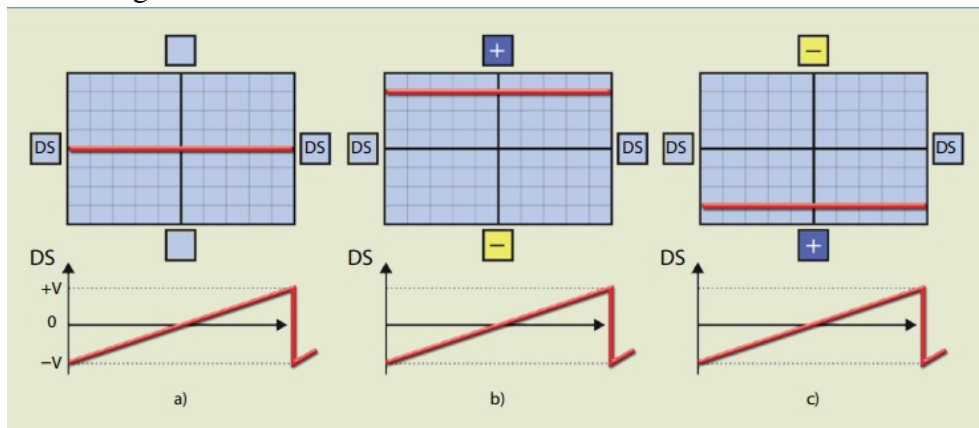
Placas de deflexão horizontal (PDH) – Nelas é aplicada a tensão dente de serra.

Figura 16. A finalidade dessas placas é manter constante a velocidade do feixe de elétrons e possibilitar que ele se desloque da esquerda para a direita na tela.

Aquadag – Material condutor à base de grafite que tem a função de coletar os elétrons emitidos pelos átomos da tela de fósforo (emissão secundária, que ocorre depois de os elétrons provenientes do catodo atingirem a tela).

Fonte: (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 19).

Figura 16 – A voltagem V_H , gerada internamente, é aplicada às placas que defletem o feixe horizontalmente. Tela frontal com tensão dente de serra aplicada nas PDH: (a) tensão nula nas PDV, (b) tensão positiva nas PDV e (c) tensão negativa nas PDV



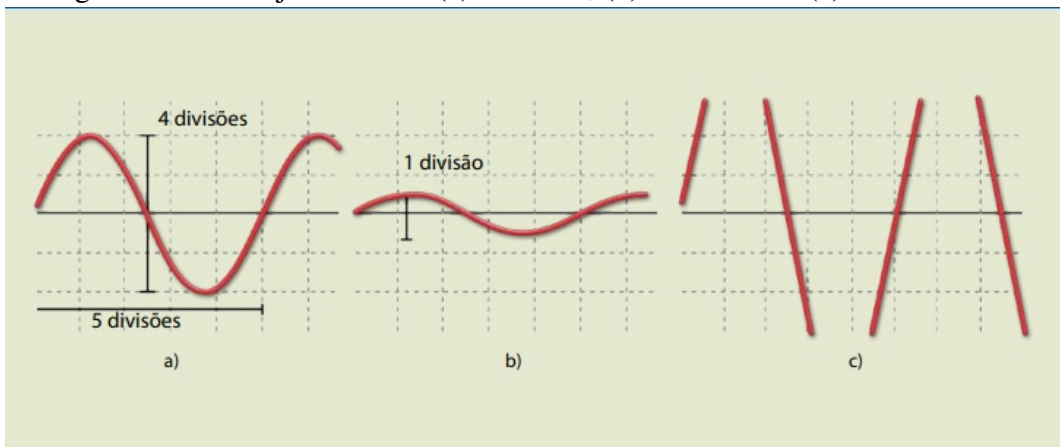
Fonte: (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 23).

Um exemplo com diferentes escalas na medição de tensão alternada pode ser encontrado em Pinto e Albuquerque (2011, p. 29).

A Figura 17 mostra uma tensão senoidal de $10 V_P$ ($20V_{p-p}$) e frequência de 1 kHz para diferentes ajustes do ganho vertical. Em todos os casos a base de tempo está fixada em $0,2 \text{ ms/DIV}$ e o ganho vertical varia em 5 V/DIV (a), 20 V/DIV (b) e 2 V/DIV (c). Claramente o melhor ajuste do ganho vertical é o primeiro, em que o sinal ocupa a maior parte da tela sem perder informação.

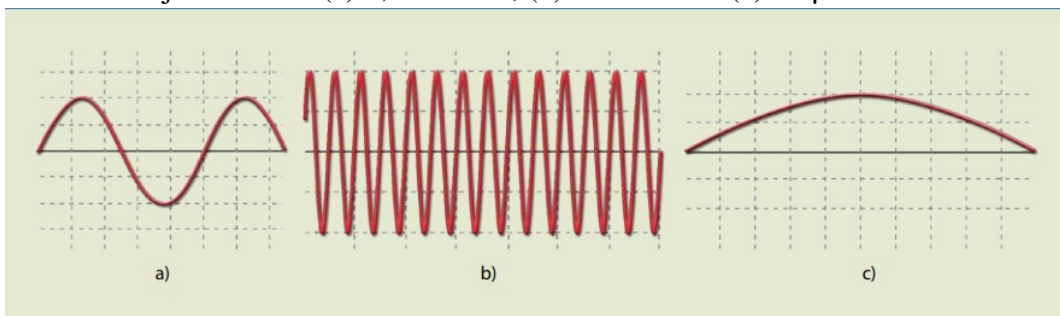
Para a medida do período, ou seja, o inverso da frequência, a escolha da base de tempo é fundamental. Na Figura 18, em todos os casos o ganho vertical está fixado em 5 V/DIV e a base de tempo varia em $0,2 \text{ ms/div}$ (a), 2 ms/DIV (b) e $50 \mu\text{s/DIV}$ (c).

Figura 17 – Três representações medindo uma tensão senoidal de $20V_{p-p}/1\text{kHz}$ com ganho vertical ajustado em: (a) 5 V/DIV , (b) 20 V/DIV e (c) 2 V/DIV .



Fonte: (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 29).

Figura 18 – Três representações medindo período de senoide de 1 kHz com ganho horizontal ajustado em: (a) $0,2 \text{ ms/DIV}$, (b) 2 ms/DIV e (c) $50 \mu\text{s/DIV}$.

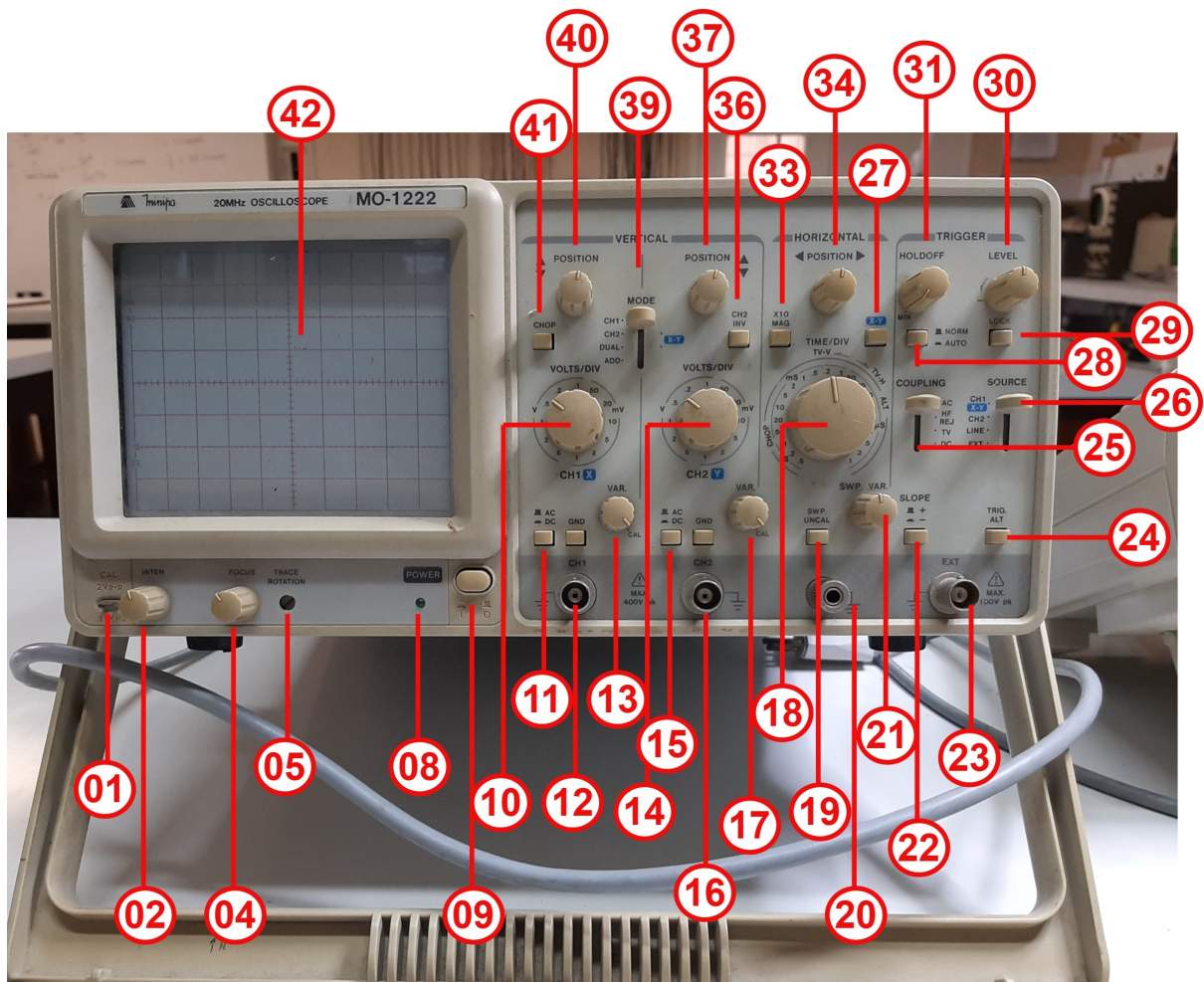


Fonte: (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 30).

DESCRIÇÃO DOS CONTROLES DO OSCILOSCÓPIO.

O equipamento que será usado predominantemente em nosso laboratório, é um Osciloscópio MINIPA modelo MO-1222, de dois canais, com faixa de frequência DC-20MHz, com máxima sensibilidade de 1 mV/divisão e tempo máximo de varredura de 10 ns/divisão. A tela do Osciloscópio é retangular, de 152,4 mm. O painel frontal do Osciloscópio está mostrado na Figura 19. São muitos controles, é verdade, mas operar com os mesmos não é tão complicado como possa parecer. A descrição dos controles está nas Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19. Se você precisar de mais detalhes consulte o manual do fabricante. Outros Osciloscópios terão controles semelhantes e não será difícil operá-los com base neste roteiro.

Figura 19 – Painel frontal do Osciloscópio.



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 15 – CONTROLES DO FEIXE DE ELÉTRONS.

(9) POWER (8) LED	Liga/Desliga o instrumento. Quando pressionado, o LED (8) permanece aceso indicando que o instrumento está ligado.
(2) INTEN	Ajusta o brilho do ponto ou do traço na tela.
(4) FOCUS	Focaliza o traço ou o ponto de modo a obter uma imagem mais nítida.
(5) TRACE ROTATION	Potenciômetro para alinhar o traço horizontal em paralelo às linhas da tela.

Fonte: Dias (2015).

Tabela 16 – CONTROLES DO EIXO VERTICAL.

(12) CH1	Terminal de entrada vertical 1. Funciona como terminal de entrada do eixo X se (27) X-Y estiver habilitado.
(16) CH2	Terminal de entrada vertical 2. Funciona como terminal de entrada do eixo Y se (27) X-Y estiver habilitado.
(36) CH2 INV	Inverte o sinal de (16) CH2
(11)(15) AC-DC-GND	Seleciona o modo de conexão entre o sinal de entrada e o amplificador vertical. AC = Acoplamento AC DC = Acoplamento DC GND = Liga a entrada vertical ao terra. Os terminais de entrada ficam desconectados.
(10)(14) VOLTS/DIV	Seleciona a escala do eixo vertical. São 12 possibilidades.
(13)(17) VARIABLE	Altera (ajusta) a escala (10)(14) selecionada. Na posição CAL a escala fica calibrada de acordo com o valor escolhido em (10)(14).
(40)(37) POSITION	Controla a posição vertical do sinal na tela.
(39) VERT MODE	Seleciona o sinal que será mostrado na tela: CH1 mostra somente o sinal da entrada vertical 1. CH2 mostra somente o sinal da entrada vertical 2. DUAL mostra simultaneamente os dois sinais das entradas verticais 1 e 2. ADD mostra a soma algébrica CH1 + CH2. Mostrará a diferença CH1 - CH2 quando o botão (36) CH2 INV está acionado.

Fonte: Dias (2015).

Tabela 17 – CONTROLES DA BASE DE TEMPO (HORIZONTAL).

(18) TIME/DIV	Seleciona o tempo de varredura.
(21) SWP. VAR. (19) SWP. UNCAL	Altera (ajusta) o tempo de varredura selecionado em (18). Isto é possível somente quando o botão (19) SWP. UNCAL está acionado.
(33) x10MAG	Quando posicionado há uma amplificação de 10 vezes.
(34) POSITION	Controla a posição horizontal do sinal na tela.
(27) X-Y	Quando acionado, (12) CH1 é entrada horizontal (eixo-x) e (16) CH2 é entrada vertical.

Fonte: Dias (2015).

Tabela 18 – CONTROLES DO GATILHO (TRIGGER).

(23) EXT	Terminal de entrada para sinais de gatilhamento externo e sinais horizontais externos. Para utiliza-lo coloque a chave (26) SOURCE na posição EXT.	
(26) SOURCE	seleciona o sinal que será usado para o gatilhamento.	
	CH1 (X-Y)	Seleciona o sinal do CH1.
	CH2	Seleciona o sinal do CH2.
	LINE	Seleciona o sinal de alimentação AC da rede elétrica.
	EXT	Seleciona o sinal externo aplicado ao terminal de entrada (23) EXT.
(24) TRIG. ALT	Seleciona alternadamente entre CH1 e CH2 o sinal de gatilhamento. A chave (39) VERT MODE deve estar na posição DUAL ou ADD e a chave (26) SOURCE na posição CH1 ou CH2.	
(25) COUPLING	??????????????	
(22) SLOPE	Seleciona o gatilhamento quando o sinal é crescente ou quando é decrescente.	
(30) LEVEL	Controla o nível (intensidade) do ponto de gatilhamento.	
(29) LOCK	Quando ativado controla o nível de gatilho automaticamente.	
(31) HOLDOFF	Controla o intervalo de tempo entre varreduras sucessivas. Deve ser usado quando o controle (30) LEVEL não for capaz de deixar estável o gatilhamento.	

Fonte: Dias (2015).

Em Dias (2015) encontramos o seguinte:

Um mecanismo muito importante nos Osciloscópios é o gatilho (trigger) que é responsável pelo sincronismo entre o sinal de varredura aplicado às placas defletoras horizontais e o sinal aplicado à entrada vertical. Isto é necessário para se ter uma fixação da imagem mostrada na tela. Quando observamos um sinal periódico, isto é, um sinal que se repete a intervalos de tempo regulares, é importante que o mesmo se apresente na tela na forma de uma figura estacionária; para que isto ocorra o Osciloscópio dispõe de circuitos internos que gatilham (iniciam) a varredura através de uma amostra do sinal de entrada. Assim, através de controles do nível e da polaridade da amostra é possível observar a onda sempre iniciando de um determinado ponto da mesma.

Tabela 19 – OUTROS.

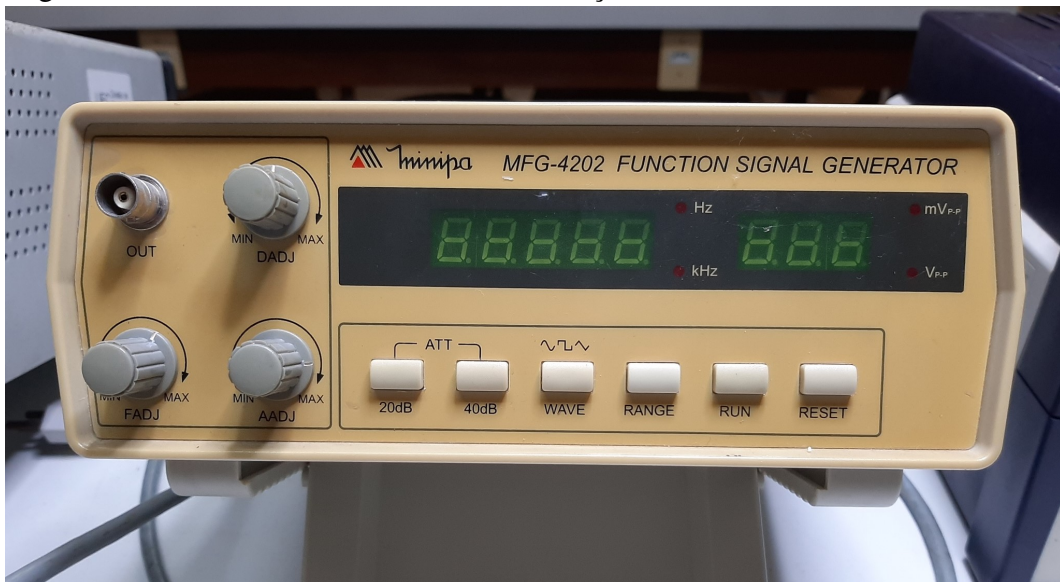
(1) CAL $2V_{p-p}$, 1kHz	Este terminal fornece uma tensão de calibração de $2V_{p-p}$, de aproximadamente 1kHz, onda quadrada positiva.
(20) Terra	Terminal de aterramento do chassi do Osciloscópio.

Fonte: Dias (2015).

DESCRIÇÃO DOS CONTROLES DO GERADOR DE FUNÇÃO.

O equipamento que será usado predominantemente em nosso laboratório, é um Gerador de Funções da marca MINIPA modelo MFG-4202 Figura 20.

Figura 20 – Painel frontal do Gerador de Funções.



Fonte: produzido pelo autor.

OBS: Os valores para a amplitude mostrados no painel frontal do gerador de funções não são confiáveis. Podem apresentar erros apreciáveis.

Segue na Tabela 20 abaixo a descrição dos controles do gerador de funções.

Tabela 20 – CONTROLES DO GERADOR DE FUNÇÕES.

OUT	Conector para saída do sinal do gerador de funções.																
DADJ	Duty Cycle (ajuste da simetria da forma da onda).																
FADJ	Frequência (ajuste fino).																
AADJ	Amplitude (ajuste).																
ATT-20dB	Atenuador de 20dB (ajusta a amplitude em combinação com AADJ).																
ATT-40dB	Atenuador de 40dB (ajusta a amplitude em combinação com AADJ).																
WAVE	Seleciona a forma da de onda: 1-Senoidal; 2-Quadrada; 3-Triangular.																
RANGE	Seletor de faixa de frequência. São 7 faixas como indicado na Tabela abaixo:																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Indicação</th> <th>Faixa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.2Hz - 4Hz</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4Hz - 40Hz</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>40Hz - 400Hz</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>400Hz - 4kHz</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>4kHz - 50kHz</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>30kHz - 300kHz</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>200kHz - 2MHz</td> </tr> </tbody> </table>	Indicação	Faixa	1	0.2Hz - 4Hz	2	4Hz - 40Hz	3	40Hz - 400Hz	4	400Hz - 4kHz	5	4kHz - 50kHz	6	30kHz - 300kHz	7	200kHz - 2MHz
	Indicação	Faixa															
	1	0.2Hz - 4Hz															
	2	4Hz - 40Hz															
	3	40Hz - 400Hz															
	4	400Hz - 4kHz															
	5	4kHz - 50kHz															
6	30kHz - 300kHz																
7	200kHz - 2MHz																
RUN	Completa a seleção da faixa de frequência (RANGE) e da forma de onda (WAVE). Deve ser pressionado após selecionar uma nova forma de onda ou uma nova faixa de frequência.																

Fonte: Dias (2015).

3.2.4 Procedimentos

AJUSTES PRELIMINARES DO OSCILOSCÓPIO

- I) Antes de ligar o Osciloscópio, posicione os controles do mesmo conforme mostrado na Tabela 21;
- II) Pressione o botão (9) POWER e verifique se o LED de alimentação acendeu. Aguarde alguns segundos para o aparecimento do sinal;
- III) Regule o traço para um brilho apropriado e para uma imagem bem nítida por meio dos controles (2) INTEN e (4) FOCUS;
- IV) Alinhe o traço com a linha horizontal central da tela através do controle POSITION do CH1.

Estes ajustes preliminares servem apenas como guia. Ajuste os controles sempre que for necessário. Use o bom senso.

Tabela 21 – AJUSTES PRELIMINARES.

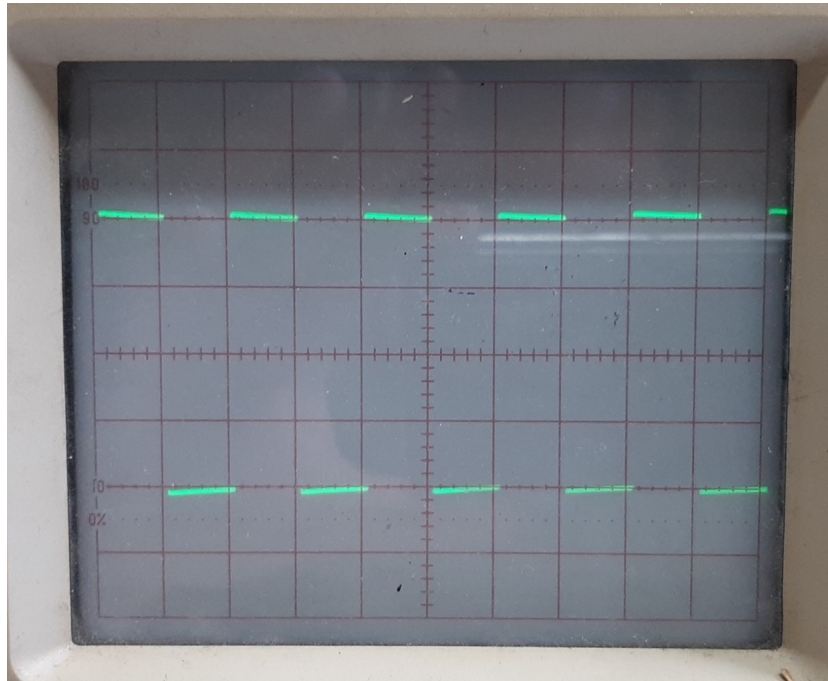
ITEM	AJUSTE
(9) POWER	Posição OFF.
(2) INTEN	Girar para a posição "3 horas".
(4) FOCUS	Metade do cursor.
(39) VERT MODE	CH1
(40)(37) POSITION	Posição central.
(10)(14) VOLTS/DIV	0.5V/DIV.
(13)(17) VAR	Posição CAL.
(11)(15) AC-DC-GND	GND pressionado (assim AC-DC fica desativado).
(26) SOURCE	CH1
(25) COUPLING	AC
(22) SLOPE	+
(24) TRIG. ALT	Liberado (para fora).
(29) LEVEL LOCK	Pressionado.
(31) HOLDOFF	Mínimo (gerado no sentido anti-horário).
(28) TRIGGER MODE	AUTO.
(18) TIME/DIV	0.5ms/DIV.
(34) POSITION	Metade do cursor.
(19) SWP. UNCAL	Liberado.
(41) CHOP	Liberado.
(36) CH2 INV	Liberado.
(27) X-Y	Liberado.
(33) X10MAG	Liberado.

Fonte: Dias (2015).

OBSERVAÇÃO DO SINAL DO CALIBRADOR.

1. Conecte a ponta de prova (ajustada em 1:1) ao terminal CH1, e aplique o sinal proveniente de (1) CALIBRADOR à extremidade da ponta de prova. Não há necessidade de conectar o terra (jacaré) da ponta de prova, neste caso;
2. Coloque (11) AC-DC-GND em AC e GND liberado. Surgirá na tela uma onda quadrada como mostrado na Figura 21;
3. Mude a escala horizontal para 0.2ms/DIV. Observe o sinal e tire uma foto da tela do Osciloscópio;
4. Mude a escala vertical para 1V/DIV. Observe o sinal e tire uma foto da tela do Osciloscópio.

Figura 21 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRADOR.



X: 0.5 ms/DIV Y: 0.5V/DIV

Fonte: produzido pelo autor.

OBSERVAÇÃO DO SINAL FORNECIDO PELO GERADOR DE FUNÇÃO.

1. Conecte o gerador de função ao CH1 do Osciloscópio com um cabo BNC-BNC. Selecione no OSCILOSCÓPIO a escala vertical em 1V/DIV e a escala horizontal em 0.2 ms/DIV;
2. No gerador de função, selecione a forma senoidal e a frequência em 1kHz. Em seguida pressione RUN. Ajuste a amplitude para $5V_{p-p}$. Certifique-se de que o sinal observado tem mesma amplitude de $5V_{p-p}$ e frequência de 1kHz. Se for necessário, ajuste o gerador de função. Se houver discrepância entre o valor da amplitude fornecido pelo gerador de função e o valor observado no Osciloscópio, considere como correto o deste último;
3. Tire uma foto do sinal observado;
4. Mude a escala horizontal para 0.1 ms/DIV e tire uma foto do sinal observado.

OBSERVAÇÃO SIMULTÂNEA DE DOIS SINAIS.

1. No gerador de função, selecione a forma senoidal e ajuste a amplitude para $8V_{p-p}$ e a frequência para 1kHz. Aplique o sinal do gerador de função no CH1 do Osciloscópio. Ligue a ponta de prova ao terminal (+) do gerador e o terra (jacaré) da ponta de prova ao terra do gerador de função. Certifique-se de que o sinal observado tem mesma amplitude de $8V_{p-p}$ e frequência de 1kHz;
2. Utilize o circuito ilustrado na Figura 22 e aplique o sinal do gerador de função nos terminais

de entrada, $V_{entrada}$, do circuito;

Figura 22 – Circuito com diodo e resistor.



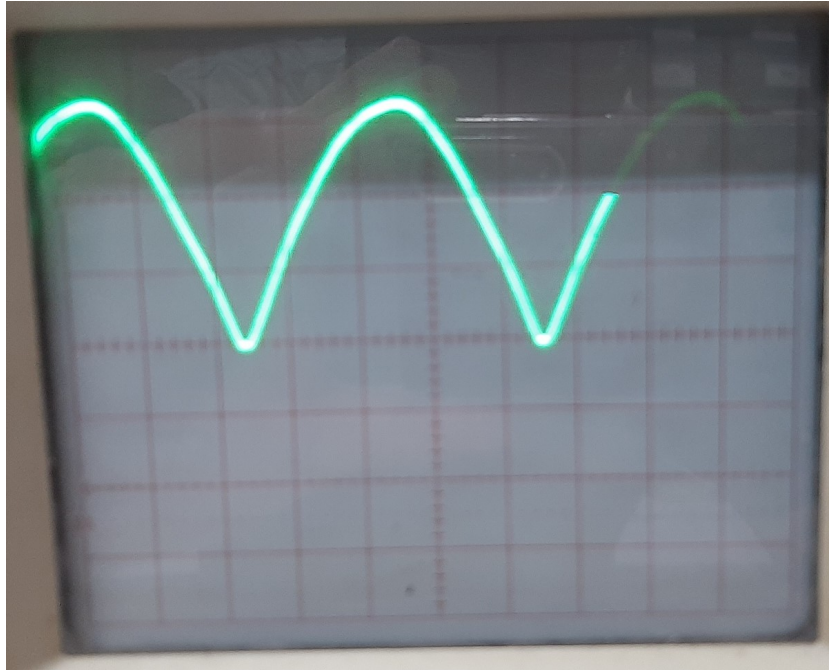
Fonte: produzido pelo autor.

3. Observe no canal CH1 do Osciloscópio o sinal de entrada, $V_{entrada}$, e utilizando uma outra ponta de prova, observe o sinal de saída, $V_{saída}$, no canal CH2 do Osciloscópio (selecione DC em (15) AC-DC-GND no CH2). Para ver os dois sinais ao mesmo tempo, coloque (39) VERT MODE em DUAL. Ajuste os controles de modo a observar dois períodos do sinal do CH1 na metade superior da tela e o sinal do CH2 na metade inferior da tela. Coloque os terras das duas pontas de prova em um ponto comum;
4. Tire uma foto dos sinais observados. Observe que o diodo só deixa passar o sinal positivo, isto é, só conduz quando está polarizado positivamente;
5. Coloque (39) VERT MODE em ADD. Você deverá observar a soma dos dois sinais. Tire uma foto do sinal observado;
6. Pressione (36) CH2 INV, observe a diferença entre os sinais e tire uma foto.

3.2.5 Questionário

1. Explique o procedimento para ampliar verticalmente um sinal visto no osciloscópio que estava calibrado em: 15 V/DIV e 0,5 ms/DIV.
2. Explique o procedimento para ampliar horizontalmente um sinal visto no osciloscópio que estava calibrado em: 0,5 V/DIV e 0,1 ms/DIV.
3. Qual é o máximo valor de tensão para o sinal da Figura 23, sabendo que o osciloscópio estava calibrado em 5 V/DIV?

Figura 23 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio - Figura da questão 3.



Fonte: produzido pelo autor.

Anotações:

3.3 Roteiro 3: diodo retificador

3.3.1 Objetivos

- Levantar a curva característica de um diodo retificador;
- Determinar o ponto de trabalho de um diodo, utilizando uma reta de carga.

3.3.2 Materiais

- Fonte de Alimentação 0 a 30V-DC;
- Resistor de 470Ω ;
- Diodos: um de Silício (1N4007 ou equivalente) e um de Germânio (1N60);
- Multímetro Analógico;
- Multímetros digitais (dois de modelos diferentes).

(Foto do kit de materiais: Figura 24).

Figura 24 – Materiais para a prática de Diodo Retificador.



Fonte: produzido pelo autor.

3.3.3 Fundamentos

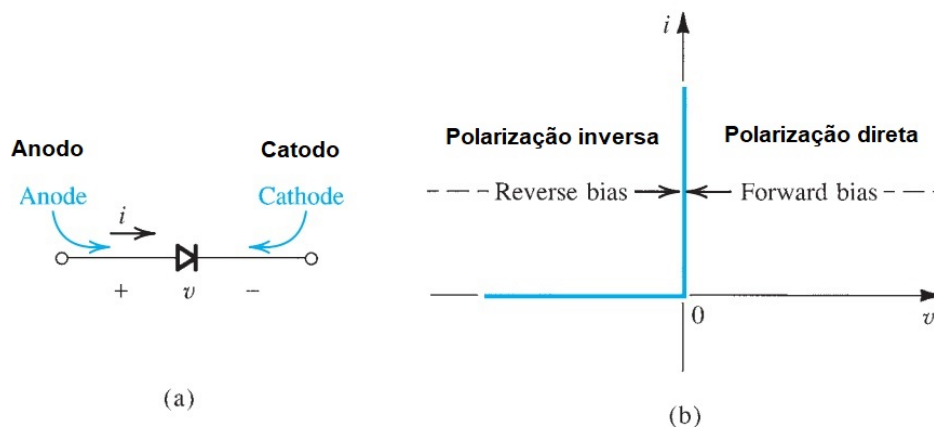
O DIODO

Dias (2015) diz que:

O diodo retificador é um dispositivo não-linear que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica quando polarizado em um sentido e não conduzir quando polarizado no sentido oposto.

Assim como o resistor, o diodo tem dois terminais; mas, diferentemente do resistor, o qual tem uma relação linear direta entre a corrente que circula por ele e a tensão nele aplicada, o diodo tem uma característica I versus V não linear. O modelo mais simples de diodo, o diodo ideal, tem a curva característica representada na Figura 25 abaixo:

Figura 25 – Diodo ideal com: (a) simbolo mostrando os seus terminais: o anodo (A) e o catodo (K); e (b) as características



Fonte: (SEDRÁ; SMITH, 2009, p. 167).

Dias (2015) diz que:

Quando o terminal (+) de uma fonte de tensão é conectado ao anodo [do diodo] e o terminal (-) é conectado ao catodo do mesmo, dizemos que o diodo está polarizado diretamente; caso contrário, dizemos que o diodo está reversamente polarizado.

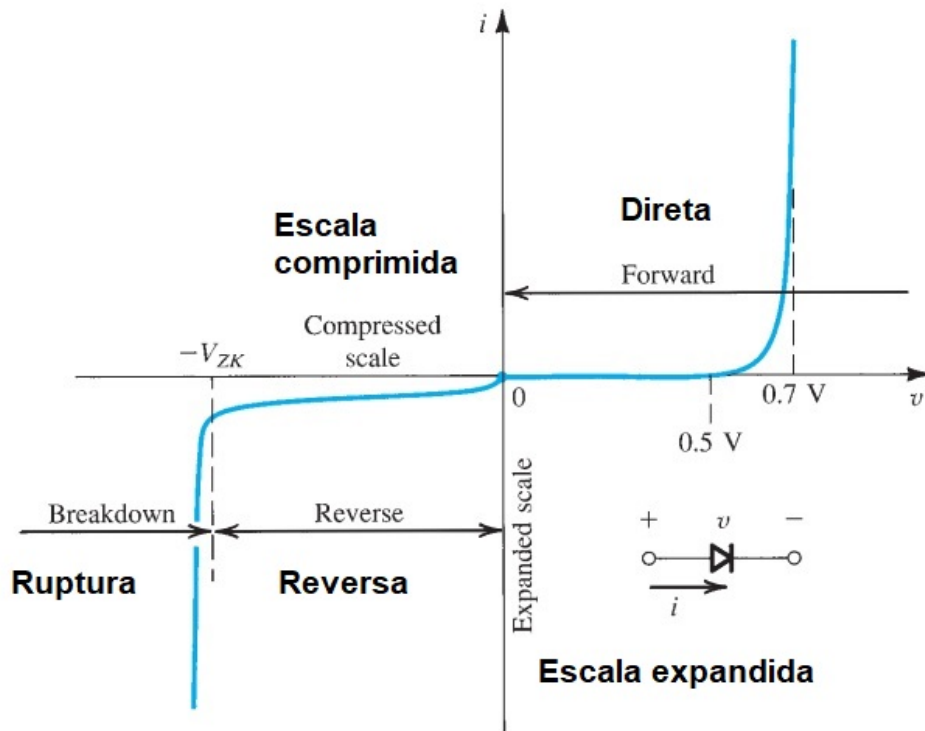
O DIODO DE JUNÇÃO E SUA CURVA CARACTERÍSTICA

Em Thé (2010) encontramos que:

O diodo semicondutor é formado da junção de um material de tipo P com um material tipo N (daí o outro nome pelo qual é conhecido, diodo de junção), construídos a partir da mesma base de silício. Outros tipos de semicondutores, como o de germânio, também são usados, mas o diodo de silício é mais difundido comercialmente porque possui capacidade de corrente, tensão de pico inversa (TPI) e faixa de temperaturas mais altas. A vantagem do diodo de germânio sobre o de silício é que sua região ativa se inicia com tensões mais baixas. Para os de silício essa tensão é de 0,7 V, e para os de germânio é de 0,3 V.

A curva característica do diodo de silício é representada na Figura 26 abaixo:

Figura 26 – Curva característica do diodo semiconductor de silício.



Fonte: (SEDRA; SMITH, 2009, p. 174).

Conforme indicado, a curva característica consiste em três regiões distintas:

1. A região de polarização direta, determinada por $V > 0$;
2. A região de polarização inversa, estabelecida por $V < 0$;
3. A região de ruptura, estipulada por $V < -V_{ZK}$.

As três regiões serão descritas a seguir:

REGIÃO DE POLARIZAÇÃO DIRETA.

A região de polarização direta é uma região de operação estabelecida quando V for positiva. Na região direta, a relação I versus V é rigorosamente aproximada por:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \quad (3.1)$$

Na equação, I_S é uma constante para dado diodo a determinada temperatura. Essa constante é geralmente chamada de corrente de saturação, ou também de corrente de escala, esse último nome surgiu do fato de I_S ser diretamente proporcional à área transversal do diodo. Para diodos de “pequeno sinal”, projetados para aplicações de baixa potência, em que as dimensões são reduzidas, I_S é da ordem de $10^{-15}A$. O valor dessa corrente, contudo, é uma função muito dependente da temperatura.

A tensão V_T na equação anterior é uma constante chamada tensão térmica, dada por:

$$V_T = \frac{kT_K}{q} \quad (\text{Volts}) \quad (3.2)$$

em que:

- k é a constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ *Joules/Kelvin*;
- T_K é a temperatura absoluta em Kelvin = $273 +$ temperatura em $^{\circ}\text{C}$;
- q é a magnitude da carga eletrônica = $1,6 \cdot 10^{-19}$ *Coulomb*.

Na temperatura ambiente (20°C), o valor de V_T é de 25,2 mV. Usaremos o valor de $V_T \cong 25\text{mV}$, na temperatura ambiente, para análises rápidas que fornecerão resultados aproximados.

REGIÃO DE POLARIZAÇÃO INVERSA.

A operação na região de polarização inversa é obtida quando a tensão aplicada ao diodo é negativa. A Equação 3.1 indica que, se V é negativa e poucas vezes maior que o valor de V_T (25 mV), o termo exponencial torna-se desprezivelmente pequeno comparado com a unidade, e a corrente no diodo torna-se:

$$I \cong -I_S \quad (3.3)$$

Isto é, a corrente na direção inversa é constante e igual a I_S . Diodos reais exibem corrente inversa que, embora de valor muito pequeno, é muito maior que I_S . Por exemplo, um diodo de pequeno sinal ou de 1 mA cujo valor de I_S é da ordem de 10^{-14} a 10^{-15} poderia apresentar uma corrente inversa da ordem de 1 nA.

REGIÃO DE RUPTURA.

Em Dias (2015) encontramos que:

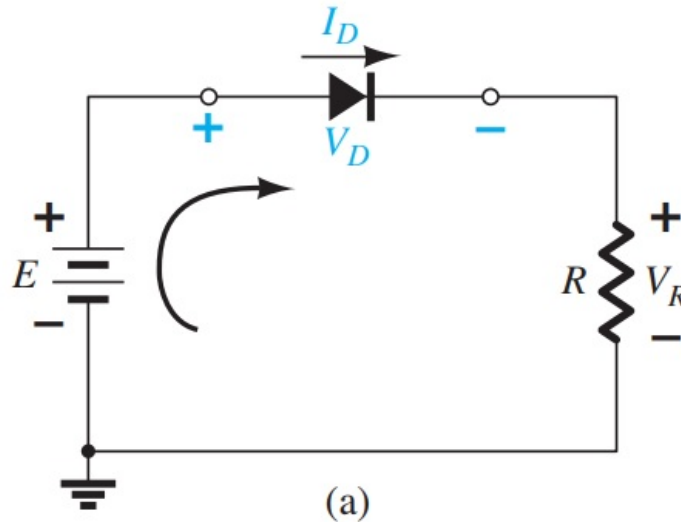
Por outro lado, quando o diodo é reversamente polarizado, observamos que o mesmo praticamente não conduz até que se alcance a tensão reversa máxima V_{RM} (tensão de ruptura), onde a corrente aumenta rapidamente. A tensão de ruptura é de cerca de 50 V para o diodo 1N4001 e de 1000 V para o diodo 1N4007. Em geral, se a tensão de ruptura é atingida, o efeito sobre o diodo é destrutivo. [..]

Comercialmente, os diodos são especificados por parâmetros que indicam suas características máximas de trabalho, tais como, corrente direta máxima (I_{DM}) e tensão reversa máxima (V_{RM}), que são importantes para o dimensionamento do componente em projetos. Os diodos da série 1N4001 até 1N4007 podem conduzir com segurança, correntes de até 1,0 A.

DETERMINAÇÃO DA CORRENTE E DA TENSÃO DE TRABALHO DE UM DIODO: Análise por reta de carga.

Considere o circuito da Figura 27. Como determinar o valor da corrente e da tensão no diodo?

Figura 27 – Configuração com diodo em série: (a) circuito simples.



Fonte: (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013, p. 49).

Como se trata de um circuito em série, a corrente é a mesma em qualquer ponto do mesmo. Aplicando a lei das malhas de Kirchhoff, temos:

$$E - I_D R - V_D = 0 \quad (3.4)$$

ou

$$V_D = E - I_D R \quad (3.5)$$

Esta é uma relação linear entre a queda de tensão no diodo (V_D) e a corrente no mesmo (I_D). Se plotarmos I_D em função de V_D obteremos uma reta, chamada de reta de carga.

Considerando o ponto da reta sobre o eixo dos I , temos:

$$V_D = 0 \Rightarrow I_D = \frac{E}{R} \quad (3.6)$$

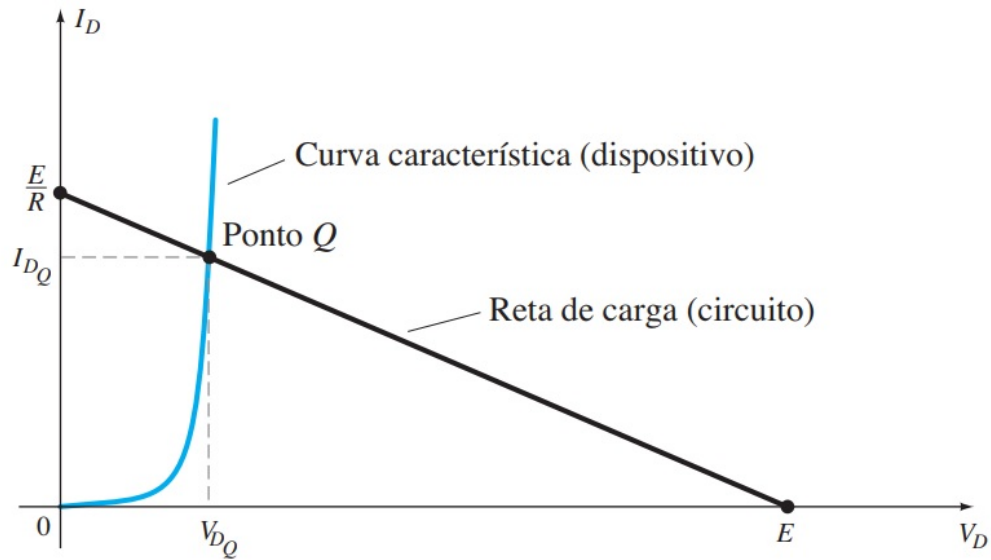
Considerando o ponto da reta sobre o eixo V , temos:

$$I = 0 \Rightarrow V_D = E \quad (3.7)$$

Plotando em um mesmo gráfico a reta de carga e a curva do diodo, Figura 28, obteremos um ponto de interseção Q que representa a solução que satisfaz simultaneamente às

duas curvas. O ponto Q é de ponto de trabalho do circuito, também chamado de ponto quiescente; suas coordenadas representam a corrente e a tensão no diodo para uma tensão na fonte E, e uma resistência de limitação de corrente R.

Figura 28 – Desenhando a reta de carga e determinando o ponto de operação.



Fonte: (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013, p. 49).

3.3.4 Procedimentos

PROCEDIMENTO 1: Teste do diodo com o multímetro.

Em Dias (2015) encontramos as seguintes recomendações:

Podemos verificar rapidamente a condição de um diodo com um multímetro medindo a resistência no sentido direto e depois no sentido inverso. Os valores das resistências dependerão das escalas utilizadas. Se o diodo estiver sem problemas, terá uma baixa resistência no sentido direto e uma alta resistência no sentido reverso. Se o diodo apresentar uma baixa resistência em ambos os sentidos, estará em aberto. Se a resistência não for muito alta no sentido reverso dizemos que o diodo está com fuga.

Atenção para as polaridades aplicadas pelos multímetros: os terminais dos multímetros analógicos marcados com os sinais (+) e (-) indicam que ao terminal (+) deve ser ligado um potencial sempre superior ao que for ligado ao terminal (-), assim, uma corrente elétrica circulará internamente no sentido do terminal (+) para o (-), fazendo com que o ponteiro do galvanômetro sofra uma deflexão da esquerda para a direita. Quando utilizamos o multímetro na função ohmímetro, normalmente não precisamos nos preocupar com a polarização, mas, o ohmímetro aplica uma pequena tensão (cujo valor depende da escala utilizada) no elemento resistivo que estamos medindo, de modo a circular uma corrente interna ao aparelho como descrito acima; desta forma a tensão aplicada pelo ohmímetro sobre o elemento resistivo que estamos medindo tem potencial mais alto no terminal (-) do que no terminal (+). Diante do exposto, ao medirmos a resistência de um diodo, o mesmo estará polarizado diretamente, se o anodo do mesmo for conectado ao terminal (-) do ohmímetro e o catodo ao (+). Nos multímetros digitais a polarização direta se dá conectando o terminal (+) do multímetro ao anodo do diodo e o terminal (-) ao catodo. Existem multímetros que apresentam um teste específico para diodos; neste caso, o multímetro indicará o valor da queda de tensão sobre o diodo polarizado diretamente.

1. Meça com o ohmímetro analógico e anote na Tabela 22 abaixo a resistência direta (R_D) e a reversa (R_R) do diodo. Faça as medidas em pelo menos três escalas diferentes do ohmímetro.

Tabela 22 – Teste do diodo com multímetro analógico.

Escala	Diodo de Silício		Diodo de Germânio	
	R_D	R_R	R_D	R_R
X1				
X10				
X1K				

Fonte: produzido pelo autor.

2. Utilizando o teste específico para diodo dos multímetros digitais, teste o diodo fornecido com os dois modelos de multímetros digitais da bancada; tanto diretamente quanto reversamente polarizado. Anote o modelo dos multímetros utilizados e as leituras em cada caso na Tabela 23 abaixo. Interprete o resultado quanto ao estado do diodo.

Tabela 23 – Teste do diodo com multímetros digitais.

Multímetro modelo	Diodo de Silício		Diodo de Germânio	
	Polarização direta	Polarização reversa	Polarização direta	Polarização reversa

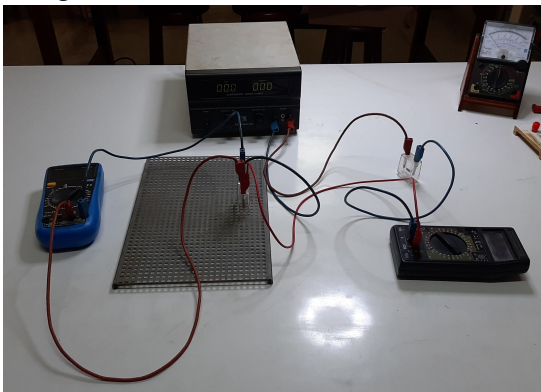
Fonte: produzido pelo autor.

Interpretação dos Resultados:

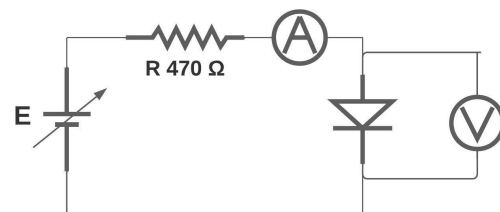
PROCEDIMENTO 2: Levantamento da curva característica de um diodo de Silício.

1. Monte o circuito da Figura 29.

Figura 29 – Circuito com diodo diretamente polarizado.



Fonte: produzido pelo autor.



2. Ajuste a tensão da fonte de forma a ter no diodo os valores de tensão indicados na Tabela 24. Para cada valor de tensão, meça e anote a corrente no circuito.

Tabela 24 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de silício).

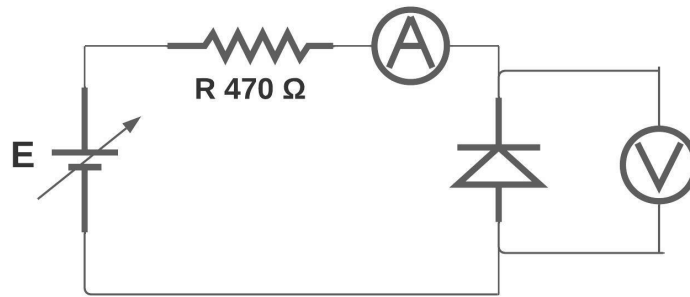
V_D (V)	0,00	0,20	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
I_D (mA)									

Fonte: produzido pelo autor.

3. Inverta a polaridade do diodo, conforme mostra a Figura 30.

4. Repita o procedimento 2.2, para os valores de tensão da Tabela 25.

Figura 30 – Circuito com diodo reversamente polarizado.



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 25 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de silício).

V_D (V)	0	5	10	15	20	25	30
I_D (mA)							

Fonte: produzido pelo autor.

PROCEDIMENTO 3: Levantamento da curva característica de um diodo de Germânio.

1. Substitua o diodo utilizado no procedimento 2 pelo diodo de germânio (1N60).
2. Ajuste a tensão da fonte de tal forma a ter no diodo os valores de tensão indicados na Tabela 26. Para cada valor de tensão aplicada sobre o diodo, meça e anote a corrente no circuito.

Tabela 26 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de germânio).

V_D (V)	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
I_D (mA)									

Fonte: produzido pelo autor.

3. Inverta a polaridade do diodo e repita o procedimento anterior, para os valores de tensão da Tabela 27.

Tabela 27 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de germânio).

V_D (V)	0	3	6	9	12	15	CUIDADO!
I_D (mA)							XXXXXX

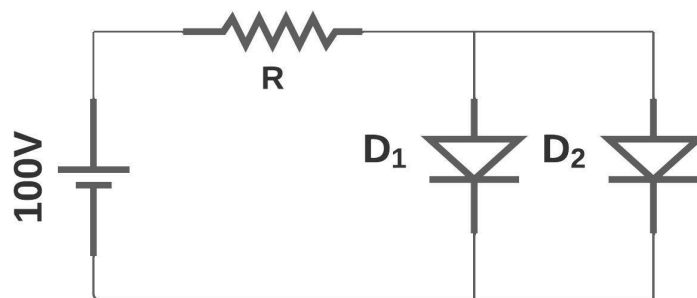
Fonte: produzido pelo autor.

Obs.: De acordo com o fabricante do diodo de germânio (1N60) a tensão reversa máxima que o mesmo suporta é de 20 V. Nesta prática, por segurança limitamos em 15 V a tensão reversa.

3.3.5 Questionário

1. Como você pode identificar os terminais de um diodo com o ohmímetro?
2. Justifique a diferença nos valores da resistência do diodo polarizado diretamente, quando medida em diferentes escalas do ohmímetro.
3. Ao medir-se a resistência de um diodo, obteve-se um valor baixo tanto para a resistência direta como para a reversa. O que aconteceu com o diodo?
4. Com os dados experimentais da Tabela 24 construa a curva característica do diodo de silício: $I = f(V)$.
5. Com os dados experimentais da Tabela 26 construa a curva característica do diodo de germânio: $I = f(V)$.
6. Considere que a fonte da Figura 29 está regulada em 4,0 V. Trace a reta de carga no gráfico da questão anterior e determine o ponto de trabalho do diodo. Verifique se os valores obtidos para I e V são compatíveis com os valores experimentais.
7. Cada um dos diodos apresentados na Figura 31 é descrito por uma característica Volt-Ampere linearizada, com uma resistência incremental r e uma tensão *offset* V_γ . O diodo D_1 é de germânio, com $V_\gamma = 0,2V$ e $r = 20\Omega$. O diodo D_2 é de silício, com $V_\gamma = 0,6V$ e $r = 15\Omega$. Encontre a corrente em cada diodo quando $R = 10K$ e quando $R = 1K$.

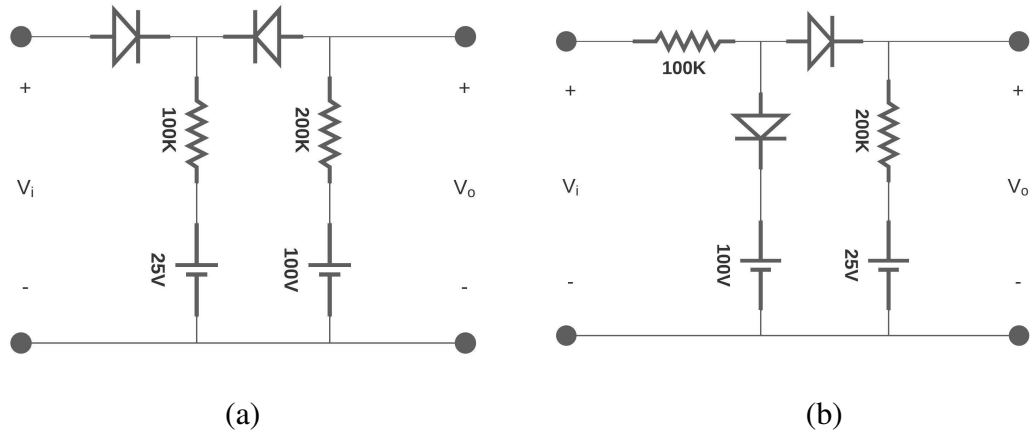
Figura 31 – Circuito para a questão 7.



Fonte: produzido pelo autor.

8. A tensão de entrada v_i , para o circuito ceifador de dois níveis apresentado na parte (a) da Figura 32, varia linearmente de 0 a 150V.
 - a) Faça o gráfico da tensão de saída v_o , na mesma escala de tempo da tensão de entrada. Assuma que os diodos são ideais;
 - b) Repita (a) para o circuito apresentado na parte (b) da Figura 32.

Figura 32 – Circuitos para a questão 8.



Fonte: produzido pelo autor.

Anotações:

3.4 Roteiro 4: circuitos retificadores

3.4.1 Objetivos

- Montar e verificar as características dos circuitos retificadores de meia onda, com e sem filtro capacitivo;
- Estudar o comportamento de circuitos retificadores de onda completa, com e sem filtro capacitivo.

3.4.2 Materiais

- Fonte de Alimentação: 0 a 12V-AC;
- Osciloscópio;
- Transformador com Tap Central;
- Resistores;
- Diodos;
- Ponte retificadora;
- capacitor ($47\mu F$);
- Multímetros.

(Foto do kit de materiais: Figura 33).

Figura 33 – Materiais para a prática de Circuitos Retificadores.



Fonte: produzido pelo autor.

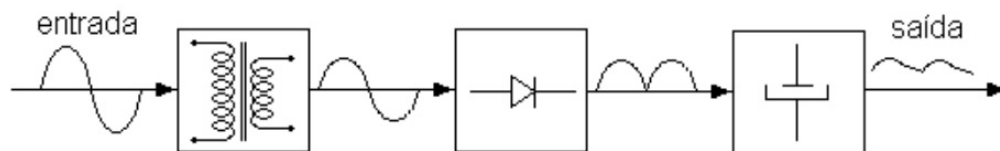
3.4.3 Fundamentos

Os circuitos que utilizam dispositivos semicondutores necessitam ser alimentados com tensões contínuas para a devida polarização. Para podermos aproveitar a rede elétrica, por se tratar de tensão alternada, necessitamos convertê-la em tensão contínua. Para tanto, utilizamos os circuitos retificadores que, juntamente com os filtros, possibilitam obter nas saídas, tensões com característica de contínua pura. Na Figura 34 temos esquematizado em blocos, um circuito retificador com filtro.

Pela Figura 34, notamos que o primeiro estágio é constituído por um transformador para normalmente reduzir a tensão de entrada. No segundo estágio, através de circuitos com diodos, é feita a retificação do sinal alternado. No terceiro estágio, o circuito de filtro, normalmente capacitivo, transforma a tensão contínua pulsante em contínua pura.

(DIAS, 2015)

Figura 34 – Diagrama em blocos de um circuito retificador com filtro.



Fonte: (DIAS, 2015)

O RETIFICADOR DE MEIA ONDA

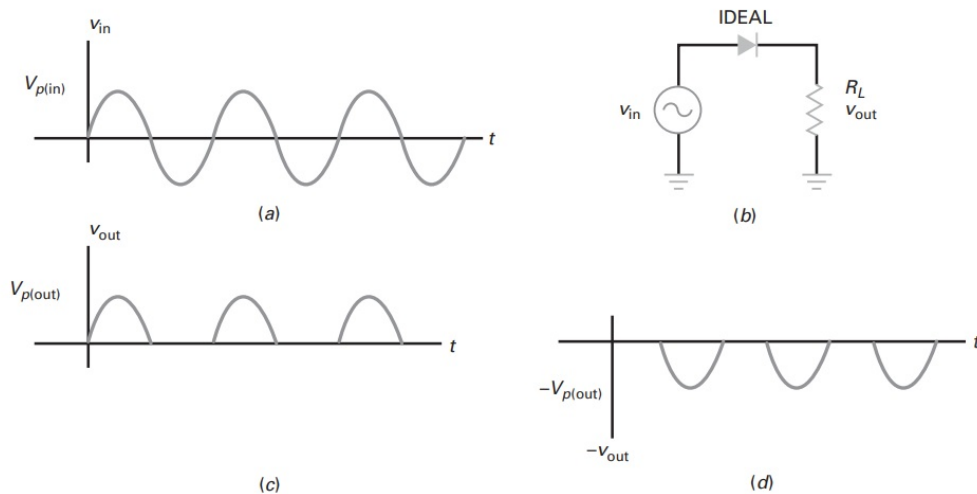
Sobre circuitos retificadores de meia onda, encontramos em Malvino e Bates (2016b, p. 88) o seguinte:

A fonte CA produz uma tensão senoidal. Supondo um diodo ideal, o semiciclo positivo da tensão da fonte irá polarizar o diodo diretamente. Como ele é uma chave fechada, [...] o semiciclo positivo da fonte CA aparecerá no resistor de carga. No semiciclo negativo, o diodo está polarizado reversamente. Nesse caso, o diodo ideal será uma chave aberta, [...] e não aparecerá tensão no resistor de carga.

A Figura 35-(a) mostra o sinal de entrada que é uma onda senoidal de valor instantâneo V_{in} e valor de pico $V_{p(in)}$. Se for utilizado um voltímetro DC para medir esse sinal, o resultado será zero, pois o voltímetro DC calcula o valor médio, e cada ciclo positivo será cancelado pelo ciclo negativo. E se for utilizado um voltímetro AC para medir esse sinal, o resultado será o valor médio quadrático, ou em inglês (*rms - root-mean-square*), também chamado valor eficaz, onde: $V_{rms(in)} = \frac{1}{\sqrt{2}}V_{p(in)}$. Na Figura 35-(b) encontramos o circuito retificador de meia onda, que contém um diodo em série com o sinal de entrada e em série com um resistor de carga. Sendo assim, quando no diodo aparece o semiciclo positivo, o diodo conduz, e quando no diodo aparece o semiciclo negativo, o diodo não conduz (está em corte). A Figura 35-(c) mostra o sinal

retificado na saída. E a Figura 35-(d) mostra o sinal retificado caso o diodo estivesse polarizado reversamente. O sinal retificado é um sinal que produz uma corrente unidirecional na carga, ou seja, circula somente em um sentido. O sinal retificado é um sinal com tensão DC pulsante, que aumenta até um valor máximo, diminui e permanece em zero durante o semiciclo negativo. Esse tipo de sinal ainda não é o que queremos para os equipamentos eletrônicos. Precisamos de um sinal constante. Só podemos conseguir esse sinal filtrando o sinal de meia onda.

Figura 35 – (a) Entrada para o retificador de meia onda; (b) diagrama do circuito; (c) saída do retificador de meia onda; (d) saída de um retificador negativo de meia onda.



Fonte: (MALVINO; BATES, 2016b, p. 88)

Para entender o funcionamento do retificador de onda completa e do retificador em ponte, é necessário ter uma ideia básica sobre transformadores. Em Malvino e Bates (2016b, p. 91) encontramos o seguinte:

No Brasil, as concessionárias de energia elétrica fornecem tensões nominais de linha de 127 V rms em algumas regiões e 220 V rms em outras regiões com frequência de 60 Hz. A tensão real medida nas tomadas pode variar cerca de 5% dependendo da localidade e de outros fatores. A tensão de linha é muito alta para a maioria dos circuitos usada nos equipamentos eletrônicos. É por isso que usamos geralmente um transformador no circuito da fonte de alimentação de quase todos os equipamentos eletrônicos. O transformador abaixa a tensão da linha para um nível seguro, mais adequado para o uso com diodos, transistores e outros dispositivos a semicondutores.

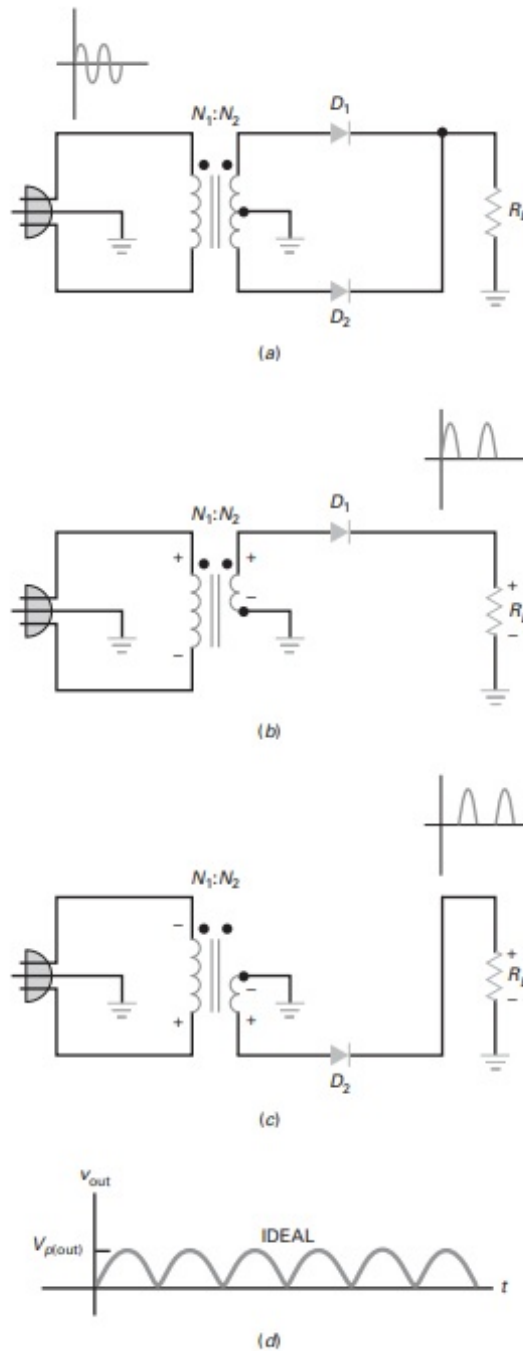
Malvino e Bates (2016b, p. 92) também nos informa que no transformador, a tensão de pico no secundário $V_{p(2)}$ é igual a tensão de pico no primário $V_{p(1)}$ multiplicada pelo inverso da relação de espiras:

$$V_{p(2)} = \frac{N_2}{N_1} V_{p(1)} \quad (3.8)$$

O RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL

Observe na Figura 36-(a) o circuito retificador de onda completa com tomada central:

Figura 36 – (a) Retificador de onda completa; (b) circuito equivalente para o semiciclo positivo; (c) circuito equivalente para o semiciclo negativo; (d) onda completa de saída.



Fonte: (MALVINO; BATES, 2016b, p. 94)

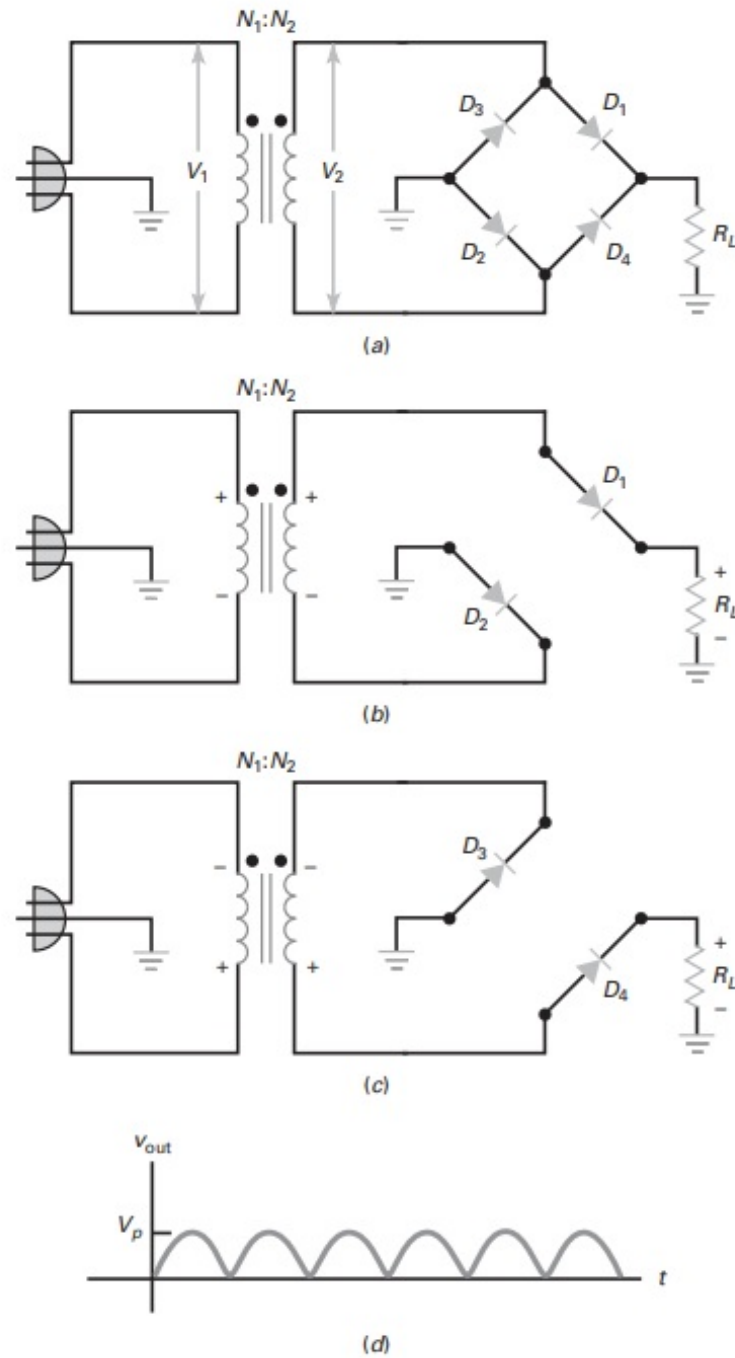
Na Figura 36-(a) é possível visualizar o transformador ligado a rede elétrica e o ponto central do enrolamento secundário aterrado. Também é possível identificar o circuito com

dois diodos que se conecta ao transformador e a um resistor de carga. A Figura 36-(b) mostra o que acontece no semiciclo positivo do sinal de entrada e a Figura 36-(c) mostra o que acontece no semiciclo negativo do sinal de entrada. Para cada semiciclo temos um diodo polarizado diretamente, conduzindo de tal modo que a corrente retificada é uma corrente que circula durante os dois semiciclos. O resultado é que a tensão na carga terá as mesmas polaridades durante cada semiciclo. Assim sendo, o retificador de onda completa com dois diodos funciona como se fosse dois retificadores de meia onda, com funcionamento um em seguida do outro. A Figura 36-(d) mostra o sinal de saída que agora é um sinal contínuo pulsante. Tal como no sinal de meia onda, esse ainda não é o sinal constante que precisamos.

O RETIFICADOR EM PONTE

Agora, será bem útil o estudo do funcionamento dos retificadores anteriores, que servirá de base para o entendimento desse tipo de retificador. Na Figura 37-(a) é possível visualizar o transformador ligado a rede elétrica. Entretanto, dessa vez o ponto central do enrolamento secundário não será aterrado, o que permite que se use a tensão total do secundário. Também é possível identificar o circuito, agora em ponte, com quatro diodos, que se conectam ao transformador e ao resistor de carga. A Figura 37-(b) mostra o que acontece no semiciclo positivo do sinal de entrada e a Figura 37-(c) mostra o que acontece no semiciclo negativo do sinal de entrada. Para cada semiciclo, temos agora dois diodos polarizados diretamente, conduzindo de tal modo que a corrente retificada é uma corrente que circula durante os dois semiciclos. Basta imaginar, em cada caso, o diodo D_2 e o diodo D_3 em curto respectivamente, para obter dois retificadores de meia onda. O resultado é que a tensão na carga terá as mesmas polaridades durante cada semiciclo. Assim sendo, o retificador de onda completa em ponte funciona como se fosse dois retificadores de meia onda, com funcionamento um em seguida do outro. A Figura 37-(d) mostra o sinal de saída que agora é um sinal contínuo pulsante. Tal como no sinal de meia onda e no sinal de onda completa com dois diodos, esse ainda não é o sinal constante que precisamos. Na explicação do sinal retificado de meia onda, o uso de um filtro foi mencionado, para que o sinal pudesse ser melhorado ao ponto de se obter um sinal constante. Na prática veremos que esse sinal será quase constante. Mas antes de prosseguir, faz-se necessário saber também como encontrar os valores médios (DC), as frequências de saída e as segundas aproximações ou perdas (considerando diodos não ideais).

Figura 37 – (a) Ponte retificadora; (b) circuito equivalente para semiciclo positivo; (c) circuito equivalente para semiciclo negativo; (d) onda completa na saída.



Fonte: (MALVINO; BATES, 2016b, p. 98)

Os valores médios (DC), as frequências de saída e as segundas aproximações (considerando diodos não ideais) estão resumidos na Tabela 28 que faz um comparativo desses valores e de suas propriedades para cada tipo de retificador.

Tabela 28 – Retificadores sem filtro.

$V_{p(2)}$ = tensão de pico no secundário; $V_{p(out)}$ = tensão de pico na saída.

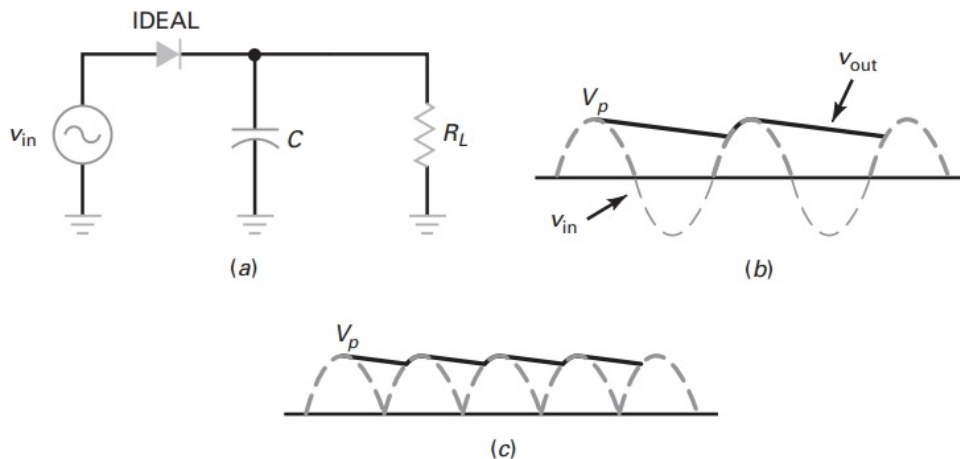
	Meia onda.	Onda completa com tomada central.	Em ponte.
Número de diodos.	1	2	4
Entrada do retificador.	$V_{p(2)}$	$\frac{1}{2}V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Pico de saída (ideal).	$V_{p(2)}$	$\frac{1}{2}V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Pico de saída (2ª aprox.).	$V_{p(2)} - 0,7V$	$\frac{1}{2}V_{p(2)} - 0,7V$	$V_{p(2)} - 1,4V$
Saída (DC).	$\frac{V_{p(out)}}{\pi}$	$\frac{V_{p(out)}}{\pi}$	$\frac{2V_{p(out)}}{\pi}$
Frequência da ondulação.	f_{in}	$2f_{in}$	$2f_{in}$

Fonte: (MALVINO; BATES, 2016b, p. 99).

O FILTRO DE ENTRADA COM CAPACITOR

Para melhorar o nível DC da saída e obter um sinal quase constante, coloca-se um filtro capacitivo como mostra a Figura 38-(a).

Figura 38 – (a) Filtro de entrada com capacitor com carga; (b) a corrente de saída é contínua com uma pequena ondulação; (c) a saída com retificador de onda completa tem uma menor ondulação.



Fonte: (MALVINO; BATES, 2016b, p. 105)

Em Dias (2015) encontramos o seguinte (retificador de meia onda com filtro):

No semiciclo positivo, o capacitor carrega-se até atingir a tensão máxima de entrada, sendo a tensão nominal do capacitor maior do que a tensão de entrada. No semiciclo negativo o diodo corta e o capacitor passa a descarregar-se através da carga R_L até que um novo semiciclo faça com que a tensão do ânodo do diodo fique maior e reinicie o processo de carga. [...] Com o capacitor o nível DC da tensão da saída eleva-se a valores bem maiores. A ondulação que permanece depende da eficácia do filtro capacitivo e do consumo de carga. Esta ondulação é denominada de tensão de Ripple.

A Figura 38-(b) e (c) mostra a forma de onda resultante na carga com a atuação do filtro para o retificador de meia onda e onda completa respectivamente.

Malvino e Bates (2016b, p. 105) nos mostra uma fórmula estimativa para se calcular o valor de pico a pico da ondulação de qualquer filtro de entrada com capacitor:

$$V_{Ripple} = \frac{V_L}{R_L f C} \quad (3.9)$$

Onde cada termo da Equação 3.9 significa:

- V_{Ripple} = Ondulação de pico a pico;
- V_L = Tensão no resistor de carga;
- R_L = Resistor de carga;
- f = Frequência da ondulação;
- C = Capacitância.

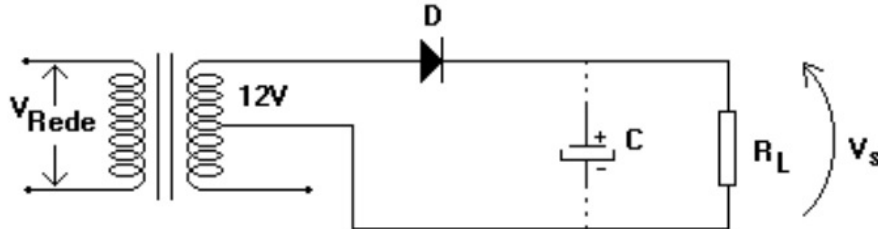
Anotações:

3.4.4 Procedimentos

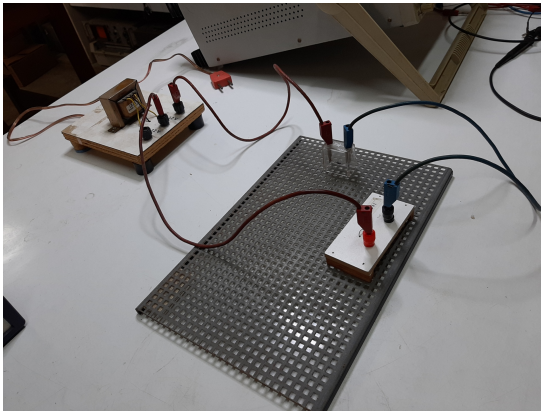
PROCEDIMENTO 1: Retificador de meia onda.

1. Monte o circuito da Figura 39: (a) e (b) (sem filtro capacitivo).

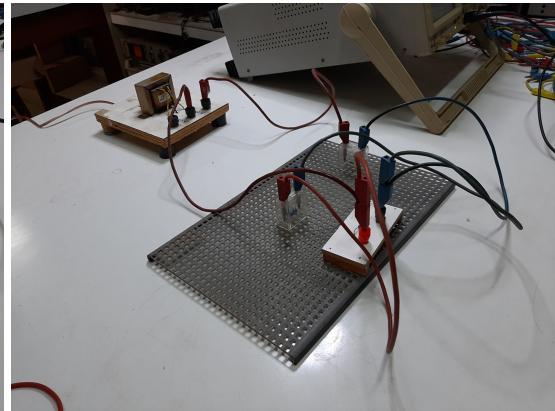
Figura 39 – Circuito retificador de meia onda.



(a) circuito.



(b) circuito sem filtro capacitivo.



(c) circuito com filtro capacitivo.

Fonte: (a): Dias (2015); (b) e (c): produzido pelo autor.

2. Observe com a ajuda de um osciloscópio a forma de onda da tensão de saída e tire uma foto da mesma. Escolha uma escala que permita a visualização de pelo menos dois períodos. Anote na Tabela 29 os valores de V_{MAX} e V_{RIPPLE} .
3. Meça com um voltímetro a tensão relativa à carga R_L e anote na Tabela 29.
4. Acrescente um filtro capacitivo ao circuito (Observe a polaridade do capacitor) como indicado na Figura 39: (a) e (c) (com filtro capacitivo), e repita os procedimentos: 1.2 e 1.3.

Tabela 29 – Retificador de meia onda.

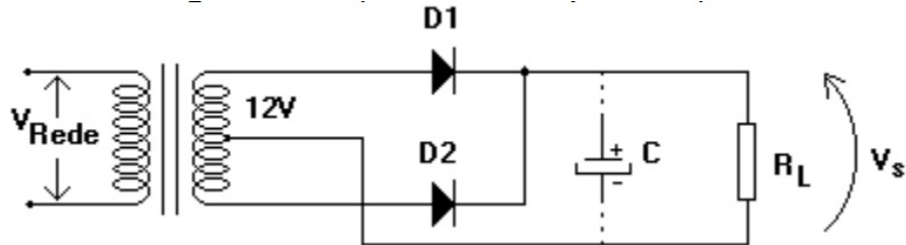
TENSÃO R_L	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
CIRCUITO			
SEM FILTRO			
COM FILTRO			

Fonte: produzido pelo autor.

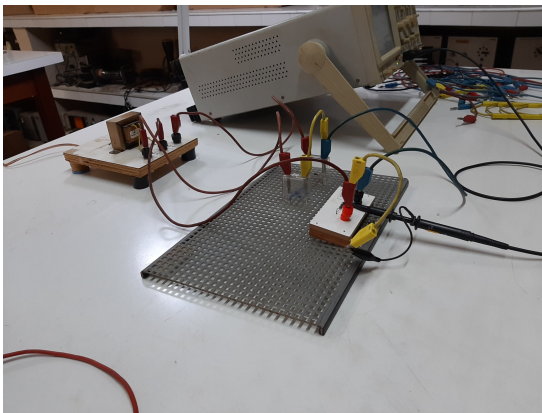
PROCEDIMENTO 2: Retificador de onda completa com dois diodos.

1. Monte o circuito da Figura 40: (a) e (b) (sem filtro capacitivo).

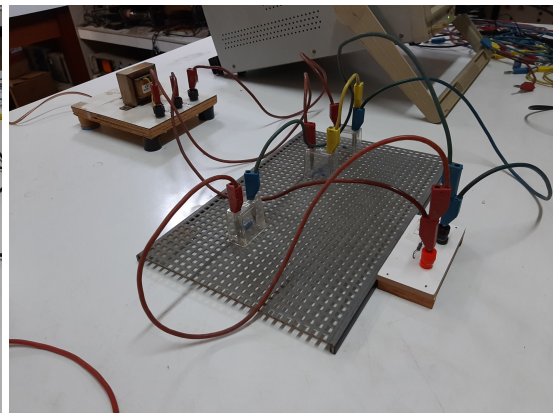
Figura 40 – Circuito retificador de onda completa com dois diodos.



(a) circuito.



(b) circuito sem filtro capacitivo.



(c) circuito com filtro capacitivo.

Fonte: (a): Dias (2015); (b) e (c): produzido pelo autor.

2. Observe com a ajuda de um osciloscópio a forma de onda da tensão de saída e tire uma foto da mesma. Escolha uma escala que permita a visualização de pelo menos dois períodos. Anote na Tabela 30 os valores de V_{MAX} e V_{RIPPLE} .
3. Meça com um voltímetro a tensão relativa à carga R_L e anote na Tabela 30.
4. Acrescente um filtro capacitivo ao circuito (Observe a polaridade do capacitor) como indicado na Figura 40: (a) e (c) (com filtro capacitivo), e repita os procedimentos: 2.2 e 2.3.

Tabela 30 – Retificador de onda completa com dois diodos..

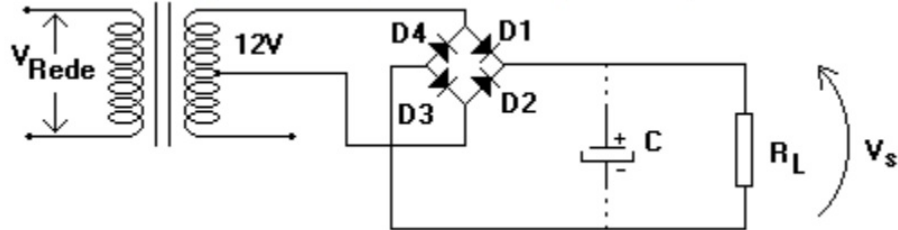
TENSÃO R_L	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
CIRCUITO			
SEM FILTRO			
COM FILTRO			

Fonte: produzido pelo autor.

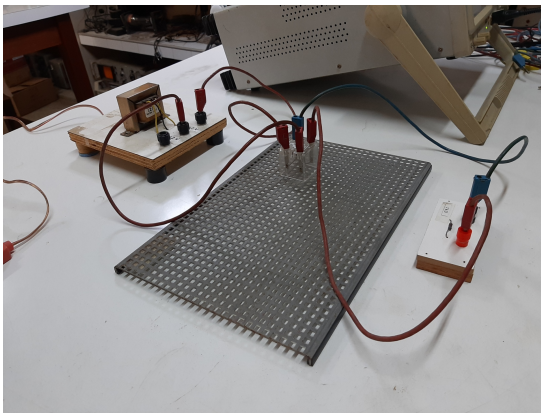
PROCEDIMENTO 3: Retificador em ponte.

1. Monte o circuito da Figura 41: (a) e (b) (sem filtro capacitivo).

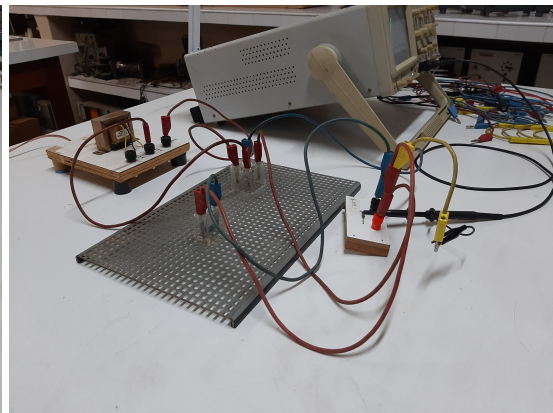
Figura 41 – Circuito retificador em ponte (onda completa).



(a) circuito.



(b) circuito sem filtro capacitivo.



(c) circuito com filtro capacitivo.

Fonte: (a): Dias (2015); (b) e (c): produzido pelo autor.

2. Observe com a ajuda de um osciloscópio a forma de onda da tensão de saída e tire uma foto da mesma. Escolha uma escala que permita a visualização de pelo menos dois períodos. Anote na Tabela 31 os valores de V_{MAX} e V_{RIPPLE} .
3. Meça com um voltímetro a tensão relativa à carga R_L e anote na Tabela 31.
4. Acrescente um filtro capacitivo ao circuito (Observe a polaridade do capacitor) como indicado na Figura 41: (a) e (c) (com filtro capacitivo), e repita os procedimentos: 3.2 e 3.3.

Tabela 31 – Retificador em ponte (onda completa).

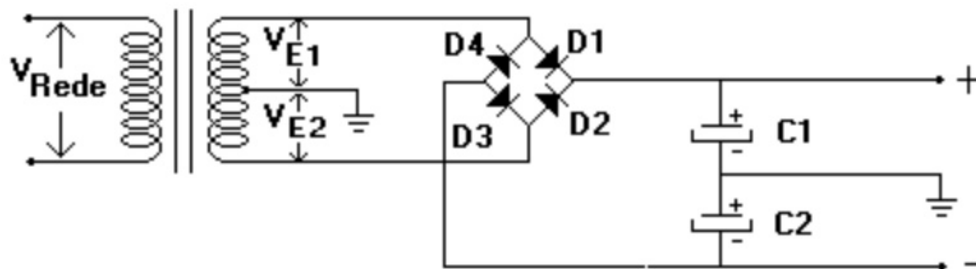
TENSÃO R_L CIRCUITO	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
SEM FILTRO			
COM FILTRO			

Fonte: produzido pelo autor.

3.4.5 Questionário

1. Compare os valores obtidos experimentalmente com os valores teóricos de V_{MAX} , V_{DC} e V_{RIPPLE} para cada circuito montado.
2. Calcule V_{DC} de saída para cada circuito montado, utilizando as relações vistas para os circuitos retificadores sem filtro. Compare esses valores com os medidos na experiência.
3. Compare os valores de V_{DC} medidos nos circuitos sem filtro com os respectivos obtidos com filtro.
4. Descreva o funcionamento do circuito da Figura 42.

Figura 42 – Circuito da questão 4.



Fonte: Dias (2015)

5. Dimensione um retificador de onda completa para alimentar uma carga com $9V_{DC}$ e corrente máxima de 2A.

3.5 Roteiro 5: diodo Zener

3.5.1 Objetivos

- Levantar a curva característica de um diodo Zener;
- Utilizar o diodo Zener para estabilizar um sinal.

3.5.2 Materiais

- Fonte de alimentação 0 a 32 V-DC;
- Transformador com tap central (220 V/ 12 + 12 V/ 1 A);
- Osciloscópio;
- Resistores (100 Ω / 10 W, 470 Ω , 1 k Ω);
- Diodo Zener 1N4732 (4,7 V);
- Potenciômetros de 1 k Ω , 10 k Ω e 100 k Ω ;
- Ponte retificadora;
- Capacitor (47 μ F);
- Multímetros digitais (5).

(Foto do kit de materiais: Figura 43).

Figura 43 – Materiais para a prática de Diodo Zener.



Fonte: produzido pelo autor.

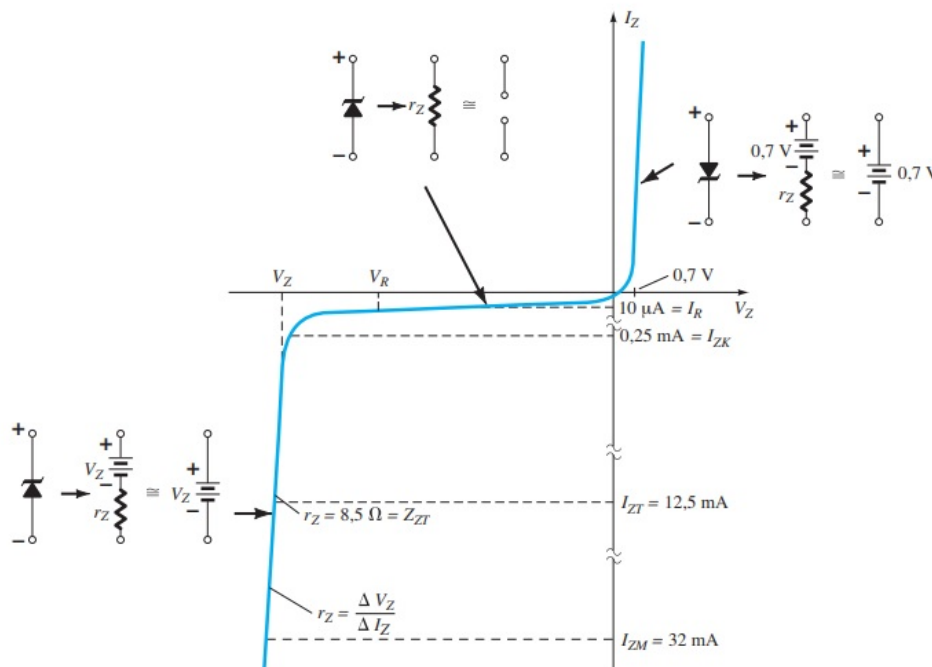
3.5.3 Fundamentos

Os diodos de pequeno sinal e retificadores nunca são operados intencionalmente na região de ruptura porque isso os danifica. Um **diodo Zener** é diferente. Ele é um diodo de silício que o fabricante otimizou para operar na região de ruptura. O diodo Zener é o elemento principal dos reguladores de tensão, circuitos que mantêm a tensão na carga quase constante, independentemente da alta variação na tensão de linha e na resistência de carga.

(MALVINO; BATES, 2016b, p. 142)

A curva característica de um diodo Zener é mostrada na Figura 44.

Figura 44 – Características de diodo Zener com o modelo equivalente para cada região. (diodo Zener de 10 V \pm 20% e 500 mW).



Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013, p. 35)

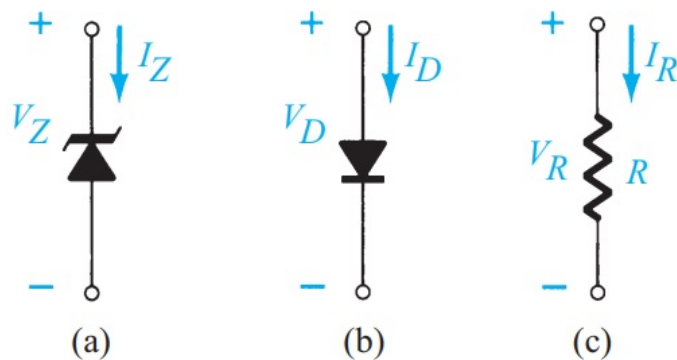
Onde cada termo (características elétricas) da Figura 44 significa:

- V_Z (volts) = Tensão Zener nominal;
- V_R (volts) = Tensão de teste;
- I_{ZT} (mA) = Corrente de teste;
- I_{ZK} (mA) = Corrente de joelho (corrente mínima no regulador);
- Z_{ZT} (Ω) = Máxima impedância dinâmica no I_{ZT} (mA);
- I_R (μA) = Máxima corrente reversa no V_R (volts);
- I_{ZM} (mA) = Corrente máxima do regulador.

Através da curva de $I \times V$ da Figura 44, observamos que ao trabalharmos na região Zener, entre a corrente Zener mínima I_{ZK} e o limite de máxima corrente I_{ZM} , a tensão permanecerá aproximadamente constante, de modo que podemos utilizar essa característica em aplicações de estabilização de tensão.

A Figura 45 faz uma comparação do diodo Zener com o diodo retificador e com o elemento resistivo, mostrando o sentido de condução e a simbologia de cada um.

Figura 45 – Sentido de condução: (a) do diodo Zener; (b) do diodo semicondutor; (c) do elemento resistivo.



Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013, p. 34)

Apesar do diodo Zener trabalhar com ambas as polaridades, na região direta e na região reversa, ele foi melhor projetado para trabalhar na região reversa, onde, como havia dito antes, ele é melhor aplicado por causa da estabilização de tensão.

Dias (2015) nos informa: “A especificação comercial do diodo Zener é feita com base no valor de tensão Zener (V_Z) e pela potência máxima de trabalho ($P_{Z_{max}}$)”, em que:

$$P_{ZM} = V_Z \cdot I_{ZM} \quad (3.10)$$

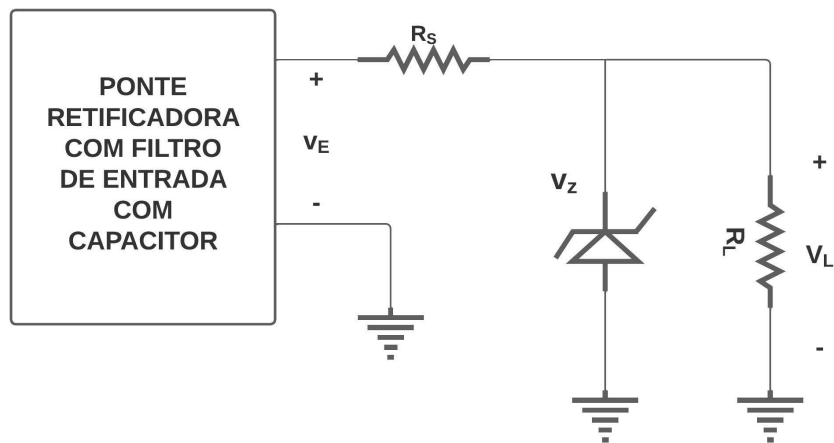
Dias (2015) diz que: “com os parâmetros $P_{Z_{max}}$ e V_Z podemos determinar o valor de $I_{Z_{max}}$, porém para determinar $I_{Z_{min}}$ utilizamos as características dadas pelo fabricante.” Mas que na prática utilizamos:

$$I_{ZK} = \frac{I_{ZM}}{10} \quad (3.11)$$

ESTABILIZAÇÃO COM DIODO ZENER.

Podemos obter uma fonte estabilizadora a partir de um circuito retificador, utilizando o diodo Zener como visto na Figura 46.

Figura 46 – Circuito de uma fonte estabilizadora usando um diodo Zener. (Simplificado).



Fonte: produzido pelo autor

Inicialmente notemos que a variação na entrada não altera a saída:

$$V_L = V_Z \quad (3.12)$$

Notemos também que: $I = I_Z + I_L$ (lei dos nós de Kirchoff), e que R_S limita a corrente no diodo Zener.

Dias (2015) diz que: “As variações de corrente I serão compensadas pela corrente de Zener, dentro da faixa entre I_{Zmin} e I_{Zmax} . As alterações provocadas pela variação de R_L serão também compensadas pelo Zener dentro dessa mesma faixa.”

CÁLCULO DO VALOR DA RESISTÊNCIA LIMITADORA R_S .

Para calcularmos o valor mínimo de R_S vamos considerar a pior situação possível: considerando a carga R_L infinita, ou seja, a fonte em aberto ($I_L = 0$) e a tensão de entrada com variação máxima ($V_{E_{max}} = V_E + \Delta V_E$) temos:

$$R_{S_{min}} = \frac{V_{E_{max}} - V_Z}{I_{Z_{max}}} \quad (3.13)$$

Dias (2015) diz que: “Na prática adotamos um valor comercial maior que $R_{S_{min}}$, porém o mais próximo possível para maior rendimento da corrente de saída da fonte.”

Para calcularmos o valor máximo para R_S , consideramos a tensão de entrada mínima ($V_{E_{min}} = V_E - \Delta V_E$) e a corrente mínima de operação para o diodo Zener ($I_{Z_{min}}$), então teremos:

$$R_{S_{max}} = \frac{V_{E_{min}} - V_Z}{I_{Z_{min}}} \quad (3.14)$$

CÁLCULO DA MÁXIMA CORRENTE DE SAÍDA PARA UMA DADA RESISTÊNCIA LIMITADORA R_S .

Para a máxima corrente de saída ($I_{L_{max}}$) a corrente mínima que deve circular pelo diodo Zener é $I_{Z_{min}}$. Considerando a mínima tensão de entrada ($V_{E_{min}}$), por razões de segurança, temos:

$$I_{L_{max}} = I - I_{Z_{min}} \quad (3.15)$$

Onde, aplicando a lei das malhas de Kirchhoff,

$$I = \frac{V_{E_{min}} - V_Z}{R_S} \quad (3.16)$$

Logo,

$$I_{L_{max}} = \frac{V_{E_{min}} - V_Z}{R_S} - I_{Z_{min}} \quad (3.17)$$

CÁLCULO DOS VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TENSÃO DE ENTRADA, V_E , PARA QUE O DIODO ZENER POSSA REGULAR A TENSÃO SOBRE A CARGA R_L .

Considerando uma carga específica R_L , a máxima variação possível da tensão de entrada será dada nas seguintes condições:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \quad (3.18)$$

Para a tensão de entrada temos: $V_E = R_S I + V_Z$, onde: $I = I_Z + I_L$.

Portanto:

$$V_{E_{min}} = R_S(I_{Z_{min}} + I_L) + V_Z \quad (3.19)$$

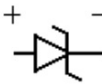
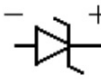
$$V_{E_{max}} = R_S(I_{Z_{max}} + I_L) + V_Z \quad (3.20)$$

3.5.4 Procedimentos

PROCEDIMENTO 1: Curva característica do diodo Zener.

1. Com um multímetro digital na escala diodo, verifique se o Zener apresenta características de bom funcionamento. Anote os resultados na Tabela 32 e comente o observado.

Tabela 32 – Teste do diodo Zener.

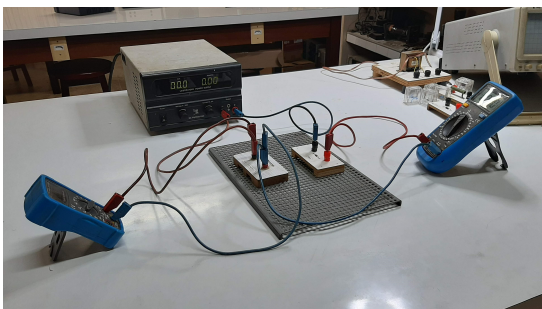
	Polarização direta	Polarização reversa
		
Conduz? (sim/não)		

Fonte: produzido pelo autor.

O que você observou?

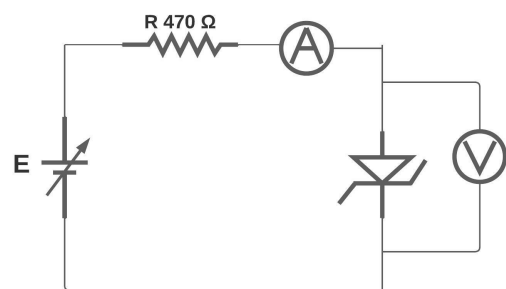
2. Monte o circuito da Figura 47. Ajuste a tensão da fonte de acordo com a Tabela 33 e meça a corrente do circuito. Anote os resultados na Tabela 33.

Figura 47 – Circuito para o procedimento 1.2.



(a) Foto da montagem do circuito.

Fonte: Produzido pelo autor.



(b) Diagrama do circuito.

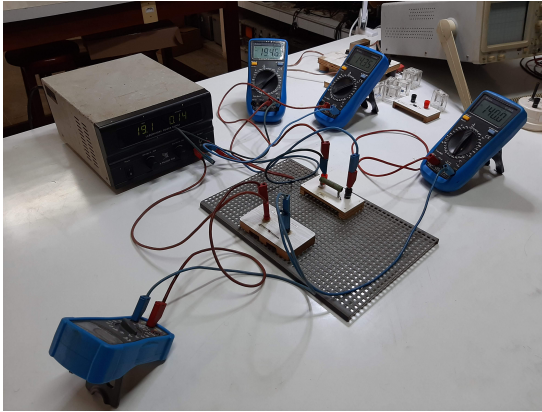
Tabela 33 – Resultados para o procedimento 1.2.

V_D (volts)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
I_Z (mA)						

Fonte: produzido pelo autor.

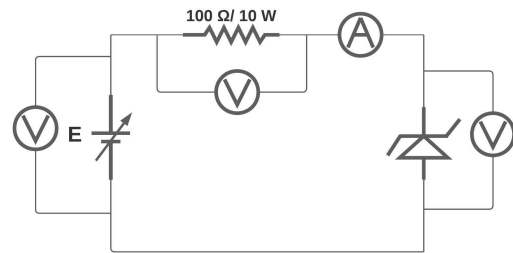
3. Monte o circuito da Figura 48. Ajuste a tensão da fonte para obter as correntes de acordo com a Tabela 34. Anote a tensão na fonte (V_E) e a medida da tensão no diodo (V_D). Determine a tensão sobre o resistor (V_{R_S}) e anote.

Figura 48 – Circuito para o procedimento 1.3.



(a) Foto da montagem do circuito.

Fonte: produzido pelo autor.



(b) Diagrama do circuito.

Tabela 34 – Resultados para o procedimento 1.3.

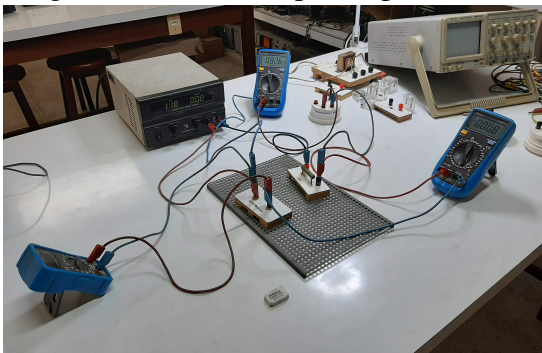
I_Z (mA)	5	10	20	30	60	90	120	140
V_E (volts)								
V_D (volts)								
V_{R_S} (volts)								

Fonte: produzido pelo autor.

PROCEDIMENTO 2: Comportamento do Zener sobre a variação da carga e da fonte.

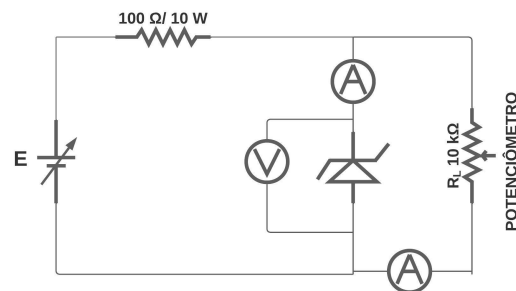
1. Monte o circuito da Figura 49. Aplique $E = 12V$. Para cada valor de (R_L) meça e anote V_Z (volts) e I_Z (mA) na Tabela 35. Calcule a corrente sobre a carga, I_L (mA) e verifique o ponto em que o Zener deixa de regular.

Figura 49 – Circuito para o procedimento 2.1.



(a) Foto da montagem do circuito.

Fonte: Produzido pelo autor.



(b) Diagrama do circuito.

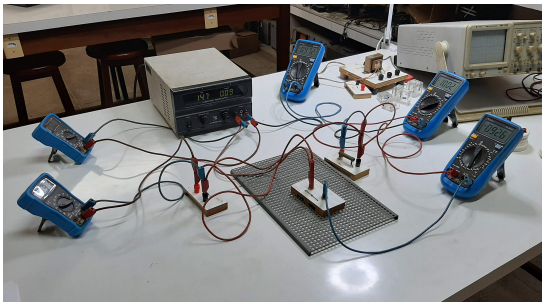
Tabela 35 – Resultados para o procedimento 2.1.

R_L (Ω)	800	600	400	300	200	100	80	50	30
V_Z (volts)									
I_Z (mA)									
I_L (mA)									

Fonte: produzido pelo autor.

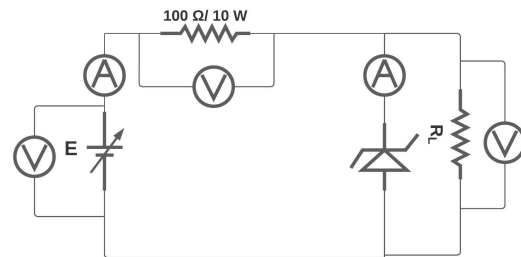
2. Monte o circuito da Figura 50. Varie a tensão V_E conforme a Tabela 36. Para cada valor, meça a tensão de saída V_L (volts) e a corrente no Zener I_Z (mA). Meça também a tensão V_S (volts) e a corrente I_S (mA), sobre o resistor de 100Ω . Por meio da lei dos nós de Kirchoff ($I_L = I_S - I_Z$). Use essa fórmula para calcular a corrente I_L (mA) na carga R_L . Anote os resultados na Tabela 36 ($R_L = 1 \text{ K } \Omega$).

Figura 50 – Circuito para o procedimento 2.2.



(a) Foto da montagem do circuito.

Fonte: produzido pelo autor.



(b) Diagrama do circuito.

Tabela 36 – Resultados para o procedimento 2.2.

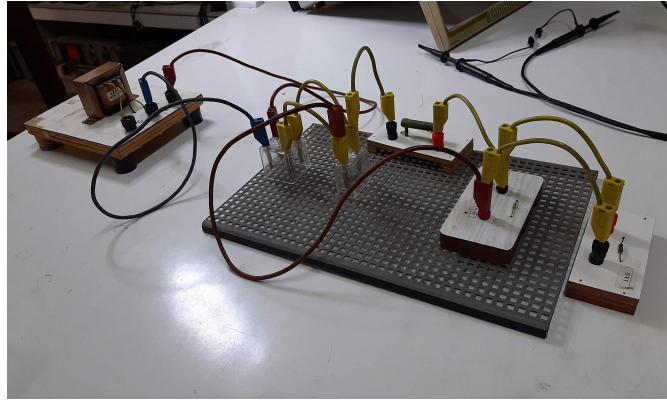
V_E (volts)	2	4	6	8	10	12	14	15
V_L (volts)								
I_Z (mA)								
V_S (volts)								
I_L (mA)								
I_S (mA)								

Fonte: produzido pelo autor.

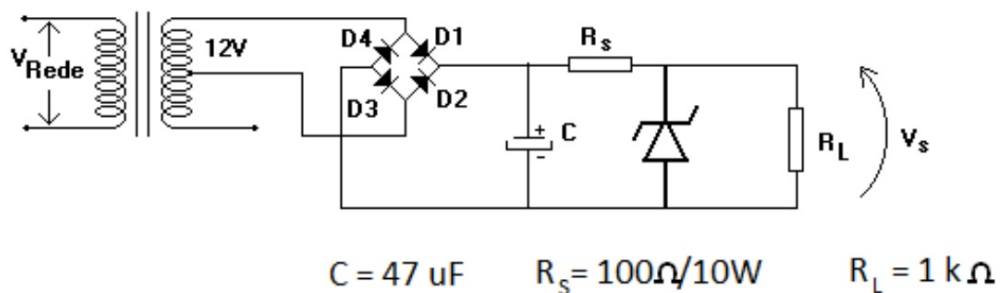
PROCEDIMENTO 3: Utilização do diodo Zener para estabilizar uma fonte.

1. Monte o circuito da Figura 51. Verifique com o osciloscópio a tensão de Ripple sobre o capacitor no canal 1 e a tensão de Ripple na carga no canal 2. Configure o osciloscópio de maneira a mostrar as duas formas de onda simultaneamente. Tire uma foto das formas de onda observadas. Comente.

Figura 51 – Circuito para o procedimento 3.1.



(a) Foto da montagem do circuito.



(b) Diagrama do circuito.

Fonte: (a): Produzido pelo autor; (b): Dias (2015).

3.5.5 Questionário

1. Com os dados obtidos nas Tabelas 33 e 34, construa a curva característica do diodo Zener.
2. Para o diodo usado na experiência, verifique no datasheet $I_{Z_{max}}$ e $I_{Z_{min}}$. (Anexo B).
3. Pode um diodo retificador ser usado como diodo Zener? Por quê?
4. Pode um diodo Zener ser usado como diodo retificador? Por quê?
5. Com os diodos obtidos na Tabela 34, quais as variações de tensão na fonte e no diodo Zener quando uma corrente varia de 30 mA a 140 mA? Explique o que isto significa.
6. Construa o gráfico $V_Z = f(I_L)$ com os dados da Tabela 35.
7. Construa o gráfico $V_Z = f(V_E)$ com os dados da Tabela 36.
8. Determine o valores $R_{L_{min}}$ e $R_{L_{max}}$ para o circuito da Figura 49, supondo que a variação da tensão de entrada seja de $\pm 10\%$. ($V_E = 10,2 \text{ V}$ e $V_E = 13,2 \text{ V}$).
9. Para o circuito da Figura 50, calcule $V_{E_{min}}$ e $V_{E_{max}}$.
10. Compare o valor de $V_{E_{min}}$ obtido na questão anterior, com o valor determinado pelo gráfico.
11. Dimensione um circuito estabilizador, alimentado com $12 \text{ V} \pm 10\%$, utilizando um diodo Zener de $8,2 \text{ V} - 2,5 \text{ W}$. Calcule $I_{L_{max}}$, $V_{E_{min}}$ e $V_{E_{max}}$, quando ligado ao circuito, uma carga igual a 56Ω .

3.6 Roteiro 6: transistor bipolar de junção - (TBJ)

3.6.1 Objetivos

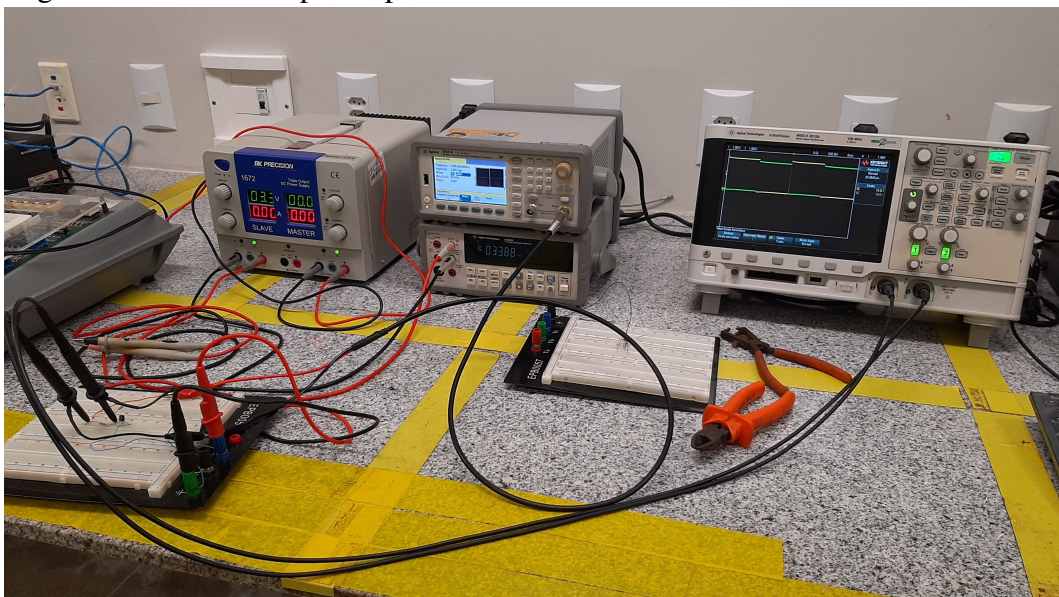
- Estudar e verificar as características elétricas básicas do TBJ;
- Demonstrar e compreender o TBJ como chave (switch).

3.6.2 Materiais

- Fontes de alimentação: 0 a 32 V-DC (duas);
- Osciloscópio digital;
- Gerador de Função;
- Cabos BNC-BNC;
- Pontas de prova;
- Transistores: BC337 e BC327;
- Resistores: 2,2 k Ω e 47 k Ω ;
- Multímetro digital;
- Protoboard; Fios.

(Foto do kit de materiais: Figura 52).

Figura 52 – Materiais para a prática de TBJ.



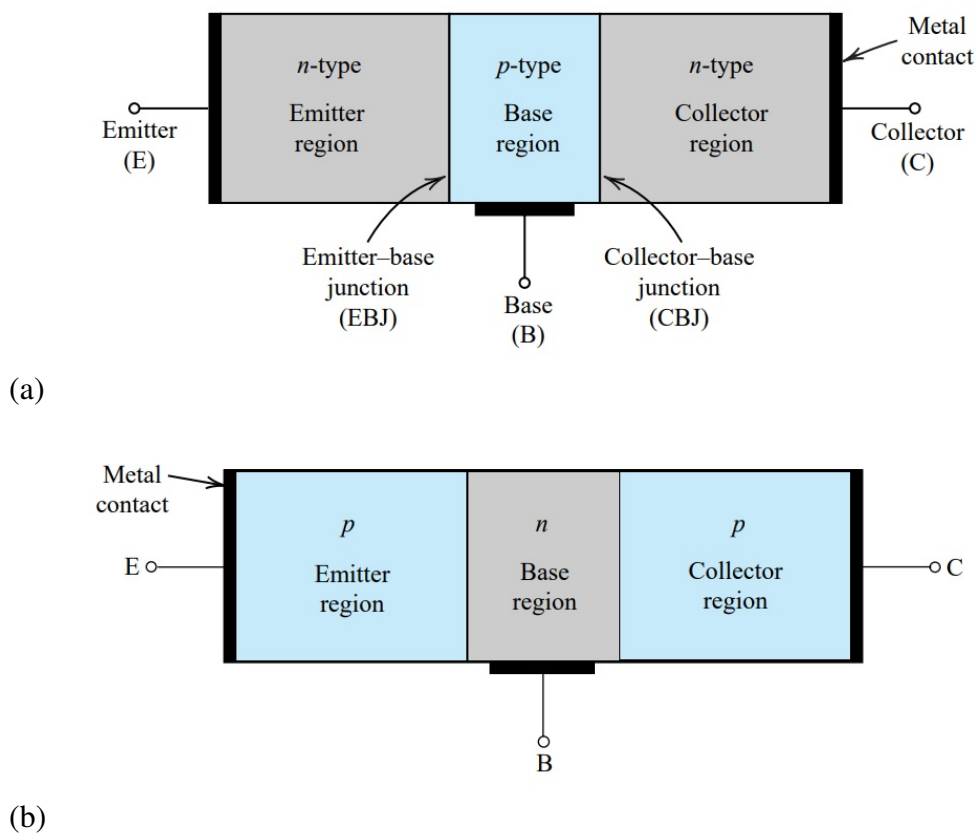
Fonte: produzido pelo autor.

3.6.3 Fundamentos

O TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNÇÃO (TBJ).

Um TBJ é composto de três regiões semicondutoras: um emissor (tipo N), uma base (tipo P) e um coletor (tipo N). Esse é um transistor do tipo NPN. Análogo a esse transistor, temos um outro tipo, com emissor tipo P, base tipo N e coletor tipo P, chamado de transistor PNP. Os dois tipos de TBJ são mostrados, respectivamente, na Figura 53 a seguir:

Figura 53 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN; (b) PNP.



Fonte: Sedra e Smith (2009, p. 353)

Thé (2010) nos explica que:

Um TBJ consiste, portanto, de duas junções PN: a junção emissor-base (EBJ) e a junção coletor-base (CBJ). Dependendo das condições de polarização (direta ou reversa) de cada junção, **diferentes modos de operação do TBJ** podem ser obtidos [...]. **O modo ativo** é usado para o TBJ funcionar como um amplificador: nele a corrente de coletor aumenta proporcionalmente ao aumento da corrente de base. As aplicações de chaveamento usam **o modo de corte**, em que a corrente de coletor é muito pequena, e **o modo de saturação**, em que não há aumento de corrente de coletor mesmo com o aumento da corrente de base.

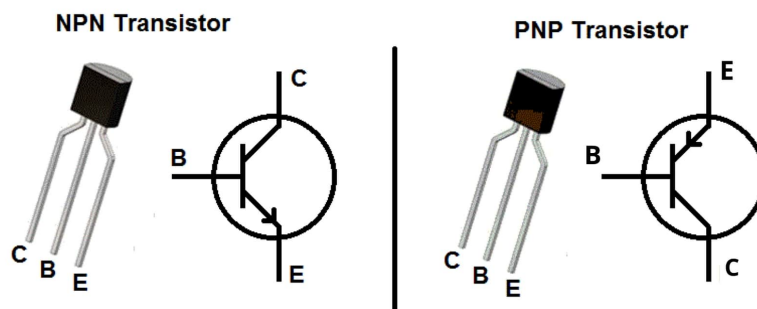
Boylestad e Nashelsky (2013, p. 146) nos informa as condições de polarização nas junções do TBJ para o caso NPN:

A operação no corte, na saturação e nas regiões lineares das curvas características do TBJ são: 1. Operação na região linear: Junção base-emissor polarizada diretamente. Junção base-coletor polarizada reversamente. 2. Operação na região de corte: Junção base-emissor polarizada reversamente. Junção base-coletor polarizada reversamente. 3. Operação na região de saturação: Junção base-emissor polarizada diretamente. Junção base-coletor polarizada diretamente.

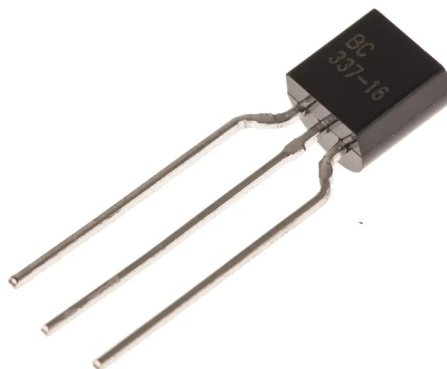
[Observe que, para a polarização direta, a tensão através da junção p-n é p-positiva, enquanto para a polarização reversa ela é oposta (reversa) com n-positiva.]

Nos circuitos, a simbologia utilizada para identificar o TBJ usa setas no terminal do emissor, sempre no sentido da corrente, como mostrado na Figura 54 a seguir:

Figura 54 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN e PNP; (b) Transistor BC337. Da esquerda para a direita (região plana): coletor-base-emissor.



(a)



(b)

Fonte: Google imagens.

Nesta prática serão utilizados os transistores BC337 e BC327.

3.6.4 Procedimentos

PRÉ-LABORATÓRIO.

Antes de fazer esta prática no laboratório, tente fazer os procedimentos 2 e 3 no simulador Tinkercad.

PROCEDIMENTO 1: Teste de continuidade dos transistores.

1. Usando o multímetro, teste a continuidade das duas junções de cada transistor e determine se são do tipo NPN ou PNP. Anote os resultados na Tabela 37.

Tabela 37 – Resultados para o procedimento 1.1.

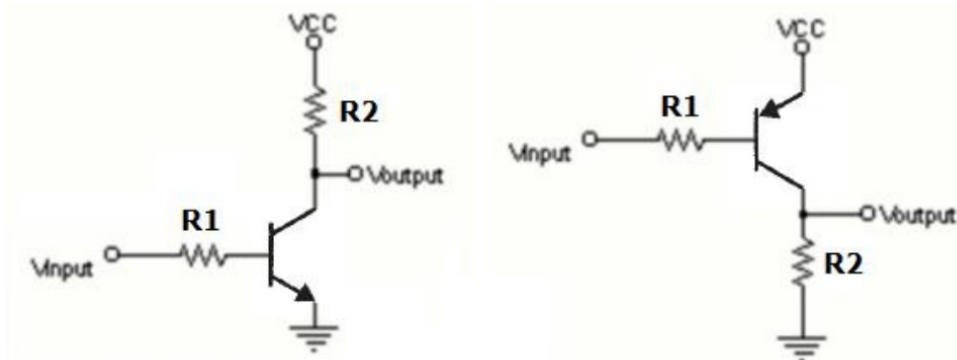
	Junção Base-Emissor (Direto ou Reverso?)	Junção Base-Coletor (Direto ou Reverso?)	Tipo de Transistor
Transistor BC337			
Transistor BC327			

Fonte: produzido pelo autor.

PROCEDIMENTO 2: Modos de operação do transistor.

1. Determine o tipo de circuito (emissor-comum ou coletor-comum?) da Figura 55. Se necessário redesenhe os circuitos. Depois monte os circuitos.

Figura 55 – Circuitos para os procedimentos: 2 e 3 - TBJ.



Fonte: Thé (2010).

2. Na entrada da Figura 55, use uma fonte DC com os dois níveis de tensão usados, por exemplo, em alguns microprocessadores: 0 V e 3,3 V. Use em V_{CC} um valor fixo DC de 3,3 V. Para cada entrada, meça a diferença de potencial nas junções e determine os modos de operação do TBJ em cada circuito. Anote os resultados nas Tabelas 38 e 39. Utilize $R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$ (ou valores similares, mantendo $R_2 \gg R_1$).

Tabela 38 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC337.

Transistor BC337	Junção Base-Emissor (Direto ou Reverso?)	Junção Base-Coletor (Direto ou Reverso?)	Modo de operação
Tensão de entrada: 0 V			
Tensão de entrada: 3,3 V			

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 39 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC327.

Transistor BC327	Junção Emissor-Base (Direto ou Reverso?)	Junção Coletor-Base (Direto ou Reverso?)	Modo de operação
Tensão de entrada: 0 V			
Tensão de entrada: 3,3 V			

Fonte: produzido pelo autor.

PROCEDIMENTO 3: Transistores como chave.

1. Use o osciloscópio na entrada e na saída dos circuitos da Figura 55, configurando o mesmo para mostrar os dois sinais simultaneamente. Configure o gerador de função e aplique na entrada uma onda quadrada de 1kHz com 3,3 V. (Para configurar, use a funcionalidade do offset e a alto-impedância, sempre conferindo se o mesmo valor é apresentado no osciloscópio). Tire uma foto dos dois sinais e explique o observado.

Explique o chaveamento do transistor:

3.6.5 Questionário

1. Explique o que é um material semicondutor.

Resposta:

2. Explique o que é um material intrínseco.

Resposta:

3. Explique o que é um material extrínseco.

Resposta:

4. Explique o que é um material do tipo N.

Resposta:

5. Explique o que é um material do tipo P.

Resposta:

3.7 Roteiro 7: TBJ como amplificador de pequenos sinais

3.7.1 Objetivos

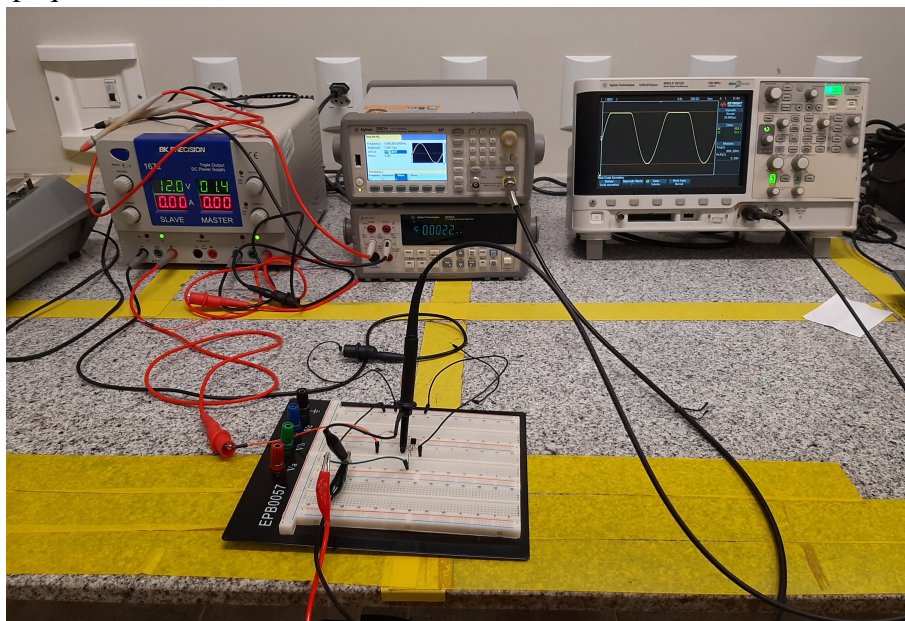
- Verificar como um TBJ pode ser utilizado para operar como um amplificador;
- Aprender a usar o modelo equivalente π - híbrido.

3.7.2 Materiais

- Fontes de alimentação: 0 a 32 V-DC (duas);
- Osciloscópio digital;
- Gerador de Função;
- Cabos BNC-BNC;
- Pontas de prova;
- Transistor BC337;
- Resistores: 3,3 k Ω e 100 k Ω ;
- Multímetro digital;
- Protoboard; Fios.

(Foto do kit de materiais: Figura 56).

Figura 56 – Materiais para a prática de TBJ como amplificador de pequenos sinais.



Fonte: produzido pelo autor.

3.7.3 Fundamentos

O TBJ COMO AMPLIFICADOR.

Amplificador representa uma classe de circuitos eletrônicos que utiliza uma pequena quantidade de energia para controlar uma quantidade maior. A relação entre o sinal de saída e o sinal de entrada de um amplificador é denominada função de transferência do amplificador, e a magnitude da função de transferência é o ganho. (THÉ, 2010)

Para operar como amplificador, um transistor deve ser polarizado na região ativa, ou seja, devemos nos certificar que a junção base-emissor está polarizada de modo direto, e a junção base-coletor de modo reverso.

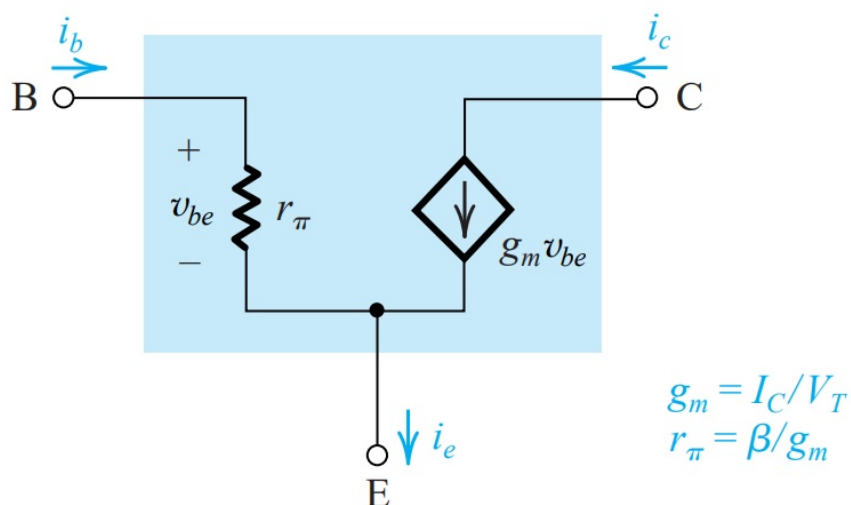
Depois que um transistor foi polarizado com o ponto Q próximo do centro da reta de carga, podemos acoplar uma tensão CA de baixo valor na base. Isso produzirá uma tensão CA no coletor. A tensão CA no coletor tem a mesma forma de onda da tensão CA na base, porém maior. Em outras palavras, a tensão CA no coletor é uma versão amplificada da tensão CA na base.

(MALVINO; BATES, 2016b, p. 280)

O MODELO π - HÍBRIDO.

Thé (2010) nos diz que: “O modelo π - híbrido é o mais utilizado para modelar o comportamento de um TBJ para operação de pequenos sinais. Este modelo representa o TBJ como uma fonte de corrente controlada por tensão e inclui explicitamente a resistência de base, r_π .” Ver Figura 57.

Figura 57 – Modelo π híbrido.



Fonte: Sedra e Smith (2009, p. 410)

Thé (2010) também nos fornece o procedimento para análise de circuitos amplificadores com transistores:

- Determine o ponto de operação CC do TBJ e, em particular o valor da corrente CC de coletor I_C .
- Calcule o valor dos parâmetros de modelo para pequenos sinais, através das seguintes equações:

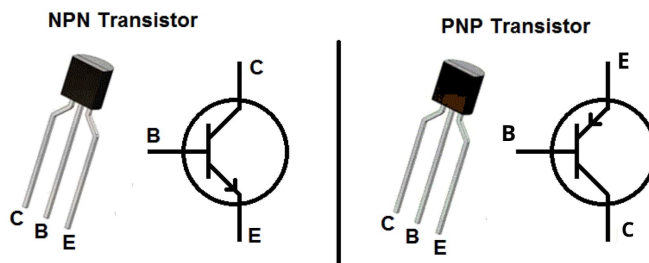
$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

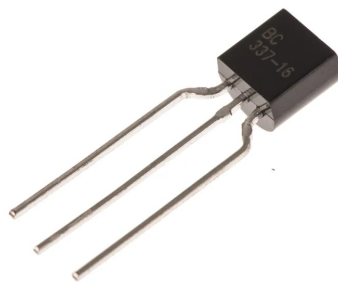
- Elimine as fontes CC substituindo cada fonte CC de tensão por um curto circuito e cada fonte CC de corrente por um circuito aberto.
- Substitua o TBJ pelo modelo equivalente π - híbrido.
- Analise o circuito para determinar as grandezas de interesse.

Nos circuitos, a simbologia utilizada para identificar o TBJ usa setas no terminal do emissor, sempre no sentido da corrente, como mostrado na Figura 58 a seguir:

Figura 58 – Transistores Bipolares de Junção: (a) NPN e PNP; (b) Transistor BC337. Da esquerda para a direita (região plana): coletor-base-emissor.



(a)



(b)

Fonte: Google imagens.

3.7.4 Procedimentos

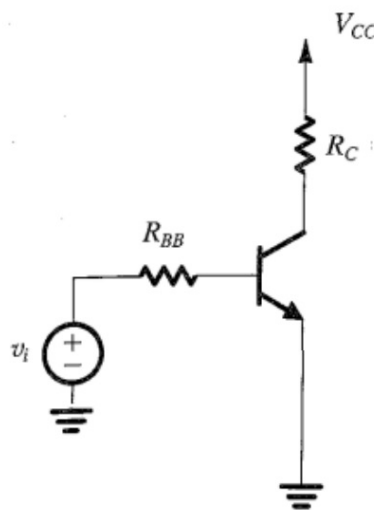
PRÉ-LABORATÓRIO.

Antes de fazer esta prática no laboratório, tente fazer os procedimentos no simulador Tinkercad.

PROCEDIMENTO 1: CÁLCULO DO GANHO DO AMPLIFICADOR.

1. Monte o circuito da Figura 59 abaixo. Aplique na entrada uma onda senoidal v_i com $1 V_{p-p}$, frequência de 1 kHz e offset de $700 mV_p$. Verifique se os mesmos valores são apresentados no gerador e no osciloscópio. Se os valores forem diferentes, reconfigure o gerador de função e use a alta impedância. Obtenha os mesmos valores nos dois aparelhos. Depois, use o osciloscópio, configurando para mostrar os sinais de entrada e saída simultaneamente (registre tirando uma foto).

Figura 59 – Diagrama do circuito para o procedimento 1.1.



Fonte: Thé (2010)

2. Repita o item anterior, mas dessa vez, use na entrada uma onda senoidal v_i com $1 V_{p-p}$, frequência de 1 kHz e offset de $1,4 V_p$. (Registre tirando uma foto). Compare os sinais de saída para cada offset de entrada e comente o observado.

Descreva o que você observou:

3. Calcule o ganho A_v para o circuito da Figura 59 com o valor de entrada do item anterior (offset de $1,4 V_p$). O ganho é dado por $A_v = \frac{V_{p-p}(out)}{V_{p-p}(in)}$.

Anote: $A_v =$ _____ .

(Obs.: lembre-se que a tensão de saída é a tensão no coletor).

PROCEDIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DO MODO DE OPERAÇÃO CC DO TBJ E DOS PARÂMETROS DE MODELO PARA PEQUENOS SINAIS.

1. Mude a tensão de entrada da Figura 59 para uma tensão constante DC de 1,4 V. Meça as tensões: na base, no coletor e no emissor, e as correntes: na base e no coletor, de acordo com a Tabela 40. Verifique como estão polarizadas as junções do transistor e determine o modo de operação. Anote os resultados na Tabela 41.

Tabela 40 – Resultados para os procedimentos: 2.1 e 2.2.

V_B (volts)	V_C (volts)	V_E (volts)	I_B (mA)	I_C (mA)

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 41 – Resultados para o procedimento 2.1.

	Valor em Volts.	Direto ou Reverso?
$V_{BE} = V_B - V_E$		
$V_{BC} = V_B - V_C$		
Modo de operação:		

Fonte: produzido pelo autor.

2. Use os valores da Tabela 40 para calcular o parâmetro β , o ganho de corrente emissor-comum, de acordo com a seguinte fórmula: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$.

Anote: $\beta =$ _____ .

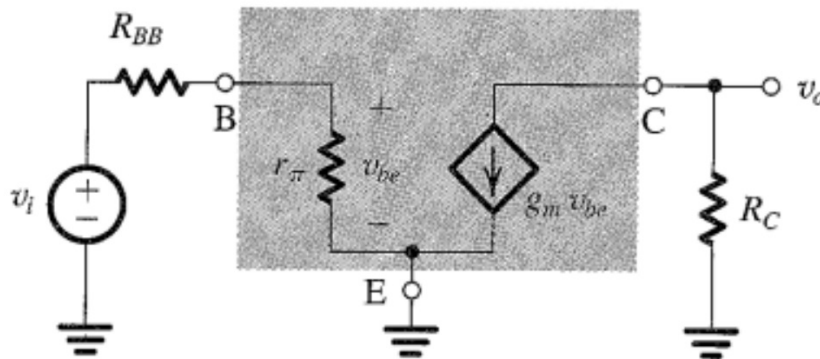
3. Calcule os parâmetros g_m e r_π , para o modelo de pequenos sinais, de acordo com as fórmulas dadas na parte teórica. Lembre-se que, à temperatura ambiente, $V_T = 25$ mV.

Cálculo de g_m e r_π :

3.7.5 Questionário

1. O modelo π - híbrido para pequenos sinais do nosso circuito visto na Figura 59, encontra-se na Figura 60 abaixo.

Figura 60 – Modelo π - híbrido para pequenos sinais.



Fonte: Thé (2010)

2. Faça a análise desse circuito e encontre:
 - (a) Uma expressão para V_{BE} em função de r_{π} , R_{BB} e V_{in} . Substitua, nessa expressão que você achar, os valores de R_{BB} e r_{π} e anote a relação entre V_{BE} e V_{in} ;
 - (b) Uma expressão para V_{out} em função de g_m , V_{BE} e R_C . Nesta expressão que você achar, substitua o valor de g_m e V_{BE} (encontrado no item anterior), e anote a relação entre V_{out} e V_{in} .
3. Com as expressões de V_{out} e V_{in} obtidas no item anterior calcule o ganho, de acordo com a equação abaixo, e compare com o resultado experimental:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

4. Explique a diferença nos sinais de saída, vistos nos procedimentos: 1.1 e 1.2, e a influência do offset na amplificação.

3.8 Roteiro 8: amplificador operacional - (AMP-OP): integrador e diferenciador

3.8.1 Objetivos

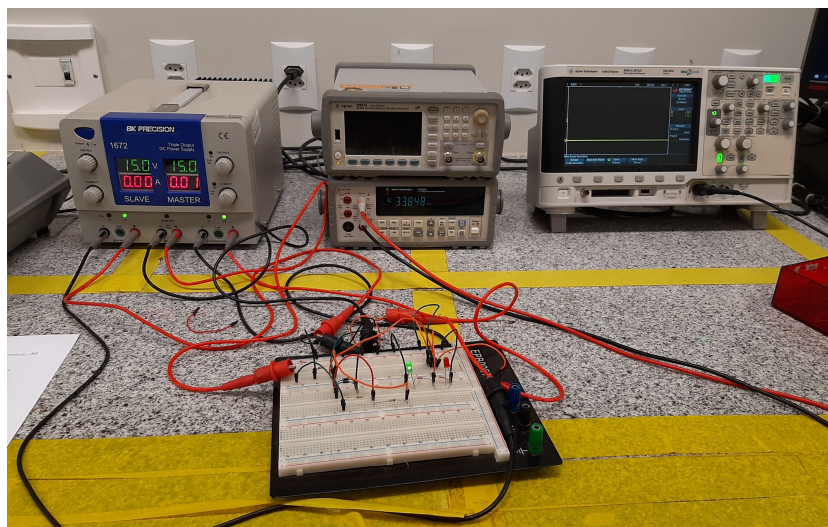
- Comprovar o funcionamento dos circuitos: integrador prático e diferenciador prático, para uma variação de três décadas na frequência do sinal de entrada;
- Verificar a resposta do integrador e do diferenciador para diferentes formas de onda de entrada.

3.8.2 Materiais

- Fontes de alimentação: 0 a 32V-DC (duas);
- Osciloscópio digital;
- Gerador de Função;
- Cabos BNC-BNC;
- Pontas de prova;
- AMP-OP UA741CN da ST microeletronics;
- Resistores: 100 Ω , 1 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω (dois de cada);
- Capacitor de 2,2 nF (não-polarizado);
- Multímetro digital; Protoboard; Fios.

(Foto do kit de materiais: Figura 61).

Figura 61 – Materiais para a prática de AMP-OP: integrador e diferenciador.



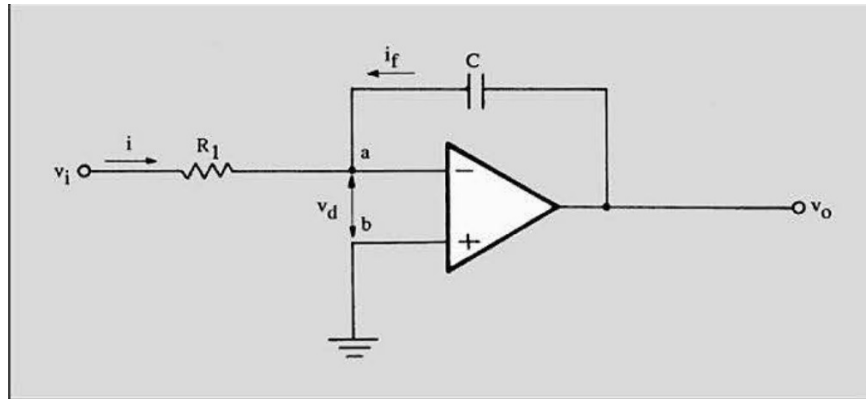
Fonte: produzido pelo autor

3.8.3 Fundamentos

INTEGRADOR ELEMENTAR.

A Figura 62 abaixo nos mostra o circuito integrador elementar.

Figura 62 – Diagrama do circuito para o integrador elementar.



Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 82)

Ao aplicar a lei dos nós de Kirchhoff no ponto **a**, temos:

$$\frac{V_{in}}{R_1} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0$$

De onde se obtém:

$$V_{out} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_{in} dt \quad (3.21)$$

Em Pertence Júnior (2003, p. 84), encontramos a fórmula para o ganho de tensão em malha fechada A_{vf} para este circuito, considerando como sinal de entrada uma onda senoidal:

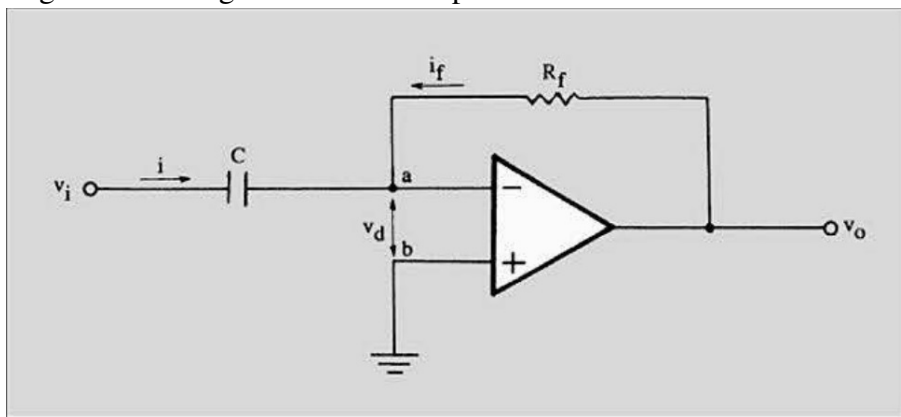
$$A_{vf} = \frac{1}{2\pi f R_1 C} \quad (3.22)$$

Nesse caso, a Equação 3.22 nos diz que o ganho de tensão em malha fechada é inversamente proporcional a frequência. Isso significa que quando a frequência tende a zero, o ganho de tensão tende a infinito. O amplificador entra em processo de saturação muito rápido para baixas frequências. Na prática, esse inconveniente é resolvido acrescentando um resistor R_f em paralelo com o capacitor na realimentação. Isso deixa o circuito com um comportamento dual que dependerá de uma frequência de corte f_L . As características do integrador prático serão vistas logo mais neste texto.

DIFERENCIADOR ELEMENTAR.

A Figura 63 abaixo nos mostra o circuito diferenciador elementar.

Figura 63 – Diagrama do circuito para o diferenciador elementar.



Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 78)

Ao aplicar a lei dos nós de Kirchoff no ponto **a**, temos:

$$C \frac{dV_{in}}{dt} + \frac{V_{out}}{R_f} = 0$$

De onde se obtém:

$$V_{out} = -R_f C \frac{dV_{in}}{dt} \quad (3.23)$$

Em Pertence Júnior (2003, p. 79), encontramos a fórmula para o ganho de tensão em malha fechada A_{vf} para este circuito, considerando como sinal de entrada uma onda senoidal:

$$A_{vf} = 2\pi f R_f C \quad (3.24)$$

Nesse caso, a Equação 3.24 nos diz que o ganho de tensão em malha fechada é diretamente proporcional a frequência. Isso significa que quando a frequência tende ao infinito, o ganho de tensão também tende ao infinito. O amplificador entra em processo de saturação muito rápido para altas frequências. Na prática, esse inconveniente é resolvido acrescentando um resistor R_1 em série com o capacitor na entrada. Isso deixa o circuito com um comportamento dual que dependerá de uma frequência de corte f_L . As características do diferenciador prático serão vistas logo mais neste texto.

CARACTERÍSTICAS DO INTEGRADOR PRÁTICO:

Como foi dito, para resolver a saturação em baixas frequências do integrador elementar, é acrescentado um resistor R_f em paralelo com o capacitor na realimentação do circuito. Fazendo essa modificação temos o integrador prático. O circuito do integrador prático pode ser visto na Figura 66, no procedimento 1 da Seção 3.8.4. Isso implica em modificações no cálculo do ganho de tensão em malha fechada para este circuito. O cálculo é feito usando números complexos e pode ser encontrado em Pertence Júnior (2003, p. 85).

Assim, aplicando uma onda senoidal na entrada, temos:

$$|A_{vf}| = \frac{R_f/R_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_L}\right)^2}} \quad (3.25)$$

Onde a frequência de corte f_L é dada por:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_f C} \quad (3.26)$$

Seja f a frequência do sinal aplicado, temos que:

- Se $f < f_L \Rightarrow$ o circuito tende a atuar como um amplificador inversor de ganho $-\frac{R_f}{R_1}$;
- Se $f > f_L \Rightarrow$ o circuito tende a atuar como integrador.

(Obs.: As situações descritas acima serão tão mais verdadeiras quanto mais nos distanciarmos de f_L nos dois sentidos.)

Pertence Júnior (2003, p. 85) também nos fornece as condições de projeto que permitem melhorar a resposta do integrador prático:

- $R_1 C \geq 10$ Períodos (condição fundamental);
- $R_f \simeq 10R_1$ (condição opcional).

CARACTERÍSTICAS DO DIFERENCIADOR PRÁTICO:

Como foi dito, para resolver a saturação em altas frequências do diferenciador elementar, é acrescentado um resistor R_1 em série com o capacitor na entrada do circuito. Fazendo essa modificação temos o diferenciador prático. O circuito do diferenciador prático pode ser visto na Figura 67, no procedimento 2 da Seção 3.8.4. Isso implica em modificações no cálculo do ganho de tensão em malha fechada para este circuito. O cálculo é feito usando números complexos e pode ser encontrado em Pertence Júnior (2003, p. 81).

Assim, aplicando uma onda senoidal na entrada, temos:

$$|A_{vf}| = \frac{R_f/R_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_L}{f}\right)^2}} \quad (3.27)$$

Onde a frequência de corte f_L é dada por:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_1 C} \quad (3.28)$$

Seja f a frequência do sinal aplicado, temos que:

- Se $f < f_L \Rightarrow$ o circuito tende a atuar como diferenciador;
- Se $f > f_L \Rightarrow$ o circuito tende a atuar como um amplificador inversor de ganho $-\frac{R_f}{R_1}$.

(Obs.: As situações descritas acima serão tão mais verdadeiras quanto mais nos distanciarmos de f_L nos dois sentidos.)

Pertence Júnior (2003, p. 85) também nos fornece as condições de projeto que permitem melhorar a resposta do diferenciador prático:

- $R_1 C \leq \text{Período}/10$ (condição fundamental);
- $R_f \simeq 10R_1$ (condição opcional).

SLEW-RATE (SR).

O Slew-Rate de um amplificador é definido como o máximo módulo da taxa de variação da tensão de saída por unidade de tempo.

$$SR = \max \left| \frac{dV_{out}}{dt} \right| \quad (3.29)$$

Normalmente o Slew-Rate (SR) é dado em Volts/ μ s.

Pertence Júnior (2003, p. 36) nos diz que: “Em termos gerais, podemos dizer que o valor do SR nos dá a velocidade de resposta do amplificador. Quanto maior o SR, melhor será o amplificador.”

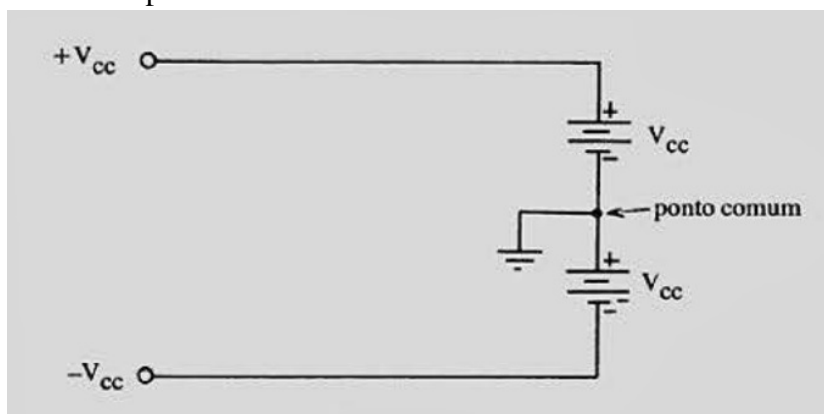
O AMP-OP 741 possui SR de 0,5 V/ μ s, o AMP-OP LF351 possui SR de 13 V/ μ s e o AMP-OP LM318 possui SR de 70 V/ μ s.

Pertence Júnior (2003, p. 37) também nos diz que: “Em textos nacionais costuma-se traduzir o slew-rate por taxa de subida, taxa de resposta, taxa de giro, etc... ”

FONTES SIMÉTRICAS.

Para energizar o AMP-OP precisamos de uma fonte simétrica. Mas, nos casos em que não dispomos de tais fontes, podemos improvisar utilizando duas fontes simples, conforme indicado na Figura 64.

Figura 64 – Improvisando uma fonte simétrica utilizando duas fontes simples.

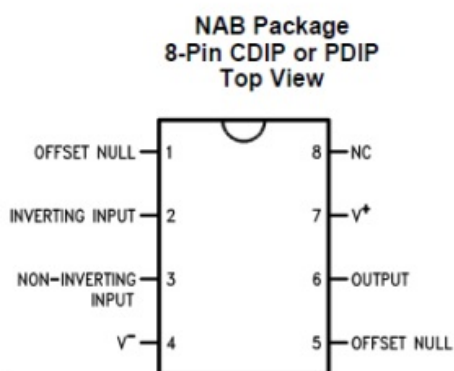


Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 26)

PINAGEM DO AMP-OP LM741.

A configuração do encapsulamento DIP e as funções dos pinos do LM741 são mostradas, respectivamente, na Figura 65 abaixo.

Figura 65 – Configuração do encapsulamento DIP e as funções dos pinos do LM741.



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

Fonte: Thé (2010)

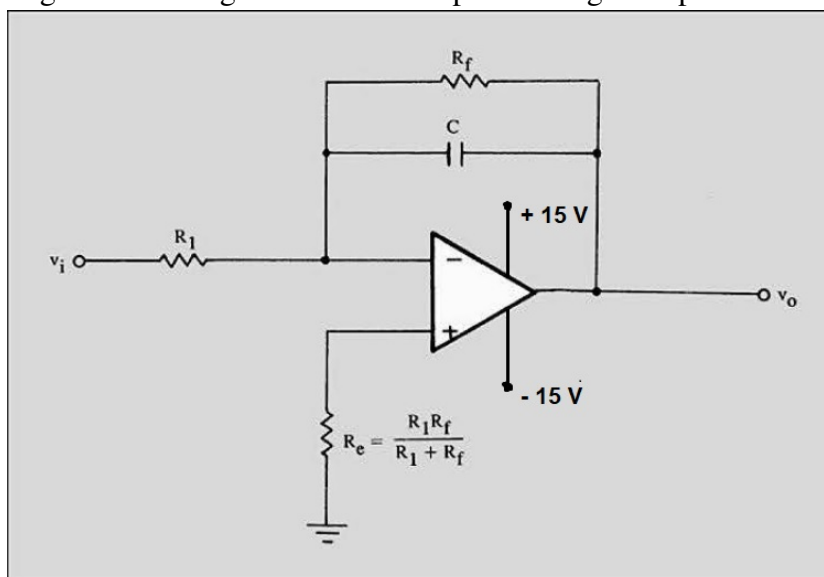
3.8.4 Procedimentos

PRÉ-LABORATÓRIO.

Antes de fazer esta prática no laboratório, tente montar os circuitos dos procedimentos usando o simulador Tinkercad.

PROCEDIMENTO 1: INTEGRADOR PRÁTICO.

Figura 66 – Diagrama do circuito para o integrador prático.



Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 84)

1. Monte o circuito da Figura 66 com: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_f = 1 \text{ M}\Omega$, $C = 2,2 \text{ nF}$. Depois, energize com uma fonte simétrica de $\pm 15 \text{ V-DC}$. Use na entrada não-inversora dois resistores em paralelo, de mesmo valor que R_1 e R_f , para a equalização;
2. Ajuste o gerador de funções (lembre-se de usar a alta-impedância) para fornecer uma onda senoidal de $5 V_{p-p}$, frequência de 100 Hz e offset de $0 V_p$;
3. Conecte o canal 1 do osciloscópio à entrada do circuito e o canal 2 à saída do mesmo. Configure para mostrar os sinais de entrada e saída simultaneamente;
4. Aplique o sinal fornecido pelo gerador de funções na entrada do circuito e verifique se os mesmos valores aparecem no osciloscópio. Caso contrário, você deve configurar para obter os mesmos valores de entrada nos dois aparelhos;
5. Observe o que acontece no osciloscópio na saída e registre tirando uma foto dos dois sinais. Configure o osciloscópio para mostrar os valores de $V_{p-p(in)}$ da entrada e $V_{p-p(out)}$ da saída. Anote esses resultados na Tabela 42;
6. Complete o restante da Tabela 42 aumentando a frequência do gerador de funções para

1kHz, 10kHz e 100kHz. Registre tirando fotos dos sinais (entrada e saída simultaneamente) para cada valor de frequência;

7. Repita os procedimentos anteriores para outras formas de onda: quadradas e triangulares. Preencha as Tabelas 43 e 44. Registre tirando fotos dos sinais (entrada e saída simultaneamente).

Tabela 42 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 43 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 44 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular.

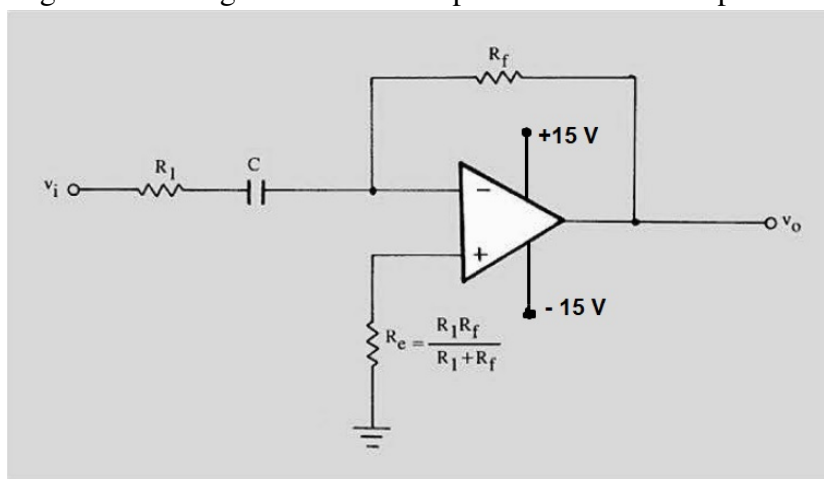
	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

PROCEDIMENTO 2: DIFERENCIADOR PRÁTICO.

1. Monte o circuito da Figura 67 com: $R_1 = 100 \Omega$, $R_f = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 2,2 \text{ nF}$. Depois, energize com uma fonte simétrica de $\pm 15 \text{ V-DC}$. Use na entrada não-inversora dois resistores em paralelo, de mesmo valor que R_1 e R_f , para a equalização;
2. Ajuste o gerador de funções (lembre-se de usar a alta-impedância) para fornecer uma onda senoidal de $5 V_{p-p}$, frequência de 100 Hz e offset de $0 V_p$;
3. Conecte o canal 1 do osciloscópio à entrada do circuito e o canal 2 à saída do mesmo. Configure para mostrar os sinais de entrada e saída simultaneamente;

Figura 67 – Diagrama do circuito para o diferenciador prático.



Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 81)

4. Aplique o sinal fornecido pelo gerador de funções na entrada do circuito e verifique se os mesmos valores aparecem no osciloscópio. Caso contrário, você deve configurar para obter os mesmos valores de entrada nos dois aparelhos;
5. Observe o que acontece no osciloscópio na saída e registre tirando uma foto dos dois sinais. Configure o osciloscópio para mostrar os valores de $V_{p-p(in)}$ da entrada e $V_{p-p(out)}$ da saída. Anote esses resultados na Tabela 45;
6. Complete o restante da Tabela 45 aumentando a frequência do gerador de funções para 1kHz, 10kHz e 100kHz. Registre tirando fotos dos sinais (entrada e saída simultaneamente) para cada valor de frequência;
7. Repita os procedimentos anteriores para outras formas de onda: quadradas e triangulares. Preencha as Tabelas 46 e 47. Registre tirando fotos dos sinais (entrada e saída simultaneamente).

Tabela 45 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 46 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 47 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz			
1 kHz			
10 kHz			
100 kHz			

Fonte: produzido pelo autor

3.8.5 Questionário

1. Calcule a frequência de corte f_L para o circuito integrador desta prática.
2. Calcule a frequência de corte f_L para o circuito diferenciador desta prática.
3. Use a lei dos nós de Kirchhoff no circuito da Figura 66 e mostre que para altas frequências o Slew-Rate (SR) desse circuito não depende da frequência. Faça $V_{in} = V_{p(in)} \sin(\omega t)$.

Use: $|X_C| = \frac{1}{2\pi fC}$. Considere $R_f \gg X_C$.

4. Use a lei dos nós de Kirchhoff no circuito da Figura 67 e encontre uma expressão para a frequência máxima em função de SR, R_f , C e $V_{p(in)}$. Faça $V_{in} = V_{p(in)} \sin(\omega t)$.
5. Calcule a frequência máxima para o diferenciador prático substituindo os parâmetros fornecidos nesta prática na expressão encontrada da questão anterior. Use SR = 0,5 V/ μ s.
6. Explique o ocorrido em todo o procedimento 2 (diferenciador prático) para a frequência de 100 kHz.

3.9 Roteiro 9: amplificador operacional - (AMP-OP): comparador com referência zero

3.9.1 Objetivos

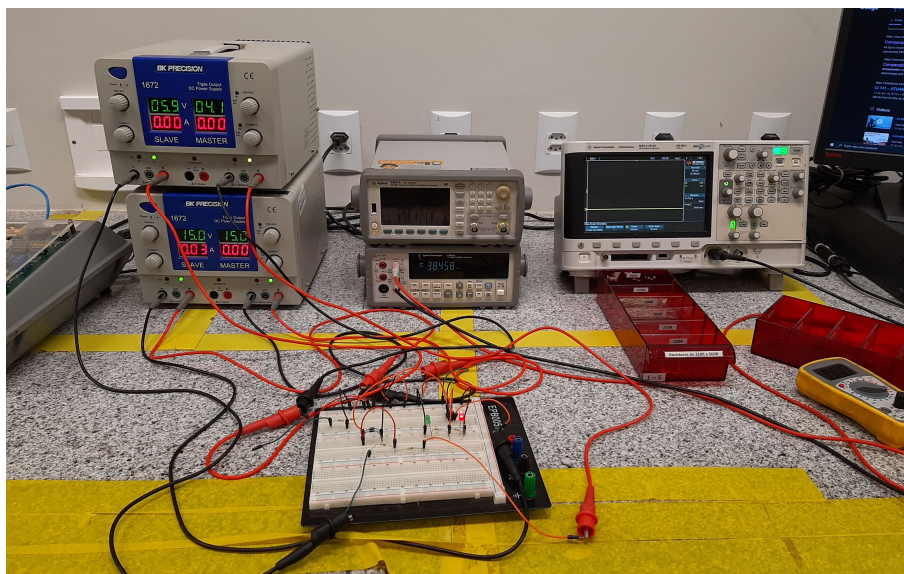
- Comparar tensões de diferentes polaridades usando o amplificador somador;
- Comparar usando um controle de habilitação (strobe).

3.9.2 Materiais

- Fontes de alimentação: 0 a 32V-DC (quatro);
- Osciloscópio digital;
- Gerador de Função;
- Cabos BNC-BNC; Pontas de prova;
- AMP-OP UA741CN da ST microeletronics;
- Transistor BC337;
- Diodos 1N5817 (dois);
- Resistores: 100 k Ω , 47 k Ω , 220 Ω (dois de cada);
- LED vermelho e LED verde;
- Multímetro digital; Protoboard; Fios.

(Foto do kit de materiais: Figura 68).

Figura 68 – Materiais para a prática de AMP-OP: comparador com referência zero.



Fonte: produzido pelo autor

3.9.3 Fundamentos

COMPARADORES

Em muitas situações práticas surge a necessidade de se comparar dois sinais entre si, de tal sorte que um desses sinais seja uma referência preestabelecida pelo projetista. Os circuitos eletrônicos destinados a essa função são denominados comparadores. (PERTENCE JÚNIOR, 2003, p. 99)

Sobre o funcionamento do comparador, Pertence Júnior (2003, p. 100) explica que:

A operação de um comparador é bastante simples: o alto ganho do AOP em malha aberta amplifica a diferença de tensão existente entre a entrada não-inversora e a entrada inversora do AOP e leva a saída para $+V_{sat}$ ou $-V_{sat}$, conforme essa diferença seja positiva ou negativa, respectivamente.

Existem basicamente dois tipos de comparadores:

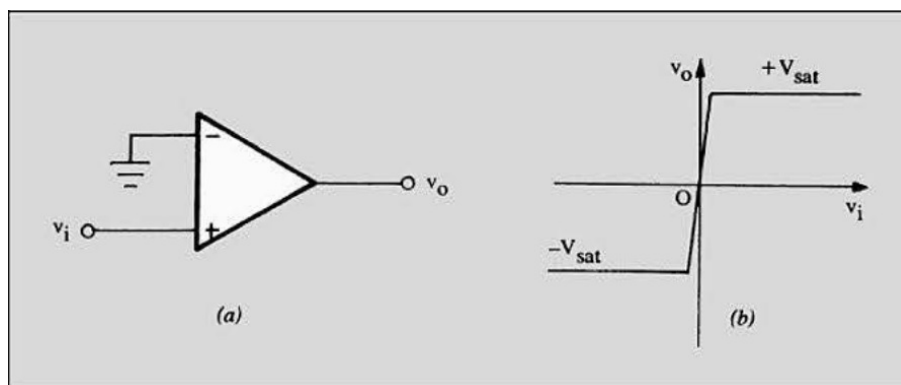
- comparador não-inversor;
- comparador inversor.

A Figura 69 mostra um comparador elementar do tipo não-inversor. Observe no item (a) que a entrada inversora está conectada ao terra (que é a referência), e que na entrada não-inversora é aplicado um sinal que vai ser comparado. Veja também no item (b) o gráfico do sinal na saída em função do sinal de entrada. Matematicamente temos:

$$V_{out} = \begin{cases} +V_{sat}, & \text{quando } V_{in} > 0 \\ -V_{sat}, & \text{quando } V_{in} < 0 \end{cases} \quad (3.30)$$

Na primeira condição dizemos que o comparador está trabalhando no primeiro quadrante e, na segunda condição, que ele está trabalhando no terceiro quadrante.

Figura 69 – Circuito elementar de um comparador não-inversor com referência zero.



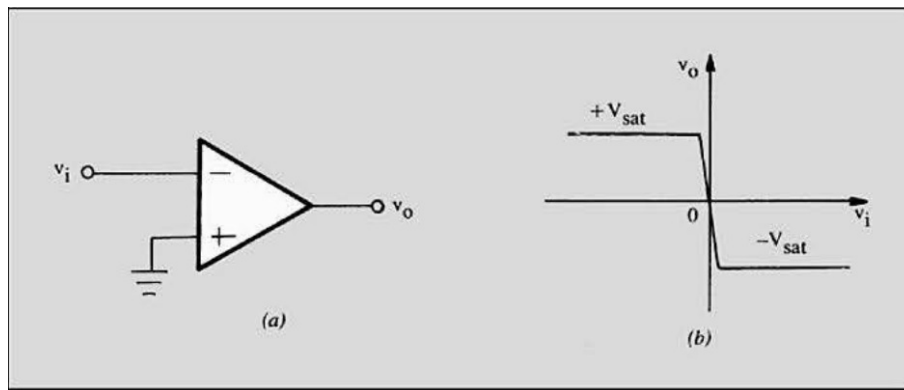
Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 100)

A Figura 70 mostra um comparador elementar do tipo inversor. Observe no item (a) que a entrada não-inversora está conectada ao terra (que é a referência), e que na entrada inversora é aplicado um sinal que vai ser comparado. Veja também no item (b) o gráfico do sinal na saída em função do sinal de entrada. Matematicamente temos:

$$V_{out} = \begin{cases} +V_{sat}, & \text{quando } V_{in} < 0 \\ -V_{sat}, & \text{quando } V_{in} > 0 \end{cases} \quad (3.31)$$

Na primeira condição dizemos que o comparador está trabalhando no segundo quadrante e, na segunda condição, que ele está trabalhando no quarto quadrante.

Figura 70 – Circuito elementar de um comparador inversor com referência zero.



Fonte: Pertence Júnior (2003, p. 101)

Pertence Júnior (2003, p. 99) também nos diz que: “Notemos que a saída apresenta uma comutação de estados quando o sinal de entrada passa por zero. Por isso, esse circuito é, às vezes, denominado detector de passagem por zero.”

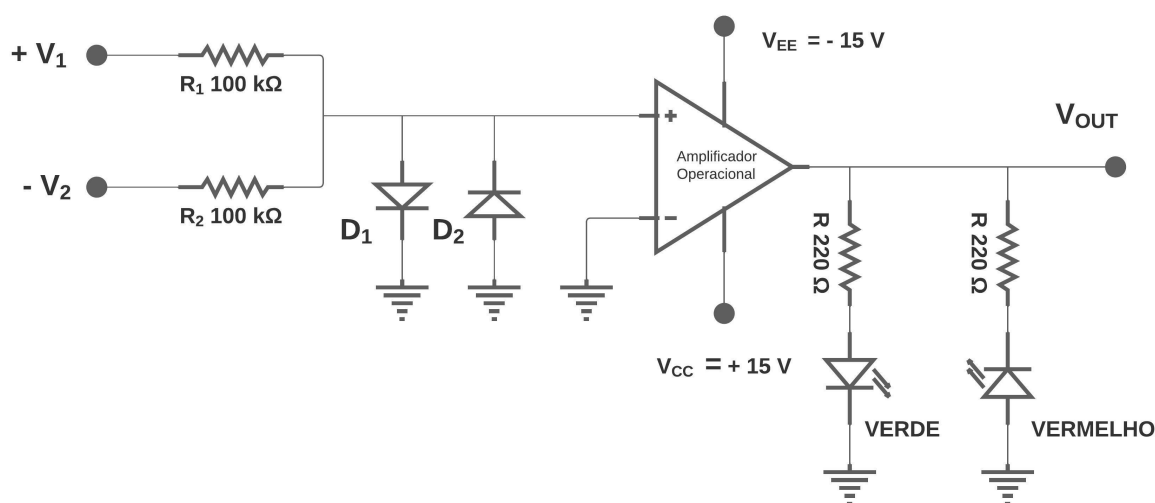
3.9.4 Procedimentos

PRÉ-LABORATÓRIO.

Antes de fazer esta prática no laboratório, tente montar os circuitos e fazer os procedimentos no simulador Tinkercad.

PROCEDIMENTO 1: Comparar tensões de diferentes polaridades.

Figura 71 – Circuito comparador de tensões de diferentes polaridades.



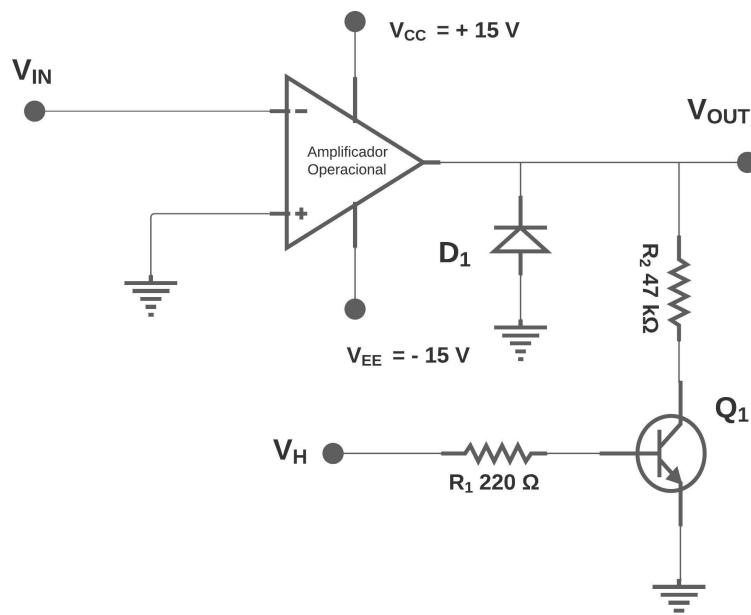
Fonte: produzido pelo autor

O circuito da Figura 71 compara duas tensões de polaridades opostas para determinar qual delas é maior. Se a amplitude de V_1 for maior que a amplitude de V_2 , a entrada não-inversora será positiva, a saída do comparador será positiva e o LED verde acenderá. Por outro lado, se a amplitude de V_1 for menor que a de V_2 , a entrada não-inversora será negativa, a saída do comparador será negativa e o LED vermelho acenderá. Os resistores de 220Ω nos LED's são limitadores de corrente.

1. Monte o circuito da Figura 71 e energize com uma fonte simétrica de ± 15 V-DC. (Use os diodos D_1 e D_2 conforme mostra a Figura 71);
2. Aplique nas entradas duas tensões constantes DC de valores pequenos e diferentes. (Caso seja necessário, utilize o mesmo modelo de circuito para improvisar uma fonte simétrica - Figura 64) Observe qual LED vai acender.

PROCEDIMENTO 2: Comparar usando um controle de habilitação (strobe).

Figura 72 – Circuito comparador com controle de habilitação (strobe).



Fonte: produzido pelo autor

O circuito da Figura 72 usa um controle de habilitação no comparador que pode desligar a saída em determinados momentos ou sob certas condições. O diodo de saída D_1 ceifa os semiciclos negativos. Na entrada do transistor (base) é aplicado uma habilitação V_H . Quando esse sinal é positivo, o transistor satura sendo a tensão de saída aproximadamente zero. Quando o sinal de habilitação for zero, o transistor entra em corte e a saída do comparador pode variar de $-0,7\text{ V}$ a $+15\text{ V}$. Quando o sinal de habilitação é positivo dizemos que está no nível alto e quando é zero dizemos que está no nível baixo.

1. Monte o circuito da Figura 72 e energize com uma fonte simétrica de $\pm 15\text{ V-DC}$;
2. Ajuste o gerador de funções (lembre-se de usar a alta-impedância) para fornecer uma onda senoidal V_i de 200 mV_{p-p} , frequência de 1 kHz e offset de 0 V_p ;
3. Conecte o canal 1 do osciloscópio à entrada do circuito e o canal 2 à saída do mesmo. Configure para mostrar os sinais de entrada e saída simultaneamente;
4. Aplique o sinal fornecido pelo gerador de funções na entrada do circuito e verifique se os mesmos valores aparecem no osciloscópio. Caso contrário, você deve configurar para obter os mesmos valores de entrada nos dois aparelhos;
5. Observe o que acontece no osciloscópio na saída e registre tirando uma foto dos dois sinais;

6. Aplique na habilitação (base do transistor) uma tensão 5 V-DC. Observe o que acontece no osciloscópio na saída e registre tirando uma foto dos dois sinais.

3.9.5 *Questionário*

1. Use a lei dos nós de Kirchhoff no circuito da Figura 71 para mostrar que a tensão na entrada não-inversora é dada por $V = \frac{V_1 - V_2}{2}$.
2. Explique o motivo de se colocar os resistores R_1 e R_2 , respectivamente na base e no coletor, no circuito da Figura 72. E por que $R_2 \gg R_1$?
3. Explique a principal diferença entre os comparadores das Figuras: 71 e 72.
4. Explique porque os circuitos comparadores são do tipo não-lineares.

4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os roteiros vistos no presente trabalho cobrem todo o conteúdo básico da Eletrônica: circuitos, osciloscópio, diodos, transistores e amplificadores operacionais, que podem ser usados na parte prática de uma disciplina da graduação com duração de um semestre letivo. Infelizmente não foi possível acrescentar nos roteiros um que tratasse dos transistores de efeito de campo (FET), pois deve-se levar em conta o tempo gasto na elaboração, estudo da teoria inteiramente nova e a verificação em laboratório.

A pesquisa feita com as IESPP demonstra que ainda falta muito incentivo por parte das mesmas em prol de uma educação nova, pois, o laboratório de Eletrônica, nos cursos de graduação em Física, vem em primeiro lugar na hierarquia de importância de um projeto para se atingir a educação 4.0. No entanto, das 45 IESPP que participaram da pesquisa, 23 não ofertam essa disciplina em seus cursos de graduação. Dada a importância dessa disciplina no contexto de uma educação nova, ela deveria ser ofertada como obrigatória nas Licenciaturas, mas somente 7 IESPP disseram ofertar essa disciplina como obrigatória na Licenciatura.

Em trabalhos futuros, o próximo passo seria desenvolver os conhecimentos em Eletrônica e estudar a plataforma Arduino (o hardware e o software). Depois, tentar elaborar roteiros que pudessem ser usados diretamente nas escolas e, finalmente, por em prática esses roteiros em um projeto na escola.

REFERÊNCIAS

- BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012. 980 p.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 784 p.
- DIAS, N. L. **Roteiros de Práticas**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2015. 48 p.
- FIA Fundação Instituto de Administração. **Cultura Maker: o que é, importância e exemplos**. 2019. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/cultura-maker-o-que-e-importancia-e-exemplos/>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- GREENE, B. **O Universo Elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. 476 p.
- MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletrônica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. v. 2. 500 p.
- MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletrônica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. v. 1. 624 p.
- NEVES, D. R. M. d. **A experimentação no Ensino de Física com o uso da Eletrônica: possibilidades e desafios para a formação de professores**. 2019. 260 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática: Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, Diadema, 2019.
- PERTENCE JÚNIOR, A. **Eletrônica Analógica: amplificadores operacionais e filtros ativos: projetos, aplicações e laboratório**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 308 p.
- PINTO, L. F. T.; ALBUQUERQUE, R. O. **Eletrônica: eletrônica analógica**. São Paulo: Fundação Padre Achieta, 2011. v. 2. 333 p.
- SAE DIGITAL. **Educação 4.0: tudo que você precisa saber**. 2020. Disponível em: <https://sae.digital/educacao-4-0/>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2016. 167 p.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletronic Circuits**. 6. ed. [S. l.]: Oxford University Press USA, 2009. 1649 p.
- THÉ, G. A. P. **Roteiros do Laboratório de Circuitos Eletrônicos**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010. 16 p.
- UNISUL blog da universidade. **Educação 4.0: saiba o que é e como revoluciona o aprendizado**. 2021. Disponível em: <https://estude.unisul.br/blog/educacao-4-0-saiba-o-que-e-e-como-revoluciona-o-aprendizado/#:~:text=A20EducaC3A7C3A3o20de20problemas>. Acesso em: 25 jun. 2022.

APÊNDICE A – GABARITO DO ROTEIRO 1

Tabela 48 – Medidas de Resistência

Resistor	Valor nominal (Ω)	Valor medido (Ω)
R_1 (22 Ω)	22	21,7
R_2 (22 Ω)	22	22,4
R_3 (460 Ω)	$460 \pm 10\%$	460,5
R_4 (100 Ω)	100	97,2
R_5 (470 Ω)	$470 \pm 10\%$	459
R_6 (180 Ω)	$180 \pm 5\%$	177

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 49 – Medidas de corrente e tensão.

	I (mA)	V (Volts)
R_4 (100 Ω)	14,61	1,42
R_5 (470 Ω)	3,09	1,42

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 50 – Parâmetros Thévenin. (R_5)

V_{TH} (V)	1,68
R_{TH} (Ω)	81,5

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 51 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_5 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)
459	2,9	1,42

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 52 – Parâmetros Thévenin. (R_4)

V_{TH} (V)	4,93
R_{TH} (Ω)	240,2

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 53 – Medidas para verificação do teorema de Thévenin para R_4 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)
97,2	14,5	1,43

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 54 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton. (R_5)

I_N (mA)	19,7
R_N (Ω)	81,5

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 55 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_5 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)
459	3,03	1,39

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 56 – Parâmetros para o gerador equivalente de Norton. (R_4)

I_N (mA)	20,6
R_N (Ω)	240,2

Fonte: produzido pelo autor.

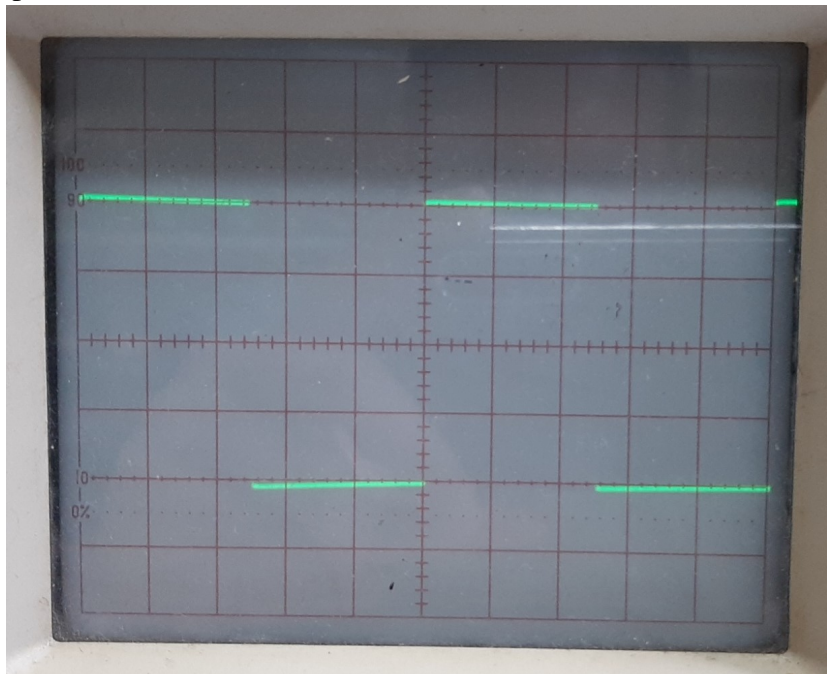
Tabela 57 – Medidas para verificação do teorema de Norton para R_4 .

R (Ω)	I (mA)	V (Volts)
97,2	14,7	1,47

Fonte: produzido pelo autor.

APÊNDICE B – GABARITO DO ROTEIRO 2

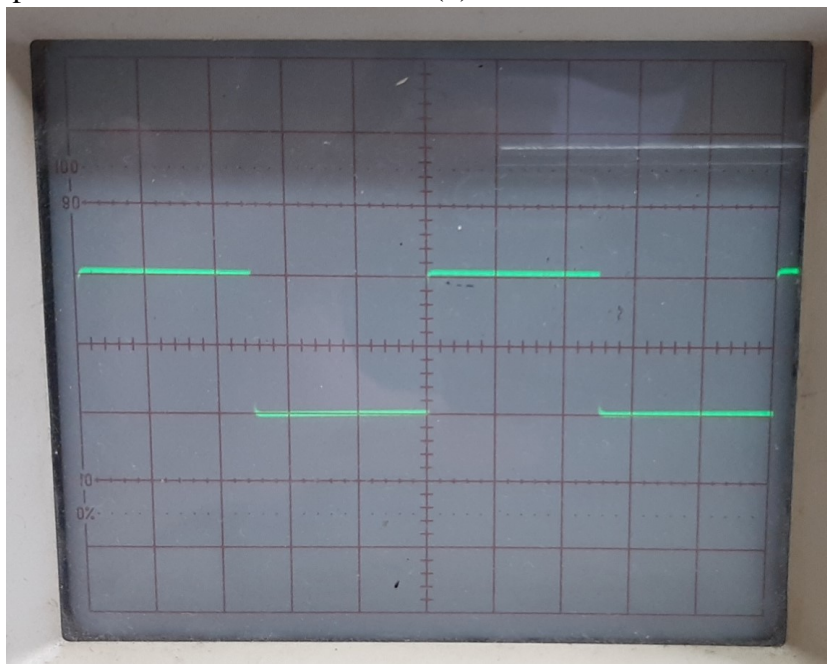
Figura 73 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRADOR. (1)



X: 0.2 ms/DIV Y: 0.5V/DIV

Fonte: produzido pelo autor.

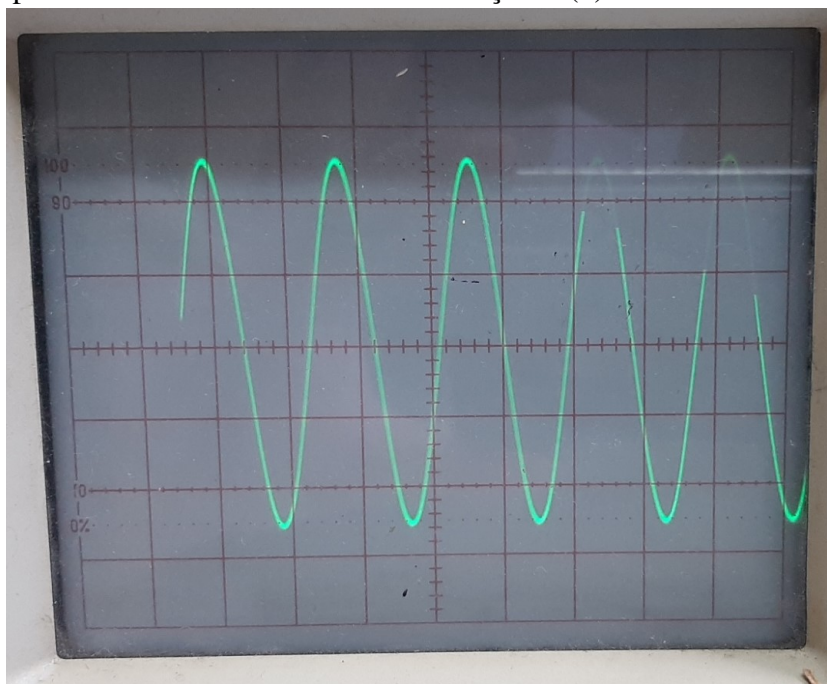
Figura 74 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda quadrada proveniente do CALIBRADOR. (2)



X: 0.2 ms/DIV Y: 1V/DIV

Fonte: produzido pelo autor.

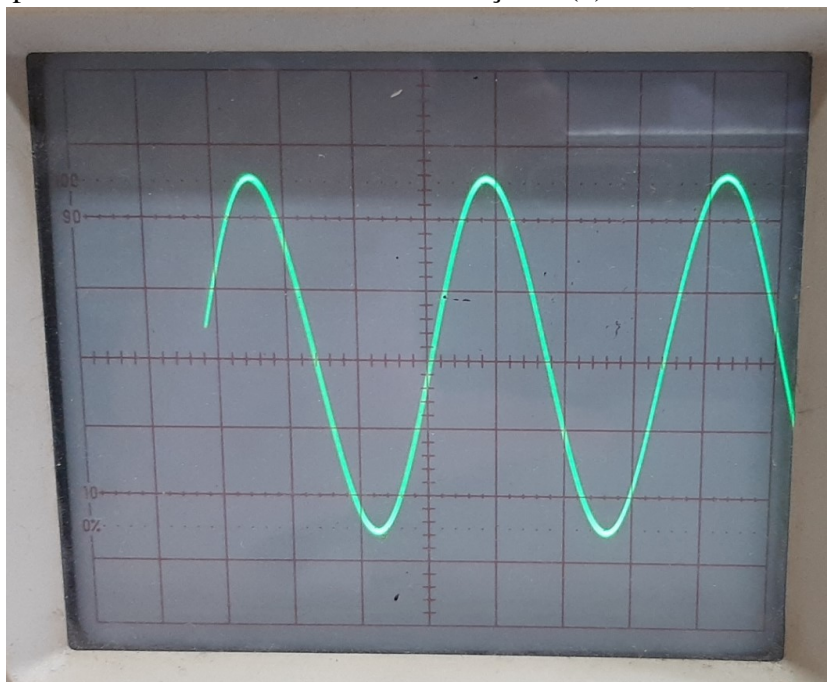
Figura 75 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda senoidal proveniente do GERADOR DE FUNÇÃO. (1)



X: 0.2 ms/DIV Y: 1V/DIV

Fonte: produzido pelo autor.

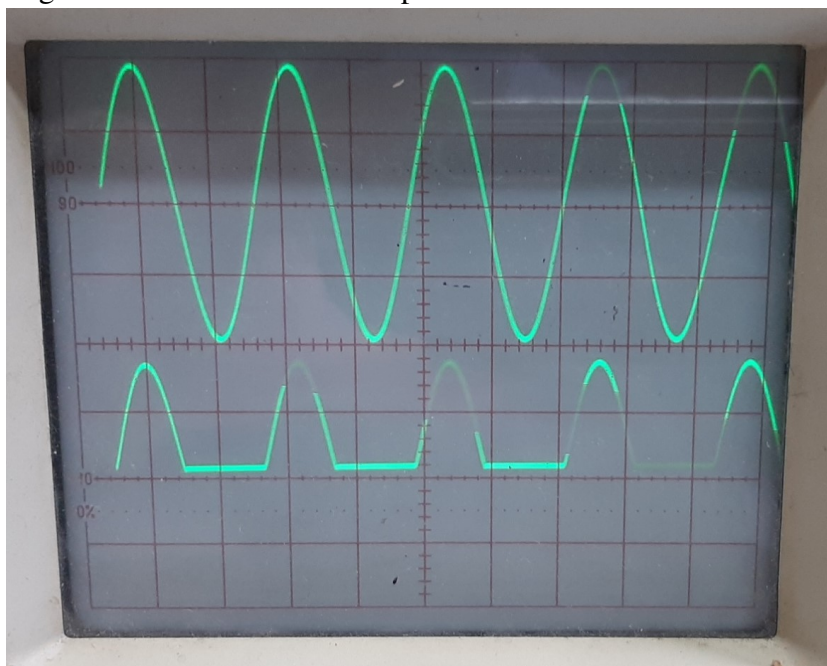
Figura 76 – Tela do Osciloscópio mostrando a onda senoidal proveniente do GERADOR DE FUNÇÃO. (2)



X: 0.1 ms/DIV Y: 1V/DIV

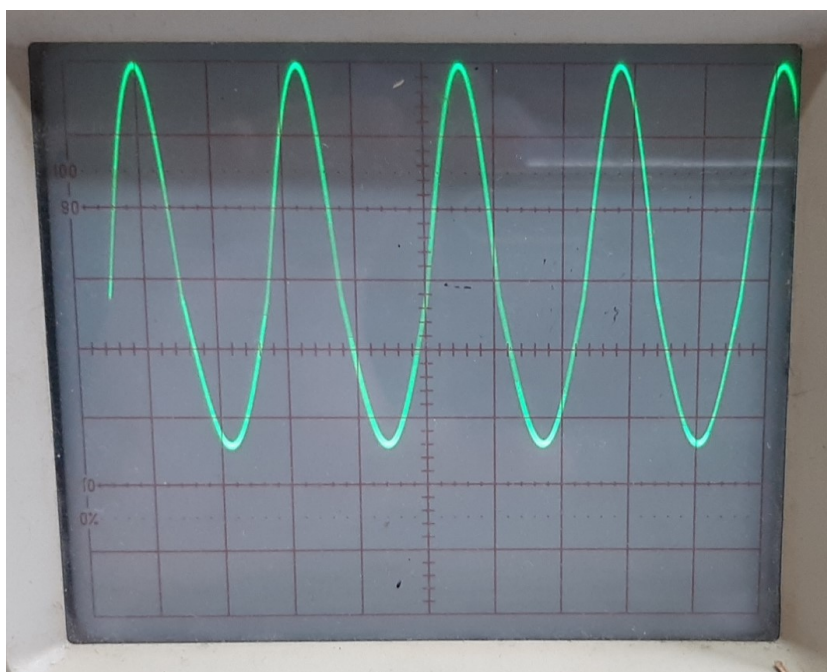
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 77 – Tela do Osciloscópio mostrando DUAS ONDAS.



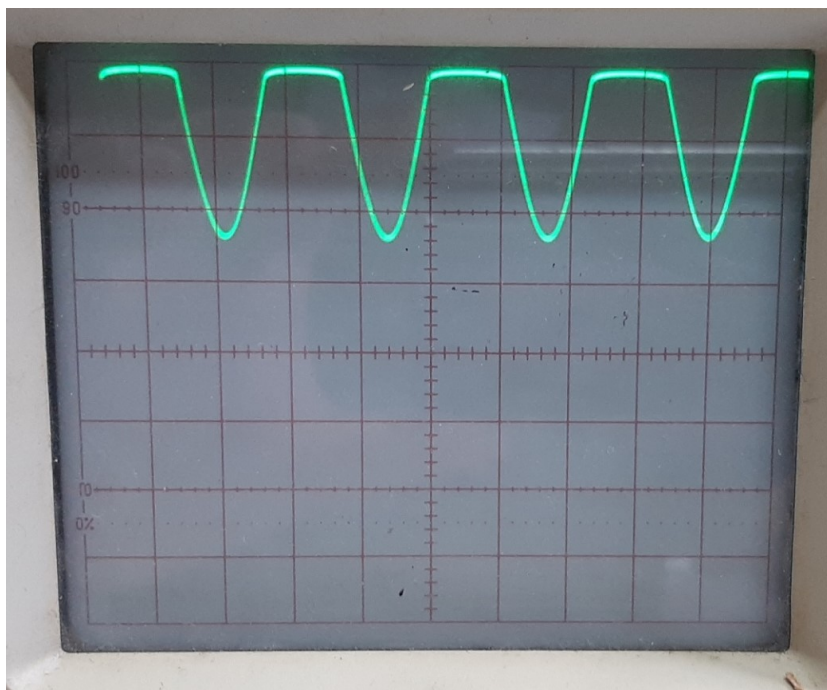
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 78 – Tela do Osciloscópio mostrando a SOMA DAS ONDAS.



Fonte: produzido pelo autor.

Figura 79 – Tela do Osciloscópio mostrando a SUBTRAÇÃO DAS ONDAS.



Fonte: produzido pelo autor.

APÊNDICE C – GABARITO DO ROTEIRO 3

Tabela 58 – Teste do diodo com multímetro analógico.

Escala	Diodo de Silício		Diodo de Germânio	
	R_D	R_R	R_D	R_R
X1	5,6 Ω	∞	40 Ω	∞
X10	54 Ω	∞	79 Ω	∞
X1K	2,6 k Ω	∞	900 Ω	∞

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 59 – Teste do diodo com multímetros digitais.

Multímetro modelo	Diodo de Silício		Diodo de Germânio	
	Polarização direta	Polarização reversa	Polarização direta	Polarização reversa
MINIPA ET - 1501	0,52 V	∞	0,29 V	∞
MINIPA ET - 2042E	0,57 V	∞	0,31 V	∞

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 60 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de silício).

V_D (V)	0,00	0,20	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
I_D (mA)	0,00	0,20 μ	6,3 μ	97 μ	2,8 m	5,3 m	18 m	58 m	?????

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 61 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de silício).

V_D (V)	0	5	10	15	20	25	30
I_D (mA)	0,00	0,40 μ	0,9 μ	1,5 μ	2,0 μ	2,4 μ	2,9 μ

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 62 – Corrente versus tensão sob polarização direta. (Diodo de germânio).

V_D (V)	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
I_D (mA)	0,00	0,30 m	0,90 m	1,8 m	3,5 m	5,2 m	7,0 m	9,2 m	11,8 m

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 63 – Corrente versus tensão sob polarização reversa. (Diodo de germânio).

V_D (V)	0	3	6	9	12	15	CUIDADO!
I_D (mA)	0,00	3,1 μ	5,3 μ	7,9 μ	11,1 μ	15,1 μ	xxxxx

Fonte: produzido pelo autor.

Anotações:

APÊNDICE D – GABARITO DO ROTEIRO 4

Tabela 64 – Retificador de meia onda.

TENSÃO R_L CIRCUITO	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
SEM FILTRO	17 V	5 V	0 V
COM FILTRO	17 V	7 V	5,3 V

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 65 – Retificador de onda completa com dois diodos.

TENSÃO R_L CIRCUITO	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
SEM FILTRO	17 V	11,3 V	0 V
COM FILTRO	17 V	11,5 V	2,4 V

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 66 – Retificador em ponte (onda completa).

TENSÃO R_L CIRCUITO	V_{MAX}	V_{DC} (MULTÍME.)	V_{RIPPLE}
SEM FILTRO	16 V	9,6 V	0 V
COM FILTRO	16 V	11 V	2,4 V

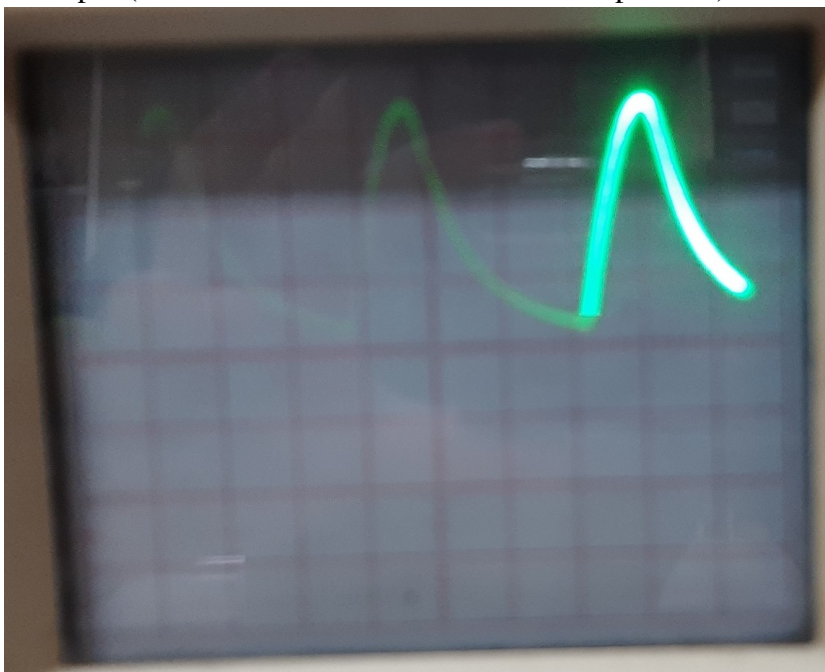
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 80 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de meia onda sem filtro capacitivo).



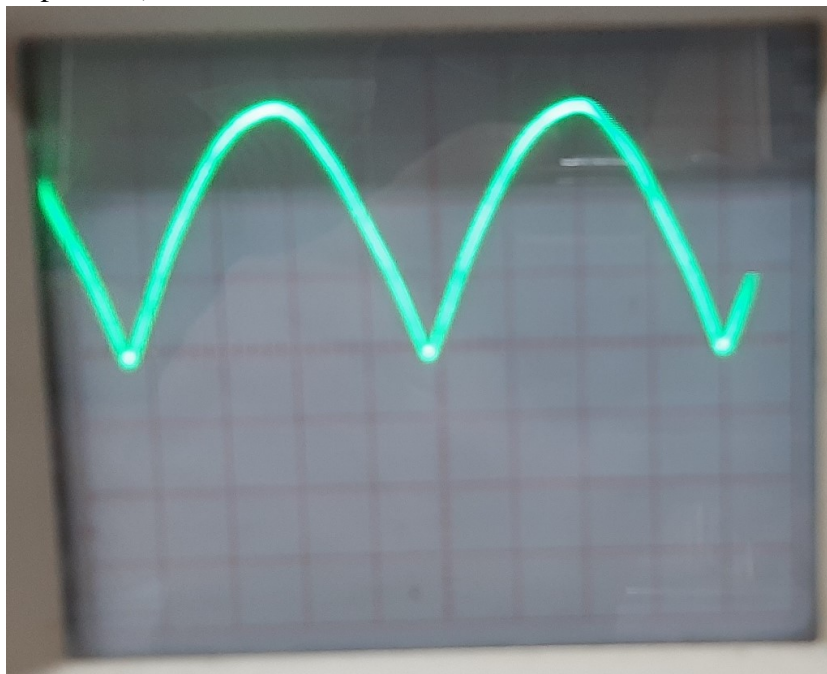
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 81 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de meia onda com filtro capacitivo).



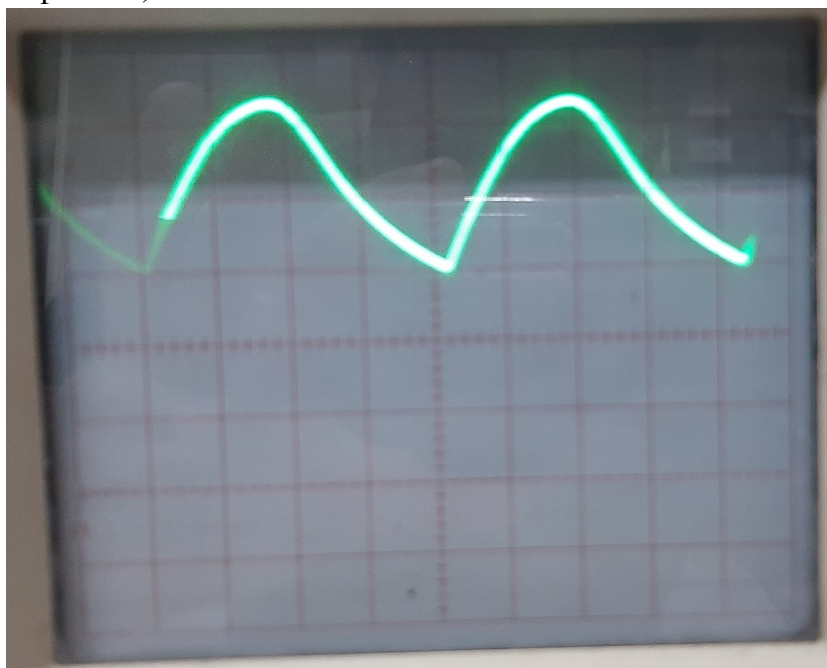
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 82 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa com dois diodos sem filtro capacitivo).



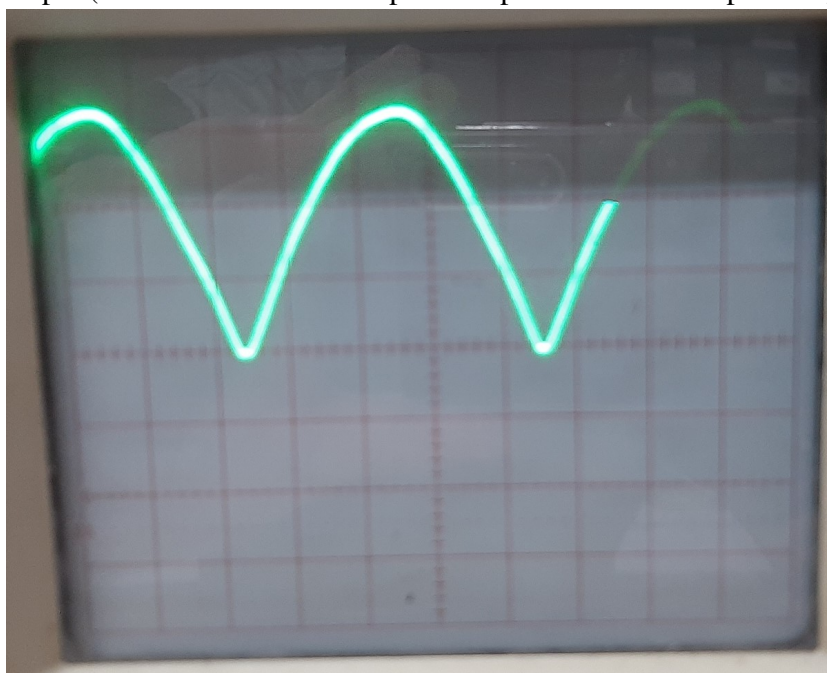
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 83 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa com dois diodos com filtro capacitivo).



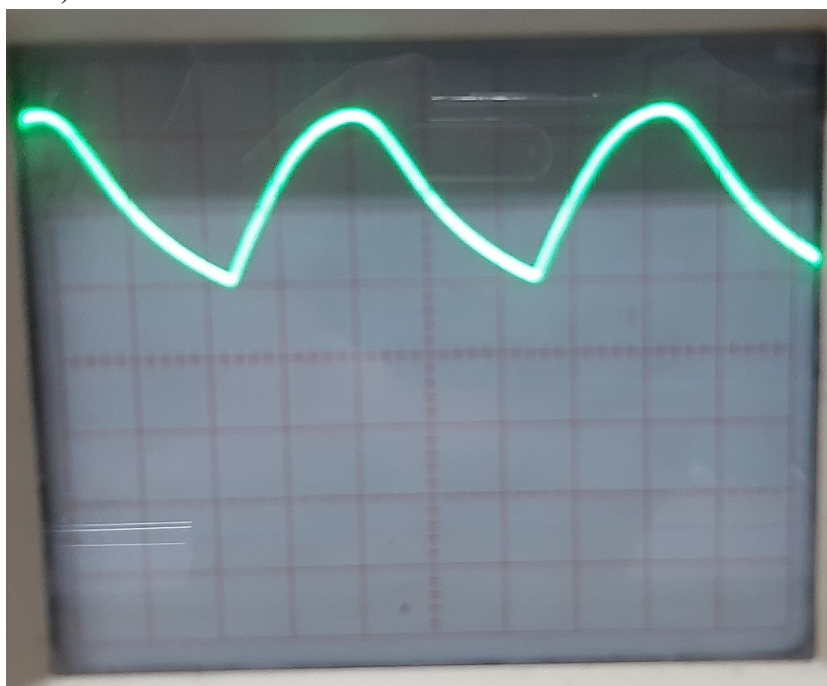
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 84 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa em ponte sem filtro capacitivo).



Fonte: produzido pelo autor.

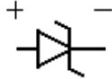
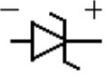
Figura 85 – Representação da forma da onda observada no osciloscópio (retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo).



Fonte: produzido pelo autor.

APÊNDICE E – GABARITO DO ROTEIRO 5

Tabela 67 – Teste do diodo Zener.

	Polarização direta	Polarização reversa
		
Conduz? (sim/não)	0,70 conduz	2,85 conduz

Fonte: produzido pelo autor.

Obs.: O teste do diodo para a polarização reversa fornece o valor: V_R (antes do joelho, ver Figura 44) que é menor que o valor nominal V_Z . E mesmo o valor nominal pode variar de diodo para diodo. O fabricante do diodo Zener utilizado neste roteiro fornece um valor nominal de 4,7 V. Ver o Datasheet (Anexo B).

Tabela 68 – Resultados para o procedimento 1.2.

V_D (volts)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
I_Z (mA)	0,0	0,0	0,7 μ	26 μ	1,4 m	40 m

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 69 – Resultados para o procedimento 1.3.

I_Z (mA)	5	10	20	30	60	90	120	140
V_E (volts)	4,63	5,38	6,61	7,74	11,00	14,16	17,35	19,45
V_D (volts)	4,11	4,34	4,52	4,61	4,73	4,79	4,83	4,85
V_{R_S} (volts)	0,51	1,02	2,04	3,07	6,16	9,21	12,30	14,35

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 70 – Resultados para o procedimento 2.1.

R_L (Ω)	800	600	400	300	200	100	80	50	30
V_Z (volts)	4,74	4,73	4,73	4,71	4,69	4,60	4,51	4,20	3,49
I_Z (mA)	64,6	62,8	59,2	55,7	48,9	29,1	20,0	6,20	0,90
I_L (mA)	5,8	7,7	11,4	15,0	22,1	43,1	53,2	70,2	82,4

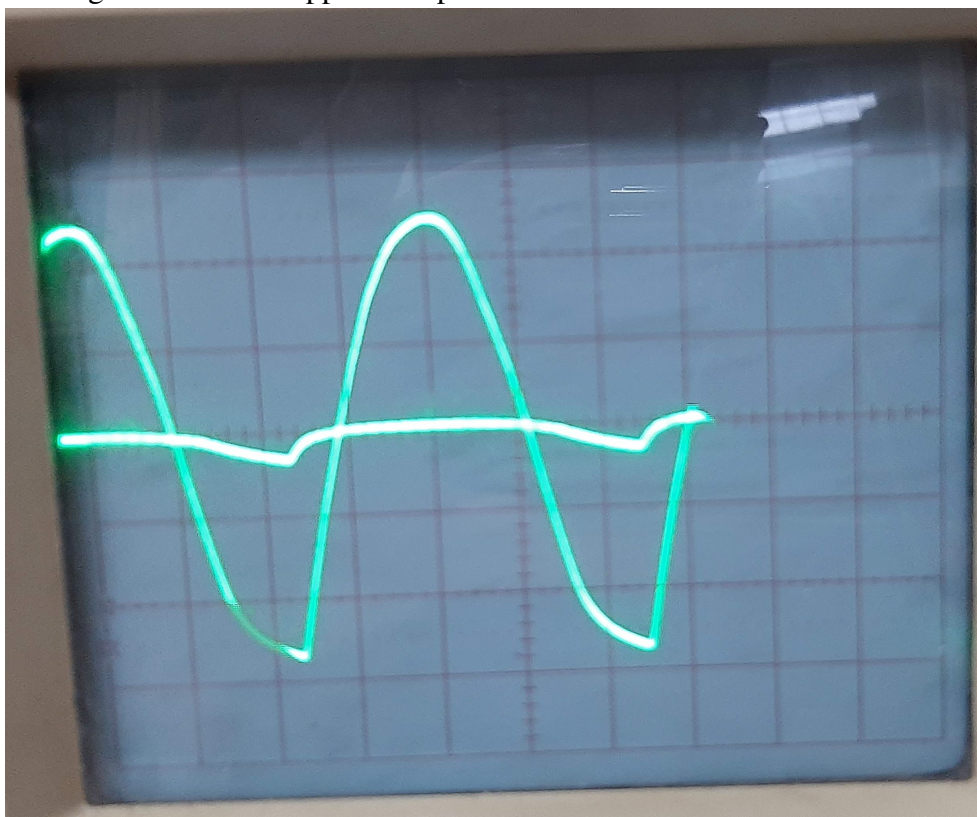
Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 71 – Resultados para o procedimento 2.2.

V_E (volts)	2	4	6	8	10	12	14	15
V_L (volts)	1,89	3,55	4,40	4,63	4,74	4,82	4,88	4,91
I_Z (mA)	0,0	1,0	11,6	28,1	46,0	64,4	83,2	92,6
V_S (volts)	0,19	0,48	1,65	3,36	5,21	7,11	9,04	10,0
I_L (mA)	1,8	3,4	4,4	4,4	4,6	4,6	4,5	4,6
I_S (mA)	1,8	4,5	16,0	32,5	50,6	69,0	87,7	97,2

Fonte: produzido pelo autor.

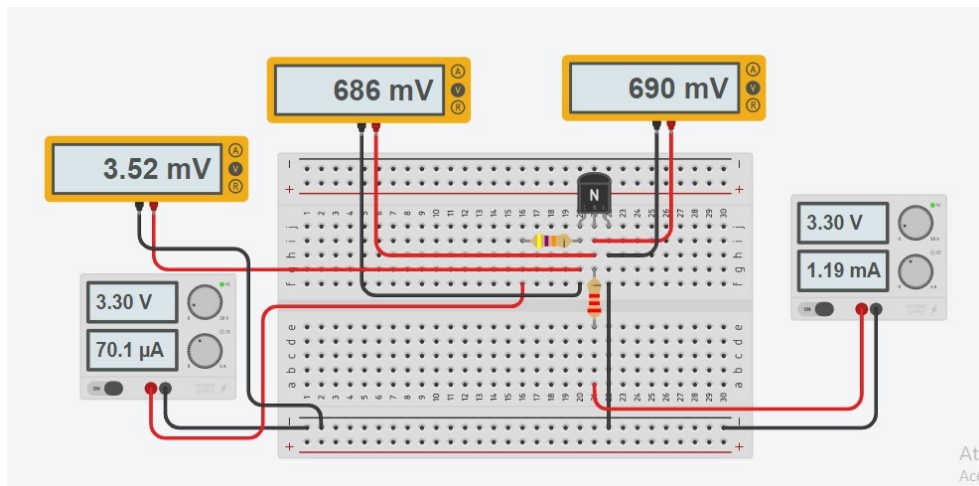
Figura 86 – Formas de onda observadas no procedimento 3: Tensão de Ripple na carga e tensão de Ripple no capacitor.



Fonte: produzido pelo autor.

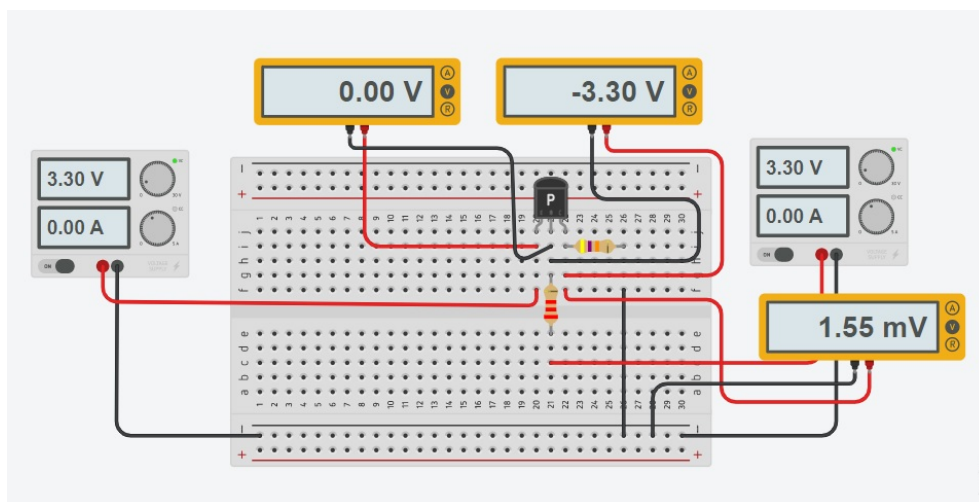
APÊNDICE F – GABARITO DO ROTEIRO 6

Figura 87 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN Saturado - Pré - Laboratório.



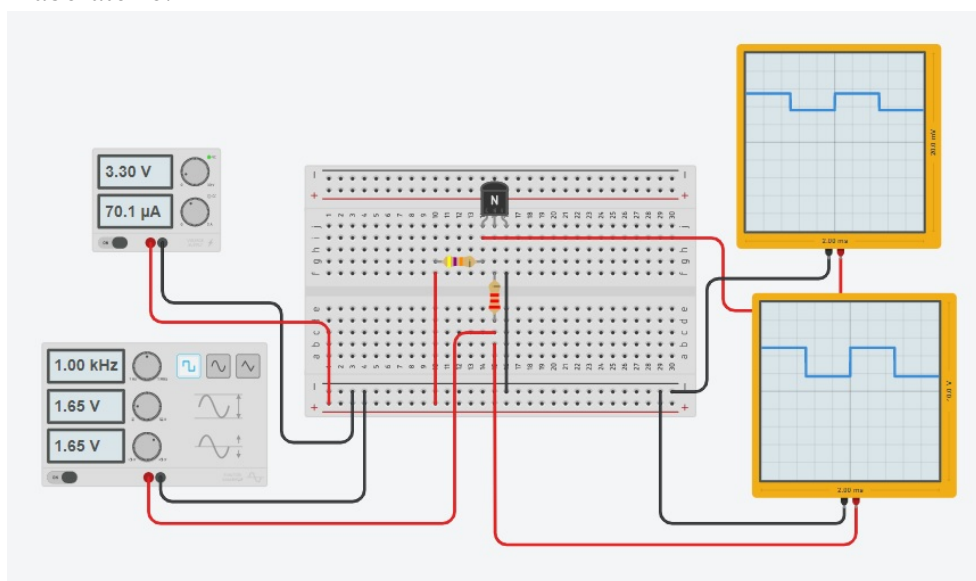
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 88 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor PNP Saturado - Pré - Laboratório.



Fonte: produzido pelo autor.

Figura 89 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como chave - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 72 – Resultados para o procedimento 1.1.

	Junção Base-Emissor (Direto ou Reverso?)	Junção Base-Coletor (Direto ou Reverso?)	Tipo de Transistor
Transistor BC337	Direto	Direto	NPN
Transistor BC327	Reverso	Reverso	PNP

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 73 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC337.

Transistor BC337	Junção Base-Emissor (Direto ou Reverso?)	Junção Base-Coletor (Direto ou Reverso?)	Modo de operação
Tensão de entrada: 0 V	Reverso	Reverso	Corte
Tensão de entrada: 3,3 V	Direto	Direto	Saturação

Fonte: produzido pelo autor.

Explique o chaveamento do transistor:

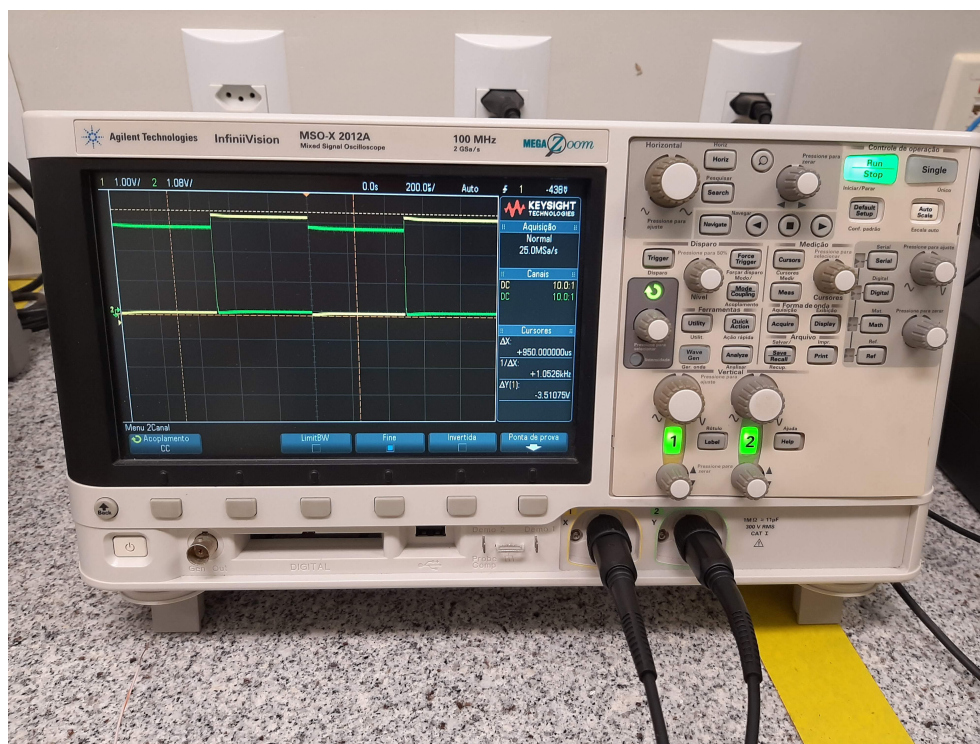
Quando V_{in} é igual a 3,3 V, o transistor entra em saturação, levando o potencial V_{out} para ≈ 0 V. Quando V_{in} é igual a 0 V, o transistor está em corte, levando V_{out} para V_{CC} .

Tabela 74 – Resultados para o procedimento 2.2. - Transistor BC327.

Transistor BC327	Junção Emissor-Base (Direto ou Reverso?)	Junção Coletor-Base (Direto ou Reverso?)	Modo de operação
Tensão de entrada: 0 V	Direto	Direto	Corte
Tensão de entrada: 3,3 V	Reverso	Reverso	Saturação

Fonte: produzido pelo autor.

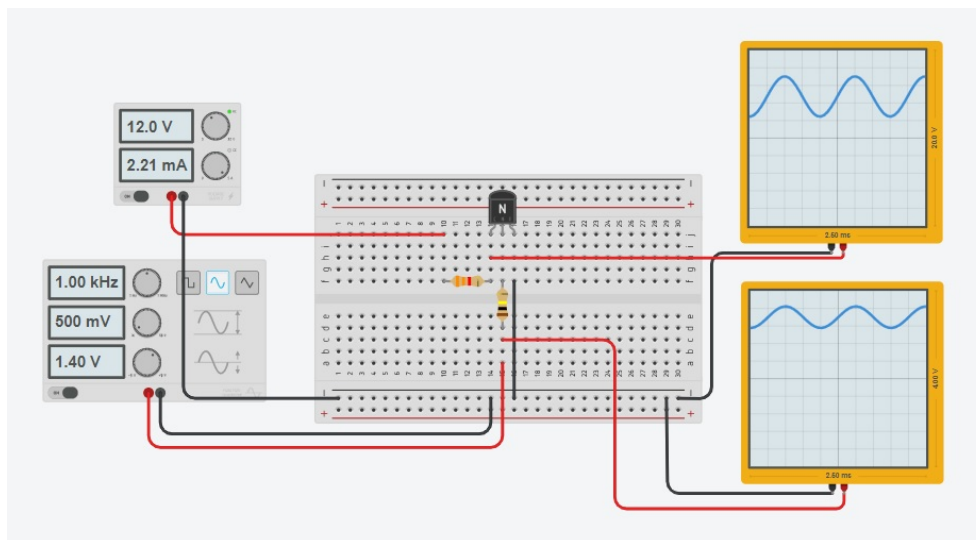
Figura 90 – Ondas quadradas observadas na entrada e na saída - Transistor como chave - Procedimento 3.



Fonte: produzido pelo autor.

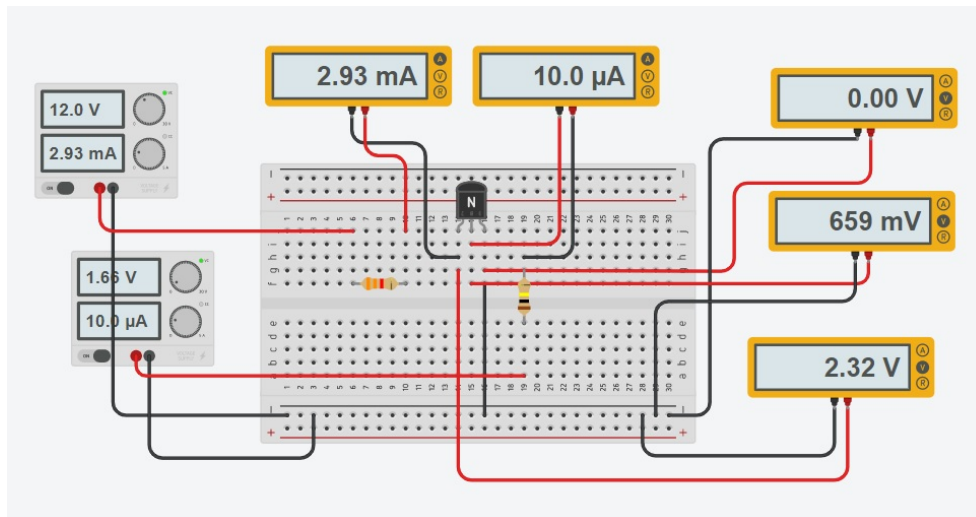
APÊNDICE G – GABARITO DO ROTEIRO 7

Figura 91 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como amplificador - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.



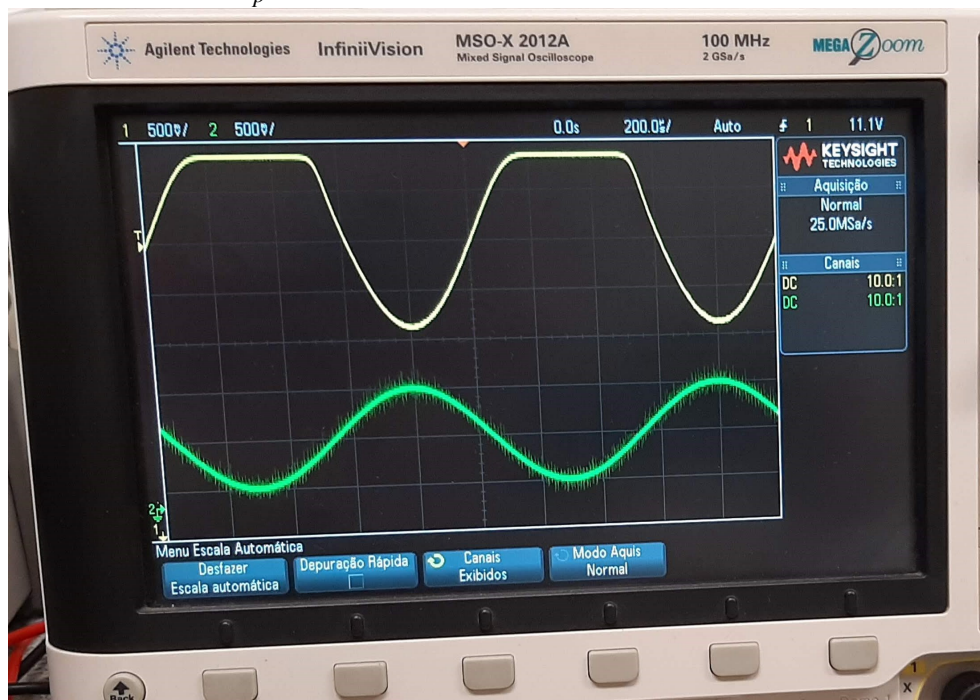
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 92 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Transistor NPN como amplificador - Determinação dos parâmetros CC - Pré - Laboratório.



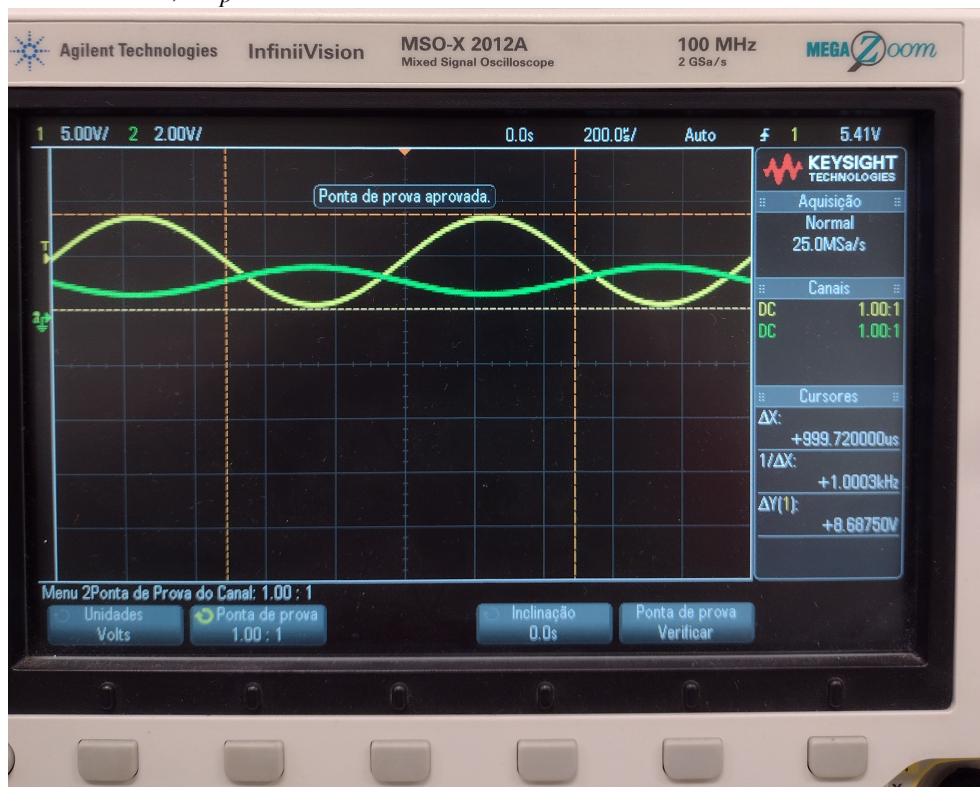
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 93 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - Offset de entrada de 700 mV_p - Procedimento 1.1.



Fonte: produzido pelo autor.

Figura 94 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - Offset de entrada de $1,4 \text{ V}_p$ - Procedimento 1.2.



Fonte: produzido pelo autor.

Descreva o que você observou nos procedimentos 1.1 e 1.2:

O sinal foi amplificado para ambos os casos, mas quando foi aplicado na entrada uma onda com offset de 700 mV_p , o sinal na saída apareceu ceifado na extremidade superior. Quando o offset do sinal de entrada foi modificado para $1,4 V_p$ o sinal deixou de aparecer ceifado na extremidade.

Explicação do ocorrido:

O sinal de saída é limitado a faixa de tensão do VCC, que é de 0 a 12V aplicado. Ao aplicar um valor de offset baixo de $0,7 V_p$, próximo da tensão base-emissor V_{BE} , o transistor quase não conduz. Como o sinal de saída é invertido e amplificado, o sinal na saída aparece ceifado na extremidade superior. Quando o valor no offset de entrada é aumentado para $1,4 V_p$, o sinal deixa de ser ceifado porque o transistor conduz normalmente, se distanciando do corte.

Cálculo do ganho A_v para o procedimento 1.3:

$$A_v = \frac{V_{p-p}(out)}{V_{p-p}(in)} = \frac{8,69}{1,03} = 8,44$$

Tabela 75 – Resultados para os procedimentos: 2.1 e 2.2.

V_B (volts)	V_C (volts)	V_E (volts)	I_B (mA)	I_C (mA)
0,60 V	3,94 V	0	$8,8 \mu\text{A}$	2,48 mA

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 76 – Resultados para o procedimento 2.1.

	Valor em Volts.	Direto ou Reverso?
$V_{BE} = V_B - V_E$	0,60 V	Direto
$V_{BC} = V_B - V_C$	- 3,34	Reverso
Modo de operação:		Região Ativa

Fonte: produzido pelo autor.

Cálculo do parâmetro β para o procedimento 2.2:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2,48 \cdot 10^{-3}}{8,8 \cdot 10^{-6}} = 0,28 \cdot 10^3 = 280$$

Cálculo dos parâmetros g_m e r_π para o procedimento 2.3:

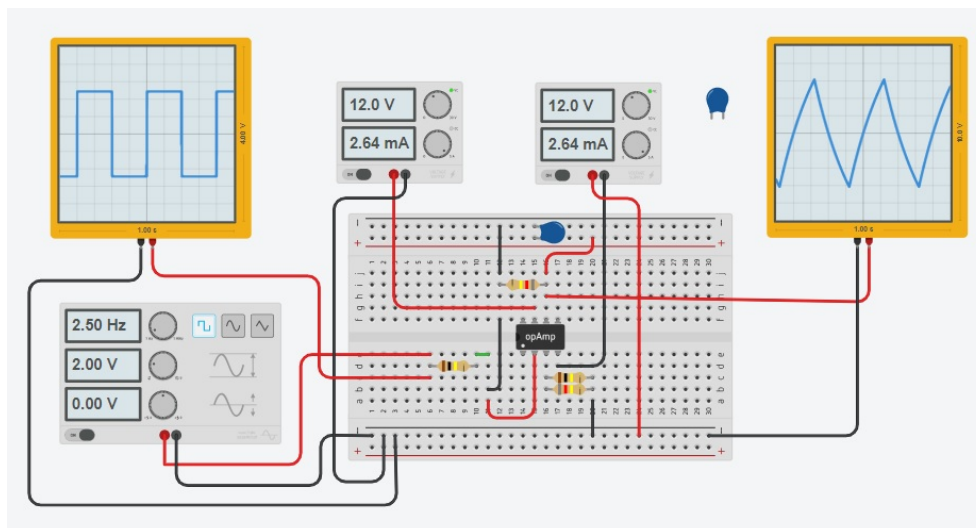
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2,48 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ } (\Omega^{-1})$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{280}{9,9 \cdot 10^{-2}} = 28 \cdot 10^2 = 2800 \text{ } (\Omega)$$

Anotações:

APÊNDICE H – GABARITO DO ROTEIRO 8

Figura 95 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito integrador prático - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.



Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 77 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	27,1 V	5,42
1 kHz	5 V	3,6 V	0,72
10 kHz	5 V	400 mV	0,08
100 kHz	5 V	89,4 mV	0,0179

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 78 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	Saturado ceifado	Não foi possível calcular.
1 kHz	5 V	5,6 V	1,12
10 kHz	5 V	940 mV	0,188
100 kHz	5 V	458 mV	0,0916

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 79 – Circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	22,1 V	4,42
1 kHz	5 V	2,7 V	0,54
10 kHz	5 V	310 mV	0,062
100 kHz	5 V	92 mV	0,018

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 80 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	$\approx 36,4$ mV	$\approx 0,00728$
1 kHz	5 V	113 mV	0,0226
10 kHz	5 V	780 mV	0,156
100 kHz	5 V	Saturado por frequência	Não foi possível calcular.

Fonte: produzido pelo autor

Tabela 81 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	5,1 V	1
1 kHz	5 V	5,2 V	1
10 kHz	5 V	5,2 V	1
100 kHz	5 V	Saturado por frequência	Não foi possível calcular.

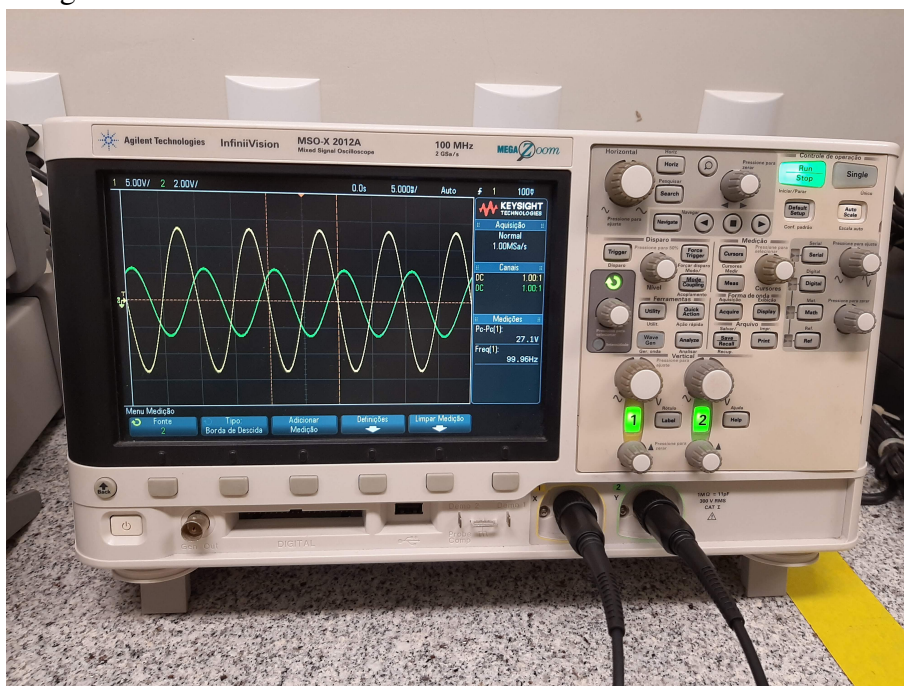
Fonte: produzido pelo autor

Tabela 82 – Circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular.

	$V_{p-p(in)}$	$V_{p-p(out)}$	$V_{p-p(out)} / V_{p-p(in)}$
100 Hz	5 V	$\approx 37,8$ mV	$\approx 0,00756$
1 kHz	5 V	68 mV	0,014
10 kHz	5 V	760 mV	0,152
100 kHz	5 V	Saturado por frequência	Não foi possível calcular.

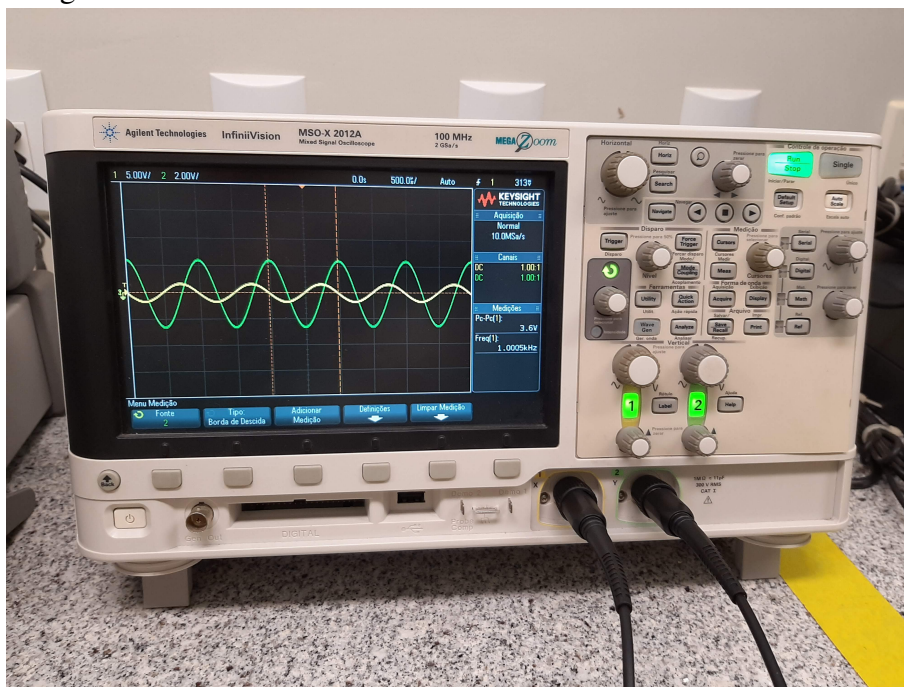
Fonte: produzido pelo autor

Figura 96 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 Hz.



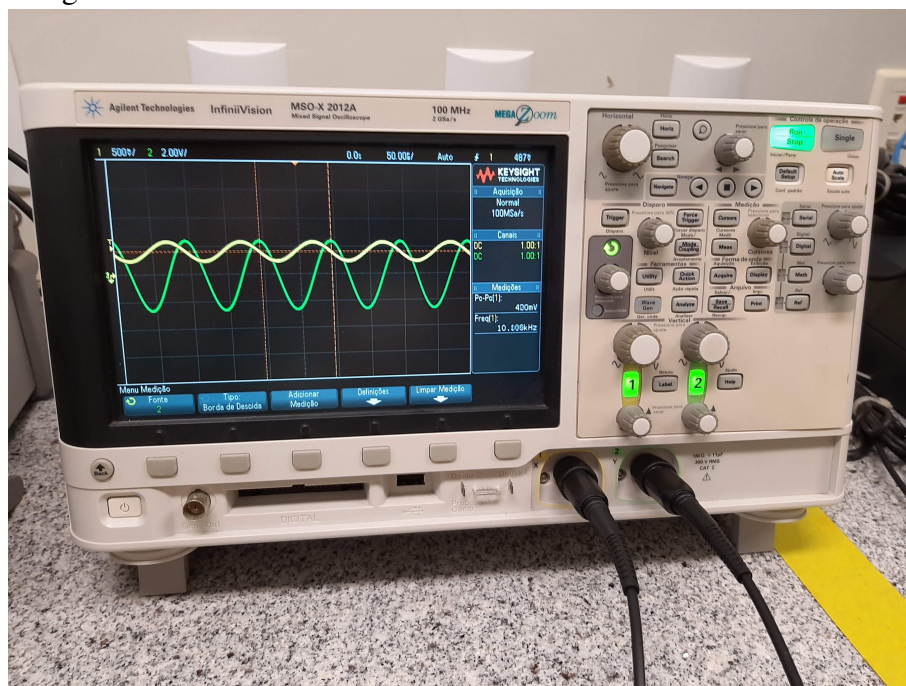
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 97 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 1 kHz.



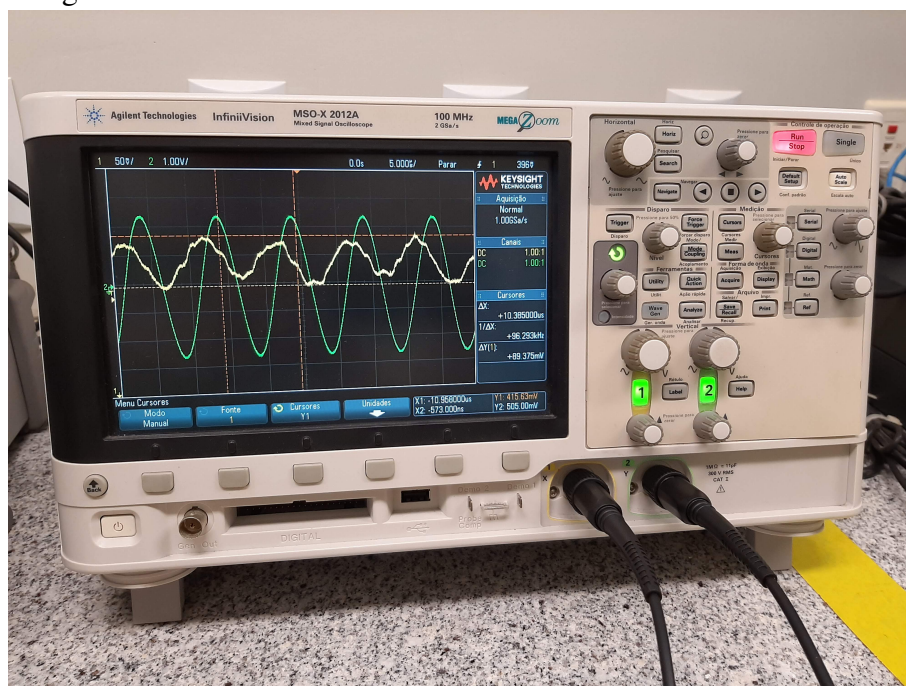
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 98 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 10 kHz.



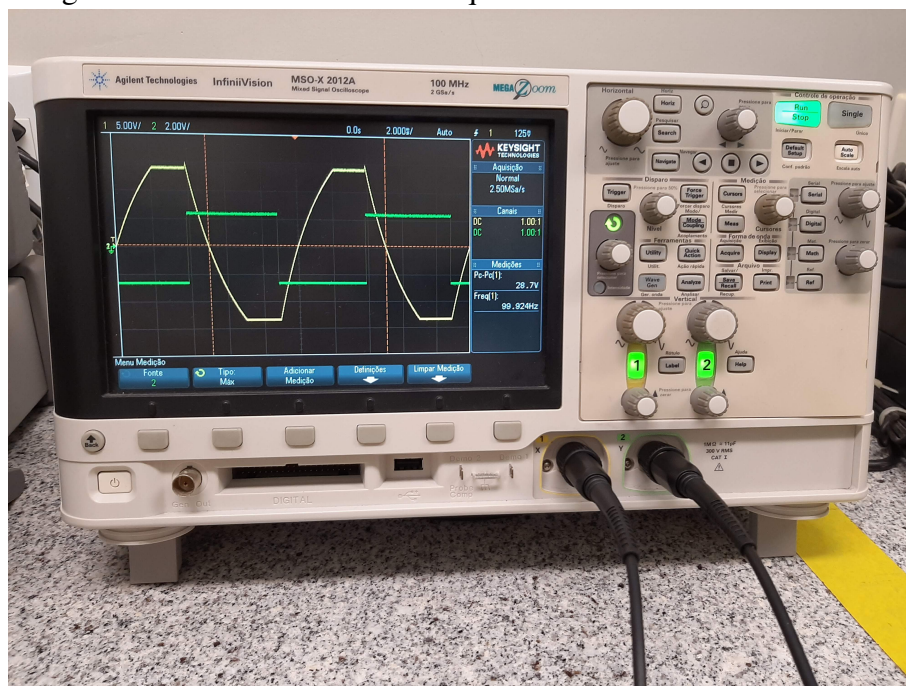
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 99 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 kHz.



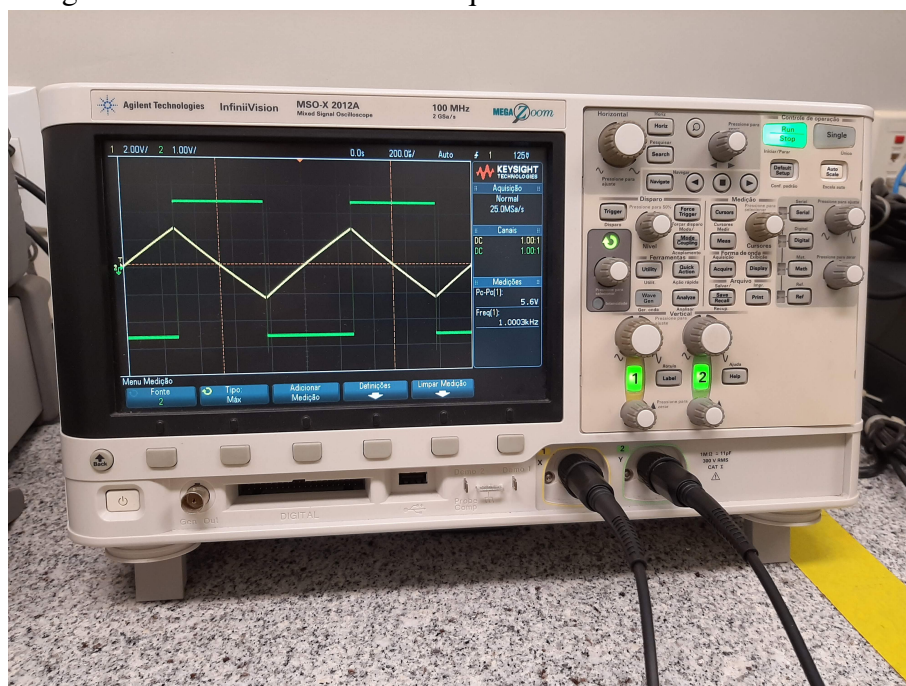
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 100 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 Hz.



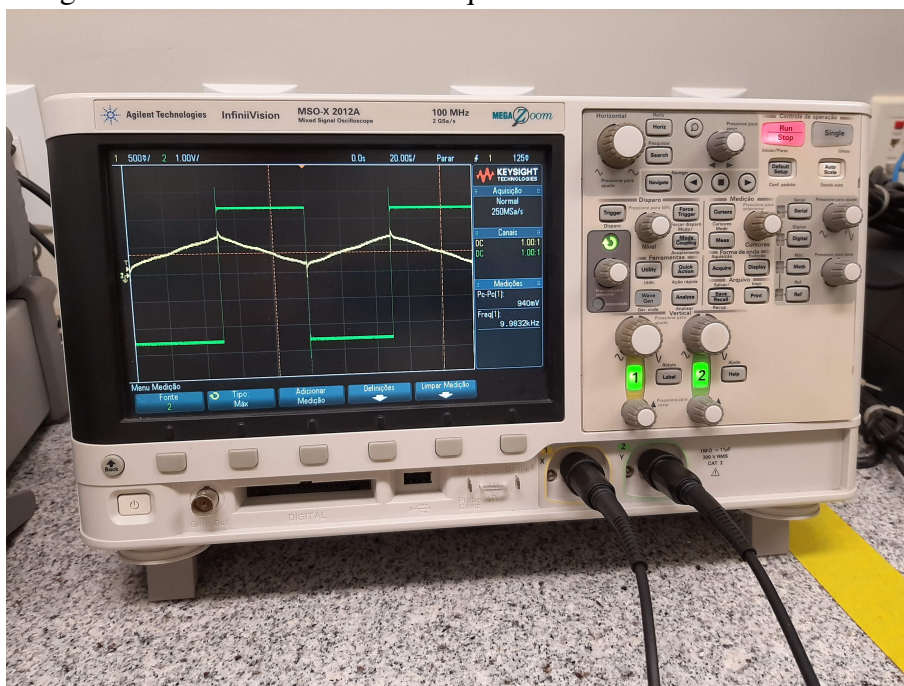
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 101 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 1 kHz.



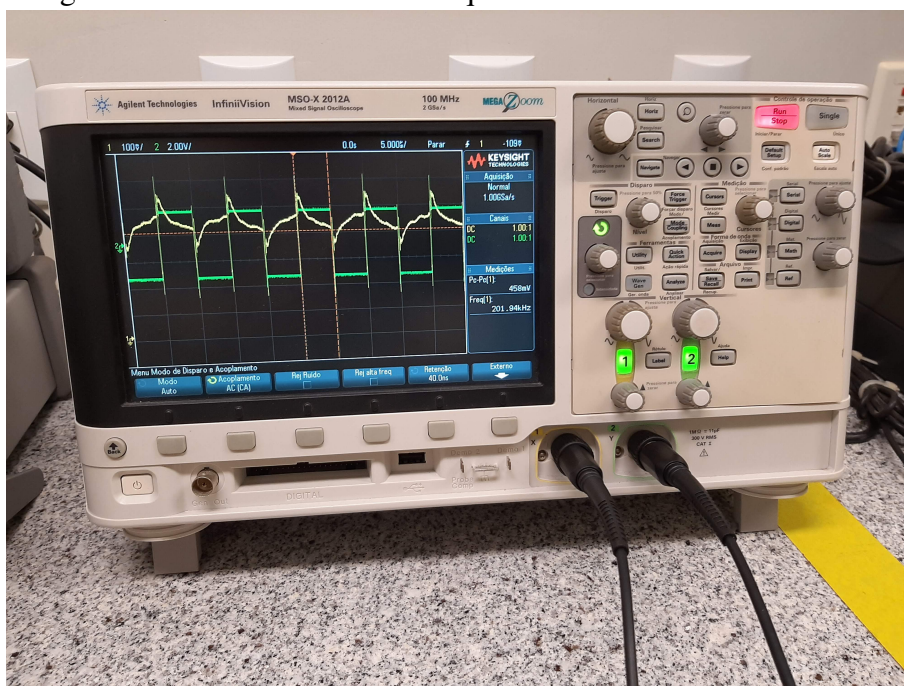
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 102 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 10 kHz.



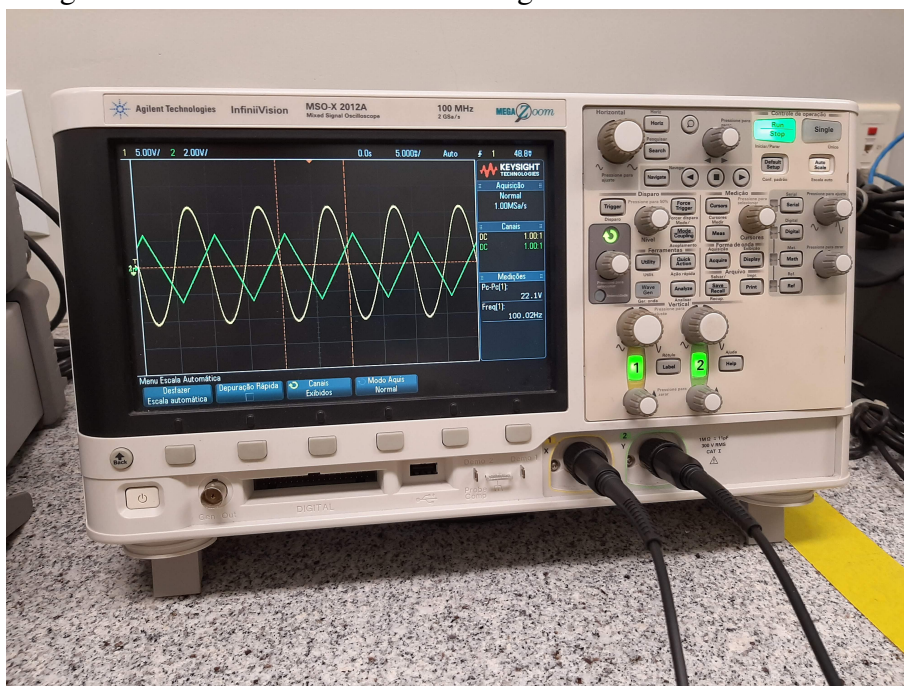
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 103 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 kHz.



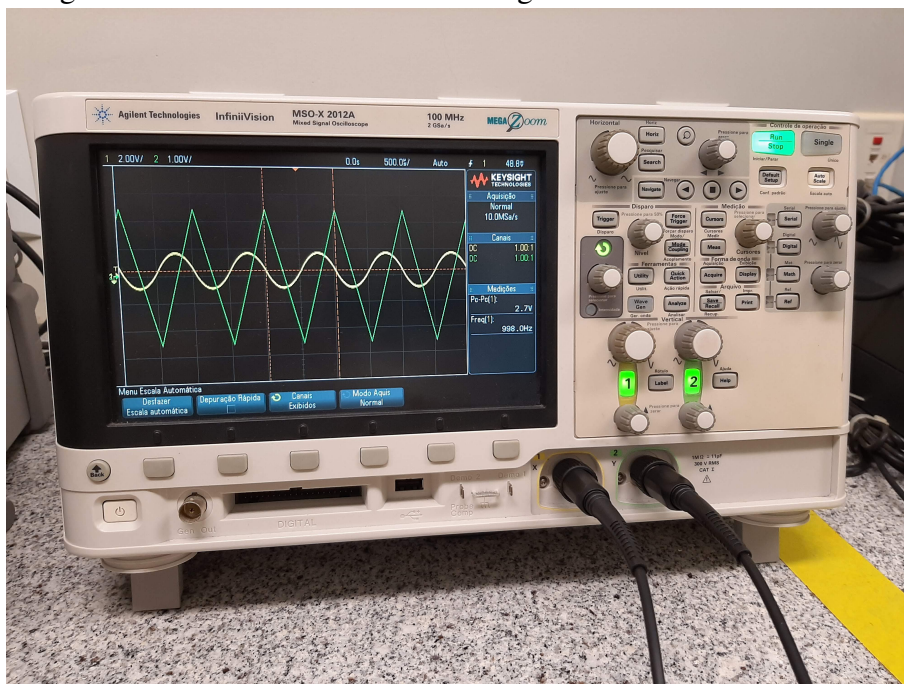
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 104 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 100 Hz.



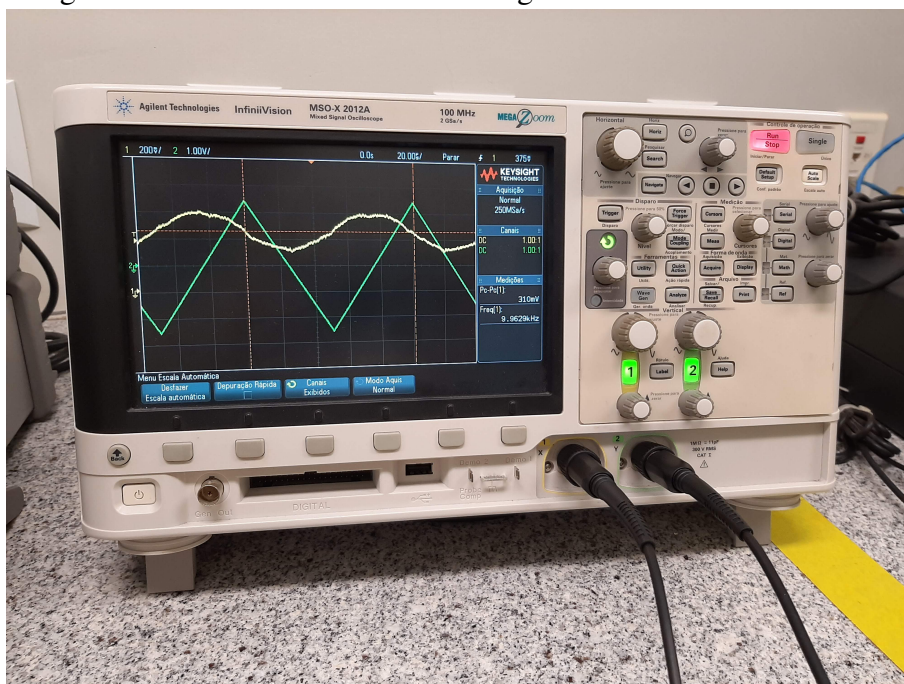
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 105 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 1 kHz.



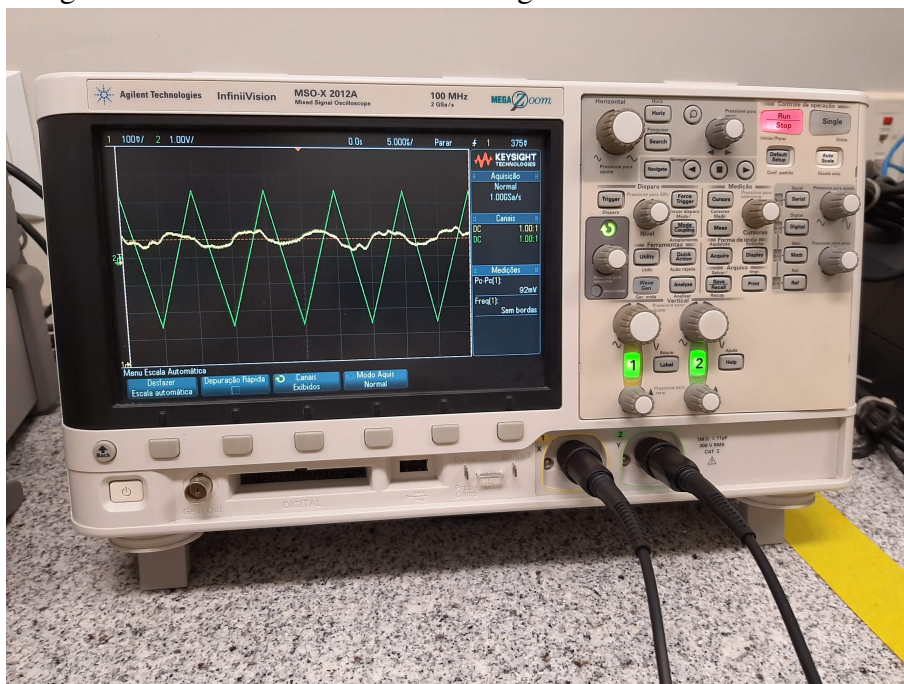
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 106 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 10 kHz.



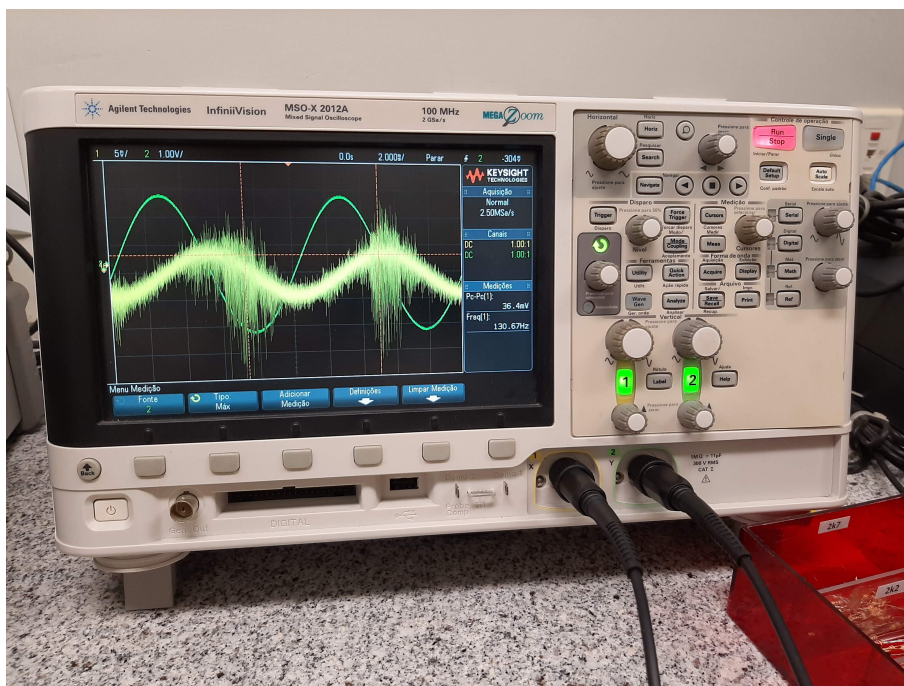
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 107 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito integrador - sinal de entrada: onda triangular - 100 kHz.



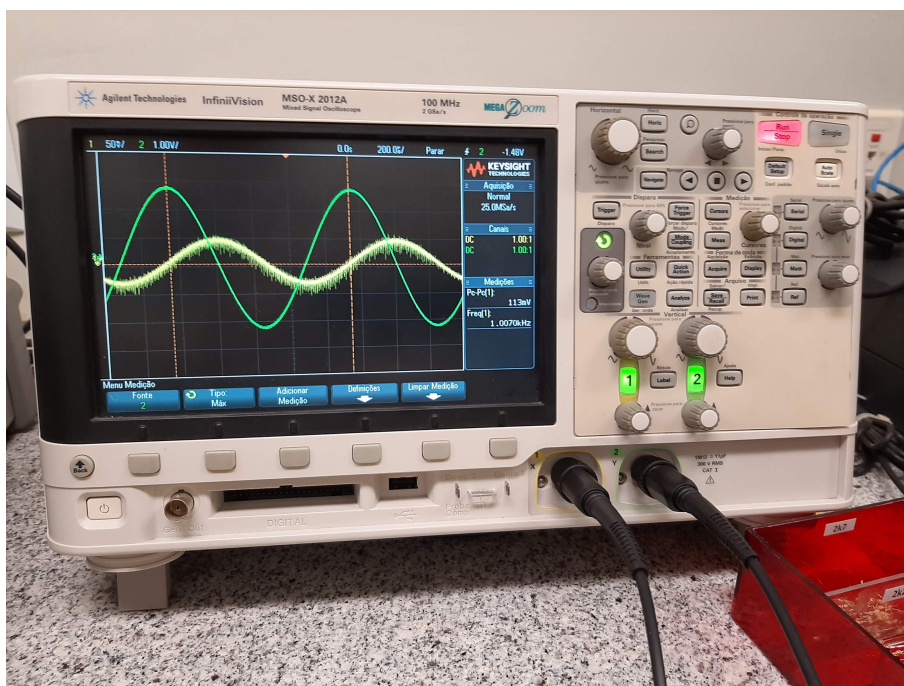
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 108 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 Hz.



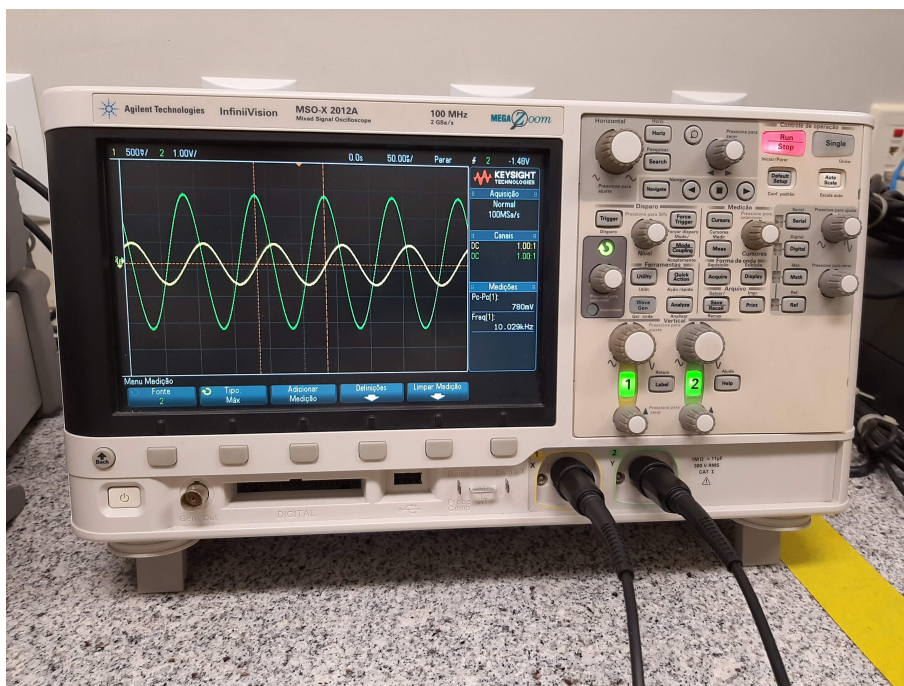
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 109 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 1 kHz.



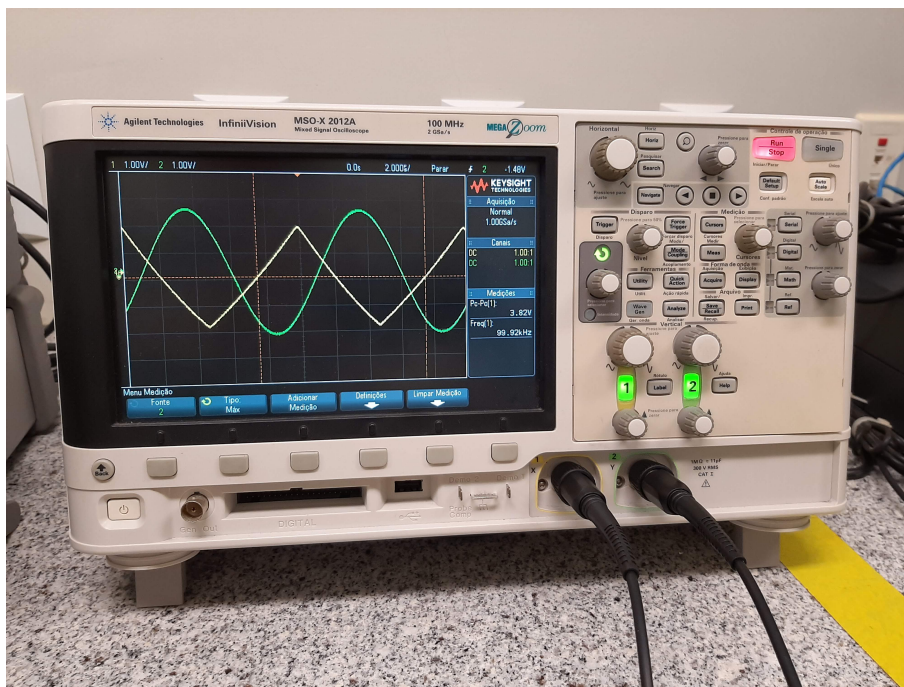
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 110 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 10 kHz.



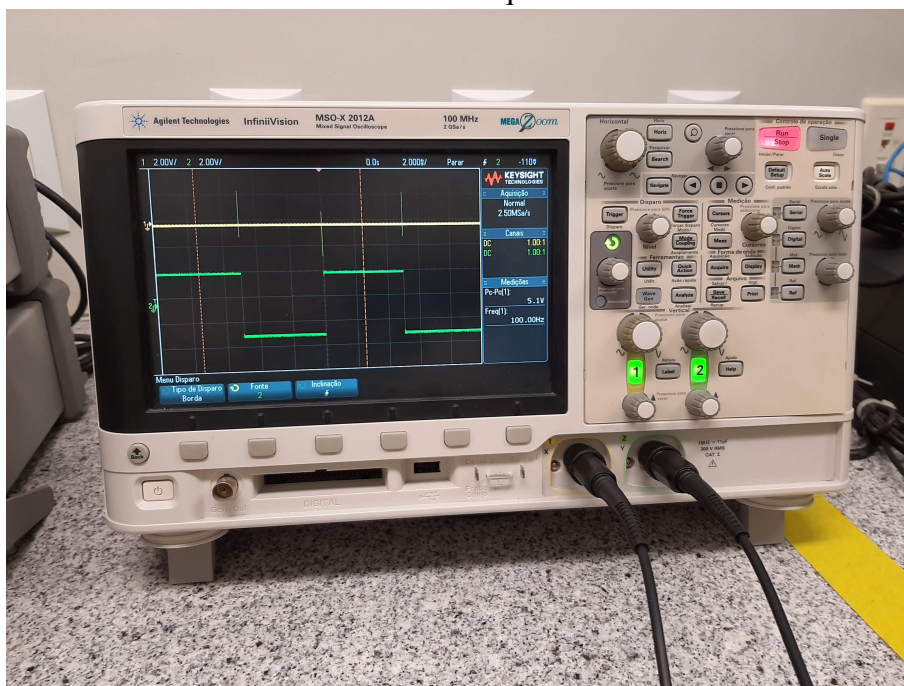
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 111 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda senoidal - 100 kHz.



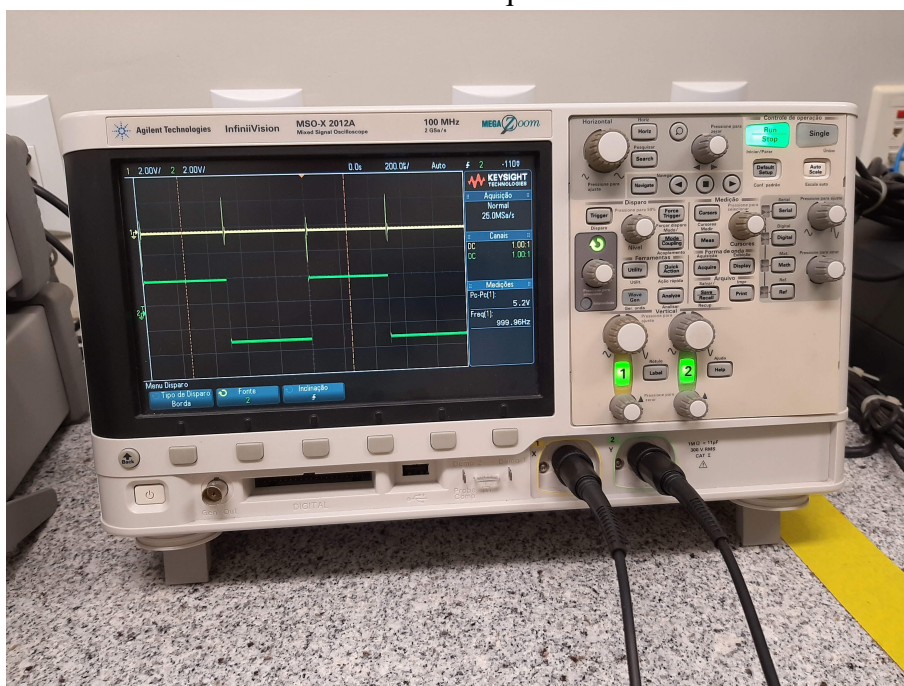
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 112 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 Hz.



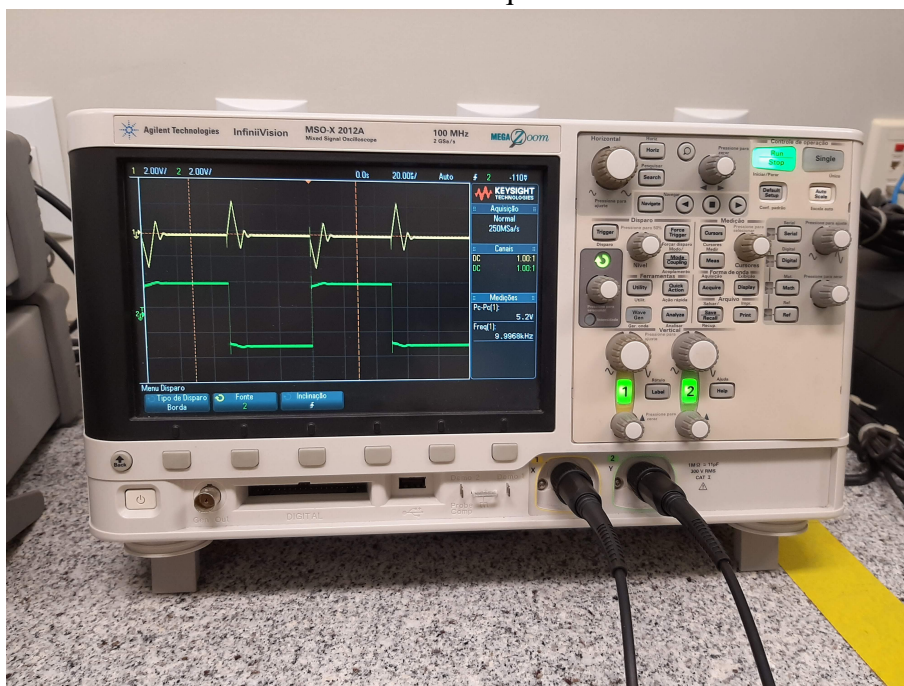
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 113 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 1 kHz.



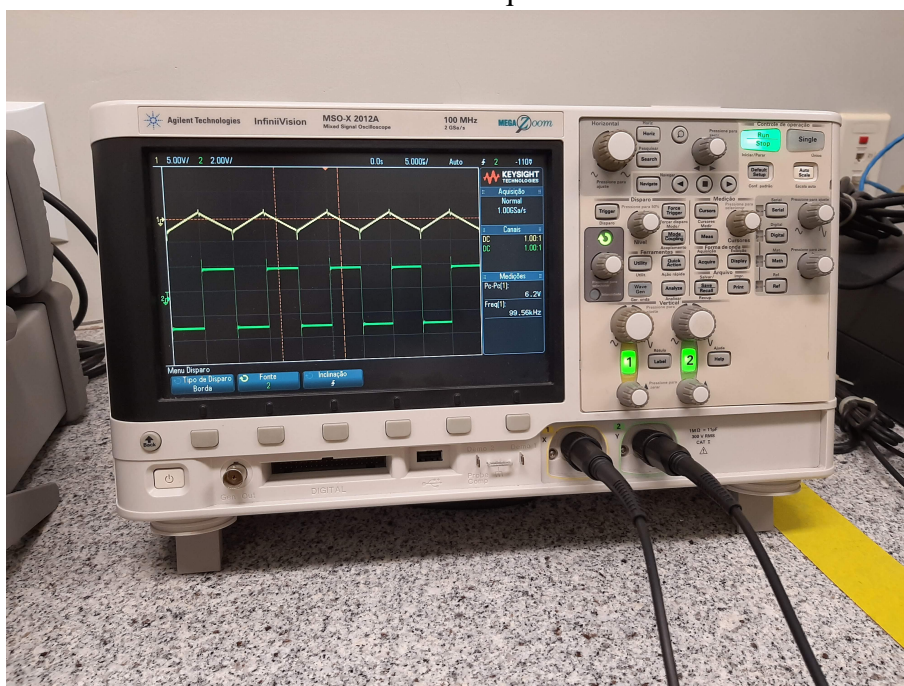
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 114 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 10 kHz.



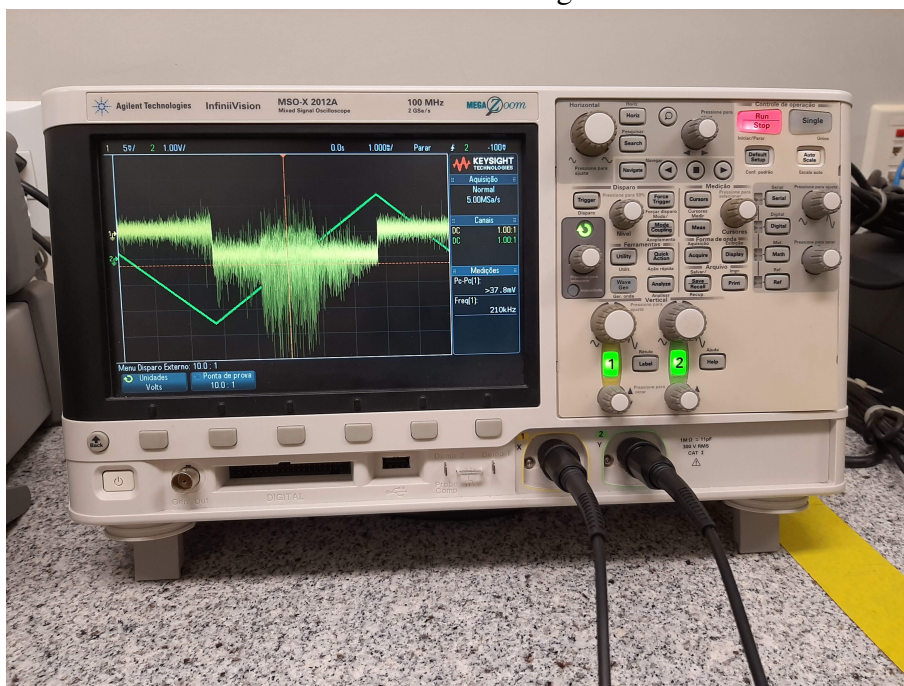
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 115 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda quadrada - 100 kHz.



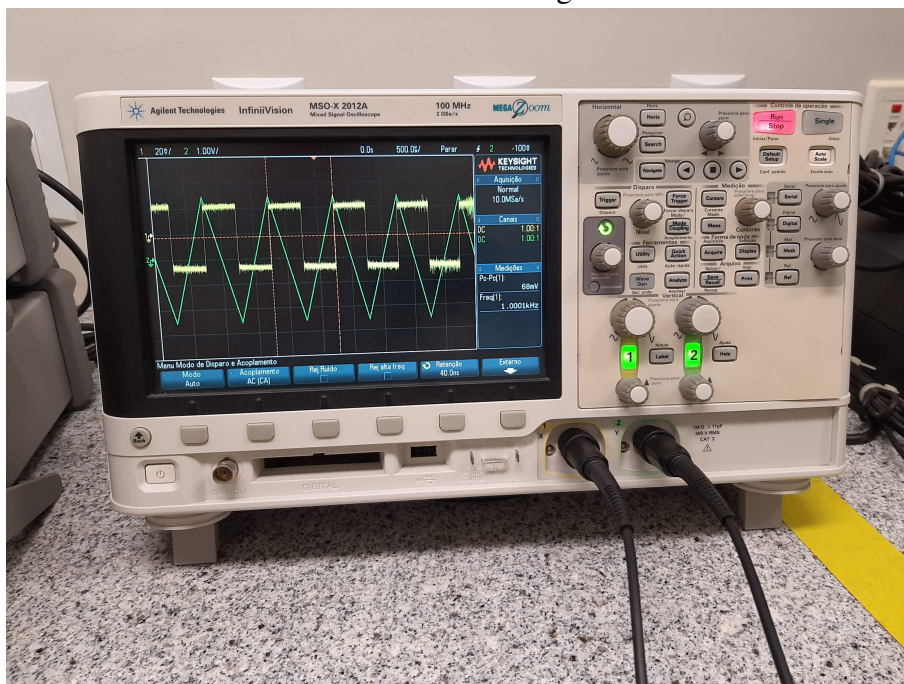
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 116 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 100 Hz.



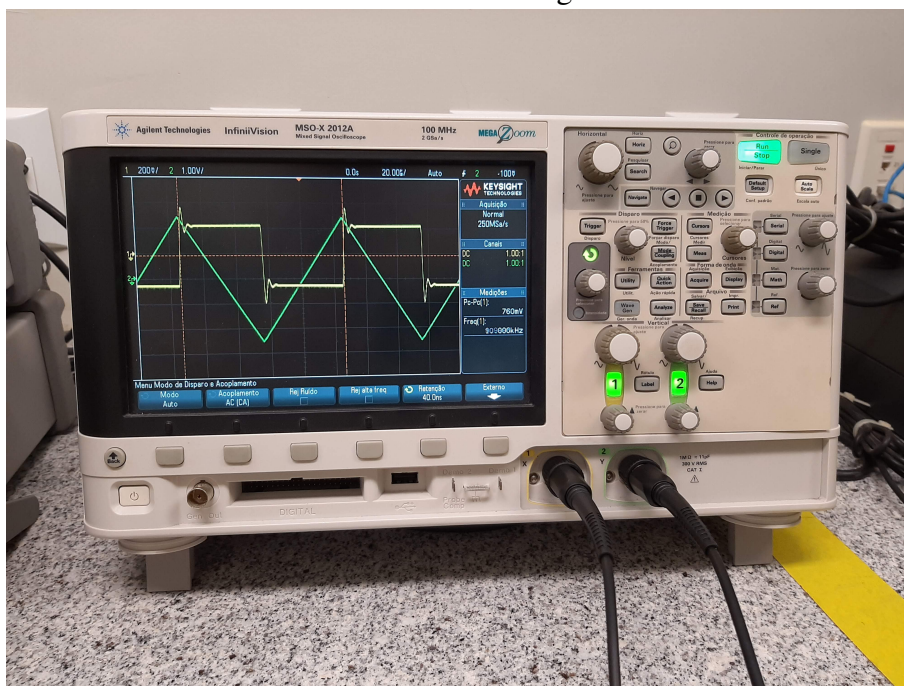
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 117 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 1 kHz.



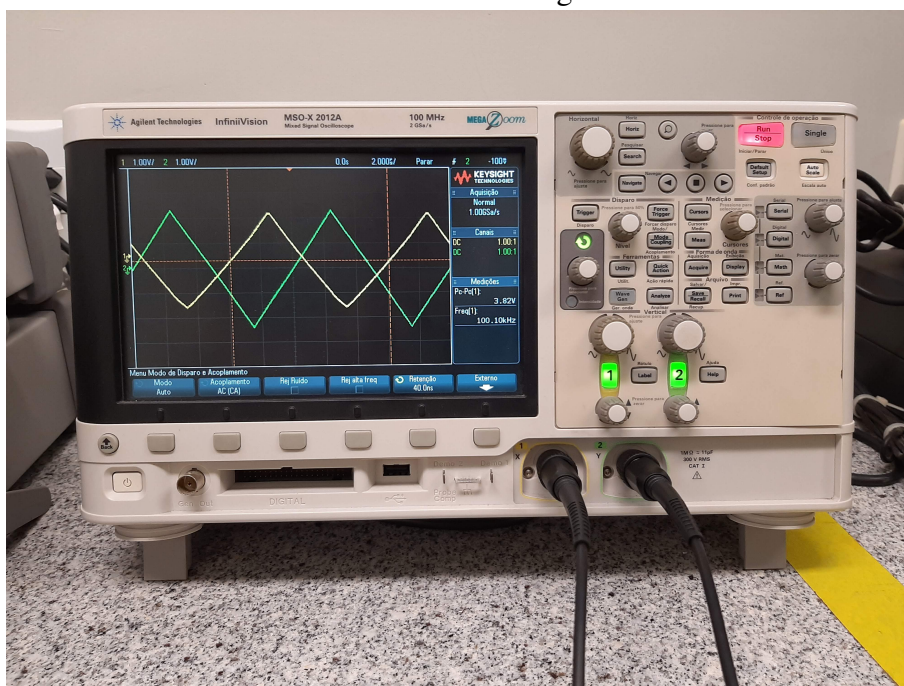
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 118 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 10 kHz.



Fonte: produzido pelo autor.

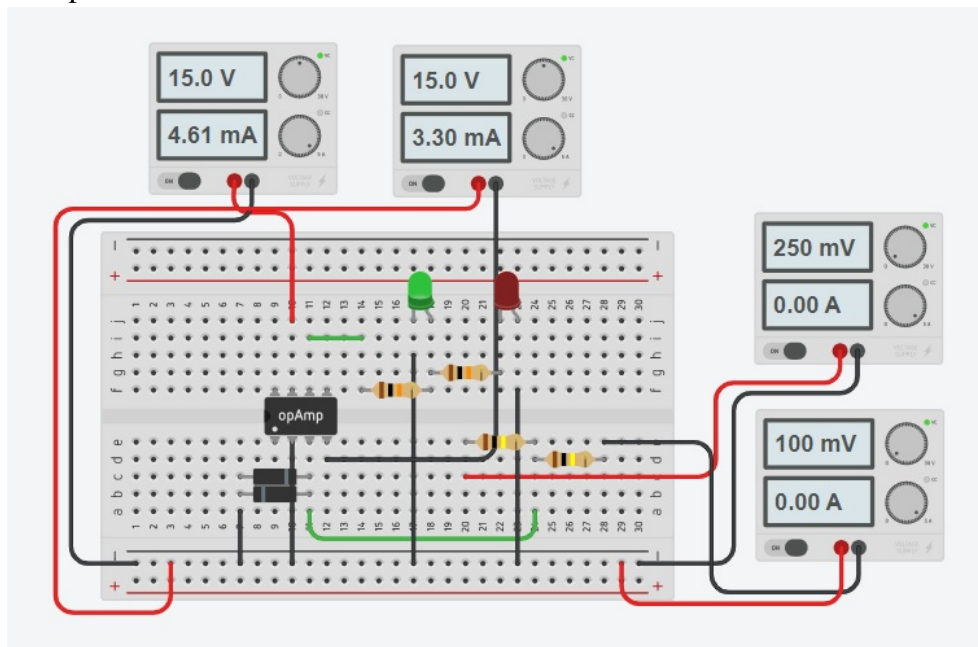
Figura 119 – Formas de onda observadas na entrada e na saída - circuito diferenciador - sinal de entrada: onda triangular - 100 kHz.



Fonte: produzido pelo autor.

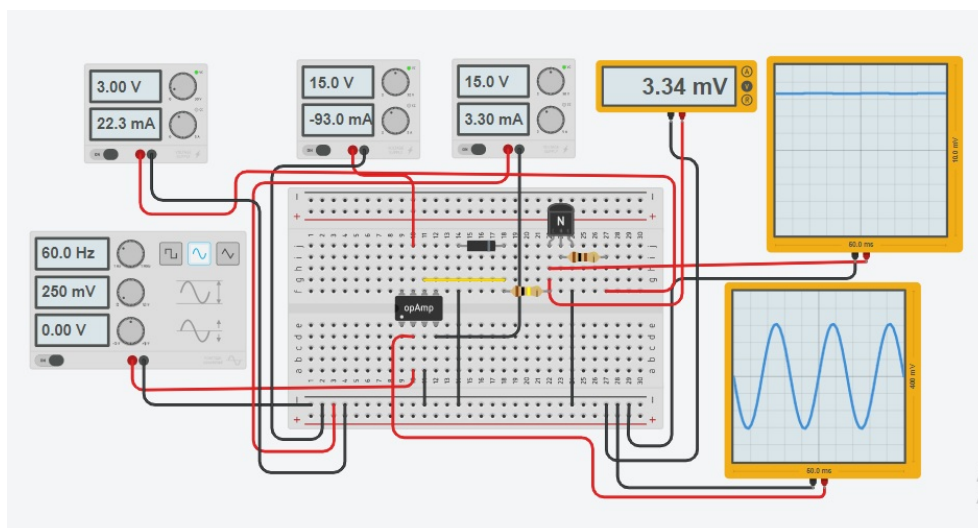
APÊNDICE I – GABARITO DO ROTEIRO 9

Figura 120 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito comparador de tensões - Pré - Laboratório.



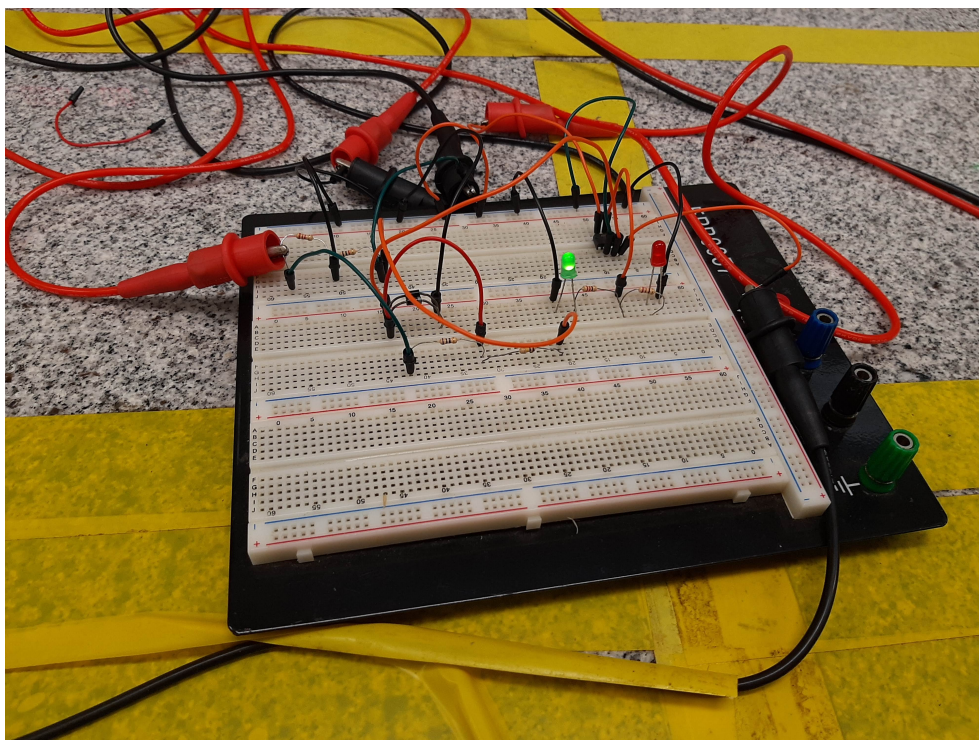
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 121 – Montagem do circuito usando o simulador Tinkercad - Circuito comparador com habilitação nível alto - Visualizando os sinais na entrada e na saída - Pré - Laboratório.



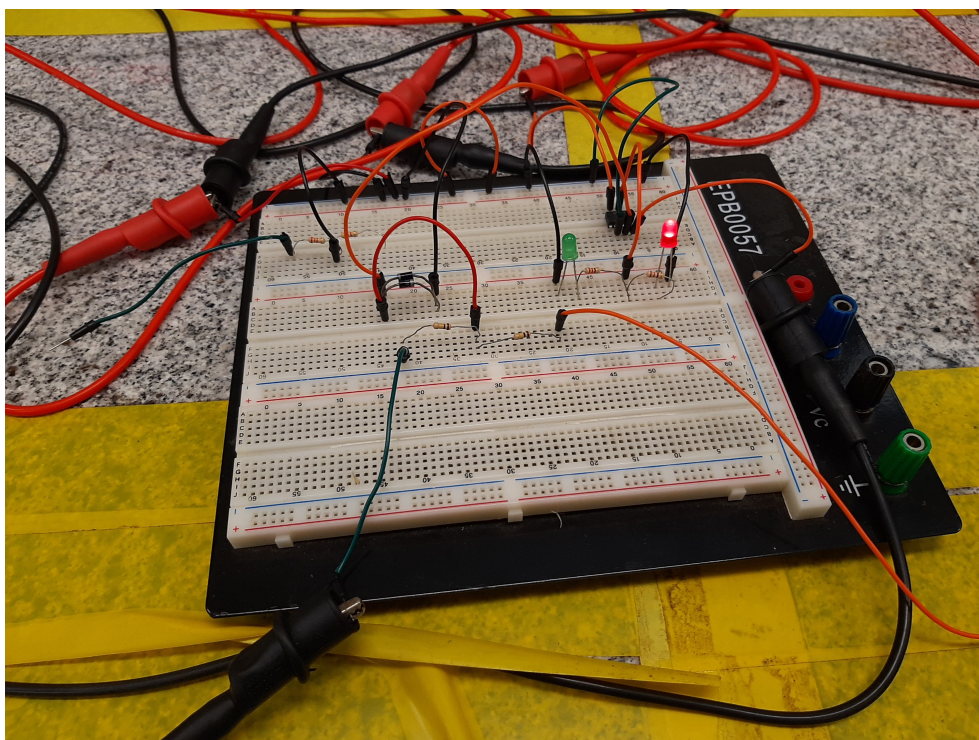
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 122 – Montagem do circuito - Circuito comparador de tensões - LED verde aceso.



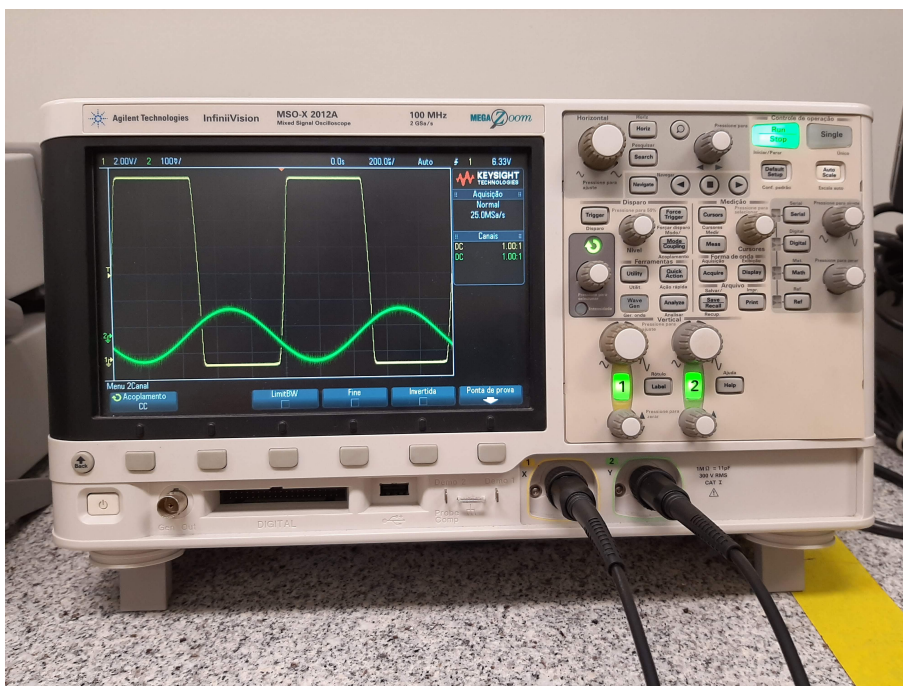
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 123 – Montagem do circuito - Circuito comparador de tensões - LED vermelho aceso.



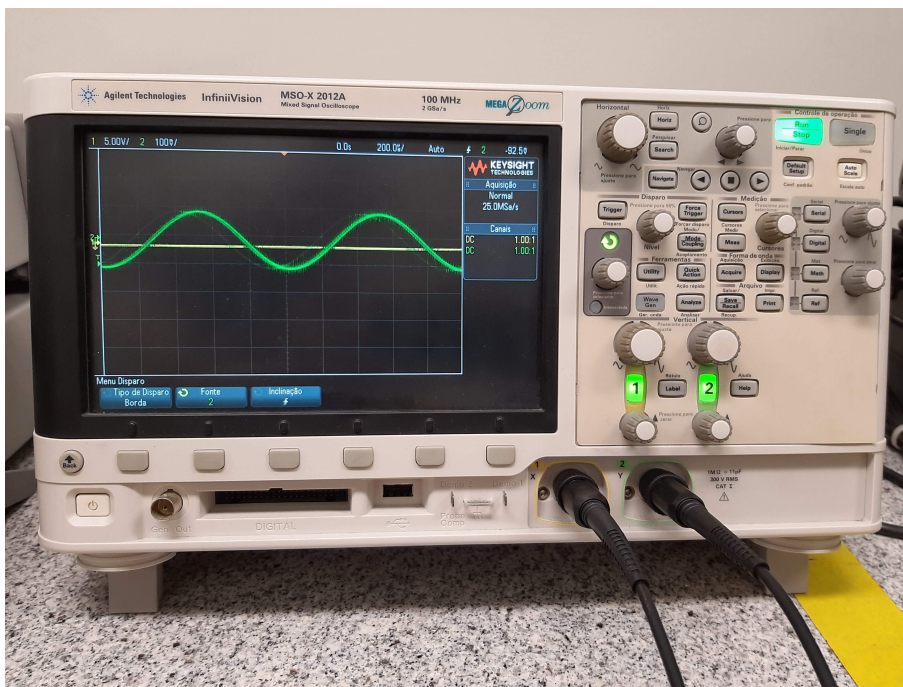
Fonte: produzido pelo autor.

Figura 124 – Circuito comparador com habilitação nível baixo - Visualizando os sinais na entrada e na saída.



Fonte: produzido pelo autor.

Figura 125 – Circuito comparador com habilitação nível alto - Visualizando os sinais na entrada e na saída.



Fonte: produzido pelo autor.

ANEXO A – EMENTA DA DISCIPLINA ELETRÔNICA BÁSICA

Ementa da disciplina Eletrônica Básica ofertada como opcional para o 8º semestre dos cursos de Licenciatura e Bacharelado no Departamento de Física da UFC.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Ano/Semestre
98/1

I - Identificação

Centro		
Ciências		
Departamento		
Física		
Disciplina	Código	Créditos/Carga Horária
Eletrônica Básica	CD216	Aulas Teóricas: 06 / 96horas Aulas Práticas: Estágio:

II – Objetivos da Disciplina

1. Desenvolver no aluno habilidades para analisar e projetar circuitos eletrônicos baseados nos componentes eletrônicos básicos, ou seja, diodo, transistor e amplificador operacional.

II – Ementa

Amplificador Operacional (Amp-Op), diodo, transistor bipolar, transistor de efeito de campo.

III - Descrição do Conteúdo

- 1. Amplificador Operacional:** Amp-Op ideal; análise de circuitos contendo Amp-Op – configuração invertida: integrador invertido, Amp-Op diferenciador, somador; configuração não invertida; Exemplos de circuitos baseados em Amp-Ops.
- 2. Diodo:** diodo ideal; características do diodo de junção; operação física do diodo; análise de circuitos com diodo; modelo de pequeno sinal e suas aplicações; diodo zener; circuitos retificadores; circuitos ceifadores; diodo emissor de luz; foto diodo; diodo varistor; diodo varactor.
- 3. Transistor de junção bipolar:** estrutura física e modos de operação; transistor npn na região ativa; transistor pnp; análise DC de circuitos com transistor; transistor como amplificador; modelo de pequeno sinal; polarização de transistores; transistor como chave (regiões de saturação e corte); modelo Ebers-Moll; inversor lógico digital usando transistor bipolar.
- 4. Transistor de efeito de campo (FET):** estrutura e operação física de um MOSFET; característica corrente-tensão de um MOSFET; MOSFET do tipo depleção; circuitos DC com MOSFET; MOSFET como amplificador; polarização de circuitos amplificadores baseados em MOSFET; inversor lógico digital usando CMOS; chave analógica usando MOSFET; transistor de efeito de campo de junção (JFET).

METODOLOGIA

1. Aulas expositivas com estimulação à participação dos alunos através de listas de exercícios em sala de aula;
2. Aulas práticas em laboratório;

AVALIAÇÃO

1. No mínimo quatro provas;
2. Avaliação das atividades do aluno em laboratório;

IV – Bibliografia

Básica

Sedra, A. S. e Smith, K. C., *Microeletronic Circuits*, Oxford Universe Press, NY-USA, 1998.

Complementar

Millman/Halkias: *Eletronic Fundamentals and Applications for Engineers and scientists*.

Millman/Halkias: *Eletrônica*, Vol. 1.

ANEXO B – DATASHEET DIODO ZENER 1N4732

Tabela 83 – Valores de tensão (em Volt) comercialmente disponíveis para diodos Zener de 0,5 e 1 Watt.

2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6
6,2	6,8	7,5	8,2	9,1	10	11	12	13
15	16	18	20	22	24	27	30	33
43	47	56	68					

Fonte: (DIAS, 2015)

Figura 126 – Datasheet Diodo Zener 1N4732.

Data sheet Zener 4.7V ZPY

ZPY1 thru ZPY200

Maximum ratings				Grenzwerte			
Type Typ	Zener voltage ²⁾ Zener-Spanng. ²⁾ $I_Z = I_{Ztest}$ V_{Zmin} [V] V_{Zmax}		Test current Meßstrom I_{Ztest} [mA]	Dyn. resistance Diff. Widerst. $I_{Ztest} / 1$ kHz r_{zj} [Ω]	Temp. Coeffiz. of Z-voltage ...der Z-spanng. α_{vZ} [$10^{-4}/^{\circ}C$]	Reverse volt. Sperrspanng. $I_R = 1 \mu A$ V_R [V]	Z-current ¹⁾ Z-Strom ¹⁾ $T_A = 50^{\circ}C$ I_{Zmax} [mA]
ZPY 1 ³⁾	0.71	0.82	100	0.5 (<1)	-26...-16	-	1000
ZPY 3.9	3.7	4.1	100	4 (<6)	-7...+2	-	317
ZPY 4.3	4.0	4.6	100	3.8 (<6)	-7...+3	-	283
ZPY 4.7	4.4	5.0	100	3 (<5)	-7...+4	-	260
ZPY 5.1	4.8	5.4	100	2 (<3)	-6...+5	-	241

Fonte: (DIAS, 2015)