



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JESNEY PIRES DE ALMEIDA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

Campina Grande, Paraíba  
Agosto de 2018

JESNEY PIRES DE ALMEIDA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Informação

Orientador:

Professor Jalberth Ferandes de Araujo, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Agosto de 2018

JESNEY PIRES DE ALMEIDA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia  
Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Informação

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Jalberth Fernandes de Araujo, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus amigos, em especial Thiago e Otávio, que contribuíram diretamente para que este estágio produzisse resultados.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por ter me concedido esta oportunidade, bem como ter-me dado as condições físicas e mentais necessárias para conclusão do mesmo.

Agradeço também aos meus pais, que me ajudaram bastante ao longo do estágio, e ao Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas, que me concedeu o espaço e os equipamentos necessários à construção do módulo.

*“A Feira de Caruaru,  
Faz gosto a gente vê.  
De tudo que há no mundo,  
Nela tem pra vendê,  
Na feira de Caruaru.”*

Luiz Gonzaga.

## RESUMO

Este relatório tem por objetivo apresentar as atividades, métodos e soluções utilizadas durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC), no período de 28 de Junho de 2018 a 30 de Julho de 2018 sob orientação do Professor Jalberth Fernandes com carga horária de 40h semanais. O estágio consistiu da realização de um módulo didático que sintetizasse os experimentos realizados na disciplina Laboratório de Dispositivos Eletrônicos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), incluindo a implementação de um circuito gerador de curva automático, o qual apresenta em sua saída sinais equivalentes a tensão e corrente no dispositivo semiconductor escolhido, o Transistor Bipolar de Junção, gerando sua curva característica.

**Palavras-chave:** Estágio, LIMC, módulo, dispositivos eletrônicos, curva característica.

## ABSTRACT

This paper has the purpose of presenting the activities, methods and solutions used during the intern job at the Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC), by June 28, 2018 up to July 30, 2018, under Professor Jalberth Fernandes leading, with 40 hours workload. The intern labor was the making of a module which did the synthesis of the experiments done at the Dispositivos Eletrônicos class of the Electrical Engineering course at Federal University of Campina Grande (FUCG), including the implementation of an automatic curve generator circuit, which presents signals on its outputs similar to the voltage and current at the semiconductor device, the Bipolar Junction Transistor, creating its characteristic curves.

**Keywords:** intern job, LIMC, module, automatic curve generator.



# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Sumário.....	ix
1 Introdução.....	10
2 Apresentação do Laboratório.....	10
3 Objetivo do Estágio.....	11
3.1 Objetivo Geral.....	11
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4 Revisão Bibliográfica.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1 Microcontrolador.....	17
4.2 DAC08.....	18
4.3 Amplificador Operacional.....	19
4.4 Diagrama dos circuitos desenvolvidos.....	21
5 Resultados.....	23
6 Conclusão.....	28
Bibliografia.....	29
Anexo: Código utilizado para programação do microcontrolador.....	30

# 1 INTRODUÇÃO

Este relatório descreve as atividades realizadas durante o estágio realizado no Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC) no qual foi desenvolvido um módulo para o Laboratório de Dispositivos Eletrônicos.

No curso de Engenharia Elétrica da UFCG, a disciplina Laboratório de Dispositivos Eletrônicos é có-requisito da disciplina Dispositivos Eletrônicos. A disciplina de laboratório consiste em práticas experimentais relacionadas ao conteúdo abordado na sala de aula. Estas práticas consistem da montagem de circuitos experimentais nos quais são realizadas medições, apresentando os dispositivos semicondutores diodo, transistor bipolar de junção e transistor de efeito de campo metal-óxido (MOSFET). Assim, visando possuir um modelo didático para exibição dos procedimentos utilizados para montagens e medições, foi desenvolvido um módulo didático contendo todas as práticas a serem realizadas.

Foi ainda desenvolvido em conjunto um circuito gerador de curva automático, o qual tem por finalidade levantar a curva característica do dispositivo semicondutor utilizado no experimento, que para este caso foi escolhido o transistor bipolar de junção.

## 2 APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA: LABORATÓRIO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

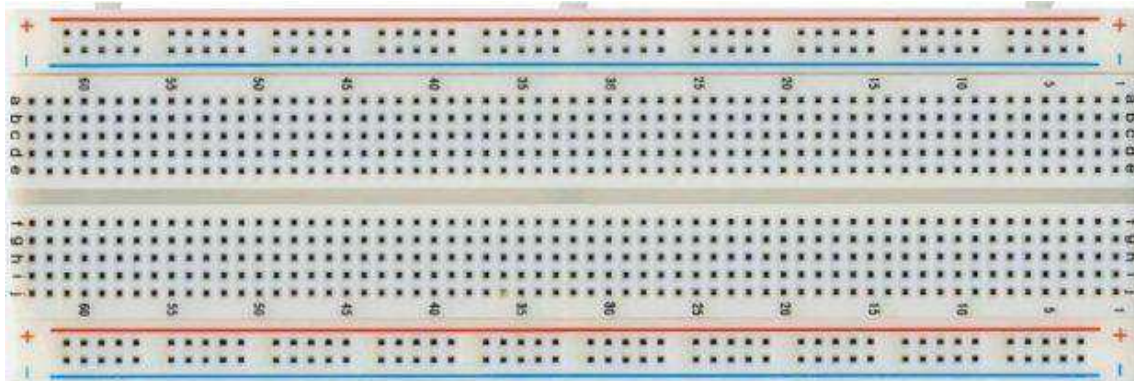
A disciplina Laboratório de Dispositivos Eletrônicos trata de experimentos realizados tendo como base os dispositivos semicondutores (diodo, transistor bipolar de junção e transistor de efeito de campo). Esta, é co-requisito da disciplina que carrega consigo o nome do laboratório, a qual trata dos assuntos teóricos acerca dos dispositivos apresentados. Os alunos utilizam guias didáticos previamente preparados pelo professor, contendo as informações necessárias para montagem dos experimentos e medição das grandezas desejadas. Os guias dividem-se conforme os dispositivos semicondutores:

- Guia 01: Diodo;

- Guia 02: Transistor Bipolar de Junção (TBJ);
- Guia 03: MOSFET.

Para a montagem dos circuitos experimentais são utilizadas matrizes de contato, como a ilustrada na Figura 1. Este tipo de montagem requer tempo e cuidado, pois os componentes do circuito devem ser devidamente posicionados a fim de evitar o contato indesejado entre partes condutivas.

Figura 1: Exemplo de Matriz de Contato.<sup>1</sup>



Um dos objetivos do módulo didático se mostra na redução do tempo necessário para exibir aos alunos a montagem a ser realizada: em posse do módulo, o professor pode ilustrar para seus alunos os circuitos que serão montados, apresentando os componentes e o posicionamento destes no circuito. Como o módulo possui todos os experimentos, é possível exibi-los em curta duração de tempo, facilitando para os alunos o prévio conhecimento dos procedimentos para montagem dos experimentos.

### 3 OBJETIVO DO ESTÁGIO

O estágio é uma das exigências para conclusão do curso de Engenharia Elétrica da UFCG, podendo encaixar-se nas modalidades supervisionado e integrado. Este estágio supervisionado foi realizado com o intuito de cumprir as exigências de carga horária para a conclusão do curso.

<sup>1</sup> Fonte: <https://i1.wp.com/porta.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2018/03/protoboard-830-pontos.jpg>. Acesso em 30 de julho de 2018.

### 3.1 OBJETIVO GERAL

- Desenvolver um módulo didático para exibição no Laboratório de Dispositivos Eletrônicos

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fabricar uma placa de circuito impresso em modelo didático contendo os experimentos sugeridos no guia 02 (TBJ);
- Desenvolver um circuito gerador de curva automática para o TBJ.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os módulos didáticos são equipamentos que apresentam soluções simplificadas para trazer ao aluno situações elaboradas parecidas com situações reais (DALBEN, 2006). Os módulos facilitam a conexão entre o aluno com a situação problema, bem como a exibição daquilo que se deseja realizar: os módulos reduzem o grau de complexidade de montagens e experimentos (LAMEU, 2014).

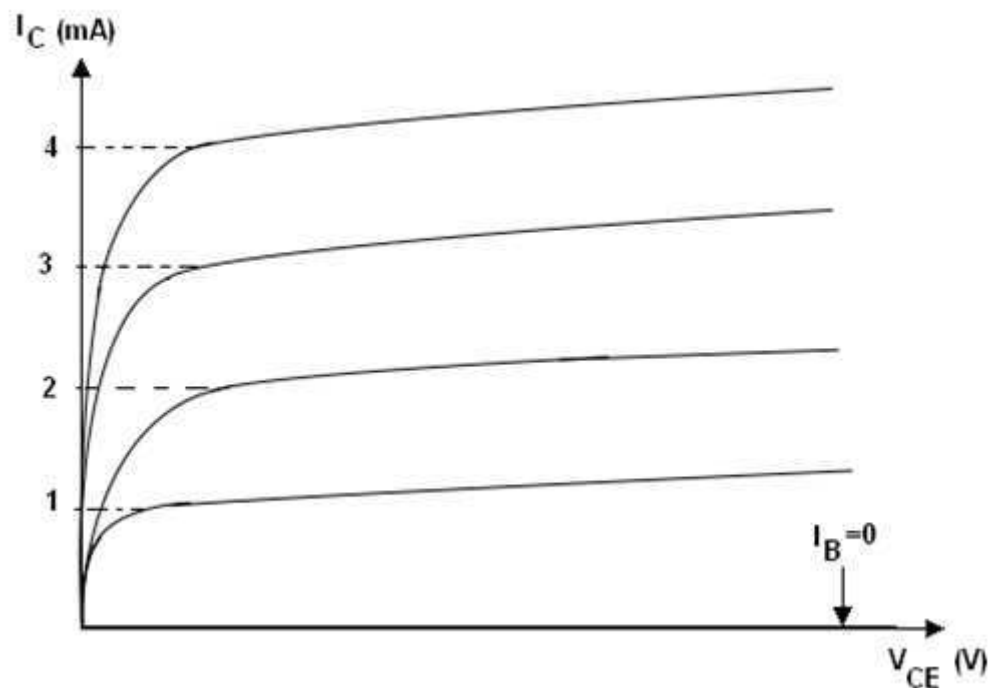
Neste caso, o módulo desenvolvido deverá permitir ao professor apresentar os circuitos elétricos a serem montados pelos alunos. Conforme mencionado, o módulo deverá conter circuitos elétricos cuja montagem foi determinada pelo guia produzido para a disciplina Laboratório de Dispositivos Eletrônicos, a qual trata de circuitos experimentais utilizando o TBJ como componente principal.

### 4.1 EXPERIMENTOS COM TBJ

O TBJ é um componente que pode ser modelado como uma fonte de corrente controlada por tensão. Isto implica que a corrente circulante sobre o mesmo é proporcional a tensão ao qual é submetido (RAZAVI, 2010). Também é tido que a corrente circulante entre os terminais coletor e emissor é diretamente proporcional a

corrente entre base e emissor, o que confere ao transistor a característica de amplificador (SEDRA, 2013). Assim, para cada valor de corrente de base, tem-se um valor proporcional de corrente de coletor e conseqüentemente uma curva diferente de tensão de coletor x corrente de coletor. O gráfico que relaciona a tensão entre os terminais coletor e emissor do transistor a corrente de coletor circulante é chamada de curva característica do transistor (BOYLESTAD, 2013). Alguns exemplos de curva característica podem ser visualizados na Figura 2.

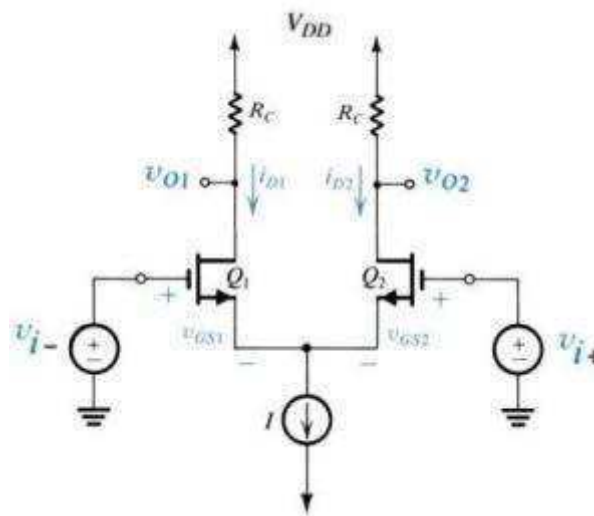
Figura 2: Exemplos de curvas características do TBJ.<sup>2</sup>



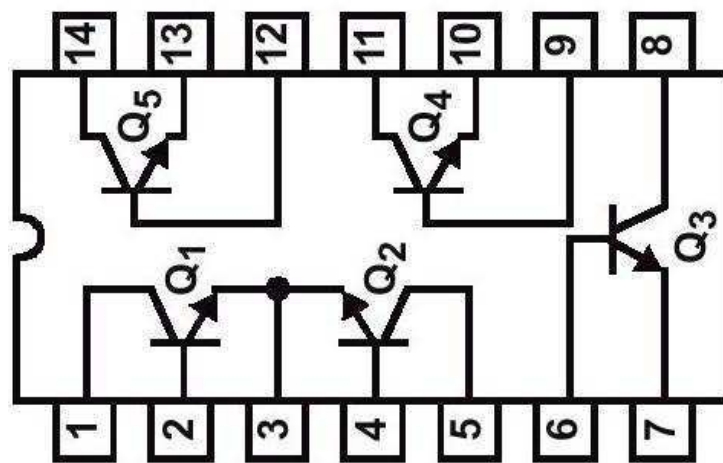
Na maioria das aplicações o TBJ é utilizado como amplificador ou como chave. Não obstante, os experimentos relacionados ao TBJ no guia do laboratório utilizam o componente para estes fins. Para execução dos experimentos é utilizado o componente BC548, o qual consiste de um encapsulamento de um TBJ genérico (FAIRCHILD, 2014).

O par diferencial é uma topologia que inclui dois TBJ organizados de forma a constituir um amplificador por diferença de tensões (RAZAVI, 2010). Seu diagrama pode ser visualizado na Figura 3.

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.eletronica24h.net.br/images/CursoEN1aula10Figura16.png>. Adaptado. Acesso em 31 de julho de 2018.

Figura 3: Diagrama do circuito par diferencial.<sup>3</sup>

Para construção de circuitos envolvendo o par diferencial, recomenda-se a utilização de circuitos integrados dedicados, como o CA3046. Seu bloco representativo pode ser visualizado na Figura 4. Este circuito integrado disponibiliza cinco transistores dispostos de forma a possibilitar a construção de um par diferencial.

Figura 4: Representação do Circuito Integrado CA3046.<sup>4</sup>

Os circuitos do guia de laboratório e o plano de trabalho para integração destes ao módulo encontra-se disponível no Anexo B.

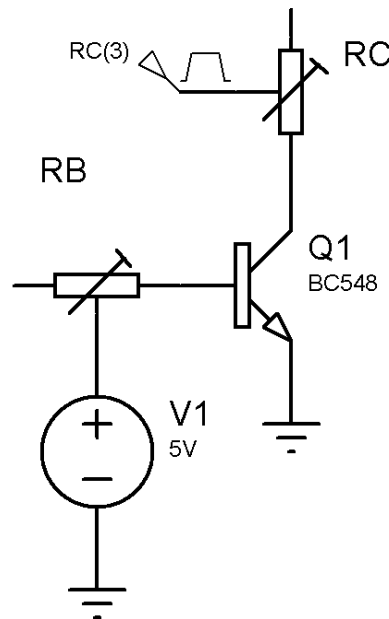
<sup>3</sup> Fonte: [http://cadeiras.iscte.pt/cse/Folhas/AMPOPs/AMPOPs\\_files/image115.jpg](http://cadeiras.iscte.pt/cse/Folhas/AMPOPs/AMPOPs_files/image115.jpg). Acesso em 31 de julho de 2018.

<sup>4</sup> Fonte: <http://www.newteck-ci.com.br/fotos/20150427035940.jpg>. Acesso em 31 de julho de 2018.

## 4.2 CIRCUITOS DEDICADOS UTILIZADOS PARA CONSTITUIR O GERADOR DE CURVA AUTOMÁTICO

O gerador de curva automático foi desenvolvido tomando como base o circuito apresentado na Figura 5.

Figura 5: Circuito base para o gerador de curva automático. (Autoria Própria).



Com o intuito de automatizar a geração da curva, a tensão de alimentação [RC(3)] foi variada de forma linear, a fim de realizar a varredura da tensão no coletor do transistor. Assim, o sinal escolhido para realizar esta função foi o dente-de-serra. Os potenciômetros RB e RC realizam a função de gerar quedas de tensão diferentes para as resistências e, com isto, variar a corrente que circula por todo o circuito, alterando a forma de onda de saída. Os sinais que precisam ser colhidos para aquisição da curva consistem na tensão de coletor do transistor e na corrente de coletor deste.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam resultados de simulação para o circuito. Na Figura 8 é possível visualizar o sinal dente-de-serra utilizado para varredura, na Figura 9 o sinal de tensão de coletor correspondente e na Figura 10 o sinal da corrente de coletor.

Figura 6: Sinal de varredura dente-de-serra. (Autoria Própria).

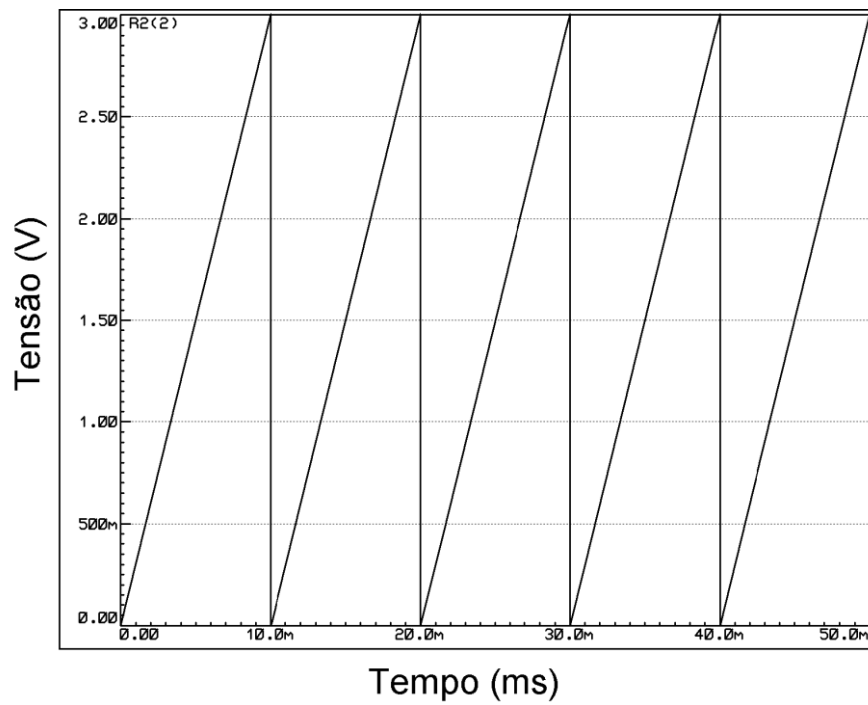


Figura 7: Sinal da tensão no coletor do transistor. (Autoria Própria).

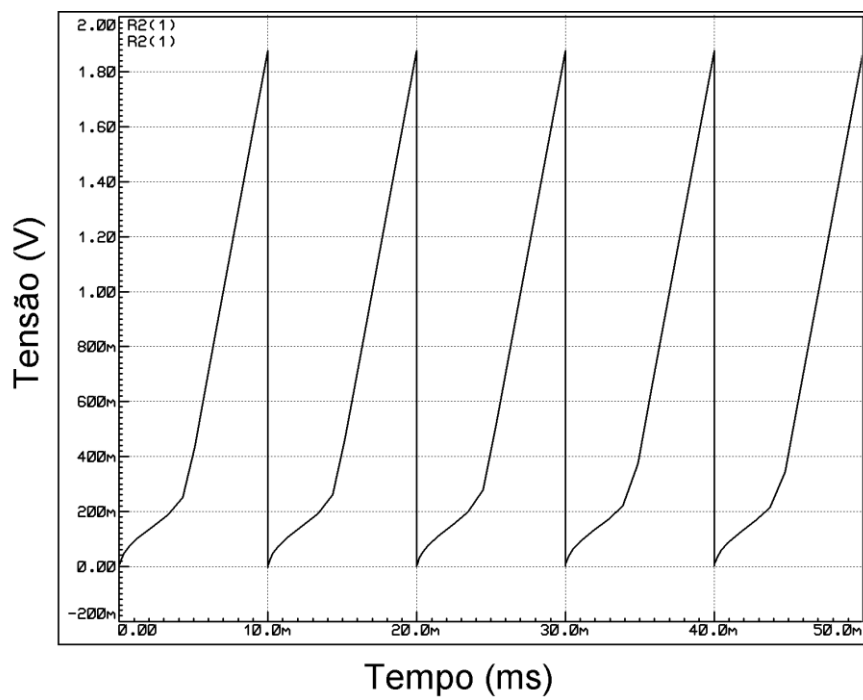
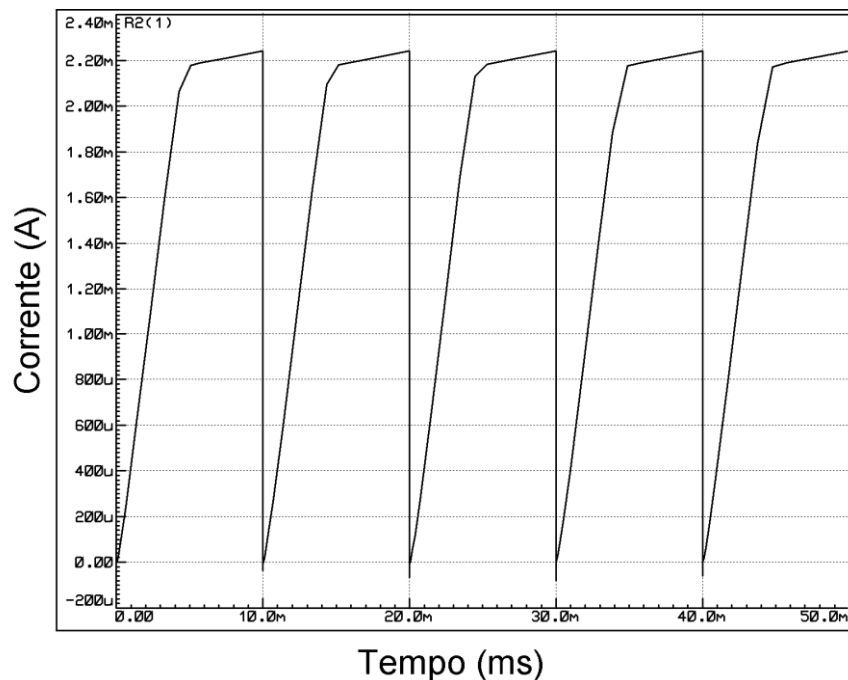




Figura 8: Sinal de corrente no coletor do transistor. (Autoria Própria).



Uma vez que se tenham os sinais de tensão em função do tempo e corrente em função do tempo, é possível visualizar no osciloscópio um sinal de corrente em função da tensão.

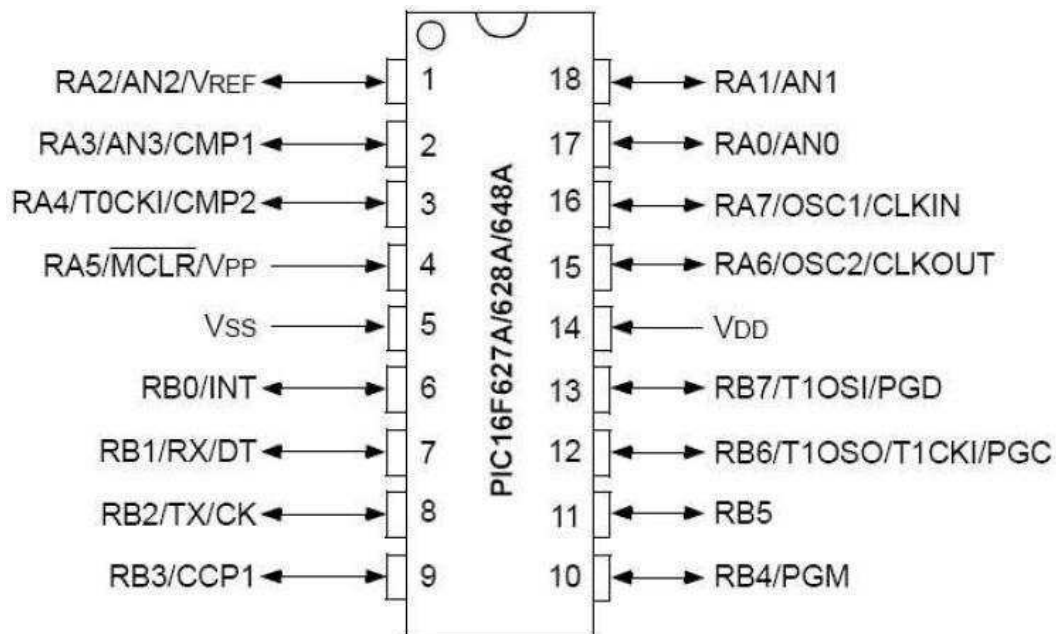
Para gerar o sinal dente-de-serra foi utilizado um conversor digital para analógico cuja entrada estava conectada a um contador de 8 bits. Circuitos amplificadores foram utilizados para garantir corrente suficiente para alimentação do transistor, bem como para aquisição do sinal de corrente sobre o coletor. A seguir serão apresentados os componentes utilizados para produção do sinal dente-de-serra e aquisição dos sinais de tensão e corrente no transistor.

#### 4.2.1 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é um sistema computacional que abriga um microprocessador e registradores que armazenam os resultados de processamento, utilizado para controlar sistemas de forma digital programável (WILMSHURST, 2007). Tem ganhado bastante espaço na eletrônica digital, sendo o coração de diversos aparelhos eletrônicos devido ao baixo custo e benefícios que traz em sua arquitetura (BATES, 2012). Dentre os microcontroladores existentes no mercado, será tratado a respeito do PIC16F628a, do fabricante Microchip®, pois este microcontrolador encontrava-se disponível no

laboratório. Uma ilustração dos terminais do PIC utilizado neste trabalho pode ser visualizado em bloco na Figura 9.

Figura 9: Representação do PIC16F628a.<sup>5</sup>



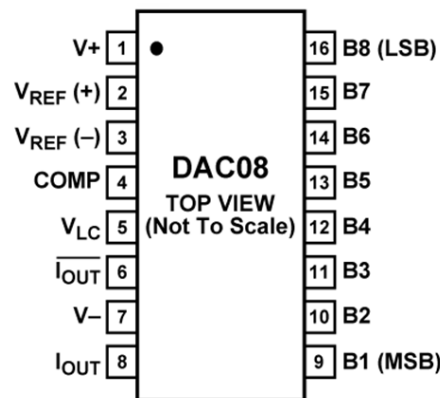
Devido a acessibilidade do laboratório quanto a implementação deste circuito, e aos poucos componentes requeridos para seu correto funcionamento, o microcontrolador PIC16F628a foi utilizado para cumprir a função de contador binário do circuito: a lógica utilizada é de que a cada estouro do contador de tempo do microcontrolador, haja um incremento unitário no registrador PORTB do PIC (terminais 6 ao 13). Ao atingir o valor hexadecimal FF, ocorre o estouro do registrador, que volta a apresentar o valor hexadecimal 00 na saída.

#### 4.2.2 DAC08

O DAC08 consiste de um conversor digital para analógico (D/A), o qual apresenta em sua saída um nível de tensão proporcional ao valor binário de 8 bits colocado em sua entrada (ANALOG DEVICES, 2016). Sua representação pode ser visualizada na Figura 10.

<sup>5</sup> Fonte: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044E.pdf>. Acesso em 31 de julho de 2018.

Figura 10: Representação do circuito integrado DAC08.6



Sua saída pode ser determinada por (DIAGO e AMARAL, 2011):

$$V_{DA} = -\frac{n}{256}(V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \quad (1)$$

Na qual  $V_{DA}$  representa a tensão de saída [V],  $V_{REF(+)}$  representa o nível de tensão máximo [V],  $V_{REF(-)}$  representa o nível de tensão mínimo [V] e  $n$  representa um valor adimensional decimal equivalente ao número binário colocado na entrada do circuito. Observa-se da equação (1) a linearidade da tensão de saída conforme o número  $n$  apresentado. Assim, associando este circuito a um contador linear, tem-se que o nível de tensão da saída incrementará linearmente com taxa de crescimento constante, representando assim um sinal dente-de-serra, que será utilizado para varredura da tensão no transistor.

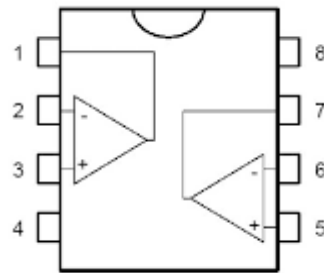
A saída deste circuito integrado normalmente é invertida e de baixa corrente. Portanto, faz-se necessário a manipulação do sinal resultante para ser capaz de alimentar o transistor corretamente.

#### 4.2.3 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Neste projeto foi utilizado um amplificador para compor um circuito que pudesse inverter o sinal gerado pelo conversor digital/analógico, bem como para adquirir e apresentar na saída a queda de tensão sobre o resistor de coletor do transistor presente no circuito gerador de curva automático. Para isso, foi utilizado o circuito integrado TL082, cuja representação encontra-se visível na Figura 11.

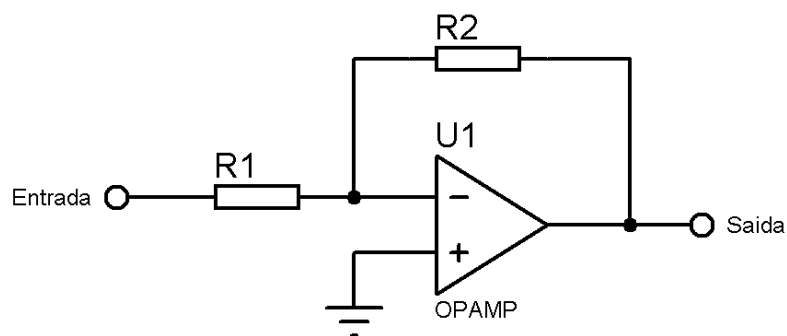
<sup>6</sup> Retirado do datasheet do fabricante.

Figura 11: Representação do circuito integrado TL082.<sup>7</sup>



O Circuito da Figura 12 apresenta uma topologia na qual a saída do circuito equivale ao sinal de entrada amplificado e invertido.

Figura 12: Circuito Amplificador Inversor.<sup>8</sup>



Este circuito é necessário para inverter o sinal gerado pelo conversor D/A, bem como para fornecer corrente suficiente para o dispositivo semiconductor.

O nível de tensão da saída,  $V_o$  [V], é determinado por (SEDRA, 2013, RAZAVI, 2010):

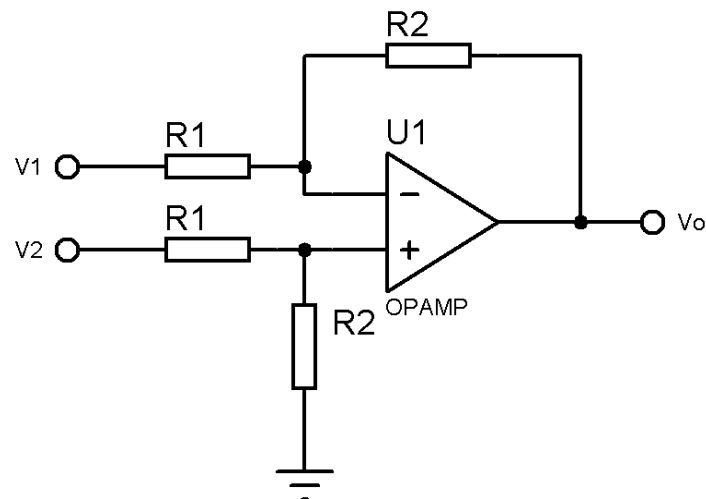
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \quad (2)$$

No qual  $V_i$  representa a tensão na entrada [V].

Na Figura 13 observa-se uma topologia que emprega o amplificador operacional com o intuito de receber dois níveis de tensão e apresentar na saída um nível de tensão correspondente a diferença subtrativa entre os níveis da entrada.

<sup>7</sup> Fonte: <http://datasheetcafe.databank.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2016/10/TL082-datasheet-pinout.gif> . Acesso em: 27 de julho de 2018.

<sup>8</sup> Fonte: BEHZAD, Razavi. **Fundamentos de Microeletrônica**. 2010. (Adaptado).

Figura 13: Topologia amplificador subtrator.<sup>9</sup>

Esta topologia é empregada com o intuito de se verificar a queda de tensão no resistor de coletor do transistor bipolar de junção. Considerando que a mesma é proporcional a corrente circulante sobre o mesmo, estima-se que o sinal obtido pela topologia resultará num sinal equivalente a corrente de coletor do transistor. A tensão de saída é determinada por (BOYLESTAD, 2013):

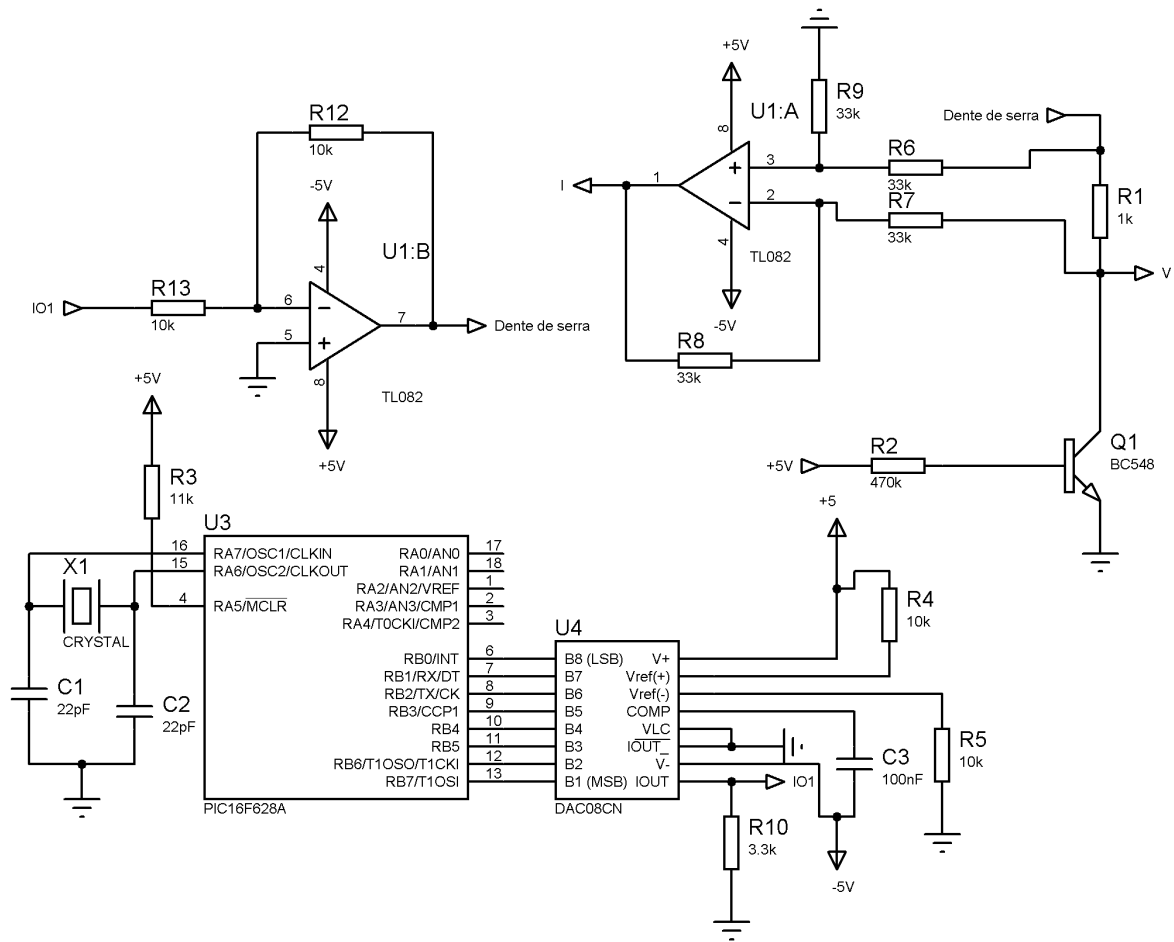
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (3)$$

#### 4.2.4 DIAGRAMA DO CIRCUITO GERADOR DE CURVA AUTOMÁTICO

Na Figura 14 pode ser visualizado o circuito que foi desenvolvido para o gerador de curva automático.

<sup>9</sup> Fonte: BEHZAD, Razavi. **Fundamentos de Microeletrônica**. 2010. (Adaptado).

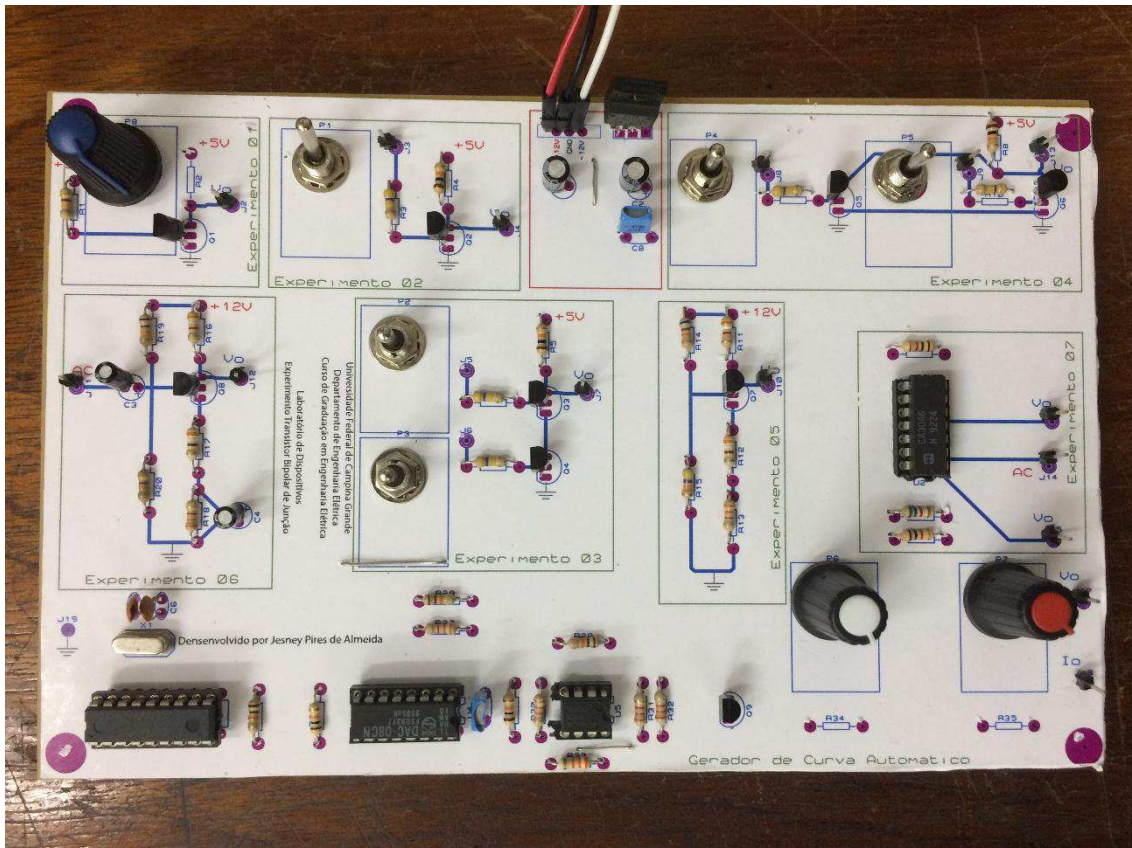
Figura 14: Diagrama do circuito desenvolvido para o gerador de curva automático. (Autoria própria).



## 5 RESULTADOS

O módulo didático fabricado pode ser visualizado na Figura 15. Os experimentos estão separados por desenhos retangulares que indicam a correspondência do experimento. Os circuitos que o envolvem estão disponíveis no Anexo B deste relatório.

Figura 15: Módulo didático desenvolvido. (Autoria própria).



As chaves utilizadas objetivam fornecer um caminho mais fácil para que o professor possa atribuir ao circuito 0 ou +5 V, conforme seja solicitado ao decorrer do experimento. O módulo possui terminais aos quais é possível atribuir sinais externos ou verificar os sinais resultantes. O gerador de curva automático dispõe de dois potenciômetros que permitem variar a queda de tensão na resistência de coletor, bem como variar a corrente de base do transistor, alterando a curva característica. Este, apresenta ainda dois terminais com o intuito de se verificar os sinais de tensão e corrente resultantes em um osciloscópio. As Figuras 16 e 18 apresentam os sinais de tensão e corrente para posições aleatórias escolhidas no potenciômetro correspondente a R1 da Figura 14, deixando-se o potenciômetro correspondente a R2 fixo, enquanto que a Figura

20 apresenta os sinais de tensão e corrente para uma posição fixa do potenciômetro de coletor, variando-se o de base. As curvas características para os três casos foram obtidas utilizando-se a função XY do osciloscópio, a qual permite formar um sinal resultante da atribuição de um sinal (neste caso, tensão) em função de outro (neste caso, corrente), e encontram-se respectivamente nas Figuras 17, 19 e 21. Deve-se salientar que o osciloscópio disponível para as medições não permitia salvar a imagem, portanto foram realizadas fotografias da tela do mesmo.

Figura 16: Sinais de tensão (superior/amarelo) e corrente (inferior/azul) para o primeiro caso. (Autoria própria).

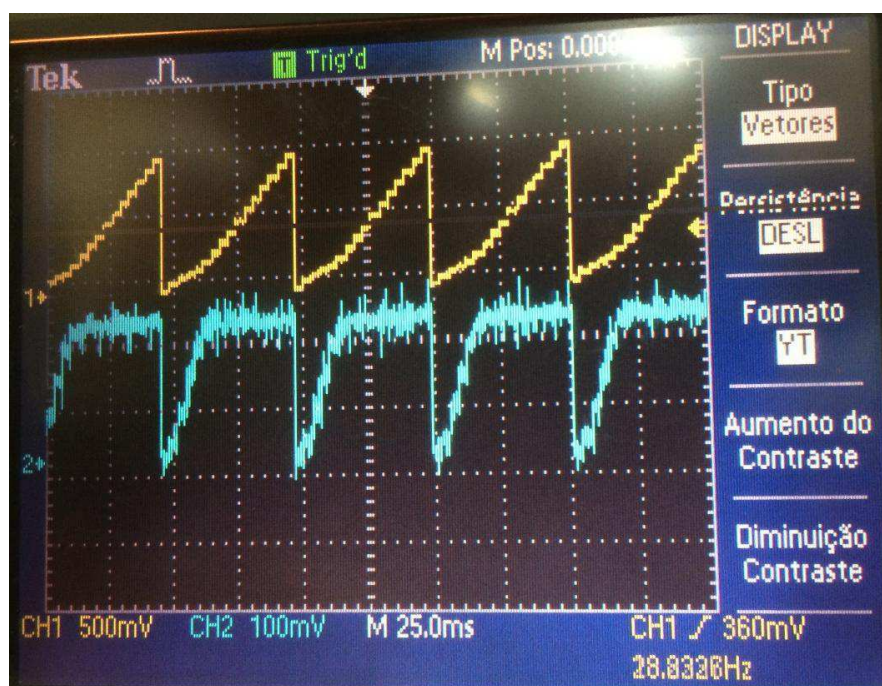


Figura 17: Curva característica equivalente para o primeiro caso. (Autoria própria).

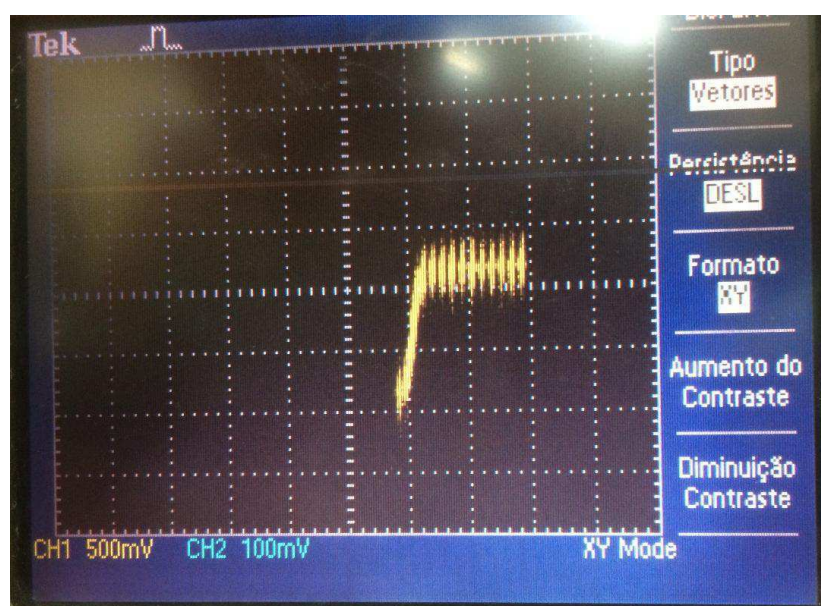




Figura 18: Sinais de tensão (superior/amarelo) e corrente (inferior/azul) para o segundo caso. (Autoria própria).

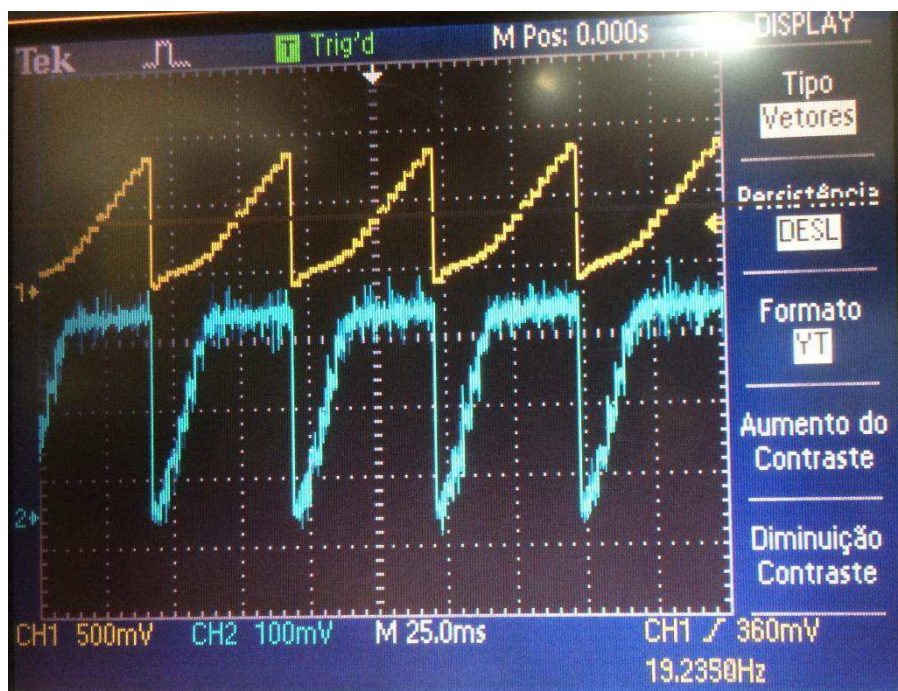


Figura 19: Curva característica equivalente para o segundo caso. (Autoria própria).

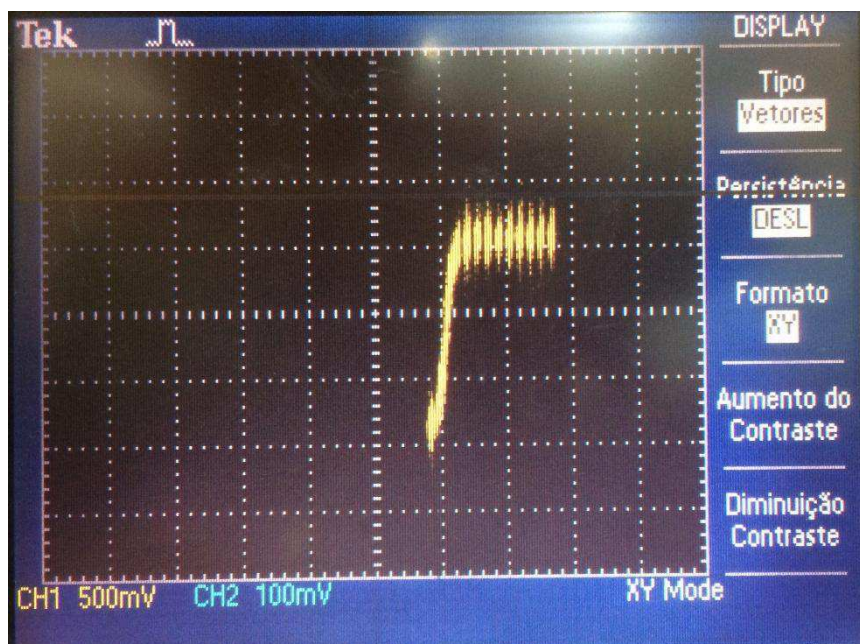


Figura 20: Sinais de tensão (superior/amarelo) e corrente (inferior/azul/ para o terceiro caso. (Autoria própria).

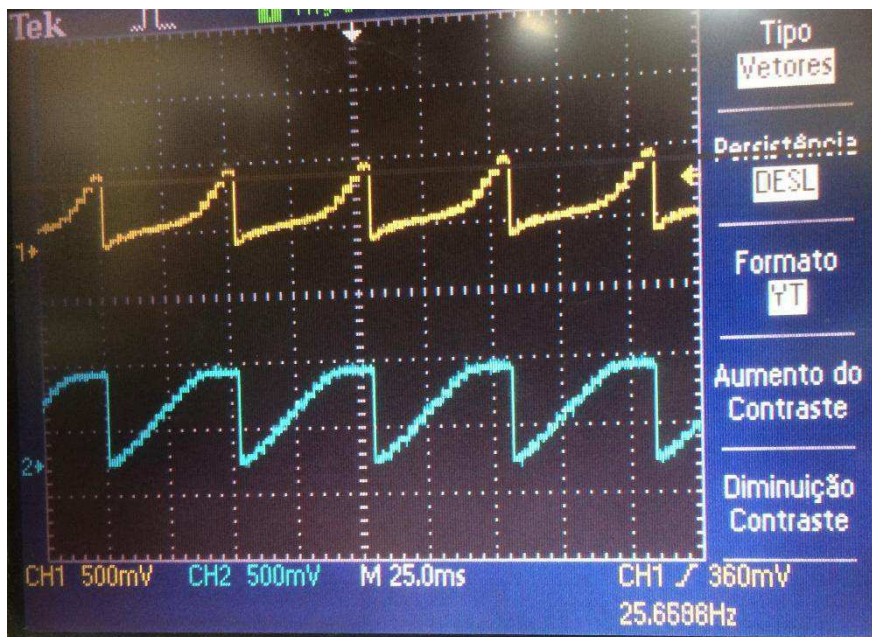
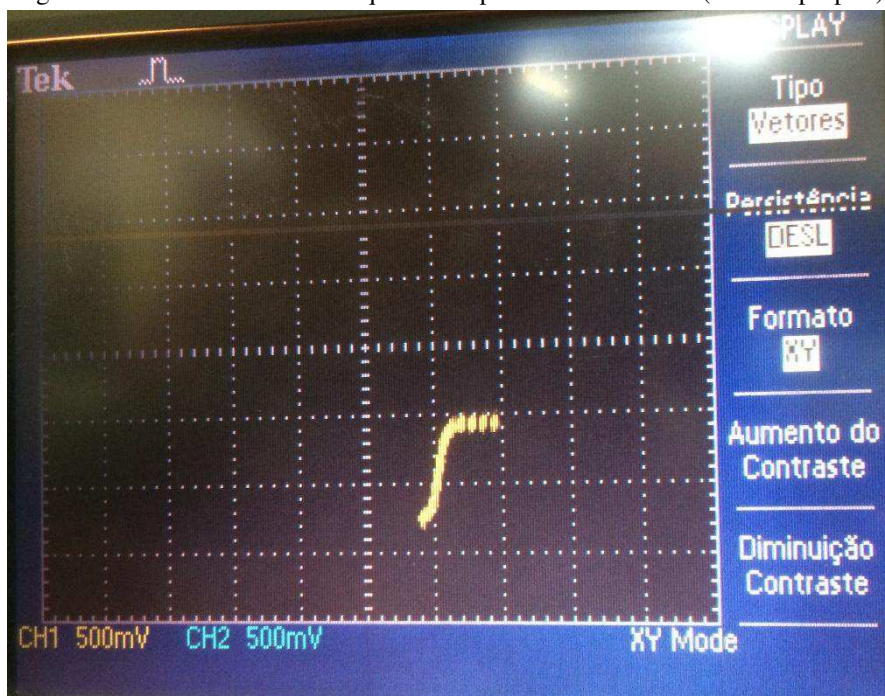


Figura 21: Curva característica equivalente para o terceiro caso. (Autoria própria).



A Tabela 1 apresenta valores dos materiais utilizados para confecção do módulo com base nos componentes disponíveis no site do fornecedor Usina Info.

Tabela 1: Valores comerciais dos componentes do circuito.

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Quant.</b>	<b>Total</b>
Resistor	R\$ 0,09	32	R\$ 2,72
Cristal Oscilador	R\$ 1,50	1	R\$ 1,50
Capacitor de Poliéster	R\$ 1,00	2	R\$ 2,00
Capacitor cerâmico	R\$ 0,10	2	R\$ 0,20
Capacitor Eletrolítico	R\$ 0,84	3	R\$ 2,52
Potenciômetro	R\$ 1,99	3	R\$ 5,97
Chave Alavanca	R\$ 2,90	5	R\$ 14,50
Knob	R\$ 1,90	3	R\$ 5,70
BC548	R\$ 0,34	9	R\$ 3,04
PIC16F628a	R\$ 14,16	1	R\$ 14,16
LM7805	R\$ 1,99	1	R\$ 1,99
DAC08	R\$ 7,30	1	R\$ 7,30
TL082	R\$ 1,15	1	R\$ 1,15
CA3046	R\$ 2,21	1	R\$ 2,21
Fenolite 10x20	R\$ 6,90	1	R\$ 6,90
<b>Total Geral</b>			<b>R\$ 71,86</b>

A comparar-se com kits didáticos e módulos disponíveis no mercado, os quais chegam a custar acima de 300 reais, observa-se que este módulo teve seu custo monetário reduzido, cabendo-lhe classificar como econômico e viável.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho representa uma alternativa para apresentação de atividades laboratoriais que pode ser estendida de forma a simplificar ainda mais o trabalho do professor. O módulo fabricado atendeu as expectativas do criador com relação ao dinamismo esperado da placa. Acredita-se que este trabalho servirá de base para futuros projetos de módulos didáticos para esta e outras disciplinas similares, as quais integram a grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da UFCG.

## BIBLIOGRAFIA

- ANALOG DEVICES. **8-bit, high speed, Multiplying D/A converter**. 2016.  
Disponível em: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DAC08.pdf>. Acesso em 27 de julho de 2018.
- BATES, Martin. **PIC Microcontrollers: An introduction to microelectronics**. 3. Ed. Waltham: Elsevier, 2012.
- BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Electronic Devices and Circuit Theory**. 11. ed. New Jersey: Pearson Education Inc., 2013.
- DALBEN, Ângela I. L. de F. **O módulo didático: uma tecnologia para a EAD**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- DIAGO, Ronaldo; AMARAL, Valder M. **Eletrônica Digital**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- FAIRCHILD. **NPN Epitaxial Silicon Transistor**. ON Semiconductor, 2014.  
Disponível em: <http://www.mouser.com/ds/2/149/BC548-888648.pdf>. Acesso em 31 de julho de 2018.
- LAMEU, Lucas de P. **Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: Uma proposta à luz da teoria dos campos conceituais**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade Federal de Itajubá, 2014.
- MICROCHIP TECHNOLOGIES. **PIC16F628a**: Flash-based, 8-bit CMOS Microcontrollers with nanowatt technology. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044E.pdf>. Acesso em 27 de julho de 2018.
- RAZAVI, Behzad. **Fundamentos de Microeletrônica**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth, C. **Microelectronic Circuits**. 6. ed. Oxford: Oxford University Press Inc., 2013.
- WILMSHURST, Tim. **Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications**. 1. Ed. Burlington: Elsevier Ltd., 2007.

## ANEXO A: CÓDIGO UTILIZADO PARA PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

```

//Rotina de interrupção
void interrupt(){
    //Teste da flag de interrupção do timer0
    if(TOIF_bit){
        TOIF_bit = 0x00; //Reinicia a flag
        TMR0 = 0xc1; //Reinicia a contagem do timer0
        PORTB++; //Incrementa o registrador PORTB
    }
}

void main() {
    CMCON = 0x07; //Comparadores desligados
    OPTION_REG = 0x82; //Inicia o timer0 com resolução 1:8
    GIE_bit = 0x01; //Habilita interrupção global
    PEIE_bit = 0x01; //Habilita interrupção por periféricos
    TOIE_bit = 0x01; //Habilita interrupção do timer0

    TMR0 = 0x01; //Inicia a contagem do timer0

    TRISB = 0x00; //Determina os terminais RBx como saída
    PORTB = 0x00; //Inicia o registrador PORTB

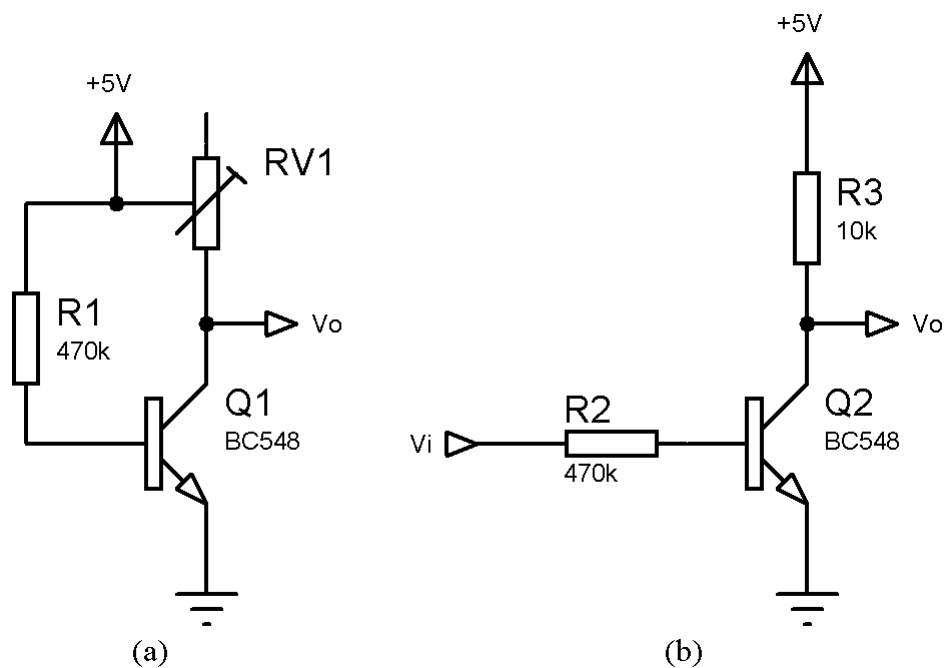
    while(1);
}

```

## ANEXO B: CIRCUITOS EXPERIMENTAIS

No guia do laboratório constam sete circuitos experimentais a serem montados, bem como uma fundamentação acerca de cada um deles. Os circuitos da Figura 22 são os dois primeiros a serem montados, seguindo a sequência proposta pelo guia.

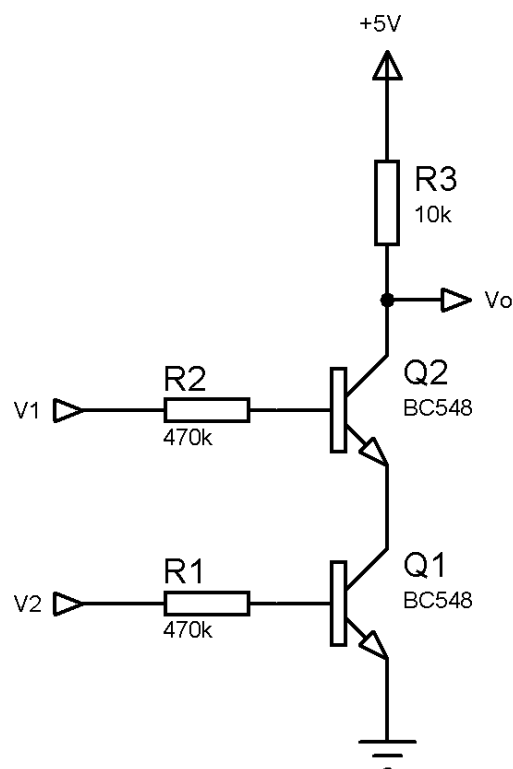
Figura 22: Topologias referidas aos experimentos 01 (a) e 02 (b).



O experimento 01 é realizado montando-se o circuito apresentado na Figura 22-(a). O objetivo deste é levantar medições da saída  $V_o$  com o intuito de obter pontos da curva característica do transistor. A variação do potenciômetro RV1 confere valores de tensão e corrente variados no coletor do transistor, tornando possível a aquisição de pontos diferentes da curva. No experimento 02 é montado o circuito da Figura 22-(b). Neste experimento a entrada  $V_i$  é ligada a +5V ou a 0 (GND), e é verificado na saída  $V_o$  o nível de tensão correspondente a cada estado de operação.

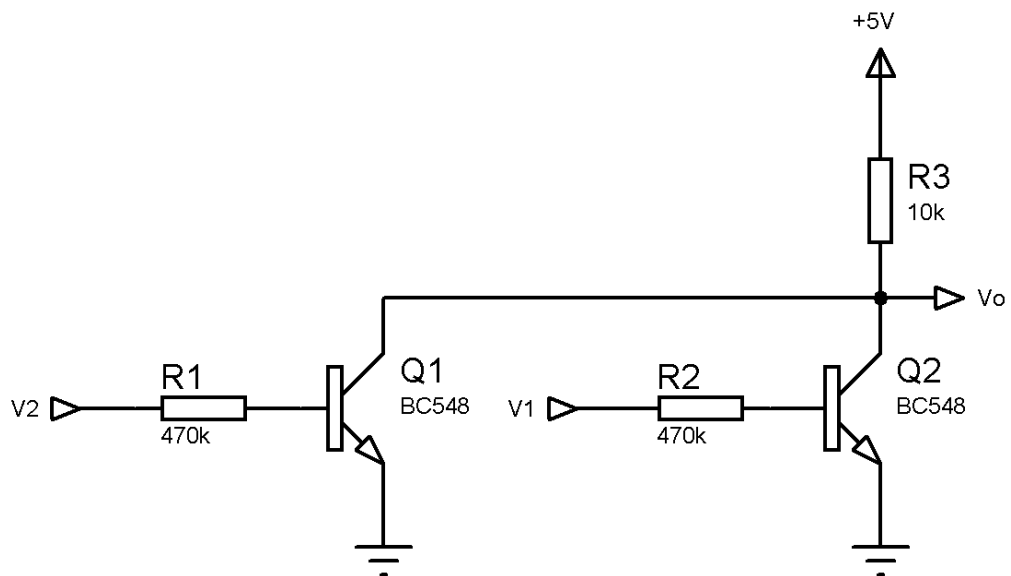
Para o experimento 03 é realizada a montagem do circuito da Figura 23. Este circuito apresenta-se como uma porta lógica NAND. Os terminais  $V_1$  e  $V_2$  são ligados a +5V ou a 0 (GND) a fim de amostrar os níveis lógicos ligado ou desligado. A saída é medida no terminal  $V_o$ .

Figura 23: Topologia referida ao experimento 03.



O experimento 04 também é fundamentado na apresentação de uma porta lógica. O circuito apresentado na Figura 24 é montado para realização do experimento 04, o qual demonstra uma porta lógica NOR. Os terminais  $V_1$  e  $V_2$  são ligados a +5V ou a 0 (GND) a fim de amostrar os níveis lógicos ligado ou desligado. A saída é medida no terminal  $V_o$ .

Figura 24: Topologia referida ao experimento 04.



O experimento 05 consiste da verificação da polarização do transistor. Para realização do experimento é montado o circuito mostrado na Figura 25-(a). A tensão na saída  $V_o$  é medida com o auxílio do multímetro a fim de se constatar os resultados previamente calculados. Com o acréscimo de capacitores, tem-se o circuito mostrado na Figura 25-(b). Este circuito é montado para realização do experimento 06, o qual consiste da verificação da topologia como amplificadora de sinais. Para tanto, é introduzido na entrada  $V_i$  um sinal senoidal de 100 mV de amplitude e 1 kHz de frequência. O sinal de saída é verificado colocando-se uma ponta de prova de osciloscópio a saída  $V_o$ .

O circuito a ser montado para o último experimento pode ser visualizado na Figura 26. Este, consiste de um amplificador com par diferencial, e sua realização é feita com o auxílio do circuito integrado CA3046.



Figura 25: Topologias referidas aos experimentos 05 (a) e 06 (b).

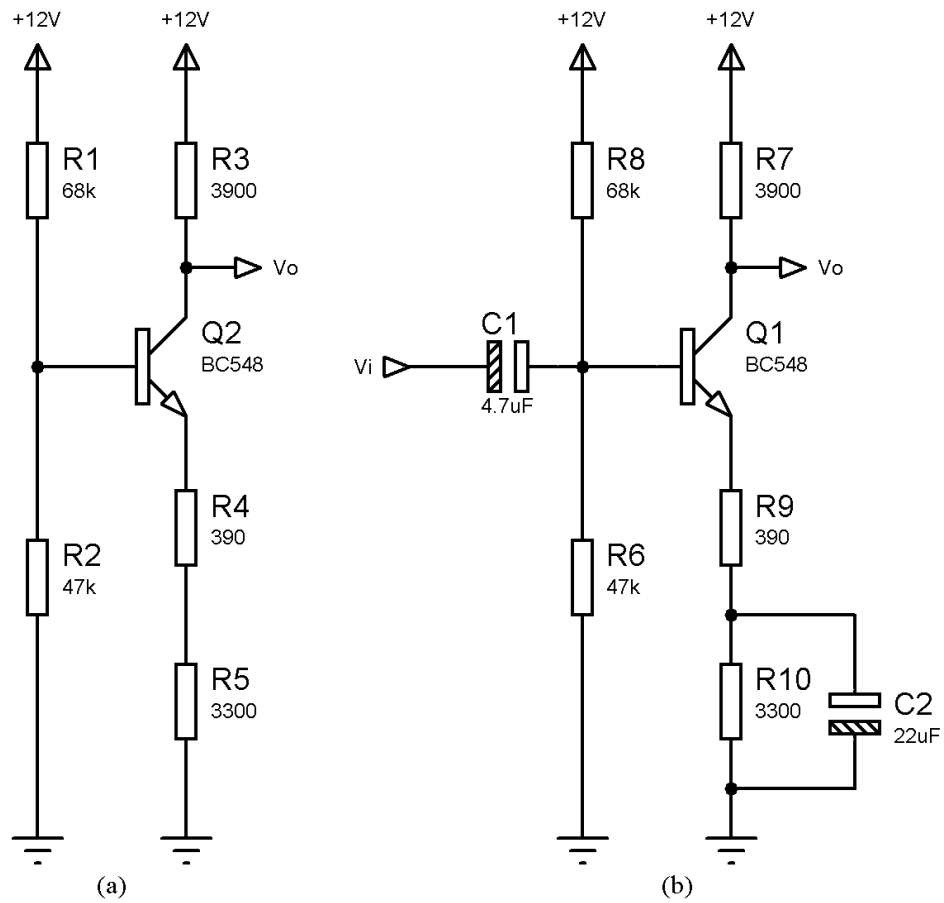


Figura 26: Topologia Referida ao experimento 07.

