

# Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS

Departamento de Sistemas Elétricos de Automação e Energia  
DELAE



## ENG10027 Eletrônica Fundamental II

---

### Trabalho 3

Laboratórios 8, 9 e 10

---

#### Autores

- |               |        |
|---------------|--------|
| 1. joao silva | 222222 |
| 2. maria      | 111111 |

#### Professores

Jose  
Maria Bethania

Porto Alegre, Julho de 2018

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Laboratório 8 - Retificadores e Conformadores</b>	<b>3</b>
2.1	Análise Teórica - Retificador de Precisão . . . . .	3
2.2	Experimento em Laboratório - Retificador de Precisão . . . . .	4
2.3	Análise teórica - Conformadores . . . . .	7
2.4	Experimento em Laboratório - Conformadores . . . . .	7
2.5	Conclusões sobre o Laboratório 8 . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Laboratório 9 - Comparadores</b>	<b>11</b>
3.1	Análise do LM339 . . . . .	11
3.2	Modelo Teórico - Comparador em janela . . . . .	11
3.3	Experimento em Laboratório - Comparador em Janela . . . . .	12
3.4	Modelo Teórico - Comparador em Histerese . . . . .	15
3.5	Experimento em Laboratório - Comparador em Histerese . . . . .	15
3.6	Conclusões sobre o Laboratório 9 . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Laboratório 10 - Temporizador 555 e aplicações</b>	<b>18</b>
4.1	Análise Teórica - Temporizador 555 . . . . .	18
4.2	Experimento em Laboratório . . . . .	21
4.3	Conclusões sobre o Laboratório 10 . . . . .	25

# 1 Introdução

Neste relatório será tratado dos laboratórios vistos na terceira área desta disciplina, com a exceção do último, Oscilador com ponte de Wien, que por motivo de força maior não houve aula prática.

Será feita a análise teórica e serão expostos os resultados encontrados nos experimentos feitos em laboratório e nas simulações feitas no *Software* MICROCAP. Cada laboratório possui uma segunda introdução para melhor organização do documento.

## 2 Laboratório 8 - Retificadores e Conformadores

No estudo dos retificadores de Precisão e dos Conformadores pode-se observar a união de diodos com amplificadores operacionais. Nesse tipo de circuito o valor da queda tensão gerada pelo diodo é a diferença da tensão do diodo pelo ganho do Amplificador, o qual é ,geralmente, muito elevado. Isso reduz visivelmente a queda de tensão do diodo em relação ao padrão, tornando possíveis o projeto de circuitos que trabalham com sinais em torno de milivolts.

### 2.1 Análise Teórica - Retificador de Precisão

Dentre algumas das principais aplicação dos circuitos retificadores estão e sistemas de instrumentação. Os sistemas de instrumentação demandam uma maior precisão, para essa demanda utilizam-se o chamados Retificadores de precisão, o modelo teórico pode ser observado na Figura 1.

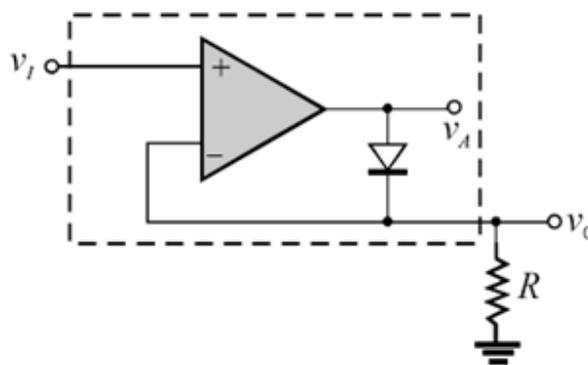


Figura 1: Modelo Teórico Retificador de precisão - Topologia Básica

Fazendo a análise do circuito podemos observar que quando  $V_i$  for positivo, o valor da tensão em  $V_A$  será positivo, provocando a entrada em condução do diodo e causando a realimentação negativa do Amplificador Operacional, isso desencadeia um 'curto-circuito virtual' entre os terminais de entrada. Dessa forma o valor de tensão na entrada inversora (valor da tensão de saída  $V_o$ ) será igual ao terminal da entrada não inversora.

$$V_o = V_i \quad V_i > 0 \quad (1)$$

Para o funcionamento do circuito,  $V_i$  deve exceder o valor da tensão de queda do diodo dividido pelo ganho do amplificador operacional em malha aberta, como citado anteriormente. Se o valor da tensão  $V_i$  for negativo, o valor de tensão de saída do amplificador operacional  $V_A$  tenderá para o valor da tensão de realimentação negativa, esse processo polariza inversamente o diodo impedindo a sua condução, então tem-se:

$$V_o = 0 \quad V_i < 0 \quad (2)$$

O circuito utilizado para experimentação no laboratório é um circuito alternativo ao mostrado anteriormente, isso se deve pois topologia básica não garante sempre a realimentação negativa, muitas vezes ocorrendo a saturação do amplificador, contudo o maior transtorno é a sobre tensão na entrada do Amplificador Operacional a qual pode danificar o componente, e gerar um atraso relacionado com o *Slewrate*. Pode-se observar um esquemático na Figura 2.

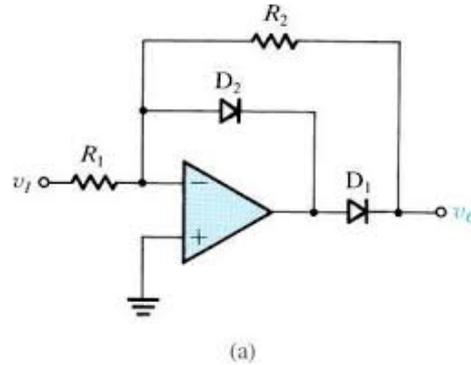


Figura 2: Modelo Teórico Retificador de Precisão

A principal distinção funcional deste circuito é o amplificador operacional saturar para tensões negativas na topologia básica, enquanto este não satura. A realimentação negativa, nesta configuração, ocorre independente dos valores de  $V_i$ , pois os diodos  $D_1$  e  $D_2$  trabalham de forma complementar, ou seja, nunca os dois diodos estarão abertos ou fechados. Neste retificador de precisão a malha de realimentação estará sempre fechada. Quando tem-se valores de tensão positivas, o diodo  $D_2$  entra em condução fechando uma malha de realimentação, Assim a saída estará em  $-0.7V$  com  $V_o = 0$ , o diodo  $D_1$  estará inversamente polarizado não conduzindo corrente. Para valores de tensões negativas, o diodo  $D_2$  deixa de conduzir, O diodo  $D_1$  conduzirá fechando, assim, a malha de realimentação e a saída será igual a

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

Assim pode-se variar o ganho, variando a relação entre os resistores  $R_1$  e  $R_2$ , como a funcionalidade de um amplificador inversor.

## 2.2 Experimento em Laboratório - Retificador de Precisão

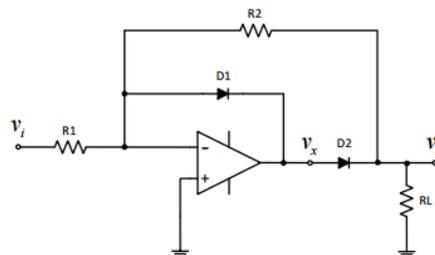


Figura 3: Topologia do circuito proposto em Laboratório - Retificador de Precisão

No modelo do laboratório, o ganho do amplificador operacional quando o diodo  $D_1$  está em condução é igual a 1, isso ocorre devido a igualdade de valores de  $R_1$  e  $R_2$ , deixando a saída retificada e a amplitude de saída igual a amplitude de entrada.

Primeiramente foi feita a montagem do circuito na *Protoboard*, como pode ser observado na figura

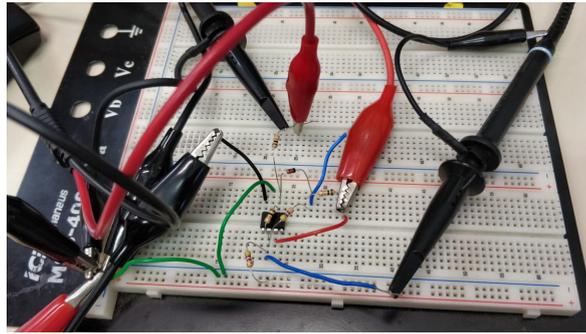


Figura 4: Montagem do circuito retificador de precisão na *protoboard*

Dando prosseguimento ao roteiro foi gerado um sinal senoidal de tensão com frequência de 1000 Hertz na entrada para observar o comportamento do circuito. O resultado obtido no osciloscópio bem como a simulação do mesmo sistema reproduzido no software *Microcap* é demonstrado nas Figuras 6 e 7 respectivamente.

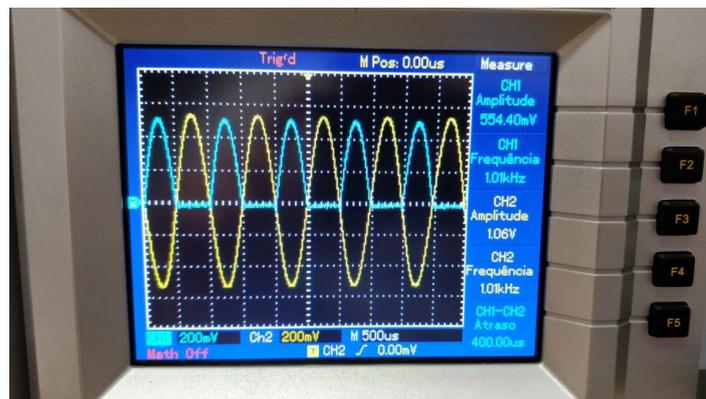


Figura 5: Resposta para entrada senoidal de frequência 1000 Hertz

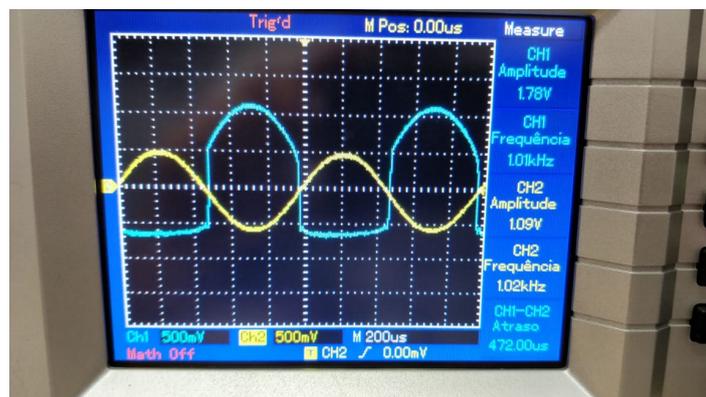


Figura 6: Resposta para entrada senoidal de frequência 1000 Hertz - em escala ampliada

Realizou-se, também, como solicitado no roteiro a simulação do circuito no software *Microcap*, a entrada colocada é uma onda senoidal de frequência 1000 Hertz, a entrada, bem como as repostas podem ser observado na Figura 7.

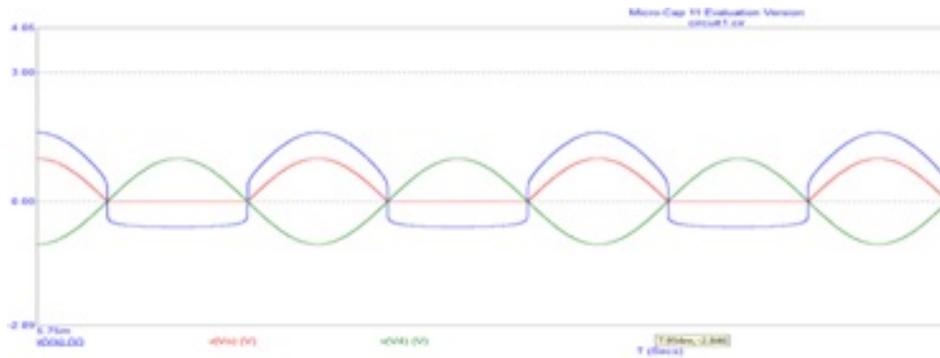


Figura 7: Simulação no software *Microcap*

A seguir, modificou-se o modo do osciloscópio para *X-Y* e foi aplicada uma onda triangular como entrada, dessa forma pode-se ver a curva  $V_i-V_o$ , Figura 8.

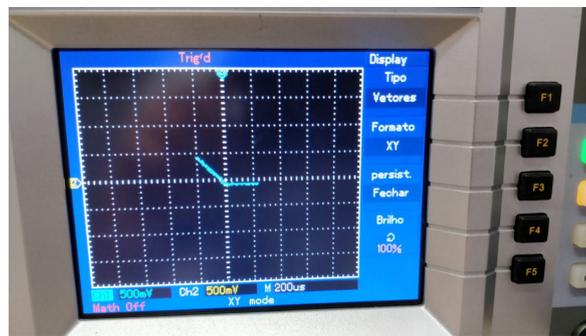


Figura 8: Resposta do osciloscópio para o circuito montado obtida experimentalmente

Como no item anterior realizou-se a simulação do circuito para a comparação dos resultados experimentais, é possível observar o resultado da simulação na Figura 9.

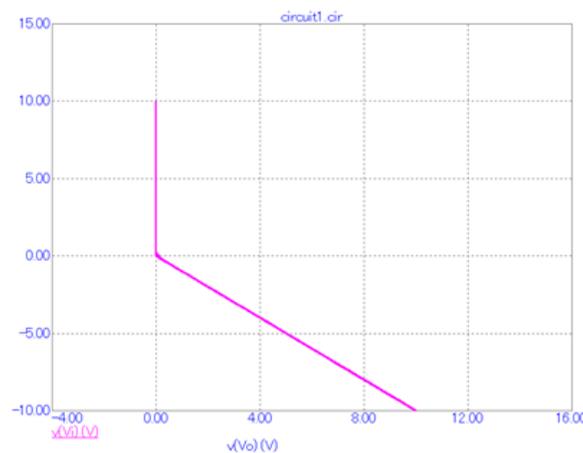


Figura 9: Resposta da simulação do circuito no *Microcap* da curva  $V_i-V_o$

A principal análise obtida foi que os resultados experimentais das atividades práticas em laboratório foram essencialmente semelhantes, não apenas, aos resultados teóricos obtidos analiticamente, como também, os resultados simulados em computador. Isso demonstra que não houve problemas de execução na montagem nem problemas de ruídos e instrumentação, resultando em uma experimentação bem sucedida.

## 2.3 Análise teórica - Conformadores

É mais simples discutir e explicar a topologia desses circuitos fazendo uma analogia com os retificadores de precisão. Os circuitos discutidos anteriormente tinham como funcionalidade retificar o sinal, o que, basicamente, pode-se considerar como cortar uma parte do sinal de entrada. No caso deste circuito o objetivo é conformar o sinal, que contempla uma resposta com alterações, porém sem a rejeição do sinal. Isso decorre da alteração de ganho conforme a tensão aplicada na entrada, pode-se obter, por meio de algumas modificações no circuito retificador, a configuração do circuito conformador. esse circuito pode ser visto na Figura 10.

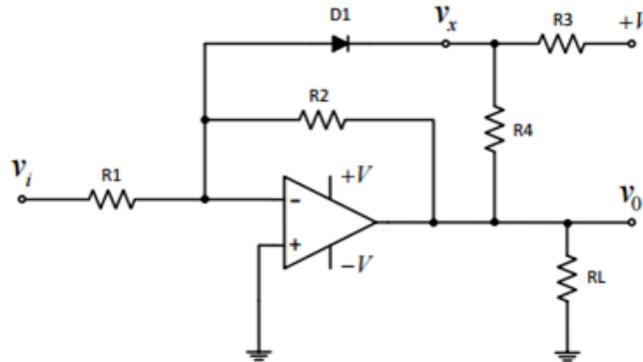


Figura 10: Circuito de Laboratório - Conformadores

## 2.4 Experimento em Laboratório - Conformadores

Primeiramente para o equacionamento, utiliza-se o método da superposição, analisando o circuito com o diodo aberto - Figura 11.

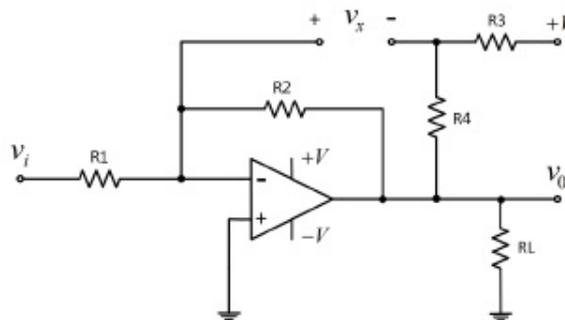


Figura 11: Circuito de Laboratório - Conformadores

Equacionamento

$$V_i = \frac{R_1}{R_2 + R_3} \left( \frac{V_d * R_3}{R_3 + R_4} + \frac{-V_+ * R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (4)$$

A condução do diodo depende de  $v_d$  ser superior a  $0,7V$ , aplicando os valores obtêm-se que

$$V_i > 5,62V \quad (5)$$

De forma que  $V_i$  só conduz se for inferior a esse valor.

Posteriormente supõe-se o diodo em condução, realizando os cálculos obteve-se (6).

$$V_x = V_o \frac{R_3}{R_4 + R_3} + 15 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (6)$$

Implementando os valores dos componentes nos cálculos e assumindo a queda de tensão do diodo para na condução, obteve-se (8)

$$V_o * 0,760 + 3,578 = 0,7 \quad (7)$$

$$V_o = -5,62V \quad (8)$$

A montagem deste circuito, como já foi citado anteriormente é muito semelhante a montagem do circuito anterior, de forma que foram necessárias apenas algumas poucas alterações do circuito na *Protoboard* para a obtenção do conformador - Figura 12.

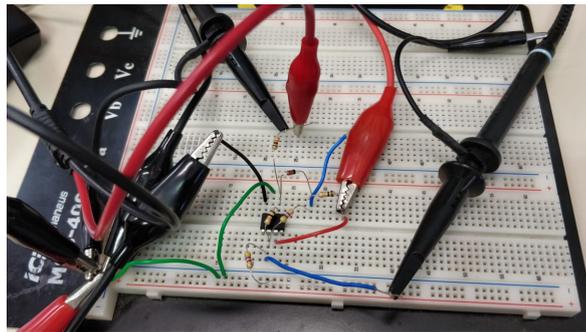


Figura 12: Montagem do circuito conformador na *protoboard*

Para a realização dos experimentos nas atividades práticas, foi aplicada um onda triangular com frequência de 1000 Hertz e amplitude com 10 Volts de pico, o resultado obtido no osciloscópio pode ser observado na Figura 13.

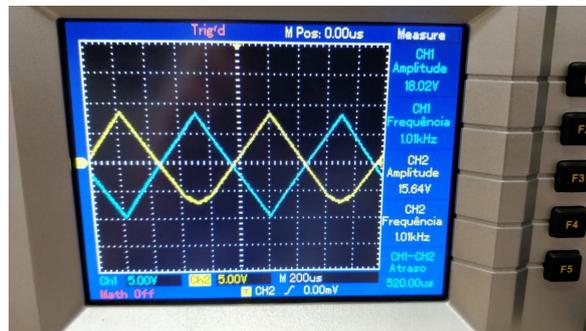


Figura 13: Resposta obtida pelo osciloscópio na atividade experimental

Como anteriormente, para a comparação dos resultados e como solicitado no roteiro foi feita a simulação do circuito no software *Microcap*, a entrada, neste caso é uma onda triangular de frequência 1000 Hertz, a entrada, bem como as repostas podem ser observado na Figura 14. Pode-se perceber, comparando o resultado com a simulação, que o resultado obtido é o esperado, não tendo erros grosseiros ou de instrumentação no experimento.

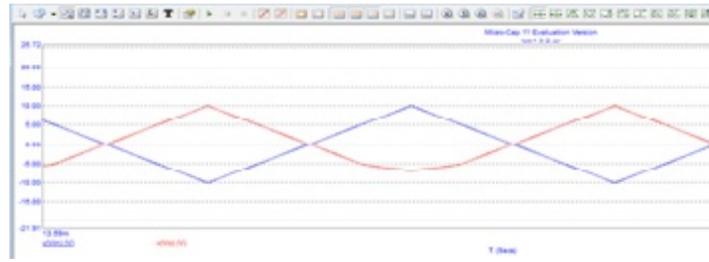


Figura 14: Resposta do circuito conformador obtida por Simulação no *Microcap*

Posteriormente, modificou-se o modo do osciloscópio para *X-Y*, dessa forma pode-se ver a curva  $V_i-V_o$ , Figura 15.

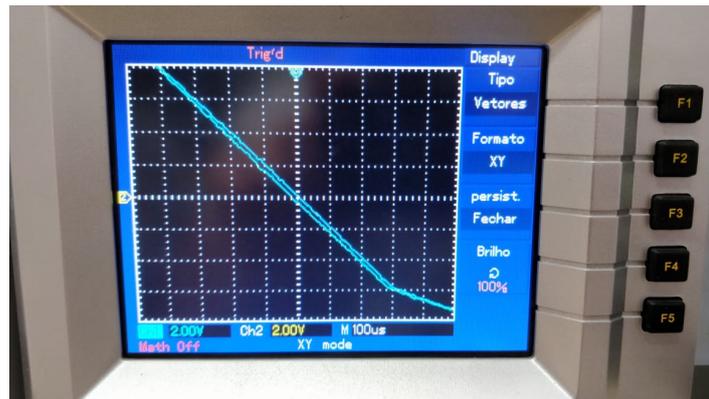


Figura 15: Resultado obtido pelo osciloscópio, na atividade experimental em laboratório, da curva  $V_i-V_o$

Novamente realizou-se a simulação do circuito para a comparação dos resultados experimentais, pode-se observar o resultado da simulação na Figura 16.

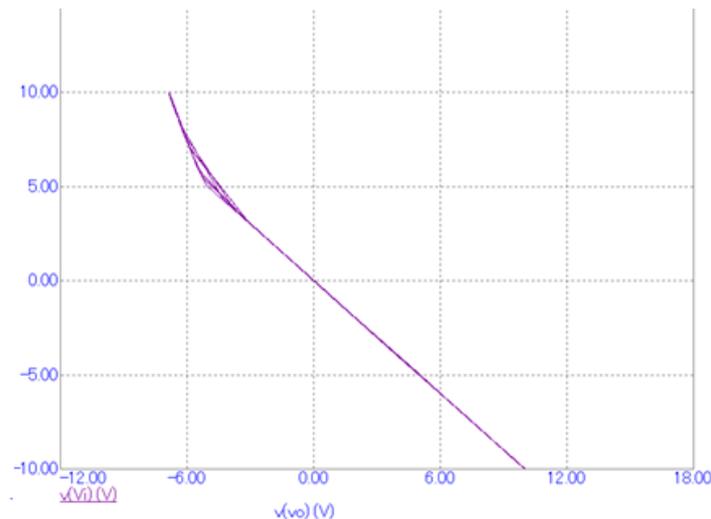


Figura 16: Simulação da curva  $V_i-V_o$  no software *Microcap*

É possível observar que os eixos estão  $V_i-V_o$  estão invertidos contudo o resultado é consistente, principalmente o ponto de inflexão em ambos as projeções estão por volta de 5 volts como esperado na análise teórica, e a partir deste ponto de ganho tem a sua inclinação diminuída.

## 2.5 Conclusões sobre o Laboratório 8

Na execução do laboratório 8 foi feita a análise teórica e prática de um retificador de precisão e de um conformador. Notou-se que a ideia de unir amplificadores operacionais e não linearidades veio com uma série de possibilidades para eletrônica, dentre elas esses dois circuitos que possibilitam diversas implementações especialmente no campo da instrumentação. Quanto aos resultados obtidos verificou-se que a análise teórica e experimental foram coerentes com as simulações feitas no software Microcap, o que demonstra uma boa precisão e exatidão em laboratório.

### 3 Laboratório 9 - Comparadores

Comparadores são elementos constituintes de circuitos analógicos, estes elementos são considerados blocos fundamentais devido a sua ampla variedade de aplicações. Para ilustrar isso pode-se citar a sua utilização na detecção de nível de um sinal de entrada em relação a um limiar, por exemplo, em um projeto de conversores digitais analógicos, ou ainda, em geradores de funções analógicas, que podem ser produzidos utilizando um comparador em histerese, o qual será visto posteriormente.

#### 3.1 Análise do LM339

Para fins práticos usou se o componente LM339 esse componente de suporta uma diferença de tensão entre seus terminais de alimentação positiva e negativa, essa é a funcionalidade que possibilita a utilização deste componente na execução deste experimento. Outra peculiaridade é a presença de um transistor na saída, este elemento faz com que o amplificador entre em saturação quando a diferença de tensão for positiva, ou que entre em corte se for negativa.

#### 3.2 Modelo Teórico - Comparador em janela

O Funcionamento de um circuito Comparador de janela consiste na criação de uma 'janela de tensão' que delimitará uma resposta em nível lógico baixo Se a entrada estiver fora dos valores delimitados pela janela, ou uma resposta em nível lógico alto se a entrada estiver dentro do intervalo. Segundo o modelo da figura 6 pode-se observar que a comparação é feita com as entradas  $V_H$  e  $V_L$ , caso o valor da tensão de entrada esteja no intervalo de diferença entre estes dois valores, a saída será alta, se estiver fora deste intervalo a saída será baixa.

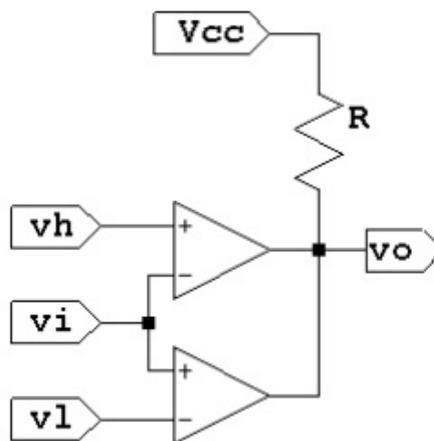


Figura 17: Circuito - Modelo Teórico Comparador Janela

A mudança de estado lógico ocorre em  $V_H$  e  $V_L$ . Quando o valor da tensão de entrada é superior ao valor de  $V_H$  o amplificador conectado ao  $V_H$  terá uma saída saturada, o que decorrerá do circuito todo apresentar saída *OFF*. Se o valor da tensão de entrada se encontrar abaixo de  $V_L$ , o amplificador conectado ao  $V_L$  terá saída saturada e conseqüentemente a saída do conjunto também será *OFF*. Em contrapartida, se o valor da tensão de entrada  $V_i$  estiver entre os valores de  $V_H$  e  $V_L$ , as saídas dos amplificadores se mantem em corte, de forma que o resistor de saída manterá a saída alta, *ON*.

### 3.3 Experimento em Laboratório - Comparador em Janela

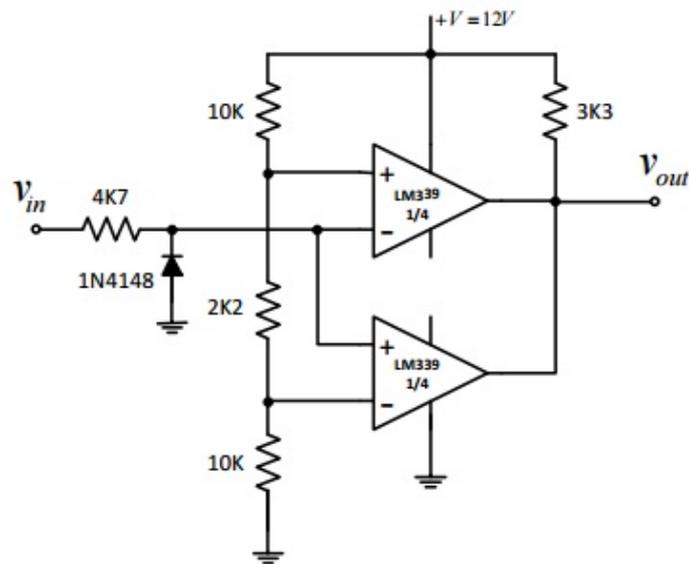


Figura 18: Circuito - Circuito Comparador em Janela

Equacionamento do divisor resistivo V1 e V2 baseado no circuito da Figura 18.

$$V_1 = \frac{1212,2 \cdot 10^3}{222 \cdot 10^3} = 6,6V \quad (9)$$

$$V_2 = \frac{1210 \cdot 10^3}{222 \cdot 10^3} = 5,4V \quad (10)$$

Como pode-se notar na análise do modelo teórico do circuito o caso de interesse ocorre quando ambos amplificadores operam em corte. Podemos concluir, após a obtenção dos valores de tensão limites nas equações (9) e (10), que nesse caso isso ocorre, quando a faixa de de tensão variar entre 5,4 e 6,6 Volts. Isso pode ser melhor ilustrado observando o sinal de resposta da saída no canto superior direito da Figura 19.

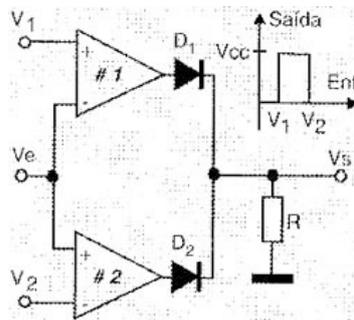


Figura 19: Circuito - Circuito e resposta do Comparador em Janela

Na execução do exercício feito no laboratório, primeiramente, fez-se a montagem do circuito comparador de na protoboard, colocando uma alimentação assimétrica nos Amplificadores do circuito integrado, como pode-se observar na Figura 20.

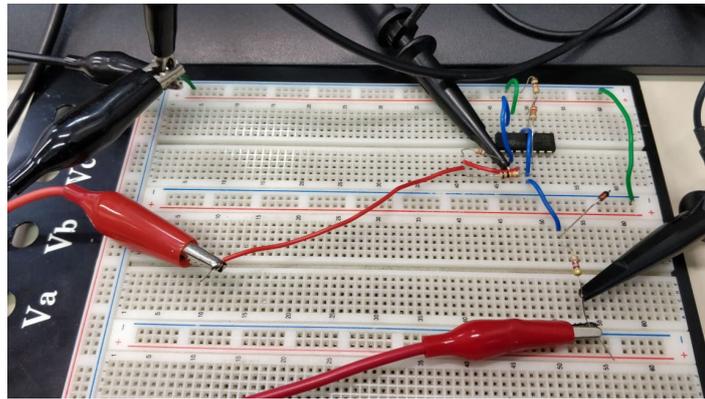


Figura 20: Montagem do circuito Comparador em Janela

Após a montagem do comparador em janela, como solicitado no roteiro, aplicou-se um sinal triangular com frequência de 1000 Hertz. Observando o sinal de saída do sistema pode-se reparar que a intersecção das linhas ocorrem nos valores de tensão calculados, ou seja 5,4 e 6,6 Volts, isso também pode ser observado na simulação feita no Microcap - figura. Seguindo o roteiro, modificou-se o modo do osciloscópio para obter o levantamento da curva  $V_o$  e  $V_i$  afim de identificar os limites de tensão que mantém a saída alta como pode ser verificado nas Figuras 21 e 22.

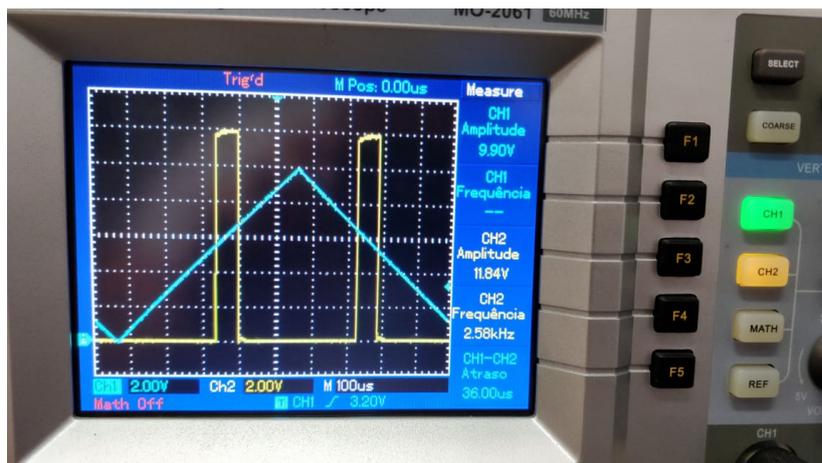


Figura 21: Entrada triangular em que a faixa de tensão e  $V_o$  são diferentes de zero - escala maior

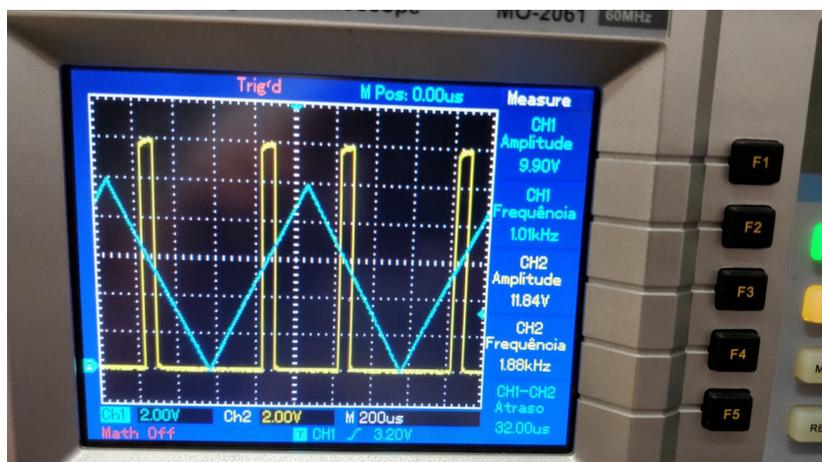


Figura 22: Entrada triangular em que a faixa de tensão e  $V_o$  são diferentes de zero

A fim de comparar resultados fez-se a simulação do circuito no software *Microcap* a entrada, bem como as repostas podem ser observado na Figura 23. Pode-se perceber, comparando o resultado com a simulação, que o resultado obtido é o esperado. Assim como reparar que como foi calculado analiticamente o sinal permanece alto no intervalo de valores muito próximos aos calculados, como já era esperado.

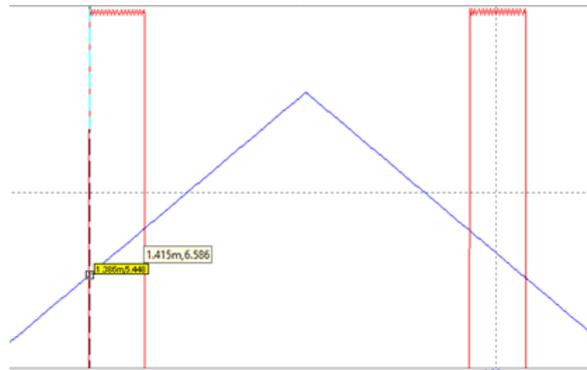


Figura 23: Resposta para uma entrada com onda triangular no comparador em Janela no osciloscópio

Na segunda etapa da atividade experimental, foi feita a mudança do modo do osciloscópio para X-Y para obter-se a curva  $V_i-V_o$ , o resultado obtido pelo osciloscópio, bem como, a curva obtida por simulação no software *Microcap* estão apresentados nas Figuras 24 e 25 respectivamente.

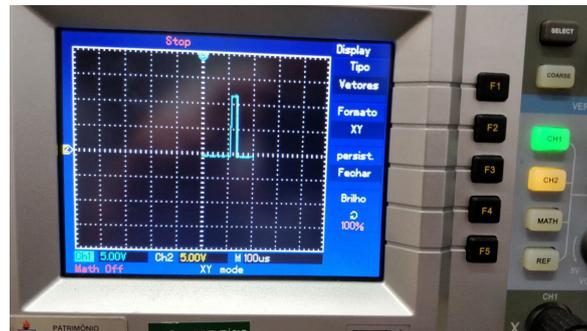


Figura 24: Janela vista no gráfico X-Y no osciloscópio

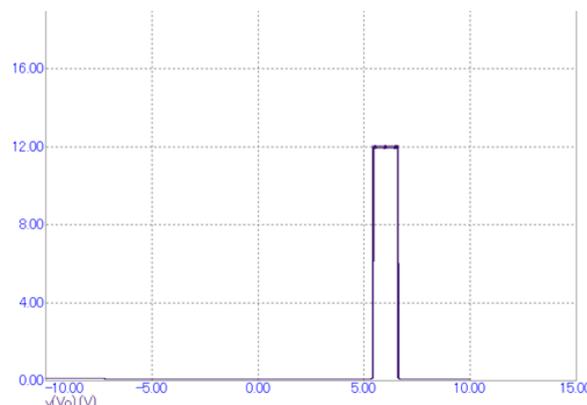


Figura 25: Simulação no *Microcap* para Janela vista no gráfico X-Y

Podemos observar nas figuras acima que essa é a janela de tensão que seleciona a saída alta, e que os resultados obtidos experimentalmente são coerentes.

### 3.4 Modelo Teórico - Comparador em Histerese

O comparador de histerese possui uma janela formada devido a sua realimentação positiva não simétrica, isso faz com que ele sature em  $V+$  ou em zero, em consequência disso ele opera ignorando as altas frequências. Ainda sobre o seu modo de operação, na etapa de mudança de estado, esse circuito altera o nível de tensão automaticamente para a próxima comparação, evitando ruídos que prejudiquem o sinal de saída. Esquematicamente, quando o nível inferior de comparação estiver ativo, o nível superior está desligado, se um sinal superar o nível inferior de comparação, o nível de comparação será modificado para o nível superior, como pode-se observar na Figura 26.

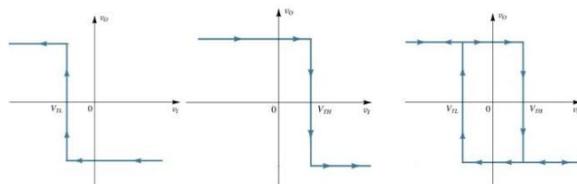


Figura 26: Resposta do Comparador em Histerese

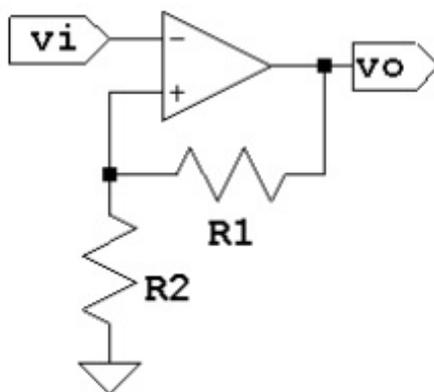


Figura 27: Circuito - Modelo teórico do Comparador em Histerese

### 3.5 Experimento em Laboratório - Comparador em Histerese

O equacionamento foi feito obtendo-se a tensão onde estão os pontos de queda (inflexão) da janela. O cálculo deste valor pode ser obtido pelo divisor resistivo apresentado na equação (11).

$$VC = \frac{12}{\frac{33000 * (66000)}{66000 + 33000} + 33000} * 33000 = 7,874V \quad (11)$$

Quando esse valor é atingido há o desligamento do sinal e desencadeia o processo de troca do limite inferior, o que evita ruídos, conforme citado anteriormente, criando os dois limites de comparação:

$$VL = Vo - VC = 4V \quad (12)$$

$$VH = VC = 7,874V \quad (13)$$

O exercício feito no laboratório solicitava primeiramente a montagem do circuito comparador Com uma entrada triangular com frequência de 1000 Hertz.

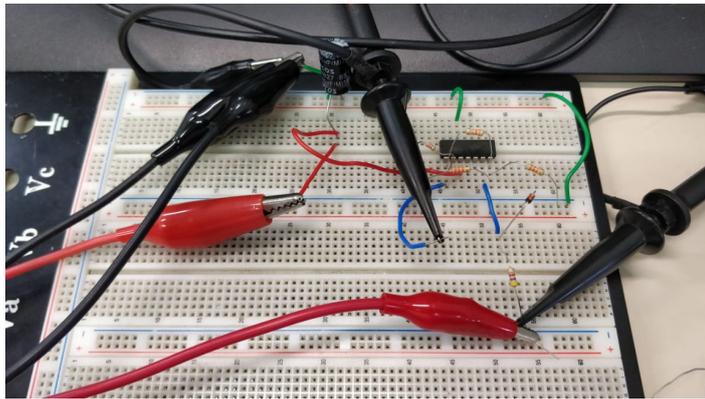


Figura 28: Montagem na *protoboard* do Comparador em Histerese

Após a montagem do comparador em Histerese, como solicitado no roteiro, aplicou-se um sinal triangular com frequência de 1000 Hertz. Pode-se ver os limites calculados no equacionamento delimitando a onda triangular na Figura 29, isso também pode ser observado na simulação feita no *Microcap* - Figura 30.

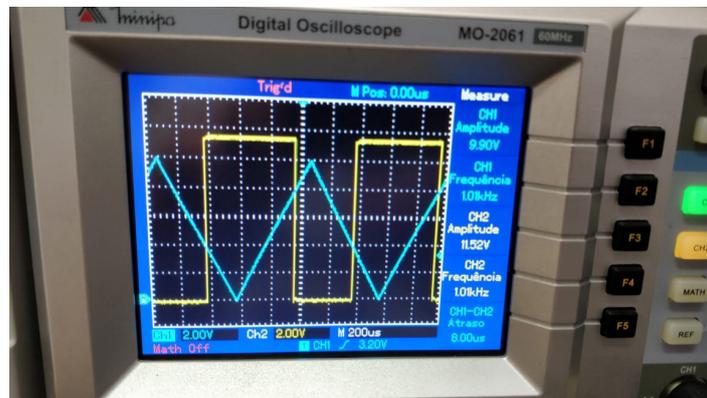


Figura 29: Resposta para uma entrada com onda triangular no comparador em histerese no osciloscópio

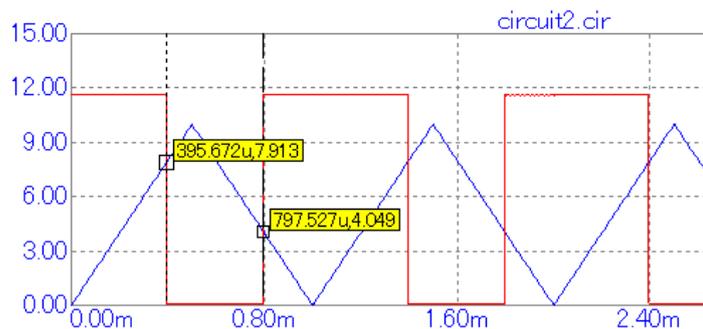


Figura 30: Simulação da resposta para uma entrada com onda triangular no comparador em histerese

Dando prosseguimento ao roteiro do trabalho, modificou-se o modo do osciloscópio para obter o levantamento da curva  $V_o$  e  $V_i$  as respostas do osciloscópio e dadas pela simulação estão nas Figuras 31 e 32 respectivamente.

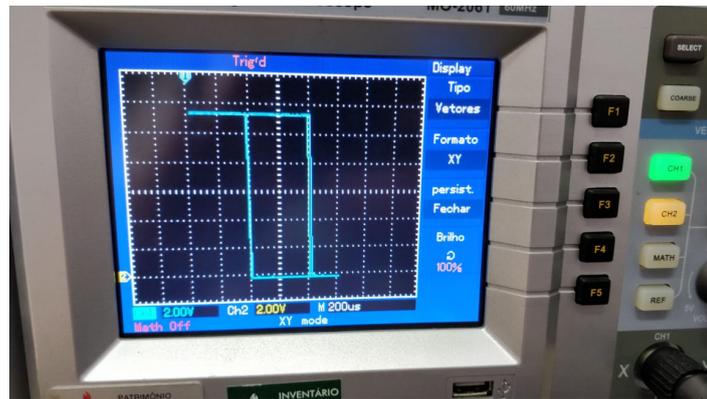


Figura 31: curva  $V_i-V_o$  vista no modo X-Y no osciloscópio - comparador em Histerese

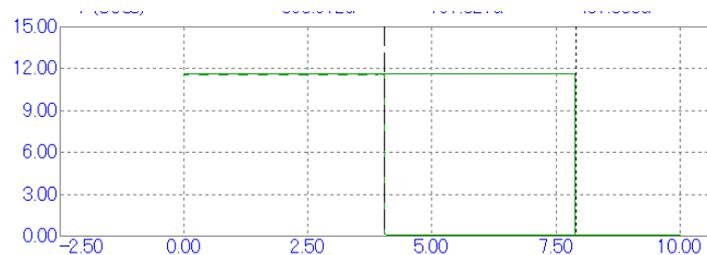


Figura 32: Simulação para a curva  $V_i-V_o$  no *Microcap* - comparador em Histerese

Podemos visualizar nas imagens acima a histerese criada pelo circuito, observando os limites de comparação de tensão, observando o resultado da simulação também pode-se concluir que os resultados obtidos experimentalmente são coerentes com a resposta do circuito modelada.

### 3.6 Conclusões sobre o Laboratório 9

No laboratório 9, fez-se a análise teórica e experimental do comparador de janela e do comparador histerese. Para isso utilizou-se o CI LM339, esse é uma peça chave para esse tipo de experimento, pois suporta realimentação assimétrica. Esses circuitos são altamente disseminados devido a sua variedade de aplicações, já que comparam dois níveis de tensão. Quanto aos resultados, verificou-se, também neste laboratório, que a análise teórica e experimental foram coerentes com as simulações feitas no software Microcap, o que demonstra uma boa precisão e exatidão experimental.

## 4 Laboratório 10 - Temporizador 555 e aplicações

O Temporizador 555 é um circuito integrado e encapsulado, ele é um dos mais utilizados na implementação de temporizadores e multivibradores. Como multivibradores podem trabalhar em 3 modos, que são: monoestável, biestável e astável.

Neste laboratório será tratado o modo astável que funciona como oscilador não tendo estado estável.

### 4.1 Análise Teórica - Temporizador 555

Para iniciar a análise podemos observar o circuito integrado CI 555 que pode ser visto na Figura 33. Ele é composto por dois comparadores, um transistor e um flip-flop. Além disso, possui 8 pinos, que são:

Pino 1: GND - referência do circuito, terra.

Pino 2: Trigger - Altera da posição SET para RESET do flip-flop. Dependente de um pulso externo.

Pino 3: Output - Saída do CI.

Pino 4: Reset - Responsável por desabilitar ou resetar o CI. Ocorre com um pulso negativo.

Pino 5: Control Voltage - Responsável por controlar a largura do pulso na saída.

Pino 6: Threshold - Faz a comparação entre a tensão aplicada no pino com o valor pré determinado pelo divisor de tensão dos resistores.

Pino 7: Discharge - Responsável por trocar a saída de nível alto para nível baixo.

Pino 8: Vcc - Alimentação positiva do CI.

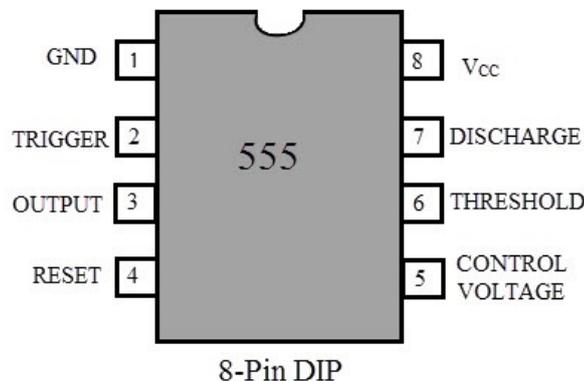


Figura 33: *Datasheet* Componente Integrado 555.

Abaixo, na Figura 34, pode-se ver a configuração interna do CI. Observa-se os divisores de tensão entre os comparadores.

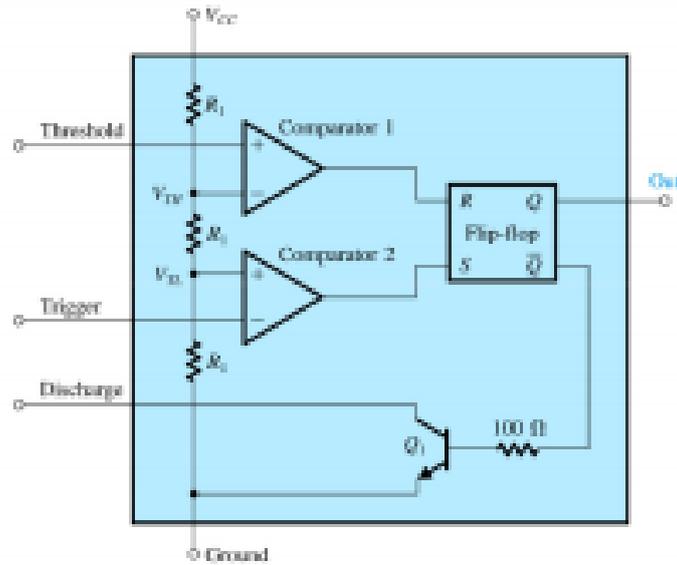


Figura 34: Configuração interna CI 555.

A seguir será feito a análise do circuito da Figura 35, abaixo, proposta no roteiro deste laboratório.

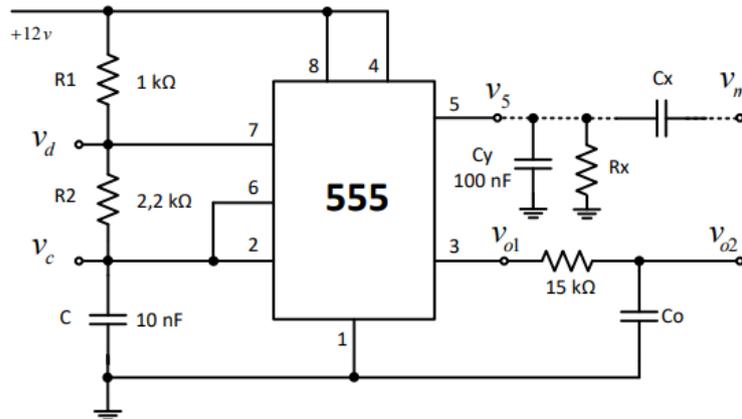


Figura 35: Circuito proposto no Laboratório 10 utilizando CI 555.

Neste primeiro momento será analisado com  $C_y$  conectado ao pino 5 e  $R_x$  e  $C_x$  desconectados. Será considerado que os capacitores iniciam-se descarregados, e o flip-flop na posição de set, logo  $V_{o1}$  está em nível alto e o transistor  $Q_1$  estará em corte. Tendo isso em vista, no momento em que o circuito receber o *start* a corrente fluirá da alimentação  $V_{cc}$ , que é +12v, em direção ao terra, passando pelos divisores de tensão e carregando o capacitor  $C$ , que terá sua tensão  $V_c$  tendendo, exponencialmente, a tensão de alimentação  $V_{cc}$ . O crescimento desta tensão permanecerá desta forma até  $V_c$  equiparar-se com o valor de  $V_{TH}$  (tensão da entrada inversora do comparador 1 - Figura 34), quando isso acontecer a saída deste comparador irá para nível alto, que passará o flip-flop para o estado de reset. Na sequência, o transistor  $Q_1$  passa a conduzir colocando 0 Volts em  $V_d$ , o que faz o capacitor  $C$  descarregar. Ainda nesse mesmo instante, a tensão  $V_{o1}$  passa para nível baixo. A descarga do capacitor acontece até o momento em que a tensão  $V_c$  equipara-se com a tensão de  $V_{TL}$  (tensão da entrada

não inversora do comparador 2 - Figura 34) o que fara a saída deste comparador ir para nível alto colocando  $V_{o1}$  também em nível alto e o flip-flop será colocado em reset novamente. Após esse instante o ciclo se repete.

Podemos concluir que a saída  $V_{o1}$  será uma onda quadrada com período  $T=T_H+T_L$  e  $V_c$  uma onda com crescimento e decrescimento exponencial com o mesmo período que  $V_{o1}$ .

Os períodos podem ser equacionados utilizando uma das fórmulas dadas em aula para  $V_{TH}$ :

$$V_{TH} = -V_{cc} - (V_{cc} - V_{TL})e^{\frac{-T_H}{C(R_1+R_2)}} \quad (14)$$

Isolando para  $T_H$ , temos:

$$T_H = (R_1 + R_2)C \ln(2) \quad (15)$$

Para  $T_L$  utilizamos o mesmo raciocínio, no entanto, o capacitor descarrega apenas por  $R_2$ , logo:

$$T_L = R_2 C \ln(2) \quad (16)$$

Então o período T das ondas, é dado por:

$$T = C \ln(2) ((R_1 + R_2) + R_2) \quad (17)$$

$$T = 10nF * \ln(2) ((1k + 2,2k) + 2,2k) = 3,743 * 10^{-5}s \quad (18)$$

Logo, para a frequência F, temos:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{3,743 * 10^{-5}} = 26,716kHz \quad (19)$$

Abaixo, na Figura 36, podemos ver um exemplo dos sinais  $V_{o1}$  e  $V_c$ .

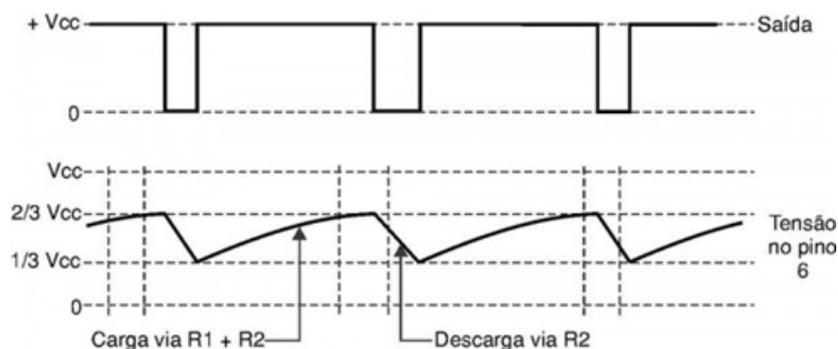


Figura 36: Formas de onda para  $V_{o1}$  e  $V_c$  com os períodos  $T_H$  e  $T_L$ .

No segundo exercício o resistor  $R_x$  será conectado no circuito, essa conexão modifica os valores de  $V_{TH}$ ,  $V_{TL}$  e a frequência da saída  $V_{o1}$  já que o resistor  $R_x$  ficará em paralelo com os resistores nas entradas dos comparadores. Sendo assim, O novo valor de  $V_{TH}$  para o novo divisor de tensão já calculado, será.

$$V_{TH} = V_{cc} \frac{R_x // 2R_1}{R_x // 2R_1 + R_1} \quad (20)$$

Sendo toda a fração que multiplica  $V_{cc}$  chamada de  $K$ , utilizaremos novamente a equação dada em aula para encontramos os valores de  $T_H$  e  $T_L$ . Logo:

$$T_H = C(R_1 + R_2) \ln\left(\frac{1 - K}{1 - \frac{K}{2}}\right) \quad (21)$$

E para  $T_L$ , temos:

$$T_L = C(R_2) \ln\left(\frac{3}{2}K\right) \quad (22)$$

Sendo o período total  $T$  a soma de  $T_H$  e  $T_L$ , temos:

$$T = (C(R_1 + R_2) \ln\left(\frac{1 - K}{1 - \frac{K}{2}}\right)) + (C(R_2) \ln\left(\frac{3}{2}K\right)) \quad (23)$$

Para a frequência basta fazer o inverso do período  $T$ . Que teve valor aproximado de 36,5kHz.

Por fim, no exercício 3 retire-se  $C_y$  e conecta-se  $R_x$  e  $C_x$  juntamente com uma entrada senoidal de frequência 1kHz e 3V de pico em  $V_m$ .  $V_m$  é o pino 5 (control Voltage) do CI 555, isso já nos dá uma pista por que a saída que há interesse segue agora uma forma senoidal. Isso acontece por que a entrada aplicada no pino 5 é uma entrada variante com o tempo que faz com que  $V_{TH}$  e  $V_{TL}$  variem também com o tempo, variando também a frequência na onda de saída.

## 4.2 Experimento em Laboratório

Para o primeiro exercício proposto no roteiro temos os resultados a seguir.

Como comentado na análise teórica,  $V_d$  hora está em nível alto hora em nível baixo gerando uma onda quadrada que pode ser vista na Figura 37.

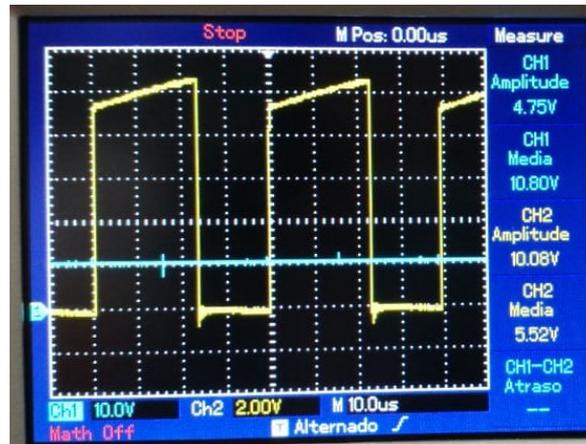


Figura 37: Sinal de  $V_d$  para a configuração do primeiro exercício.

Na Figura 38, abaixo, vemos o sinal de  $V_c$ , como já se esperava a onda cresce e decresce exponencialmente e o período de  $T_H$  é maior que  $T_L$ .

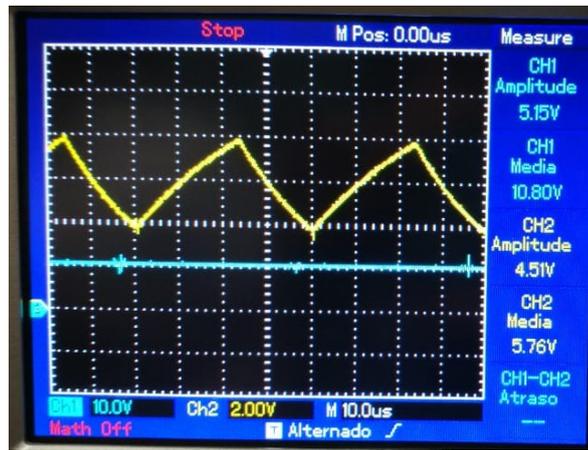


Figura 38: Sinal de  $V_c$  para a configuração do primeiro exercício.

A saída  $V_{o1}$ , Figura 39 segue o mesmo padrão já descrito na Figura 37

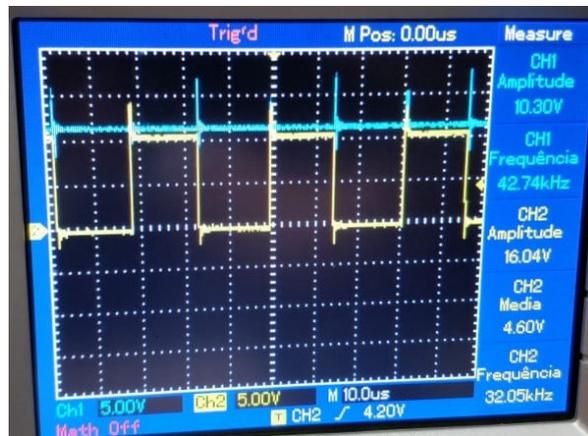


Figura 39: Sinal de  $V_{o1}$  para a configuração do primeiro exercício.

Na saída  $V_{o2}$  podemos ver claramente o efeito do capacitor  $C_y$  carregando e descarregando a cada período.

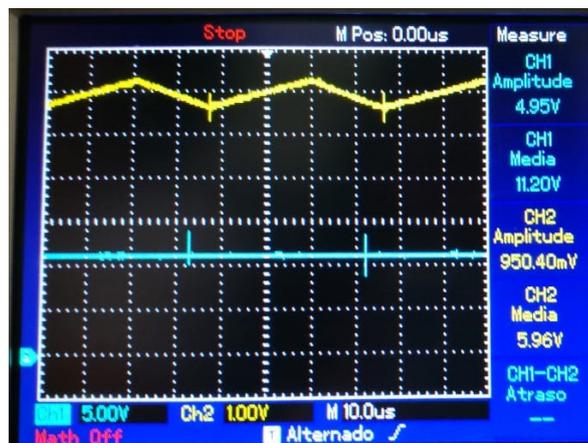


Figura 40: Sinal de  $V_{o2}$  para a configuração do primeiro exercício.

Abaixo, na Figura 41, segue a simulação no Microcap. Com isto confirmamos os dados apresentados.

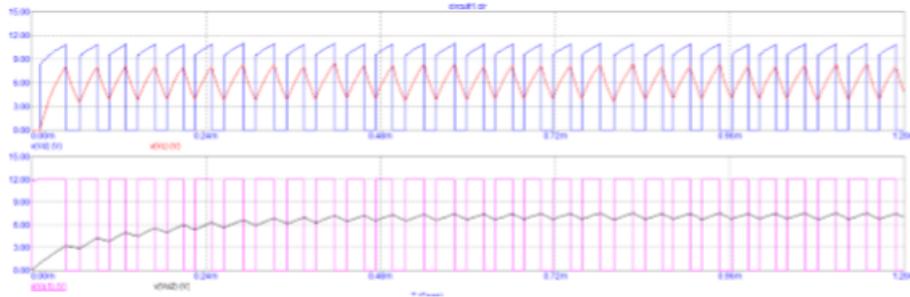


Figura 41: Simulação do primeiro exercício no MICROCAP.

Os resultados do segundo exercício se assemelham muito com os já obtidos na primeira atividade, no entanto, observamos o aumento da frequência devido a inserção de  $R_x$ , já explicado na análise teórica, e que pode ser visto nas imagens coletadas em laboratório.

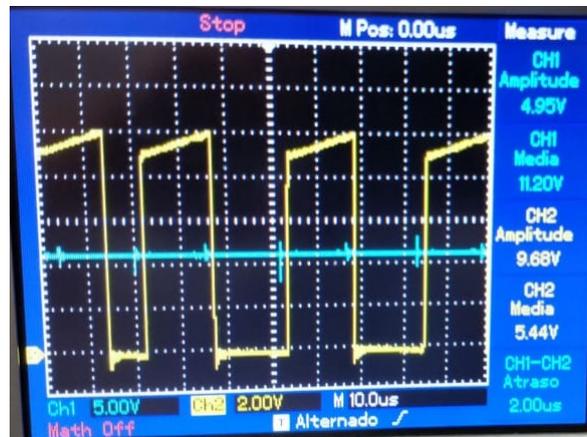


Figura 42: Sinal de  $V_d$  para a configuração do segundo exercício.

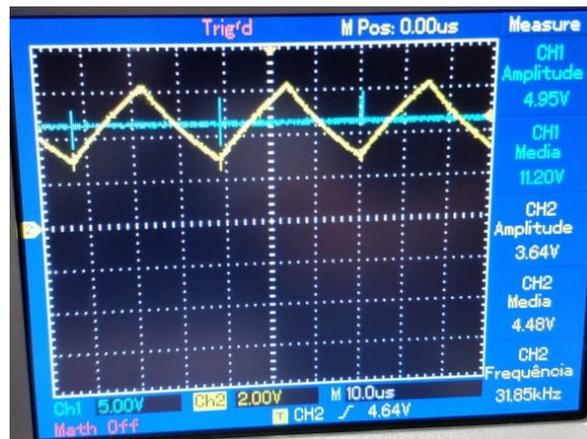


Figura 43: Sinal de  $V_c$  para a configuração do segundo exercício.

É interessante nos atentarmos para o valor da tensão média de  $V_{o1}$  com a inserção de  $R_x$  ela diminui.



Figura 44: Sinal de  $V_{o1}$  para a configuração do segundo exercício.

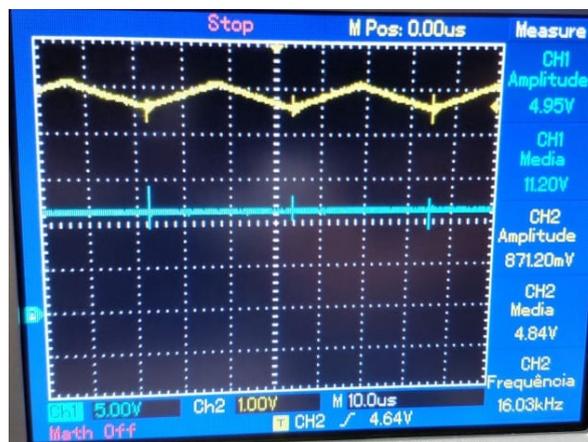


Figura 45: Sinal de  $V_{o1}$  para a configuração do segundo exercício.

Como no primeiro experimento utilizamos a simulação do Microcap para confirmar os dados apresentados, Figura 46.

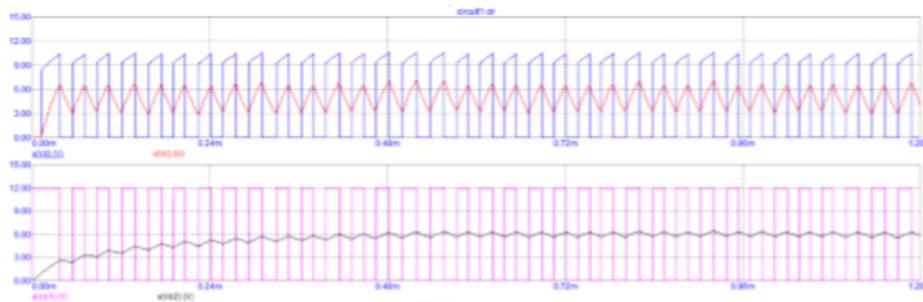


Figura 46: Simulação do segundo exercício no MICROCAP.

Na última atividade (Figura 47) o circuito foi analisado no modo PPM - *Pulse Position Modulation*, neste experimento é possível observar o que já foi exposto acima na análise teórica. Na forma de onda azul pode-se observar a mudança dos períodos  $T_H$  e  $T_L$  o que faz com que a frequência varie juntamente. Na forma de onda amarela, é possível ver a forma da senóide que esta sendo aplicada na entrada, mesmo que com o serrilhado da comutação do circuito.

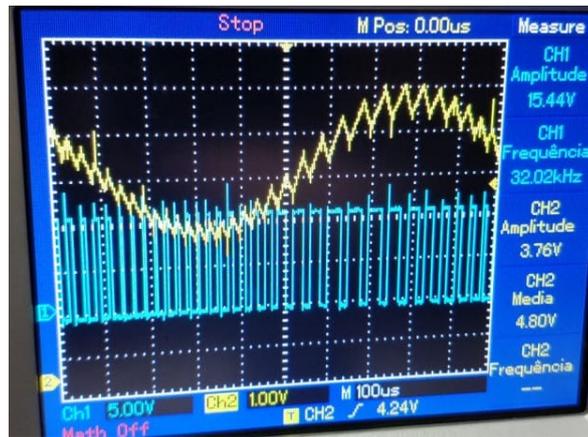


Figura 47: Sinal de  $V_o1xV_i$  para a configuração do terceiro exercício.

Ainda, para confirmar os dados encontrados no laboratório segue abaixo, na Figura 48. Percebe-se que o primeiro e o segundo sinal são praticamente iguais aos observados em laboratório, o que confirma o estudo proposto.

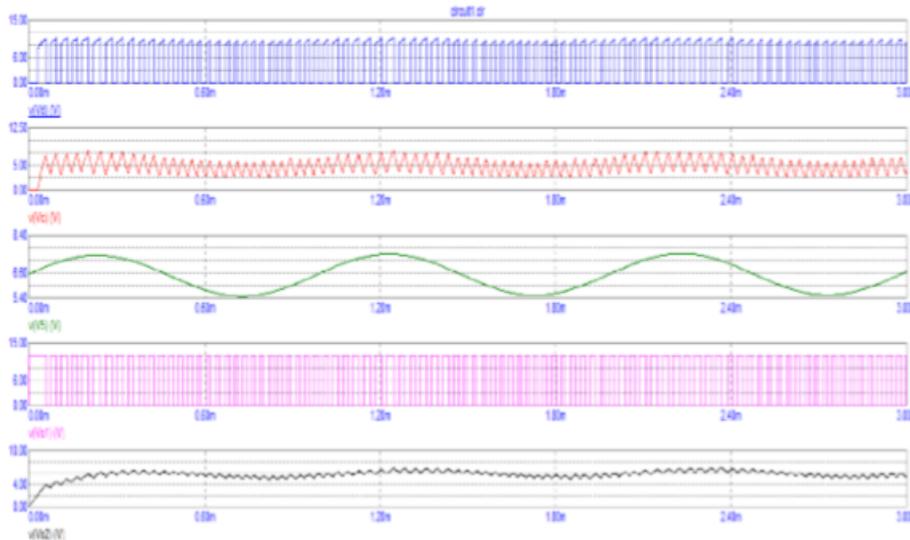


Figura 48: Simulação do terceiro exercício no MICROCAP.

### 4.3 Conclusões sobre o Laboratório 10

No laboratório 10 pode-se utilizar um dos CIs mais populares na implementação de temporizadores e multivibradores. O CI 555 é um componente simples, preciso e robusto se utilizado de maneira correta. Dentre os experimentos podemos ver a geração de onda quadrada com *Duty Cycle* ajustável, através da mudança dos resistores externos, como também um sinal de saída capaz de seguir o sinal de entrada, no caso a senóide posta no pino 5 (exercício 3). Este ultimo exemplo é o princípio da modulação senoidal ajustável, princípio importantíssimo para controle de tensões em variadas aplicações.

## Referências Bibliográficas

SEDRA, A. S.; SMITH. Microeletrônica. [S.I.]: Pearson Prentice Hall, 2007.