

GERAÇÃO DE PWM VARIÁVEL PARA CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTOR DC

GEORIG PLACK, Augusto ^{1*}; SCHWINN, Maicon Adriano ²; SECHTICH TAVARES, Marcelo ³; KUNKEL DA COSTA, Alexandre ⁴.

^{1,2,3,4} FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade Horizontina, Campus Arnoldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: ap002157@fahor.com.br;

RESUMO

Os circuitos integrados são muito utilizados em projetos de eletrônica pois possuem ampla aplicação. Pensando nisso, buscamos projetar um sistema que faz o uso do CI 555 para geração de pulsos modulados, utilizados para controlar a velocidade de um motor DC. O trabalho teve como objetivo principal a construção de um protótipo, utilizando o circuito integrado 555 para geração de um *Pulse Width Modulation* (PWM) variável. Possibilitando assim, conhecer e observar o funcionamento de um sistema PWM, utilizando-o para o controle de velocidade de um motor de corrente contínua. O estudo iniciou-se no componente curricular “Sistemas Digitais II”, seguindo com as pesquisas bibliográficas e construção do referencial teórico. Dando continuidade, fez-se a simulação no software Proteus e confecção da placa do circuito impresso, finalizando com a montagem do protótipo. Os objetivos propostos no trabalho foram alcançados pelo grupo, desta forma adquirimos um maior conhecimento sobre o conteúdo proposto.

Palavras chave: PWM, Circuito Integrado 555, Motor DC, Controle de Velocidade, Protótipo.

VARIABLE PWM GENERATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL

ABSTRACT

Integrated circuits are widely used in electronics projects because they have wide application. In this way, we have tried to design a system that uses the IC 555 to generate modulated pulses, which are usually used to control the speed of a DC motor. The main objective of the work is the construction of a prototype, using the 555 integrated circuit to generate a variable Pulse Width Modulation (PWM). Thus, knowing and observing the operation of a PWM system, using it to control the speed of a DC motor. The study began in

the curricular component “Sistemas Digitais II” (Digital Systems II), followed by bibliographical research and the construction of a theoretical reference. Continuing, the simulation was done in the Proteus software and confection of a printed circuit board, concluding with the assembly of the prototype. The objectives proposed in the work were reached by the group, in this way we acquired a greater knowledge about the proposed content.

Keywords: PWM, Integrated Circuit 555, DC Motor, Speed Control, Prototype.

1 INTRODUÇÃO

O circuito integrado 555 é utilizado há muitos anos na elaboração de projetos de eletrônica e continua no mercado até os dias atuais. Ele é utilizado nos projetos mais simples até os mais complexos, tendo suas aplicações por exemplo no controle de velocidade de um motor, também na função de temporizador e até divisor de frequência, entre várias outras.

O presente artigo que tem por objetivo utilizar o circuito integrado 555 para geração de um PWM variável, para controlar a velocidade de um motor DC. Para realizar o trabalho, inúmeros passos foram necessários. Inicialmente houve muito estudo no componente curricular Sistemas Digitais II, para obter-se o conhecimento básico, em seguida houve o estudo dos referenciais teóricos sobre o assunto. Foram realizados diversos testes com uma interface gráfica Proteus, com a finalidade principal de entender e fazer o circuito funcionar. O circuito gerador de PWM pode ser obtido de diversas formas, foi escolhido o sistema que possibilitou usar os componentes disponíveis no laboratório de eletrônica da FAHOR. Finalizando com a construção do protótipo para a aplicação prática do projeto.

Com a construção do protótipo, podemos observar e desenvolver na prática o real funcionamento do PWM com o CI 555, para o controle de velocidade de um motor DC. O mesmo varia sua velocidade, conforme o tamanho da onda gerada pelo circuito integrado, em conjunto com outros componentes de filtro e regulação.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 O QUE É PWM

Sabe-se que PWM (*Pulse-width modulation* / modulação por largura de pulso) é uma técnica utilizada para permitir o controle da energia fornecida a equipamentos elétricos, como por exemplo: servo motores; dispositivos de iluminação e para codificar mensagens de

transmissão. (DOS REIS, 2017). Nosso foco neste artigo é o controle de velocidade de um motor.

Com o PWM é possível controlar a tensão e a corrente fornecidas a uma carga ao alternar a faixa *On* e *Off* do fornecimento de energia, entre a fonte e a carga com uma taxa muito rápida. Quanto mais tempo a alimentação permanece ligada, em comparação com o tempo desligada, maior a quantidade total de potência fornecida à carga. (DOS REIS, 2017)

2.1.1.1 FUNCIONAMENTO DO PWM

O PWM funciona modulando o ciclo ativo (*duty cycle*) de uma onda quadrada. O controlador (fonte de tensão com PWM) entrega uma série de pulso, gerado em intervalos de igual duração, que pode variar o tempo que permanece “ligado”, completando o restante do tempo com a situação “desligado”. Quanto mais largo o pulso, maior será a quantidade de corrente fornecida à carga, conseqüentemente mais rápido o motor irá girar. (DOS REIS, 2017).

2.1.1.2 DUTY CYCLE

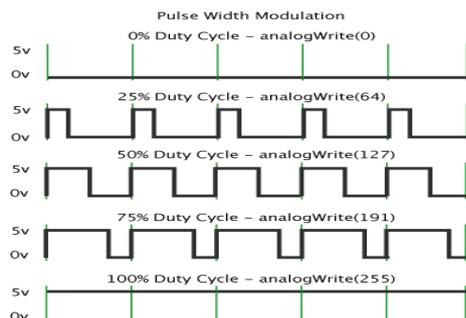
O *duty cycle* (ciclo ativo) diz respeito à proporção de tempo com fornecimento de energia (on), em relação ao período de tempo sem energia (off). Um *duty cycle* baixo terá pouca potência fornecida, pois a energia está desligada a maior parte do tempo. Sendo que o valor 100% significa "totalmente ligado" e 0%, "totalmente desligado".

A duração do tempo ligado é chamada de "largura do pulso", e podemos simbolizá-la pela letra *t*. O tempo decorrido entre duas rampas de subida em dois pulsos adjacentes é chamado de período, geralmente simbolizada pela letra *T* (maiúscula). (DOS REIS, 2017).

2.1.1.3 CALCULANDO O CICLO ATIVO

O ciclo ativo é a razão entre a largura do pulso e o período, ou seja, t/T . Por exemplo, se o circuito de controle ajusta a frequência do PWM para 1000 Hz, teremos que $T = 1/1000$ segundos = 1 ms (um milissegundo). Se o ciclo ativo é de 40% (0,4), cada pulso ocupará apenas 40% do período, significa que $t = 1 \text{ ms} \times 0,4 = 0,4 \text{ ms}$, o pulso terá valor de tensão alto durante 0,4 ms do 1 ms do período completo.

Na figura 1, veja como se comporta o sinal PWM para valores de *duty cycles* diferentes. Figura 1 – Sinais PWM com diferentes *Duty Cycles*.



Fonte: Curso de Eletrônica – O que é PWM, Bóson treinamentos (2017).

A grande vantagem de se usar PWM é que a perda de potência nos dispositivos chaveados é muito baixa. Uma das principais aplicações do PWM é no controle de motores, além de ser usada para regulação de tensão e controle de iluminação (*dimmers*). Essa técnica é usada nos projetos com Arduino, que possui saídas capazes de fornecer tensão em PWM. (DOS REIS, 2017)

2.1.2 CI 555

O CI 555 é bem versátil, barato e muito utilizado quando se deseja criar um *clock* específico ou até controlar uma carga por PWM.

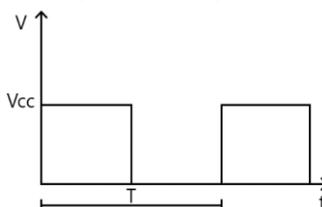
Figura 2 – Ilustração de um CI 555.



Fonte: Mundo Projetado – CI 555 (2017).

O 555 é um circuito integrado (CI) de 8 pinos sendo capaz de, em uma de suas configurações, emitir pulsos em sua saída com um período configurável. A imagem na próxima página ilustra como é a saída do 555 no modo astável. Onde T seria justamente o período (o tempo do sinal em nível alto mais o tempo do sinal em nível baixo). (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017).

Figura 3 – Ilustração do período em função do tempo.

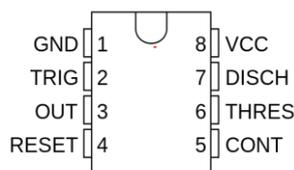


Fonte: Mundo Projetado – CI 555 (2017).

2.1.2.1 ESTRUTURA INTERNA

O 555 possui 8 pinos. No funcionamento a veremos o que cada um faz.

Figura 4 – Ilustração da pinagem do CI 555.

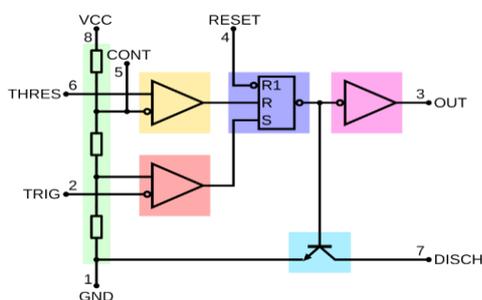


Fonte: Mundo Projetado – CI 555 (2017), Wikipedia (2007).

De acordo com a imagem a seguir, internamente ele tem os seguintes elementos:

Um flip flop RS (em roxo); Dois comparadores simples, que são basicamente amplificadores operacionais (um em amarelo e outro em vermelho); Um transistor de descarga (em azul claro); Um divisor de tensão formado por três resistores 5K Ω (em verde).

Figura 5 – Estrutura Interna do CI 555.



Fonte: Mundo Projetado – CI 555 Estrutura Interna (2017), Wikipedia (2007).

O *Reset* é ligado ao *Clear* barrado do flip flop (na figura chamado de R1), ou seja, recebendo 5V ele impede que o flip flop tenha seu sinal zerado constantemente.

O flip flop possui a saída barrada neste caso e o elemento em rosa negra (barra) a saída de novo. O elemento em azul recebe a saída Q barrado e o elemento em rosa transforma a saída para Q. Olhando a imagem acima, é como se o elemento em azul estivesse ligado em Q barra e o em rosa em Q normal. A bolinha que está nos comparadores representa o "barrado" do amplificador operacional. A tensão no divisor de tensão será de $2/3V_{cc}$ (comparador amarelo) e $1/3V_{cc}$ (comparador vermelho) de cima para baixo.

2.1.2.2 COMO FUNCIONA

O CI 555 opera em 3 modos:

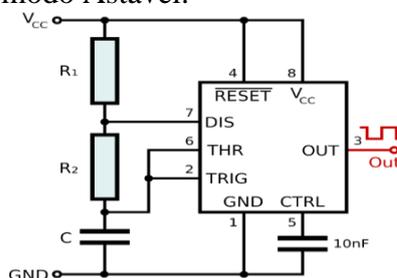
- Monoestável: nesta configuração, o CI 555 funciona como um disparador. Suas aplicações incluem temporizadores, detector de pulso, chaves imunes a ruído, interruptores de torque, etc;
- Astável: o CI 555 opera como um oscilador. Suas aplicações incluem pisca-pisca de LED, geradores de pulso, relógios, geradores de tom, alarmes de segurança, etc;

- Bistável: o CI 555 pode operar como um flip-flop, se o pino DIS não for conectado e se não for utilizado capacitor. As aplicações incluem interruptores imunes a ruído, etc.

Nosso trabalho é focado na geração de pulsos de largura modulada (PWM) para alimentação de uma carga utilizamos o CI 555 no modo Astável, e funciona da seguinte forma:

Utilizamos o seguinte diagrama de ligação e a imagem da estrutura interna (figura 6) como base para explicar o seu funcionamento.

Figura 6 – Esquema de ligação modo Astável.



Fonte: Mundo Projetado – CI 555 Funcionamento (2017), Wikipedia (2007).

O comparador ligado ao pino S do flip flop é disparado apenas se a tensão do divisor de tensão ($1/3V_{cc}$) for maior que a tensão do pino TRIG. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

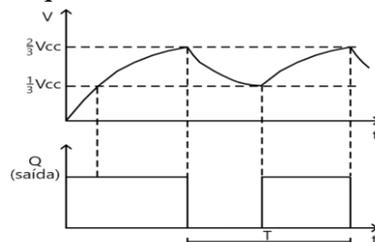
O comparador que está ligado ao pino R do flip flop é disparado apenas se a tensão do pino THR for maior que a tensão do divisor de tensão ($2/3V_{cc}$) (o contrário do comparador anterior). (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

A primeira coisa que ocorre é o capacitor C começar a carregar, feito isso a tensão nos pinos TRIG e THR é próxima de 0V. Com isso, $0 < 1/3V_{cc}$, logo o comparador ligado ao pino S é acionado e o flip flop manda sinal de nível alto na saída. A medida que o capacitor carrega a tensão sobe, vindo a atingir um valor minimamente acima de $1/3V_{cc}$, logo o comparador não é mais acionado. Desse modo, o flip flop recebe 0V em ambos os pinos, que neste caso apenas mantém o último estado da saída (contínua em nível alto). (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

O capacitor continua carregando até que a tensão atinja um valor minimamente acima de $2/3 V_{cc}$ e o comparador ligado ao pino R é acionado. Então, o flip flop manda um sinal de nível baixo na saída, fazendo com que o transistor de descarga seja ativado (pois ele está ligado na saída barrada/negada). Com ele ativado, o capacitor começa imediatamente a descarregar. Ele faz isso até que a tensão fique minimamente abaixo de $1/3V_{cc}$ e assim o comparador do pino S é acionado. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

Isso faz com que a saída vá para nível alto novamente, o transistor de descarga seja desativado e o capacitor, sem ter onde descarregar, começa seu ciclo de carga novamente. E assim esse ciclo se repete, criando uma onda quadrada na saída do 555 com um determinado período. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017).

Figura 7 – Representação da onda quadrada na saída do CI 555.



Fonte: Mundo Projetado – CI 555 Saída (2017), Wikipedia (2007).

No início a saída é maior justamente porque a tensão no instante inicial vai ser 0V. E o capacitor precisa dar a primeira descarga para entrar no ciclo normal, onde o período será constante. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

O resistor R2 vai determinar o tempo de carga e descarga, então quanto menor o valor dele, menor vai ser o período. E pela mesma ideia, quanto maior o valor do capacitor mais ele vai demorar a descarregar. Como o resistor R1 não interfere na descarga, ele vai influenciar apenas na carga do capacitor, no tempo em alta da saída. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

Por fim, o capacitor, que na imagem, é de 10nF serve apenas para estabilizar a entrada CTRL. Pois não estamos usando a funcionalidade dela. (GUIMARÃES DE SOUZA, 2017)

Para utilizar o CI 555 no modo astável, devemos calcular o período utilizando as fórmulas abaixo (Conjunto de Equações 1):

$$T_{total} = \ln(2) \cdot C \cdot (R1 + 2R2)$$

$$T_{alta} = \ln(2) \cdot C \cdot (R1 + R2)$$

$$T_{baixa} = \ln(2) \cdot C \cdot R2$$

E para a frequência final, basta inverter o valor do período:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot C \cdot (R1 + 2R2)} \quad (1)$$

2.1.3 FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR DC

Corrente Contínua (CC ou DC do inglês *direct current*) é o fluxo ordenado de elétrons sempre numa direção. Um motor CC é um motor alimentado por corrente contínua (CC), esta alimentação pode ser proveniente de uma bateria ou qualquer outra alimentação CC. Sabemos que podemos aumentar ou diminuir a velocidade de um motor de corrente contínua aumentando ou diminuindo a tensão que o alimenta. (BERTULUCCI SILVEIRA, 2017).

O controle da velocidade do motor no nosso trabalho, vai ser feito através de pulsos PWM. Onde a tensão de saída da nossa fonte de alimentação não vai variar, nossa única

variação para o controle da velocidade vai ser a largura do pulso PWM (tempo que o motor vai ficar ligado e desligado).

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo iniciou-se com a pesquisa bibliográfica sobre os assuntos abrangentes, para construção do referencial teórico. Após entendimento básico das teorias, houve a elaboração do circuito e realização de cálculos para construção do protótipo. Em seguida, fez-se a listagem de componentes eletrônicos necessários para execução do projeto.

Para a construção do protótipo houve o empréstimo dos componentes necessários pela FAHOR – Faculdade Horizontina. Com os componentes necessários em mãos, e a placa de circuito impresso elaborada, os participantes do grupo de pesquisa confeccionaram o protótipo, com a devida simulação do circuito no software Proteus e posteriormente fizeram a sua construção na prática. Também foram feitos testes e correções para verificar possíveis erros no protótipo. No encerramento do projeto planejou-se apresentar uma aplicação para o protótipo.

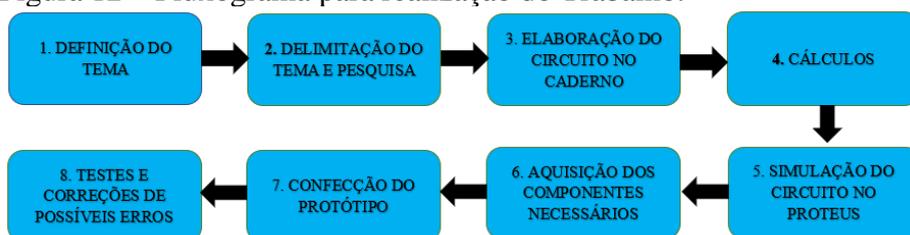
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a proposta de trabalho, conseguimos desenvolver o controle de PWM para acionar um cooler de computador. Os resultados do projeto foram positivos e os objetivos alcançados, mas para isto seguiram-se alguns passos relatados a seguir.

2.3.1 FLUXOGRAMA DO PLANEJAMENTO PARA REALIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente artigo iniciou-se com a elaboração de um fluxograma, onde esquematizamos o trabalho passo a passo, desde a definição do tema em sala de aula, e também a sua delimitação. Posteriormente iniciamos as pesquisas para elaboração do circuito no caderno, após realizamos os cálculos e iniciamos as simulações em softwares computacionais, feito isto, adquirimos os componentes necessários e iniciamos o processo de prototipagem até chegarmos a aplicação final. Conforme figura a seguir.

Figura 12 – Fluxograma para realização do Trabalho.



Fonte: Os Autores (2018).

2.3.2 CÁLCULO DE RC PARA O CIRCUITO

Conforme modo de operação do CI 555, que neste artigo operou na sua configuração astável, utilizamos as fórmulas apresentadas no referencial teórico (conjunto de Equações 1) para realizar os respectivos cálculos:

$$C1 : 10 \text{ nF}$$

$$R1 : 1 \text{ k}\Omega$$

$$R2 : 100 \text{ k}\Omega$$

$$f = \frac{1,44}{(R1 + 2R2) \cdot C1}$$

$$f = \frac{1,44}{(1\text{k} + 200\text{k}) \cdot 10\text{nF}}$$

$$f = \frac{1,44}{2,01 \times 10^{-3}}$$

$$f = 716 \text{ Hz}$$

Calculando a Frequência (f) máxima para este circuito com estes componentes, achamos o Período (T):

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = 1,39 \times 10^{-3}$$

$$T = 1,39 \times 10^{-3} \rightarrow \text{DutyCycle de } 100\%$$

Com regra de três achamos o Período para um *Duty Cycle* de 5%:

$$1,39 \times 10^{-3} \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 5\%$$

$$T = 0,0695 \times 10^{-3} \rightarrow \text{DutyCycle de } 5\%$$

Procuramos o valor de $R2$ para um *Duty Cycle* de 5%:

$$T(5\%) = 0,693 \cdot (R1 + 2R2) \cdot C1$$

$$0,0695 \times 10^{-3} = 0,693 \cdot (1\text{k} + 2R2) \cdot 10\text{nF}$$

$$0,0695 \times 10^{-3} = 0,693 \cdot (1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-8} R2)$$

$$0,0695 \times 10^{-3} = 6,3 \times 10^{-6} + 0,01386 \times 10^{-6} R2$$

$$62,7 \times 10^{-6} = 0,01386 \times 10^{-6} R2$$

$$\mathbf{R = 4,62 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{Para um DC de } 5\%}$$

Procuramos o valor de $R2$ para um *Duty Cycle* de 100%:

$$T(100\%) = 0,693 \cdot (R1 + 2R2) \cdot C1$$

$$1,39 \times 10^{-3} = 0,693 \cdot (1\text{k} + 2R2) \cdot 10\text{nF}$$

$$1,39 \times 10^{-3} = 0,693 \cdot (1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-8} R2)$$

$$1,39 \times 10^{-3} = 6,3 \times 10^{-6} + 0,01386 \times 10^{-6} R2$$

$$1,38 \times 10^{-3} = 0,01386 \times 10^{-6} R2$$

$$\mathbf{R = 99,56 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{Para um DC de } 100\%}$$

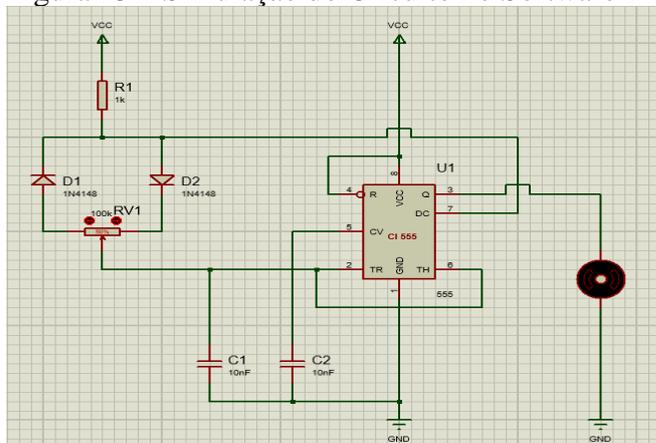
2.3.3 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO NO PROTEUS

O circuito elaborado, precisou de alguns componentes básicos da operação astável e outros componentes adicionais para funcionar sem interferências, nem ondas parasitas, e estes possuem as respectivas funções:

- Capacitor de 10nF no pino 5 serve apenas para estabilizar a entrada CTRL. Isso porque não estamos aproveitando da funcionalidade dela.
- Diodos de Sinal 1N4148 só vão conduzir a corrente em um sentido, trabalhando juntamente com o circuito RC, interferindo no processo de carga e descarga do capacitor.
- O Capacitor C1 trabalha juntamente com os resistores RV1 e R1, para formar um circuito RC que nesta configuração garante a ativação do circuito no modo “astável”.

Para realizarmos a correta construção do protótipo, decidimos fazer a sua simulação em software computacional, pelo fato do grupo de trabalho já estar mais familiarizado com o Proteus, foi optado por este software entre tantos outros disponíveis. Com a simulação podemos observar que o circuito no modo biestável funcionou conforme o esperado, obtendo uma variação da onda quadrada na simulação do osciloscópio e variando o estado do *duty cycle* quando alterávamos a resistência do potenciômetro, desta forma iniciamos a prototipagem e construção do mesmo na prática.

Figura 13 – Simulação do Circuito no Software Proteus.



Fonte: Os Autores (2018).

2.3.4 RECURSOS NECESSÁRIOS

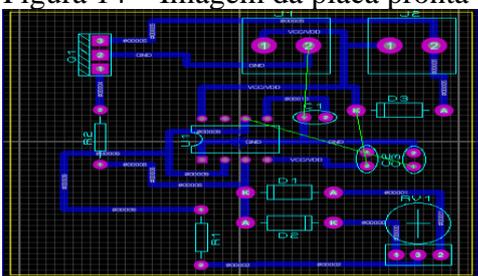
Para a construção do protótipo foi necessário providenciar alguns componentes eletrônicos, que estão mencionados a seguir:

- Protoboard; Jumpers; CI 555;
- Capacitores Eletrolíticos e Cerâmicos; Resistores e um Motor DC.
- Placa Fenolite, Estanhador, Arrame de Solda, Multímetro e Osciloscópio;

2.3.5 PROTOTIPAGEM DO CIRCUITO NA PRÁTICA

Para a obtenção do protótipo, primeiramente simulamos o circuito no software. Após o mesmo gerar um caminho de trilhas para uma placa de circuito impresso, transferimos o circuito para a placa com papel carbono, desenhando depois com caneta de retroprojektor para garantir que as trilhas não fossem corroídas. Com a placa já corroída pela solução de percloroeto de sódio, soldamos os componentes e testamos novamente para garantir que estava correto e obtivemos êxito.

Figura 14 – Imagem da placa pronta para impressão.



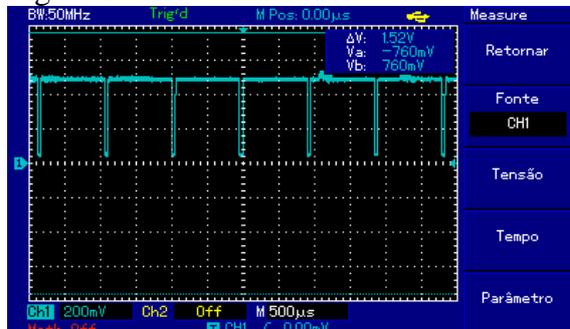
Fonte: Os Autores (2018).

2.3.6 ANÁLISE DO PROTÓTIPO ATRAVÉS DO OSCILOSCÓPIO

Após finalizar a construção do protótipo, precisamos fazer o uso do Osciloscópio para verificar se a saída estava gerando o PWM e, para isto, fizemos a ligação do Canal 1 do Osciloscópio na saída 3 do CI 555, observando e analisando as formas de onda abaixo:

Na figura 15 podemos observar um PWM (*duty cycle*) em aproximadamente 95%, percebemos também que o período não se altera, o que varia é somente o ciclo ativo (*duty cycle*), conforme proposto pelo trabalho.

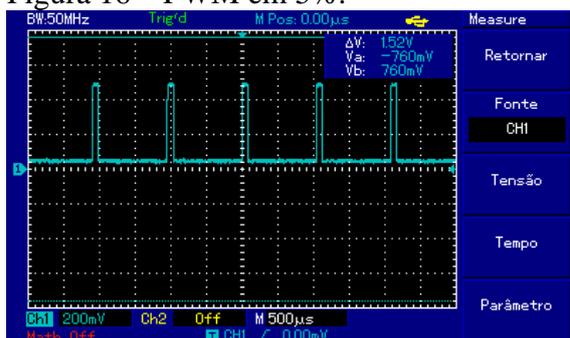
Figura 15 – PWM em 95%.



Fonte: Os Autores (2018).

Na figura 16 observamos um PWM (*duty cycle*) em aproximadamente 5%, percebemos também que o período não se altera, o que varia é somente o ciclo ativo (*duty cycle*). Observamos assim que o protótipo atendeu as expectativas do grupo.

Figura 16 – PWM em 5%.



Fonte: Os Autores (2018).

CONCLUSÃO

Sabe-se que o circuito integrado 555 é muito utilizado em projetos de eletrônica à muitos anos até os dias atuais. Por ter uma vasta aplicação está presente em projetos dos mais simples até os mais complexos, sendo este um dos motivos que levou o grupo a fazer o projeto com o uso do CI 555 no controle de velocidade de um motor de corrente contínua.

Os objetivos propostos no trabalho foram alcançados pelo grupo, desta forma adquirimos um maior conhecimento sobre o conteúdo proposto. Foram realizados diversos testes no software computacional Proteus e estes foram de suma importância para o entendimento do circuito e posterior execução do mesmo na prática. Inúmeros testes e cálculos foram realizados até chegarmos no resultado final, e estes foram muito importantes para aprendizagem e também na execução de futuros projetos, que poderão acontecer no decorrer do Curso.

O grupo desde o início do trabalho já pensava em uma aplicação para o protótipo construído e a considerada mais útil foi a aplicação em uma churrasqueira elétrica, para controle da velocidade de rotação ou até parada do motor. Porém, para esta aplicação é necessário fazer pequenas adaptações no circuito, como por exemplo: adicionar um transistor na saída do protótipo para conseguir controlar um motor de maior potência, como os usados em churrasqueiras elétricas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022: **Informação e Documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação**. Rio de Janeiro, 2003.

DOS REIS, Fábio. **PWM - Pulse Width Modulation**. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-pwm-pulse-width-modulation/>>. Acesso em: 16 outubro de 2018.

GUIMARÃES DE SOUZA, Fábio. **CI 555 - O que é e como funciona**. Disponível em: <<http://mundoprojetado.com.br/ci-555-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 16 outubro de 2018.

BERTULUCCI SILVEIRA, Cristiano. **Motor CC: Saiba como funciona e de que forma especificar**. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Acesso em: 16 outubro de 2018.

DESCONHECIDO, Autor. **PWM – Modulação por Largura de Pulso**. Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_pwm/>. Acesso em: 3 novembro de 2018.

COSTA, Rodrigo. **PWM – Controle de velocidade de motores DC através de circuito PWM utilizando o imortal CI 555**. Disponível em: <<https://eletronicaparatodos.com/controle-de-velocidade-de-motores-dc-atraves-de-um-circuito-eletronico-do-tipo-modulo-pwm-pulse-width-modulation-ou-modulacao-de-largura-de-pulso/>>. Acesso em: 3 novembro de 2018.