

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

ANA CAROLINA JUNKES DALA COSTA

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CONTROLE PARA MOTORES
MONOFÁSICOS UNIVERSAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2022

ANA CAROLINA JUNKES DALA COSTA

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CONTROLE PARA MOTORES MONOFÁSICOS UNIVERSAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Marcus Paulo Costa Carvalho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

TOLEDO
2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 70

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CONTROLE PARA MOTORES
MONOFÁSICOS UNIVERSAIS**

por

ANA CAROLINA JUNKES DALA COSTA

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às **13h30 do dia 14 de dezembro de 2022** como **requisito parcial** para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Alessandro Paulo de Oliveira
UTFPR

Prof. Marcos Roberto Bombacini
UTFPR

Prof. Marcus Paulo Costa Carvalho
UTFPR

Prof. Dr. Felipe W. D. Pfrimer
UTFPR

O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso

Toledo, 14 de dezembro de 2022

Para minha família e amigos que sempre me
incentivaram e mostraram que sou capaz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos professores que trilharam meu caminho até aqui e me fizeram crescer, meu professor orientador por me auxiliar nessa trajetória e a todos os colegas que fizeram dessa jornada muito mais especial. Agradeço também, com todo o coração, a minha família, pela paciência e motivação que sempre me dispuseram. E por fim, aos meus amigos que sempre me fizeram ver o melhor de mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

"A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade."

Nikola Tesla

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo desenvolver e analisar um dispositivo capaz de proporcionar uma diminuição do consumo energético em motores universais monofásicos, os quais se encontram na grande maioria dos eletrodomésticos. O protótipo será constituído por um circuito de controle de potência, que trabalhará de forma a ajustar a velocidade desse motor, sendo esse ajuste estipulado por um circuito programado para reduzir o gasto de pico desses motores. Serão realizados ensaios do dispositivo para verificar se houve ou não uma economia energética significativa.

Palavras-chave: relé de estado sólido; energia elétrica; motores universais; controle de motores; eficiência energética.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop and analyze a device capable of allowing a reduction in energy consumption in universal single-phase motors, present in the vast majority of household appliances. The prototype will consist of power control circuit, which will work in the adjustment of motor speed, stipulated by a circuit programmed to reduce the motor's peak spending. Device testing will be carried, in order to check if it allows for a significant energy saving or not.

Keywords: solid state relay; electric energy; universal motors; motor control; energetic efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Acúmulo da Inflação até agosto de 2021	3
Figura 2 – SSR Percentual	5
Figura 3 – Símbolo circuital do TRIAC	6
Figura 4 – TRIAC BTA24-800B	6
Figura 5 – OPTOACOPLADOR 4N35	7
Figura 6 – Esquema elétrico 4N35	8
Figura 7 – OPTOACOPLADOR MOC3021	8
Figura 8 – Esquema elétrico MOC3021	8
Figura 9 – Efeito na onda senoidal do diodo retificador.....	9
Figura 10 – Circuito em ponte retificador – Semiciclo positivo.....	10
Figura 11 – Circuito em ponte retificador – Semiciclo negativo.....	10
Figura 12 – Circuito do Sensor ZMPT101B.....	10
Figura 13 – Módulo ZMPT101B.....	11
Figura 14 – Módulo ACS712	12
Figura 15 – Circuito <i>Dimmer</i> AC	12
Figura 16 – Circuito Detector de Zero - Simulado (PROTEUS, 2019).....	13
Figura 17 – Circuito Disparo do TRIAC - Simulado (PROTEUS, 2019)	14
Figura 18 – Circuito simulado (PROTEUS, 2019).....	17
Figura 19 – Osciloscópio do Circuito simulado (PROTEUS, 2019).....	18
Figura 20 – Osciloscópio do Circuito simulado (PROTEUS, 2019).....	19
Figura 21 – Circuito montando em protoboard	20
Figura 22 – Extensão com Fase/Neutro Expostos e Lâmpada de Teste	21
Figura 23 – Arduino UNO R3	21
Figura 24 – Saída da onda após dimerização – 10% de potência	22
Figura 25 – Saída da onda após dimerização – 25% de potência	23
Figura 26 – Saída da onda após dimerização – 50% de potência	23
Figura 27 – Saída da onda após dimerização – 90% de potência	24
Figura 28 – Gerber para fabricação do circuito	24
Figura 29 – Componentes soldados na placa de circuito impresso	25
Figura 30 – Componentes soldados na placa de circuito impresso	25
Figura 31 – Demonstração Interface software (PARALLAX, 2021).....	27
Figura 32 – Aparelho Mixer Mondial.....	28
Figura 33 – Interpolação entre Potência e Tempo da Partida Direta	30
Figura 34 – Interpolação entre Potência e Tempo da Partida Suave	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das empresas que não conseguiram crédito (em %)	3
Tabela 2 – Leitura da Corrente e Tensão por Tempo da Partida Direta	29
Tabela 3 – Leitura da Corrente e Tensão por Tempo da Partida em Rampa	29
Tabela 4 – Potência das Partidas	31
Tabela 5 – Gastos em Reais das Partidas	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SSR	Solid State Relay
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IBRE	Instituto Brasileiro de Economia
SCR	Sillicon Controlled Rectifier
DIAC	Diode Alternative Current
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
LED	Light Emitting Diode
CI	Circuito Integrado
SSR	Solid State Relay
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
PWM	Pulse-Width Modulation

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
Ω	Unidade de medida de resistência ou impedância elétrica
V	Unidade de medida da tensão elétrica
I	Unidade de medida da intensidade da corrente elétrica
W	Unidade de medida da potência
Hz	Unidade de medida de frequência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	JUSTIFICATIVA	3
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	5
4.1	FUNCIONAMENTO RELÉ DE ESTADO SÓLIDO PERCENTUAL	5
4.1.1	TRIAC	6
4.1.2	DIAC	7
4.1.3	OPTOACOPLOADORES	7
4.2	PONTE RETIFICADORA	9
4.2.1	DIODO RETIFICADOR.....	9
4.2.2	OPERAÇÃO DA PONTE RETIFICADORA	9
4.3	SENSOR DE TENSÃO	10
4.4	SENSOR CORRENTE	11
4.5	CIRCUITO DIMMER	11
4.5.1	DETECTOR DE PASSAGEM POR ZERO	12
4.5.2	TRIAC	13
5	MATERIAIS E MÉTODOS	15
5.1	CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO	15
5.2	SIMULAÇÃO - PROTEUS.....	17
5.3	PRÁTICA LABORATÓRIO.....	19
5.3.1	FORMATO DE ONDA CIRCUITO DIMMER AC.....	22
5.4	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.....	24
5.5	PROGRAMAÇÃO	26
5.6	PLX-DAQ.....	26
5.7	ESTUDO DE CASO.....	27
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
7	CONCLUSÃO.....	35
7.1	TRABALHOS FUTUROS	35
	Referências	36

Apêndices	SUMÁRIO	39
APÊNDICE A	Programação do Arduino para Rampa de Aceleração Suave.....	40
Anexos		43
ANEXO A	Ficha Técnica Mixer Mondial Power M-07	44
ANEXO B	Valor do kWh Dezembro - PR.....	45
ANEXO C	Fatura Comercial do Estabelecimento para Estudo de Caso	46

1 INTRODUÇÃO

Dentro das indústrias de todo o país, é comum encontrar motores de alta potência que geram um excessivo gasto energético. Estas empresas costumam utilizar dispositivos que auxiliam na partida e controle a fim de reduzir tais gastos, dado que o pico de energia nesse momento inicial do motor é muito elevado. Os motores que geralmente são utilizados nas residências, chamados de motores universais, não contam com o mesmo interesse de pesquisa e financeiro para se obter uma maior eficiência energética — segundo dados da Eletrobrás, a indústria é responsável pelo consumo de 42% da energia produzida no Brasil, sendo que 29% dela advém do uso de motores elétricos industriais (ELETROBRÁS, 2019).

A PNAD (2020) registrou um contingente de desempregados recorde de 13,8% em julho de 2020, em meio a pandemia, e esse grupo se viu na necessidade de empreender ou procurar formas alternativas para ter uma nova fonte de renda. Algumas dessas maneiras, como as indicadas pelo site do Serasa, são cozinha e costura, por exemplo (LUDUGERIO, 2020).

Pode-se constatar, que vários desses métodos para obter renda têm relação com trabalhos caseiros que utilizam eletrodomésticos de motores universais em sua produção, como máquinas de costura, batedeiras, liquidificadores e outros.

Outro aspecto que pesou negativamente para a população durante a pandemia foram os índices crescentes das tarifas de energia elétrica, como mostra a Nota Técnica (DIEESE, 2021). Nos últimos 5 anos, analisando desde junho de 2016 e já com a inclusão da bandeira tarifária e inflação, teve-se um aumento real de 21,61% na tarifa de energia elétrica dos paranaenses até 2022.

Pensando nesse novo mercado crescente de microempreendedores e considerando o aumento gradual das tarifas de energia elétrica, ano após ano, levantou-se o questionamento sobre como obter uma eficiência energética que pudesse auxiliar de algum modo resolutivo e prático. Nesse sentido, focando na parte dos eletrodomésticos, surgiu a ideia de formular um protótipo, com as mesmas funções de um inversor de frequência, para o controle dos motores desses aparelhos.

O inversor de frequência é um aparelho eletrônico que além de acionar os motores elétricos, também auxilia no controle de sua velocidade e potência. Para que esse controle funcione, é preciso ocorrer a variação da frequência e tensão do motor, podendo assim proporcionar redução dos custos de energia do mesmo (SILVEIRA, 2016)

Contudo, os inversores de frequência, não são fabricados para motores monofásicos, como é o caso dos motores das residências, pois, em sua maioria, são aplicados em motores industriais trifásicos. Assim, o objetivo central deste trabalho de conclusão de curso é o desenvolvimento e implementação de um inversor de frequência para motores residenciais, bem como posteriormente realizar uma análise criteriosa da possível economia energética advinda deste dispositivo implementado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo para realizar o controle da velocidade e partida de motores utilizados em eletrodomésticos. Estimar qual será a economia energética gerada a partir do protótipo, podendo dessa forma analisar a eficácia energética do dispositivo comparando à economia financeira derivada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

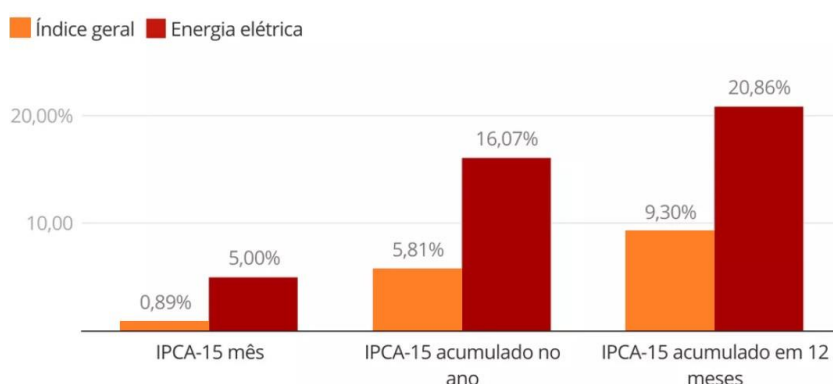
- Aplicar testes em diferentes cenários dos eletrodomésticos.
- Traçar um comparativo entre os gastos de energia.
- Quantificar o total de economia que a utilização do dispositivo pode proporcionar ao longo do tempo.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Silveira, Alvarenga e Gerbelli (2021), houve um aumento de 7% nas contas de energia elétrica de todo Brasil, sendo esse mais um problema para o orçamento familiar.

De acordo com o IBGE, o IPCA-15, o qual apresenta uma preliminar da inflação oficial do país, avançou cerca de 0,90% de julho para agosto de 2021, e a energia elétrica sofreu um aumento de 5% (SILVEIRA; ALVARENGA; GERBELLI, 2021). Ademais, o preço da energia elétrica subiu três vezes mais que a inflação, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Acúmulo da Inflação até agosto de 2021



Fonte: Desenvolvido por G1 dados de IBGE (2021)

Andrade (2021) cita a relevância dos pequenos negócios, mostrando que 98% das empresas existentes no Brasil são de pequeno porte, sendo essas empresas responsáveis por 51% do emprego gerado no país. Também é apontado que os impactos negativos mais significantes da pandemia foram nas Micro e Pequenas Empresas (MPE) relacionadas a lanchonetes, bares e restaurantes.

As empresas de pequeno porte sofreram mais em época pandêmica. Na pesquisa feita com as empresas pelo IBRE, se obteve a tabela da porcentagem das empresas e suas respectivas tentativas para conseguir crédito (datado até 2020) (TOBLER, 2020).

Tabela 1 – Distribuição das empresas que não conseguiram crédito (em %)

Empresas	Porcentagem
Pequeno Porte	64,4%
Médio Porte	30,5%
Grande Porte	5,1%

Fonte: Pesquisa feita por FGV (2021)

Assim sendo, devido a Tabela 1 obtida através da porcentagem das empresas e suas

respectivas tentativas para conseguir crédito e devido ao aumento no preço e na dificuldade das pequenas empresas em época pandêmica, o presente trabalho tem como base o uso de um dispositivo de controle de partida e velocidade de motores, descrevendo métodos e apresentando propostas, visando uma futura economia energética, bem como a redução dos gastos na energia elétrica, podendo assim beneficiar tanto residências quanto pequenas empresas que utilizem os motores universais em suas atividades.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 FUNCIONAMENTO RELÉ DE ESTADO SÓLIDO PERCENTUAL

O projeto inicial, contava como parte do seu desenvolvimento a utilização do SSR(Solid State Relay) de potência ou Relé de Estado Sólido, como mostra na Figura 2, sendo esse o SSR analisado. No desenvolver da parte prática, estudando as funcionalidades do SSR, optou-se por realizar um circuito desde sua forma inicial, em que o mesmo terá a mesma função do SSR, o qual somente iria ser acrescentado as funcionalidades necessárias. Contudo, para o controle ser gerido por micro controlador, surgiram diversos fatores para essa mudança como: o desenvolvedor não disponibilizar o esquemático do circuito interno do encapsulamento do SSR, um controle melhor de todo o conjunto do projeto, saber exatamente o que cada parte desempenharia, e também para projetos futuros poderem analisar uma redução de gastos no circuito total.

Figura 2 – SSR Percentual



Fonte: Foto de Autoria Própria

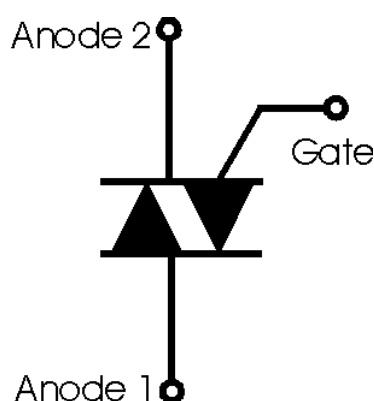
Em substituição, foi utilizado outro circuito onde a sua funcionalidade teórica é compatível com o necessário para o projeto. O circuito dimmer para corrente alternada, terá sua apresentação e funcionalidade apresentadas nesse capítulo.

Um circuito dimmer, pode ser utilizado para o controle eficaz da velocidade através da potência. Ademais, aplicando o TRIAC, é possível realizar o controle de cargas mais elevadas de maneira eficiente. (BRAGA, 2018)

4.1.1 TRIAC

No circuito dimmer, o componente principal para ser efetuado o controle de cargas é o TRIAC, como mostra a Figura 3, em que, o ângulo de disparo, sua principal característica, é responsável por possibilitar o controle da fase para o funcionamento do circuito. Esse componente foi desenvolvido para substituir o emprego de dois SCRs em antiparalelo, que sozinho não possui a característica de ser disparado por pulso negativo. Seu nome foi criado pensando em TRI (triodo ou dispositivo de três terminais) e AC (corrente alternada), tendo como característica fundamental o controle de passagem de corrente alternada¹.(SILVA, 2015)

Figura 3 – Símbolo circuitual do TRIAC



Fonte: Carvalho (2012)

O disparo pode ser efetuado tanto com gatilho de corrente positiva, quanto com negativa. Quando está em condução, sua atuação é semelhante a de um curto-circuito, apresentando uma pequena queda de tensão.(SILVA, 2015)

O TRIAC utilizado no projeto é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – TRIAC BTA24-800B



Fonte: Foto de Autoria Própria

¹Todos os dados referentes ao sensor BTA24-800B foram pesquisados em seu datasheet que se encontra em ST (2021)

4.1.2 DIAC

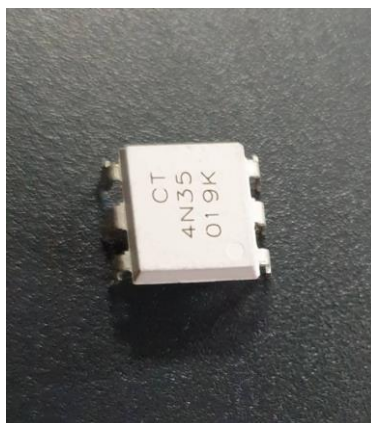
Para casos onde se utiliza o TRIAC como dispositivo de controle, costuma-se estar em conjunto o dispositivo DIAC para realizar o disparo do gate do TRIAC. O DIAC, disparado por tensão, é um gatilho bidirecional e começa sua condução apenas com uma tensão específica a ser atingida. Como possui alta sensibilidade a tensão, ele é usado como chave de comutação.

4.1.3 OPTOACOPLADORES

Os optoacopladores são dispositivos eletrônicos semicondutores que utilizam caminho óptico para efetuar o acoplamento de sinais dos circuitos elétricos, assim fornecendo isolamento pois não possuem ligação elétrica direta. Internamente, um optoacoplador, compõe-se em um LED emissor de luz infravermelha e outro componente fotossensível, que é utilizado para detecção do infravermelho. Todo esse aparato é produzido em um encapsulamento à prova de luz.(SHIN-TING, 2019)

O circuito irá possuir dois optoacopladores, o 4N35², como mostra a Figura 5, e o MOC3021³. O primeiro fará parte do circuito zero crossing, informando o arduino a hora exata em que a senoide passa pelo ponto zero, e também exercerá a função de separar a tensão de alimentação da parte sensível do circuito, que é o arduino. O MOC3021, estará presente na segunda parte do circuito, e fará o disparo para o triac, exercendo assim a função do controle do ângulo, dessa forma controlando a potência que a carga receberá.

Figura 5 – OPTOACOPLADOR 4N35



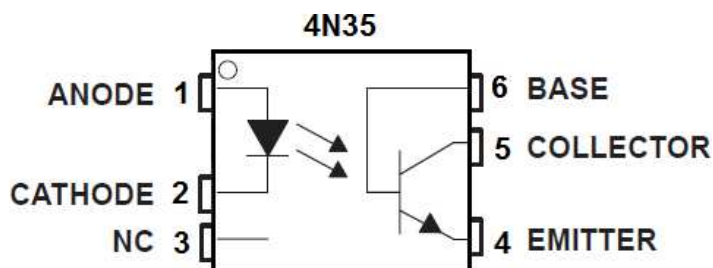
Fonte: Foto de Autoria Própria

O circuito integrado 4N35, visto na Figura 6, é um semicondutor isolador, que se acopla opticamente com um diodo emissor de luz infravermelha de arseneto de gálio e na saída contém um transistor fotodarlington de silício.(SARAVATI, 2020)

²Todos os dados referentes ao sensor 4N35 foram pesquisados em seu datasheet que se encontra em VISHAY (2010)

³Todos os dados referentes ao sensor MOC3021 foram pesquisados em seu datasheet que se encontra em FAIRCHILD (2000)

Figura 6 – Esquema elétrico 4N35



Fonte: ELECTROBIST (2015)

O MOC3021, ilustrado na Figura 7, é um circuito integrado, constituído de um diodo emissor de luz, que ativa o foto-triac, estabelecendo assim um estado de condução. (SEIDEL, 2012)

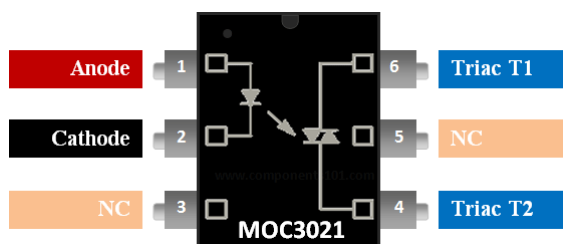
Figura 7 – OPTOACOPLADOR MOC3021



Fonte: Foto de Autoria Própria

O MOC-3021 é um isolador – disparador óptico com foto-diac, que atua como um triac, como podemos verificar no seu esquemático da Figura 8.

Figura 8 – Esquema elétrico MOC3021



Fonte: COMPONENTS101 (2017)

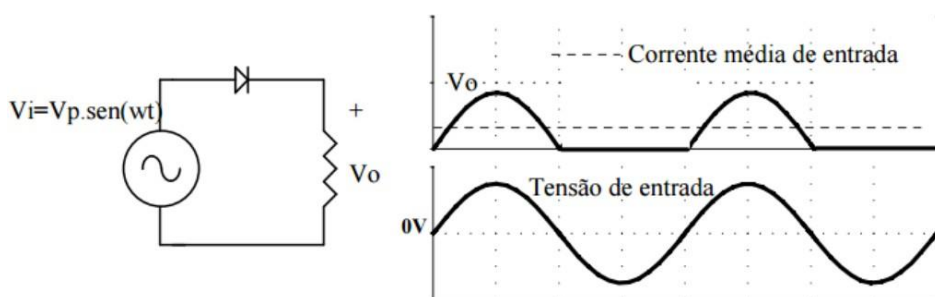
4.2 PONTE RETIFICADORA

A ponte retificadora é composta por quatro diodos retificadores, que executam a função de transformar a tensão alternada em contínua.

4.2.1 DIODO RETIFICADOR

Existem diversas funções para os diodos, mas na ponte retificadora ele executa o papel de retificar a onda AC, para tal função esses diodos são constituídos para conduzir altas correntes em baixas frequências. Suas propriedades permitem que se elimine um semiciclo da onda senoidal, como se pode verificar na Figura 9.(KERSCHBAUMER, 2019)

Figura 9 – Efeito na onda senoidal do diodo retificador



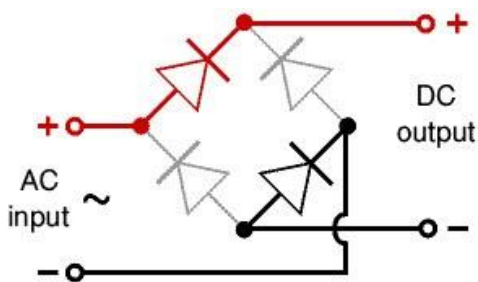
Fonte: Cupertino (2020)

4.2.2 OPERAÇÃO DA PONTE RETIFICADORA

Em um circuito com quatro diodos retificadores, em que se conectam de uma forma estratégica é onde ocorre a transformação da onda alternada para contínua pulsante. O processo desse esquema é parecido com a de um diodo retificador, apenas com o diferencial de como estão dispostos, uma vez que, dessa maneira é possível aproveitar os dois semiciclos da onda alterada, o positivo e o negativo.

Como mostrado na Figura 10, quando o semiciclo positivo está em andamento os diodos D1 e D3 se polarizam diretamente, já os diodos D2 e D4 se polarizam reversamente e operam como uma chave aberta. A corrente é conduzida de D1 para D3, formando assim mais uma onda positiva.

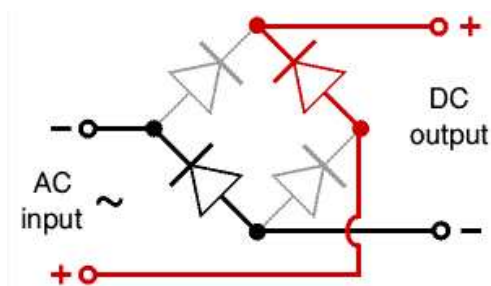
Figura 10 – Circuito em ponte retificador – Semiciclo positivo



Fonte: (PT, 2022)

Como mostrado na Figura 11, quando o semiciclo negativo está em andamento os diodos D2 e D4 se polarizam diretamente, já os diodos D1 e D3 se polarizam reversamente e operam como uma chave aberta. A corrente é conduzida de D2 para D4, formando assim mais uma onda positiva.

Figura 11 – Circuito em ponte retificador – Semiciclo negativo

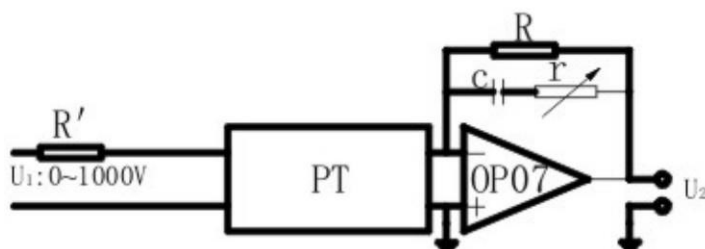


Fonte: (PT, 2022)

4.3 SENSOR DE TENSÃO

No projeto, para uma efetiva aferição da tensão, foi utilizado um sensor de tensão de alta precisão, o módulo ZMPT101B, mostrado na Figura 13, detecta a existência de tensão alternada e faz medições de valores de tensão. Seu circuito interno é visualizado em Figura 12.

Figura 12 – Circuito do Sensor ZMPT101B



Fonte: MSS (2021)

No módulo se encontra um pequeno transformador que efetua a isolamento entre tensão de entrada e de saída, ainda na constituição da placa, dispõe de um amplificador operacional com precisão refinada para sua saída, a capacidade de medição é de 0 a 250Vac em tensões AC, e a resposta na saída de 0 a 5Vcc. Podendo ser efetuado ajuste adequando com a faixa necessária, o ajuste é efetuado através de um *trimpot*.⁴(MSS, 2021)

Figura 13 – Módulo ZMPT101B



Fonte: Foto de Autoria Própria

4.4 SENSOR CORRENTE

O sensor de corrente selecionado para o projeto 14, é um componente eletrônico linear de 20 A de corrente máxima de aferição, opera tanto em corrente AC, quanto em DC, os dados são enviados ao dispositivo de prototipagem utilizado e dessa forma a corrente do sistema pode ser mensurada. Utiliza na sua forma de trabalho o efeito *Hall*, um campo magnético surge na circulação de corrente e se converte em tensão proporcional. Nesse formato de operação se proporciona isolamento da etapa de potência e de controle.(USINAINFO, 2020)

Possui ampla utilização, no entanto para o projeto será aproveitado do seu controle de corrente consumida com a finalidade de cálculo de consumo da respectiva carga analisada⁵.

4.5 CIRCUITO DIMMER

O circuito do projeto foi baseado no padrão mostrado na Figura 17. O circuito inicia com a alimentação AC, que se origina da distribuição e chega as tomadas das residências com 127 V - 60Hz por padrão COPEL para a região analisada.

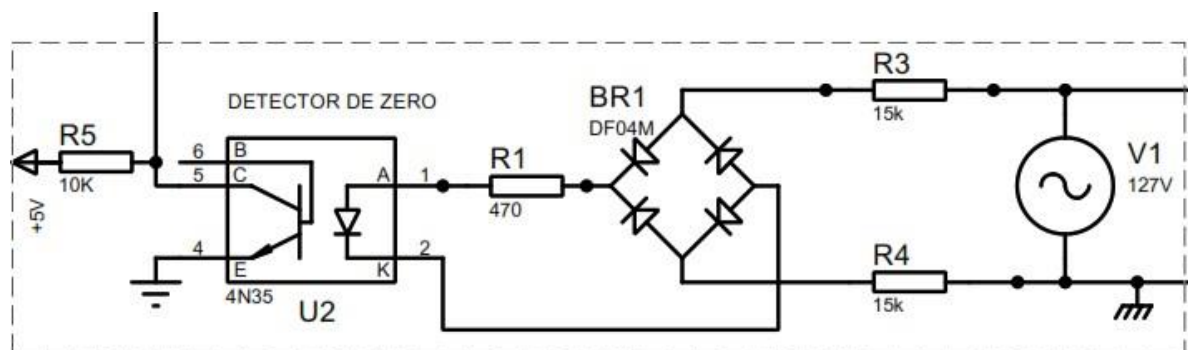
⁴Todos os dados referentes ao sensor ZMPT101B foram pesquisados em seu datasheet que se encontra em MSS (2021)

⁵Todos os dados referentes ao sensor ACS712 foram pesquisados em seu datasheet que se encontra em ALLEGRO (2022)

resistência de $10.000\ \Omega$, que ficará continuamente enviando essa alimentação para a entrada "zero-cross" do arduino. Esse resistor, selecionado com uma alta resistência, é chamado de resistor de pull-up, o qual se faz necessário para evitar uma possível flutuação no pino do arduino, também assegura que a leitura se estabeleça de nível alto, 5 V, na detecção de passagem por zero. O diodo emissor do 4N35 conduzirá após 0,7 Volts, nesse intervalo o pino da detecção de zero recebe a alimentação de 5 Volts, no momento que a tensão ultrapassar 0,7 Volts no diodo, conforme observa-se no circuito, a alimentação irá em direção ao terra e então a onda fica estável em zero, até a próxima detecção.

A detecção por zero desempenha um papel fundamental no circuito, pois através do sinal enviado pela detecção é que o disparo do ângulo do Triac será acionado. O ponto zero é a base do pulso do disparo, é contado o tempo a partir do zero, de qual parte da onda senoidal será absorvida pela carga, variando dessa forma a quantidade de potência recebida pela carga.

Figura 16 – Circuito Detector de Zero - Simulado (PROTEUS, 2019)

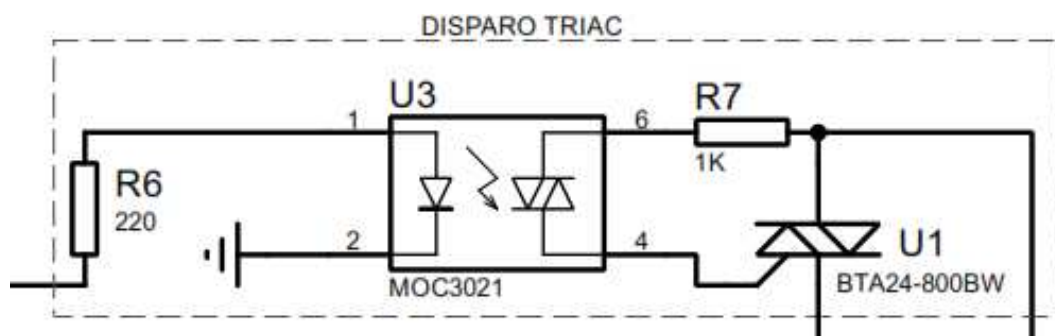


Fonte: Autoria Própria

4.5.2 TRIAC

A porta dimmer do arduino envia pulsos que serão recebidos pelo optoacplador MOC3021, que se faz necessário para isolar a saída output do arduino do circuito de carga AC. O sinal que o MOC3021 enviar, alimentará o TRIAC que possui a característica de acionar uma parte selecionada da senoide. Conforme o tempo determinado que o arduino envia o sinal de disparo para o TRIAC, assim é determinada a porcentagem de onda que o mesmo conduzirá, fazendo dessa forma um controle de potência e variando o formato de onda conforme o tempo de acionamento do semiciclo. Quanto mais tempo demora o disparo após a detecção de zero, menor a potência enviada para a carga e igualmente o contrário, e mais potência com o disparo logo após o encontro do zero cross. O funcionamento do TRIAC é essencial para esse processo ocorrer, pois a característica de apenas conduzir ao receber o pulso, faz com que em toda detecção de zero seja cortado a passagem de energia, voltando a conduzir apenas quando receber o próximo pulso.

Figura 17 – Circuito Disparo do TRIAC - Simulado (PROTEUS, 2019)



Fonte: Autoria Própria

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO

O primeiro cálculo necessário, é dos resistores que irão proporcionar uma queda de tensão após a alimentação, para esse cálculo, deve-se dimensionar visando a máxima alimentação do optoacoplador 4N35, pois a corrente não deve passar de 10mA como consta no datasheet para não haver risco de queima do diodo emissor de luz que recebe essa energia.

Então, pela análise de malhas:

$$I_{LED} = \frac{V_{AC} - V_{LED} - 2 \cdot V_D}{R}$$

Onde:

I_{LED} = Corrente LED do optoacoplador 4N35 (máximo 50mA)

V_{AC} = Tensão de alimentação do circuito

V_{LED} = Queda de tensão no LED

V_D = Queda de tensão diodo (2 diodos por ciclo)

R = Resistor

Resultando em:

$$10mA = \frac{127 - 1,7 - 2 \cdot 0,7}{R}$$

$$R = 12.390 \Omega$$

A corrente foi setada em 10mA para não ocorrer queima do componente, todos os dados foram coletados do datasheet do optoacoplador 4N35.

Escolheu-se um valor comercial aproximado para aplicação: $R = 15.000 \Omega$. Atualizando o valor do resistor na fórmula da análise de malhas do circuito, teremos a nova corrente em:

$$I_{LED} = 0,00826A$$

Com a corrente do circuito determinada, é possível analisar qual será a queda de tensão em cima dos resistores da entrada utilizando a fórmula da primeira lei de Ohm:

$$V = R * I$$

Onde:

V = Tensão

R = Resistência

I = Corrente

Então multiplicando a corrente parametrizada com a resistência de valor comercial, o resultado é:

$$V = 0.00826 \cdot 15$$

$$V = 123,9V$$

Tendo os respectivos dados que envolvem os resistores de entrada, podemos calcular a potência nos mesmos para definirmos todas as variáveis dos resistores.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Onde:

P = Potência

V = Tensão

R = Resistência

Realizando a operação da potência em cima dos resistores:

$$P = \frac{123,9^2}{15.000}$$

$$P = 1,0234W$$

Dentro das possibilidades de resistores comerciais, faremos a utilização de resistores com 2 W de potência.

O resistor de pull-up, conectado com a entrada 5 do optoacoplador 4N35, foi dimensionado em um valor padrão de 10.000 Ω , uma resistência alta o suficiente pra garantir a não flutuação no pino do arduino.

A próxima etapa de cálculos, se faz necessária para proteção do optoacoplador MOC3021, é similar ao dimensionamento dos resistores da entrada, e efetuarão a proteção do diodo emissor de luz do circuito integrado MOC3021. Esse resistor estará conectado a entrada 1 do CI e no sinal PWM do arduino.

$$R_{MOC3021} = \frac{V_{CC} - V_{diodo}}{I_{diodo}}$$

$$R_{MOC3021} = \frac{5 - 1,5}{0,020}$$

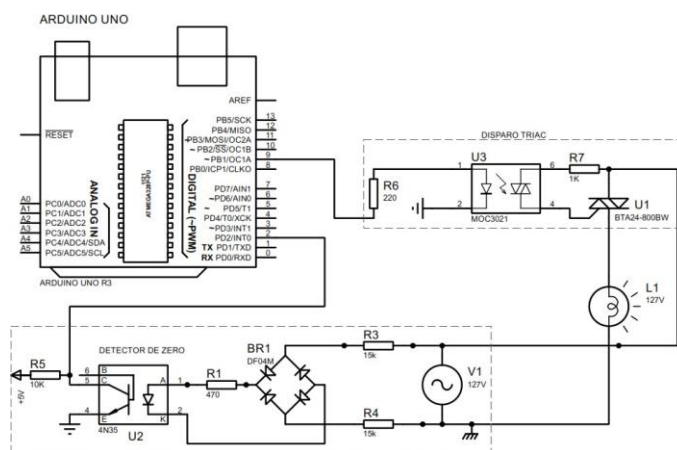
$$R_{MOC3021} = 175 \Omega$$

O cálculo se dará com a queda de tensão de VCC: 5 V do arduino, menos a queda de tensão no diodo, consta no datasheet 1,5 V, dividido pela corrente máxima do diodo emissor. Em valor comercial teremos um resistor de 220 Ω .

5.2 SIMULAÇÃO - PROTEUS

O circuito foi simulado no software PROTEUS, como mostra a Figura 18 dessa forma podendo fazer análises iniciais em maior segurança antes de efetivar o projeto na rede alternada 127V. As simulações que o software dispõe também são uma ferramenta muito interessante para melhor entendimento do circuito dimmer e suas particularidades.

Figura 18 – Circuito simulado (PROTEUS, 2019)



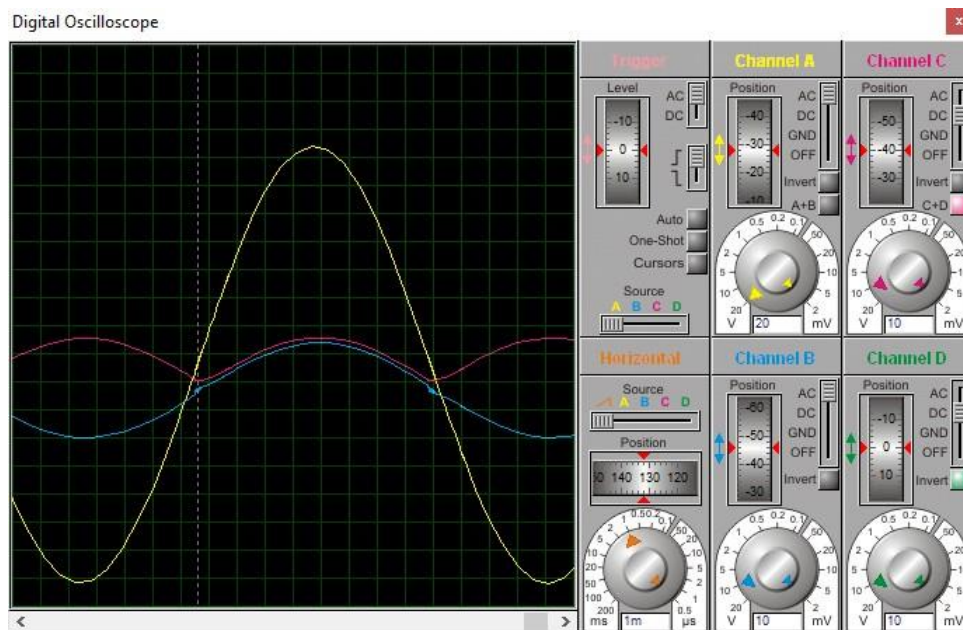
Fonte: Autoria Própria

Na Figura 19, pode-se visualizar três ondas, a em amarelo representa a onda que alimenta o circuito, sendo essa a onda senoidal de 127 V que advém da rede da concessionária.

A segunda onda é a azul, que se refere a passagem pelos resistores de alta impedância que farão a queda de tensão para o resto do circuito ser acionado com maior segurança.

A terceira onda na cor rosa, se apresenta após a passagem pelo circuito de retificação, composto pelos diodos em ponte, tem-se um sinal pulsado, positivo de 120Hz, uma vez que a onda negativa foi espelhada para cima, dobrando a frequência da onda.

Figura 19 – Osciloscópio do Circuito simulado (PROTEUS, 2019)



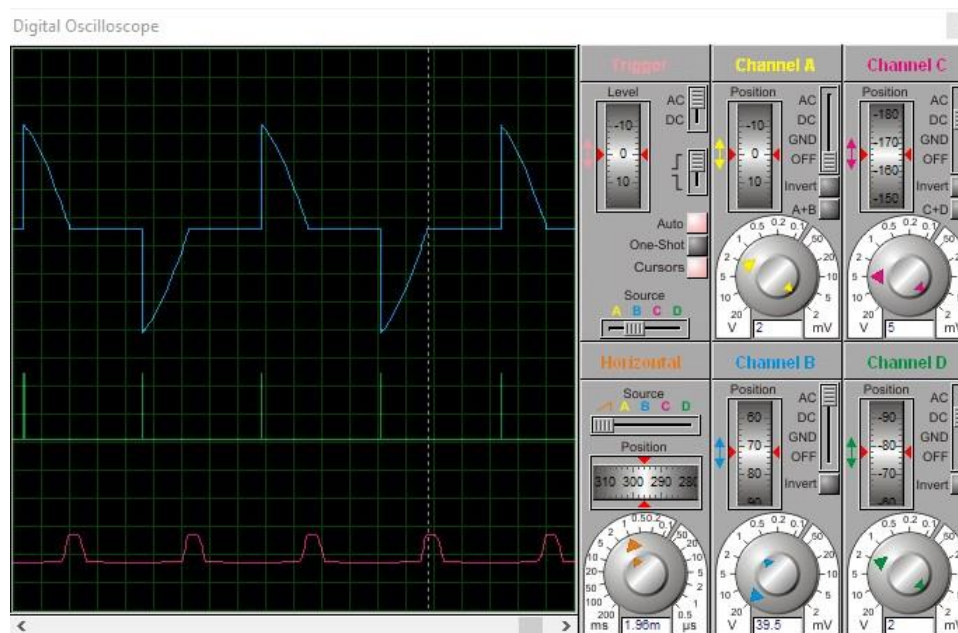
Fonte: Autoria Própria

Em seguida, na Figura 20 pode-se visualizar as três ondas que dão prosseguimento no circuito. A onda em vermelho, é o sinal do detector de zero, essa onda é a responsável por monitorar o circuito e transmitir para o programa toda vez que a onda tocar o zero, e analisando em comparativo com a onda azul, a do sinal do TRIAC, essa função está sendo executada, pois o zero da onda coincide com o zero do sinal do detector.

Prosseguindo com as ondas tem-se a o sinal em verde, esse sinal é responsável pelo pulso do TRIAC, conforme a localização desse pulso na onda, será a quantidade de potência que a carga receberá e que o TRIAC começará a conduzir.

Além disso, a seleção azul, representa a onda do TRIAC, esse é o formado da onda dimerizada, que demonstra o funcionamento do BTA24 e que varia conforme o pulso do PWM.

Figura 20 – Osciloscópio do Circuito simulado (PROTEUS, 2019)

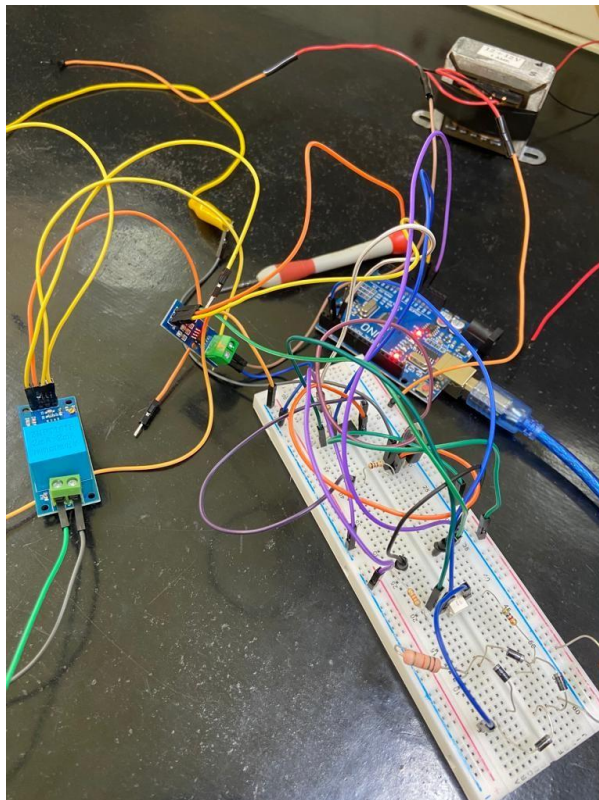


Fonte: Autoria Própria

5.3 PRÁTICA LABORATÓRIO

A prática laboratorial passou por diversos processos de testes, um dos problemas iniciais que surgiram foi para efetuar as medições com o osciloscópio, por questão de todo o sistema estar aterrado em um mesmo ponto, ou seja, sem a utilização de um transformador não se podia efetuar as medições com as garras do osciloscópio. Assim, para observar o funcionamento da onda foi necessário utilizar o transformador, de modo que as ondas que serão demonstradas no projeto possuem uma tensão reduzida de 127 V para 12 V. O circuito testado no laboratório também se mostrou com alguns ruídos, sendo estes podendo advir de diversas situações, como o pico repentino de corrente, as conexões da protoboard, como mostrado na Figura 21, os jumpers, entre outros, e por ser um circuito de detecção de zero a filtragem com capacitores não pode ser efetuada.

Figura 21 – Circuito montando em protoboard



Fonte: Foto de Autoria Própria

Componentes Utilizados na Montagem:

Resistores

Diodos 1N4007

Optoacoplador 4N35

Optoacoplador MOC3021

TRIAC BTA24-800B

Apesar de um funcionamento diferente, os testes iniciais foram efetuados com uma lâmpada, como mostrado na Figura 22, para visualizar com nitidez a potência variando no circuito dimmer. Ademais, depois de aplicado as correções de variação e ajustes finos no circuito, foi feito a troca do circuito resistivo da lâmpada pelo circuito indutivo do motor, que mostrou um pouco mais de ruído, contudo o comportamento da onda se mostrou igual. Para alimentar a fase e o neutro da carga sem danificar o aparelho analisado, foi utilizado uma extensão cortada a modo dos cabos serem alimentados e conectados ao circuito.

Figura 22 – Extensão com Fase/Neutro Expostos e Lâmpada de Teste



Fonte: Foto de Autoria Própria

Na imagem:

Lâmpada incandescente 15 W - 127 V

Extensão Decapada com Neutro e Fase expostos

O arduino utilizado para a parte de comando do projeto foi o Arduino UNO R3, visto na Figura 23, todos seus dados, como ordens de pino, registradores entre outros, constam no datasheet.(ARDUINO, 2022)

Figura 23 – Arduino UNO R3

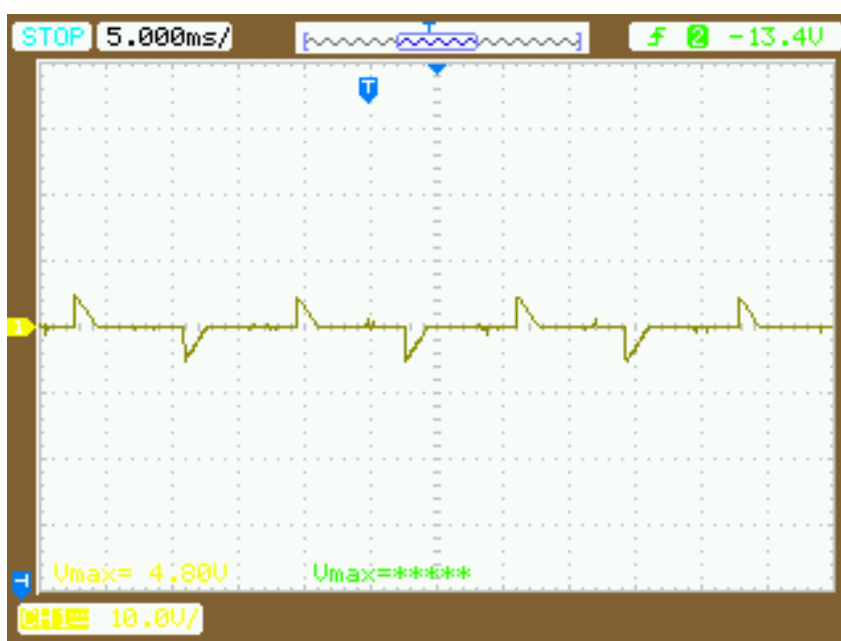


Fonte: Foto de Autoria Própria

5.3.1 FORMATO DE ONDA CIRCUITO DIMMER AC

Foi utilizado o osciloscópio em diferentes disparos, mostrado nas Figuras a seguir: Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27, para analisar seu comportamento, sendo assim possível visualizar o formato de onda conforme o período de semiciclo que o TRIAC foi impulsionado. Na programação foi efetuado mudanças para poder distinguir uma potência fixa que seria enviada para carga, para visualização individual das potências selecionadas na onda.

Figura 24 – Saída da onda após dimerização – 10% de potência



Fonte: Autoria Própria - Print tirado do osciloscópio

Figura 25 – Saída da onda após dimerização – 25% de potência



Fonte: Autoria Própria - Print tirado do osciloscópio

Figura 26 – Saída da onda após dimerização – 50% de potência



Fonte: Autoria Própria - Print tirado do osciloscópio

Figura 27 – Saída da onda após dimerização – 90% de potência



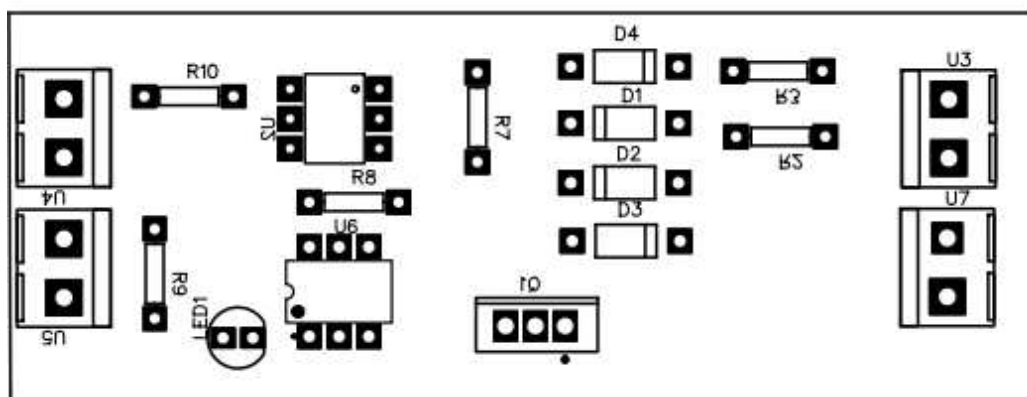
Fonte: Autoria Própria - Print tirado do osciloscópio

5.4 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Para uma otimização do circuito se desenvolveu uma placa de circuito impresso, que possui a finalidade de interligar eletricamente os componentes através do caminho de suas trilhas, para assim cada componente desempenhar sua função específica.

O software EasyEDA foi utilizado para projetar o circuito e também desenvolver o arquivo Gerber, mostrado na Figura 28 para a execução da placa.

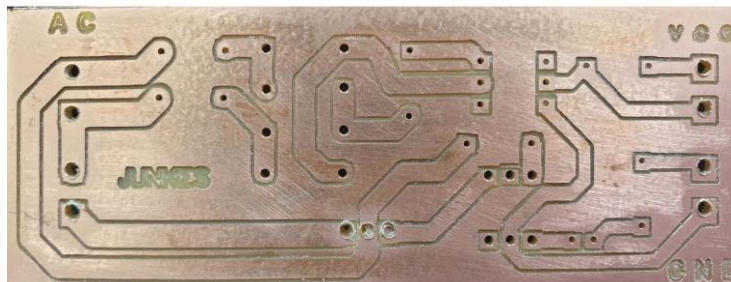
Figura 28 – Gerber para fabricação do circuito



Fonte: Autoria Própria - Gerado em EASYTRONICS (2019)

Tendo como resultado final da impressão da placa de circuito impresso a Figura 29.

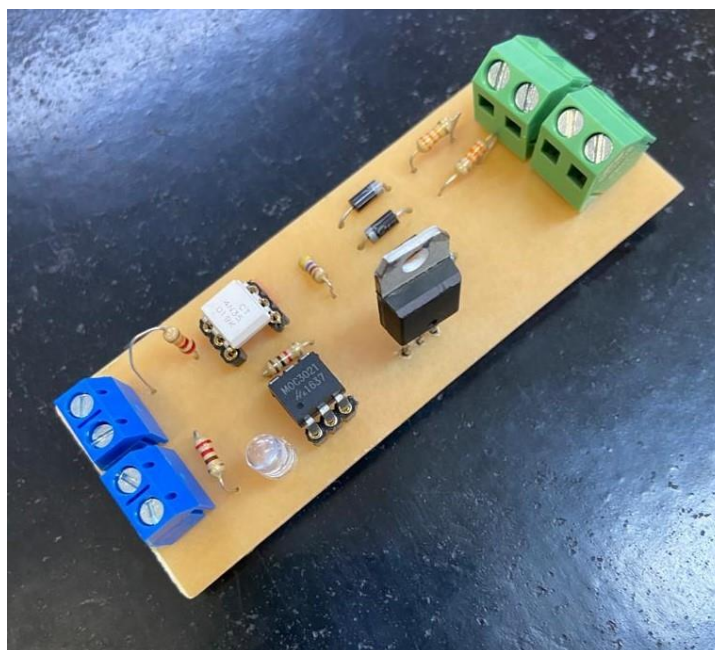
Figura 29 – Componentes soldados na placa de circuito impresso



Fonte: Foto de Autoria Própria

A placa de circuito impresso é apresentada a seguir, com os componentes já soldados em seus respectivos lugares nas trilhas, mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Componentes soldados na placa de circuito impresso



Fonte: Foto de Autoria Própria

Componentes Utilizados na Montagem:

Resistores

Diodos 1N4007

Optoacoplador 4N35

Optoacoplador MOC3021

TRIAC BTA24-800B

5.5 PROGRAMAÇÃO

A programação utilizada pode ser dividida em duas partes centrais: a rampa de aceleração e a dos sensores de corrente e tensão, sendo explicado cada função. Iniciando o código, tem-se as inclusões de bibliotecas necessárias, definição dos pinos e inicialização das funções e variáveis. Também é efetuado, no começo da programação, os números de calibração do sensor de corrente, que foi necessário para uma leitura precisa.

Na função ISR, a primeira apresentada, acontecerá o incremento da variável `duc` já definida, pode-se definir a porcentagem do motor que se quer alcançar, e essa interrupção acontece por overflow. Nessa função também existe a possibilidade de determinar uma porta que sempre estará em nível alto, para assim, realizar as medições de comparação com o motor funcionando em partida direta.

Na função `void setup` foram declarados os registradores do próprio arduino, podendo consultar os mesmos no datasheet do ATmega328P (ATMEL, 2015), assim, otimizando o funcionamento do programa e utilizando mais aplicações possíveis que o arduino dispõe, não apenas de gerador de sinais. Nessa função serão enviados o sinal PWM e os registradores farão comparações com os valores adicionados.

A próxima função, `setduty_pin03`, efetua a conversão de 8 bits para digital e a função `setFreq`, disponibiliza a opção de selecionar dentro das frequências listadas no datasheet do arduino Uno, a frequência que melhor se ajustará as necessidades do projeto.

A programação referente aos sensores conta com a definição dos pinos de entrada, as calibrações necessárias, as variáveis que irão receber corrente e tensão e logo em seguida a impressão em excel (Microsoft, 2013) dessas variáveis em tempo real. Na programação também já foi implementado o cálculo da potência para apresentar junto com os demais resultados de leitura.

5.6 PLX-DAQ

Para efetuar a conexão da IDE do arduino para o Excel, foi utilizado o software PLX-DAQ, com esse programa é possível o envio de dados em tempo real da leitura dos sensores que foram utilizados no projeto, o de corrente e de tensão. A interface do programa é apresentada na Figura 31, selecionando a porta em que o arduino está conectado e a velocidade de transmissão, a conexão já se estabelece e a coleta de dados dos sensores inicia.

Figura 31 – Demonstração Interface software (PARALLAX, 2021)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
22	0.27388	128,6	0,00315	0,40509	22						
23	0.41082	128,1	0,00637	0,815997	23						
24	0.54776	128,5	0,01154	1,48289	24						
25	0.6847	128,6	0,01291	1,660226	25						
26	0.82164	128,6	0,00599	0,770314	26						
27	0.95858	128,4	0,00394	0,505896	27						
28	1.09552	128,2	0,00261	0,334602	28						
29	1.23246	128,2	0,00254	0,325628	29						
30	1.3694	128,3	0,00258	0,331014	30						
31	1.50634	128,1	0,001066	0,136555	31						
32	1.64328	128,02	0,000244	0,031237	32						
33	1.78022	127,94	0,000244	0,031217	33						
34	1.91716	127,86	0,000244	0,031198	34						
35	2.0541	127,78	0,000244	0,031178	35						
36	2.19104	127,7	0,000244	0,031159	36						
37	2.32798	127,62	0,000244	0,031139	37						
38	2.46492	127,54	0,000244	0,03112	38						
39	2.60186	127,46	0,000244	0,0311	39						
40	2.7388	127,38	0,000244	0,031081	40						
41	2.87574	127,3	0,000244	0,031061	41						
42	3.01268	127,22	0,000244	0,031042	42						
43	3.14962	127,14	0,000244	0,031022	43						
44	3.28656	127,06	0,000244	0,031003	44						
45	3.4235	126,98	0,000244	0,030983	45						



Fonte: Autoria Própria

5.7 ESTUDO DE CASO

Em restaurantes e bares, é bastante utilizado o mixer, um aparelho eletrônico que dentre as suas vastas funções tal como, misturar, triturar, processar entre outros, é também muito empregado para o preparo de diversas bebidas. Os mixers são ligados ao pressionar de seu botão on/off e continuam em funcionamento enquanto o botão estiver pressionado, que ao soltar o aparelho se desliga. Esse tipo de acionamento gera inúmeros momentos de pico do motor, pois uma corrente maior é necessária para seu rotor iniciar o giro, então será um aparelho interessante para efetuar o estudo. O cenário de produção de bebidas também favorece a análise, pois as etapas de preparação das mesmas se fazem a partir do ligar e desligar do aparelho, diversas vezes, em seu processo. Nesse sentido, no presente estudo de caso será analisado o protótipo em funcionamento em um cenário específico com suas variáveis.

O aparelho que será utilizado, mostrado na Figura 32, nessa análise será o mixer da mondial de 500 W de potência, que consta suas características em anexo.

Figura 32 – Aparelho Mixer Mondial



Fonte: Autoria Própria

As curvas projetadas para análise nesse estudo de caso, foram formuladas pelos dados coletados dos sensores de corrente e tensão adicionados ao protótipo. Coletou-se os dados de duas situações específicas, a ligação do mixer diretamente e a ligação utilizando o projeto com rampa de aceleração. Desses dois cenários, foi analisado o tempo até o motor chegar em sua funcionalidade padrão, o circuito dimmer mostrou algumas percas, não alimentando o motor com sua máxima potência, se estabilizando em aproximadamente 95% da potência esperada.

Os números gerados pelos sensores, se encontram nas tabelas 2 e 3, onde é possível verificar o gradual movimento da corrente, tensão e potência pelo tempo. Dessas tabelas apresentadas, foram elaborados os gráficos de análise da partida. Como demonstrado pelo estudo de caso, foi possível chegar em uma eficiência energética e economia financeira significativa com a utilização do protótipo. Um problema que o circuito demonstrou, foi a ineficiência da porcentagem de potência quando ultrapassa os 90%, acarretando deficiências no controle da carga por instabilidade

Tabela 2 – Leitura da Corrente e Tensão por Tempo da Partida Direta

Hora[Segundos]	Tensao[V]	Corrente[I]	Potencia[W]	linha
0.13694	128.5	1.25e-3	0.1606249	1
0.27388	128.6	3.15e-3	0.40509	2
0.41082	128.1	6.369e-3	0.8159969	3
0.54776	128.5	1.154e-2	1.48289	4
0.6847	128.6	1.291e-2	1.660226	5
0.82164	128.6	5.989e-3	0.7703139	6
0.95858	128.4	3.9399e-3	0.505896	7
1.09552	128.2	2.61e-3	0.334602	8
1.23246	128.2	2.54e-3	0.325628	9
1.3694	128.3	2.58e-3	0.331014	10

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 – Leitura da Corrente e Tensão por Tempo da Partida em Rampa

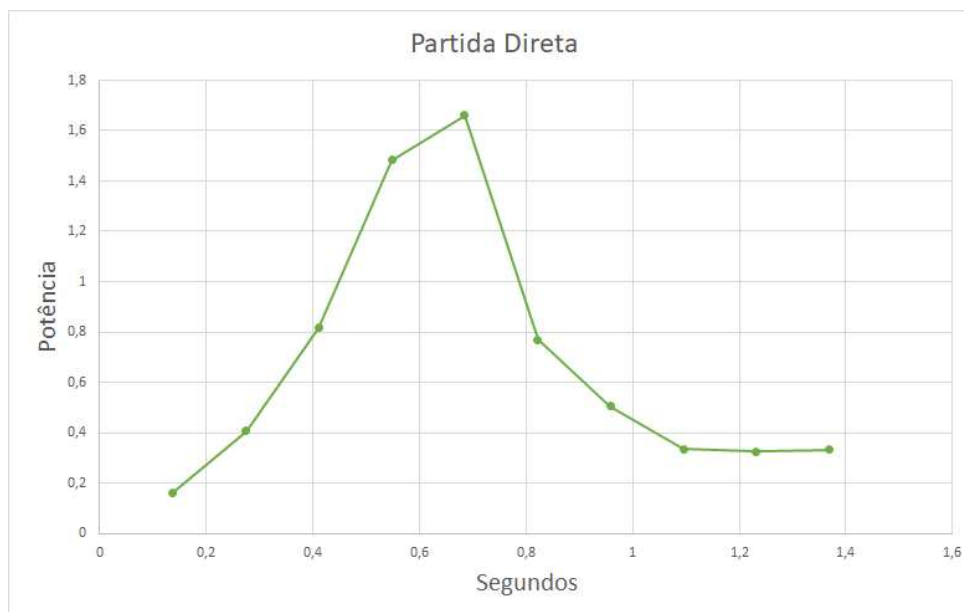
Hora[Segundos]	Tensao[V]	Corrente[I]	Potencia[W]	linha
0.13694	6.6	0	0	1
0.27388	9.2	1.00e-05	0.000092	2
0.41082	11.6	9.00e-04	0.01044	3
0.54776	21.6	1.90e-03	0.04104	4
0.6847	46.8	2.50e-03	0.117	5
0.82164	58.2	2.70e-03	0.15714	6
0.95858	68.1	2.80e-03	0.19068	7
1.09552	76	2.80e-03	0.2128	8
1.23246	82	2.80e-03	0.2296	9
1.3694	83.4	2.80e-03	0.23352	10

Fonte: Autoria Própria

O primeiro gráfico da Figura 33, é o referente ao mixer sendo acionado de forma direta, pode se perceber que seu pico de potência chegou a 1,6 W, quando atingiu sua máxima corrente, para então se estabilizar na potência funcional de operação.

Utilizando as Tabelas 2 e 3, formadas pelos sensores de corrente e de tensão, em Excel, se obteve os dados necessários para análises da partida direta e suave. Ademais, foram gerados gráficos no Excel, efetuando interpolação de dados entre a coluna da potência e a do tempo, demonstrando dessa forma o comportamento das duas partidas em um gráfico de segmento. Apresentados em Figura 33 e Figura 34.

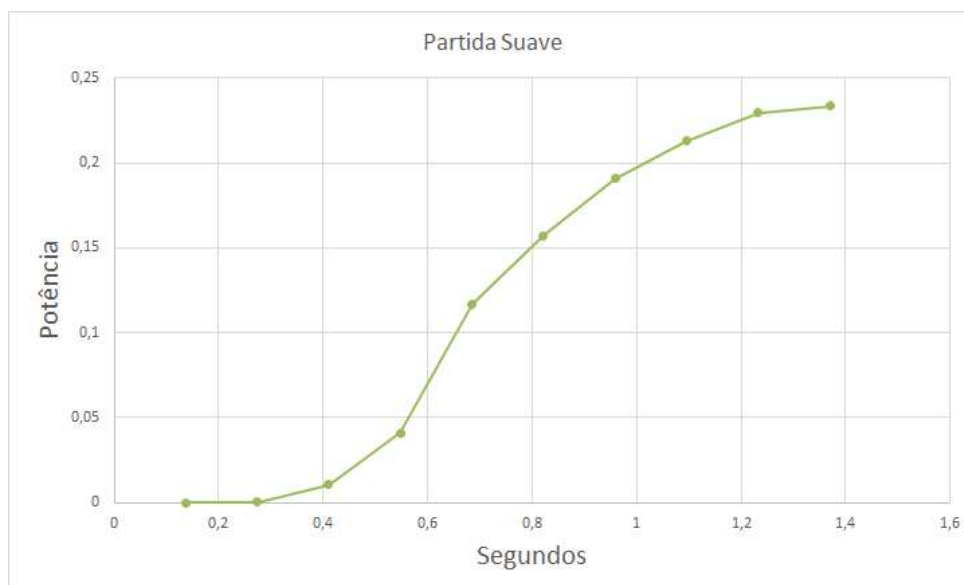
Figura 33 – Interpolação entre Potência e Tempo da Partida Direta



Fonte: Autoria Própria

No segundo gráfico, Figura 34, consta a partida do mixer com a utilização do protótipo, vemos a movimentação da potência em crescente até alcançar suas características de funcionamento estáveis, não gerando picos. O circuito produziu muitos ruídos em sua operação máxima de porcentagem, dessa forma a potência de funcionamento se estabeleceu reduzida se comparado a utilização sem o protótipo.

Figura 34 – Interpolação entre Potência e Tempo da Partida Suave



Fonte: Autoria Própria

Para o estudo da eficiência energética, fez-se necessária a utilização de diversas infor-

mações e cálculos. Primeiramente, para o cálculo do valor de cada impulso de partida direta e suave foi utilizada o conceito da física, o qual apresenta que a energia se dá pela multiplicação da potência pelo tempo. Sendo assim, foi transformado o tempo de duração de um impulso, que é cerca de 1,36 segundos, em 0,0004 horas, e multiplicado o mesmo pelo valor de potência total de cada partida. Obtendo-se:

$$Energia = Potencia \cdot Tempo$$

$$Energia_{PartidaSuave} = 1,192312 \cdot 0,0004$$

$$Energia_{PartidaDireta} = 6,792282 \cdot 0,0004$$

Os resultados se encontram na Tabela 2 em Energia gasta na partida.

Para realizar a análise do estudo de caso para o estabelecimento de interesse, foi considerado uma média de bebidas feitas por noite, tendo em conta que o número de bebidas feitas em dias de semana seriam de 50 unidades e nos fins de semana seria de 200 unidades, fechando assim, cerca de 120 bebidas por dia. Além disso, cada drink possuiria em média três impulsos para sua realização. Logo, para ter-se um comparativo das diferenças entre os gastos energéticos, a energia gasta por noite seria calculada também por mês e por ano.

Tabela 4 – Potência das Partidas

Descrições	Partida direta	Partida suave
Potência total da partida [W]	6,792282	1,192312
Energia gasta na partida [kWh]	2,7169e-3	4,7692e-4
Energia gasta por bebida - 3 impulsos por bebida [kWh]	0,0081507	0,00143076
Energia gasta por noite - 120 bebidas [kWh]	0,978084	0,171691
Energia gasta por mês [kWh]	29,34252	5,15073
Energia em um ano [kWh]	352,11	61,8

Fonte: Autoria Própria

Além disso, com o objetivo de ponderar uma possível diferença econômica com o uso do mixer, foi efetuado o cálculo do valor, em reais, que seriam gastos com a partida direta e a partida suave, apresentada na tabela 3. Levando em conta que o valor do KWH para estabelecimentos comerciais como consta em anexo seria de R\$ 0,65313 centavos.

Tabela 5 – Gastos em Reais das Partidas

Descrições	Partida direta	Partida suave
Valor gasto na partida [R\$]	0.0018	0.00031144
Valor gasto por bebida [R\$] - 3 impulsos por bebida	0.0053	0.00093433
Valor gasto por noite (120 bebidas) [R\$]	0.6388	0.1121
Valor gasto por mês [R\$]	19.1644	3.3636
Valor gasto em um ano [R\$]	229.9736	40.3634

Fonte: Autoria Própria

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos cenários elaborados no estudo de caso, temos dois valores significativos de economia gerados: mensal e anual. A economia em reais gerada mensalmente foi o valor gasto por mês da partida direta menos o da partida suave.

$$Economia_{MENSAL} = 19,1644 - 3,3636$$

$$Economia_{MENSAL} = 15,80 \text{ R\$}$$

A economia em reais gerada anualmente foi o valor gasto por ano da partida direta, menos da partida suave.

$$Economia_{ANUAL} = 229,9736 - 40,3534$$

$$Economia_{ANUAL} = 189,62 \text{ R\$}$$

Observando a fatura de energia em anexo C, foi possível analisar que o valor economizado da gestão de energia utilizando o dispositivo é um valor considerável para o estabelecimento estudado, utilizando a média calculada de bebidas produzidas no local, se geraria uma economia de aproximadamente 3,5% ao mês.

$$Economia_{FATURA} = \frac{Economia_{MENSAL} \cdot 100}{Fatura_{LOCAL}}$$

$$Economia_{FATURA} = \frac{15,80 \cdot 100}{446,87}$$

$$Economia_{FATURA} = 3,542\%$$

Esses valores podem se alterar, dependendo da quantidade de bebidas por noite, e conforme o passar do tempo, com sua utilização. Para o presente, não foi considerado valores

para fabricação do protótipo, pois para análise de um cenário real, para uma futura fabricação e comercialização teria que se analisar os preços dos componentes comprados para produção em larga escala.

7 CONCLUSÃO

Finalizando o estudo de gestão energética, se observou que haverá uma eficiência em comparação a carga estudada sem o protótipo, sendo essa economia significativa quando analisada em um período de meses e até anos. Além disso, a economia cresce conforme se adiciona o tempo e a maior utilização do eletrodoméstico analisado.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, uma análise econômica no que se refere a uma produção de maior escala e seus parâmetros para venda combinariam com os estudos feitos até então sobre a economia que o dispositivo pode gerar.

Em futuros trabalhos, há a possibilidade de se implantar um controle PID - (Proporcional, Integral, Derivativo), sendo esse um mecanismo de realimentação que pode possibilitar uma precisão e aumento da eficiência. Com a implementação de um controle PID, poderia ser criadas novas funções para a otimização da energia, como por exemplo, a variação velocidade no motor, onde em dada situação a potência reduziria para trabalhos onde não se exige toda a potência do motor.

Referências

- ALLEGRO. **Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>>. Citado na página 11.
- ANDRADE, N. A. d. **Importância dos pequenos negócios para o empreendedorismo**. 2021. Disponível em: <<https://diariodocomercio.com.br/opiniao/importancia-dos-pequenos-negocios-para-o-empendedorismo/>>. Acesso em: 15 de abril 2022. Citado na página 3.
- ARDUINO. **Arduino UNO R3**. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.parallax.com/package/plx-daq/>>. Citado na página 21.
- ATMEL. **ATmega328P**. [S.l.], 2015. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf>. Citado na página 26.
- BRAGA, I. N. **Dimmer com TRIAC**. 2018. Disponível em: <<https://newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/2025-art294.html>>. Acesso em: 10 de Agosto 2022. Citado na página 5.
- CARVALHO, G. G. de. **TRIAC - Tiristor Bidirecional**. 2012. Disponível em: <<http://automacao-criativa.blogspot.com/2012/02/triac-tiristor-bidirecional.html>>. Acesso em: 20 de Setembro 2022. Citado na página 6.
- COMPONENTS101. **MOC3021 Triac Driven Optoisolator**. 2017. Disponível em: <<https://components101.com/ics/moc3021-triac-driven-optoisolator-pinout-equivalent-datasheet>>. Citado na página 8.
- CUPERTINO, A. F. **Retificadores e Diodos**. 2020. Disponível em: <https://www.gesep.ufv.br/wp-content/uploads/Aula-4-Retificadores-a-diodos_parte1.pdf>. Acesso em: 10 de Novembro 2022. Citado na página 9.
- DIEESE. **Nota Técnica**. [S.l.]: DIEESE, 2021. Citado na página 1.
- DME. **Tarifas e Taxas**. 2022. <http://www.dme-pc.com.br/atendimento/tarifas/>. Acesso em: 25 de Novembro 2022. Citado na página 45.
- EASYTRONICS. **ACS712-20A Sensor de Corrente**. 2019. Disponível em: <<https://www.easytronics.com.br/acs712-20a-sensor-de-corrente-20a-bidirecional-ac712-20a>>. Acesso em: 7 de Setembro 2022. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 24.
- ELECTROBIST. **4N35 Optocoupler**. 2015. Disponível em: <<https://electrobist.com/product/4n35-optocoupler/>>. Citado na página 8.
- ELETROBRÁS. **Relatório-Eletróbrás**. [S.l.]: Eletrobrás, 2019. Citado na página 1.
- FAIRCHILD. **MOC3021,MOC3022,MOC3023**. [S.l.], 2000. Disponível em: <<https://www.farnell.com/datasheets/97984.pdf>>. Citado na página 7.

FGV. **Dados Coletados**. 2021. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/>>. Acesso em: 15 de abril 2022. Citado na página 3.

IBGE. **Inflação**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em: 09 de março 2022. Citado na página 3.

KERSCHBAUMER, R. **Aula 6 Diodos**. 2019. Disponível em: <<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2019/04/Apostila-Eletronica-Basica-2019-Parte-4.pdf>>. Acesso em: 15 de Novembro 2022. Citado na página 9.

LUDUGERIO, L. **Quarentena: como gerar renda na pandemia**. 2020. Disponível em: <<https://www.serasa.com.br/ensina/como-ganhar-dinheiro/quarentena-gerar-renda/>>. Acesso em: 01 de Fevereiro 2022. Citado na página 1.

Microsoft. **EXCEL**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/previous-versions/microsoft-office-2013>>. Citado na página 26.

MONDIAL. **Mixer Mondial Power M-07**. 2021. Disponível em: <<https://www.emondial.com.br/mixer-mondial-power-m-07/p>>. Acesso em: 5 de Setembro 2022. Citado na página 44.

MSS. **ZMPT101B(ZMPT107) voltage transformer operating guide**). [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.msseletronica.com.br/arquivos/1296.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

NCB. **Detector de Passagem por Zero (NE352)**. 2018. <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/circuitos/130-instrumentacao/5319-ne352.html>. Acesso em: 25 de Setembro 2022. Citado na página 12.

PARALLAX. **PLX-DAQ**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.parallax.com/package/plx-daq/>>. Citado 2 vezes nas páginas e 27.

PNAD. **PNAD**. 2020. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/30235-com-pandemia-20-estados-tem-taxa-media-de-desemprego-recorde-em-2020>>. Acesso em: 02 de Junho 2022. Citado na página 1.

PROTEUS. **Labcenter Electronics Ltd**. 2019. Disponível em: <<https://www.labcenter.com/>>. Citado 6 vezes nas páginas , 13, 14, 17, 18 e 19.

PT, E. **TRetificação com Díodos**. 2022. <https://www.electronica-pt.com/diodos-rectificadores>. Acesso em: 15 de Dezembro 2022. Citado na página 10.

SARAVATI. **Optoacoplador 4N35 DIP 6 Pin**. 2020. Disponível em: <<https://www.saravati.com.br/optoacoplador-4n35-dip-6-pin>>. Citado na página 7.

SEIDEL, T. A. **CONTROLADOR DE TEMPERATURA UNIFORME**. 25 f. Monografia (TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Diretoria de Graduação e Educação Profissional - Curso de tecnologia em manutenção industrial, MEDIANEIRA, 2012. Citado na página 8.

SHIN-TING, W. **Transdutores**. 2019. Disponível em: <<https://www.dca.fee.unicamp.br/courses/EA075/2s2019/notas/topico7.pdf>>. Citado na página 7.

SILVA, J. P. da. **Apostila de Eletrônica de Potência**. 2015. Disponível em: <http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila-Eletronica-Potencia-IFRN.pdf>. Acesso em: 20 de Setembro 2022. Citado na página 6.

SILVEIRA, C. B. **O que faz o Inversor de Frequência e como Especificar?** 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/inversor-de-frequencia/>>. Acesso em: 05 de Março 2022. Citado na página 1.

SILVEIRA, D.; ALVARENGA, D.; GERBELLI, L. **Conta de luz está cada vez mais cara – entenda por que ela sobe e quais os problemas dessa escalada de preços**. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/27/conta-de-luz-esta-cada-vez-mais-cara-entenda-por-que-ela-sobe-e-quais-os-problemas-dessa-escalada-de-precos.ghtml>>. Acesso em: 15 de abril 2022. Citado na página 3.

ST. **BTA24, BTB24, T25**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/1495785/STMicroelectronics/BTA24-800B/1>>. Citado na página 6.

TOBLER, R. **Empresas de pequeno porte sofrem muito mais durante a pandemia**. 2020. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/artigos/empresas-pequeno-porte-sofrem-muito-mais-durante-pandemia>>. Acesso em: 04 de abril 2022. Citado na página 3.

USINAINFO. **ACS712 Sensor de Corrente**. 2020. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-corrente-arduino/sensor-de-corrente-ac712-20a-ac-dc-com-efeito-hall-5701.html>>. Acesso em: 12 de Agosto 2022. Citado na página 11.

VISHAY. **Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/236222/VishayTelefunken/4N35/1>>. Citado na página 7.

Apêndices

APÊNDICE A – Programação do Arduino para Rampa de Aceleração Suave

```

#include "ZMPT101B.h"
#include "EmonLib.h"
#define pwmOut (1<<PD3)
#define CURRENT_CAL 10
ZMPT101B tensaoSensor(A2);
const int pinoSensor = A0;
float ruido = 0.11;

EnergyMonitor emon1;

float U;
float I;
float P;

int linha = 0;
int LABEL = 1;
int valor_lido_u = 0;
int valor_lido_i = 0;

void setDuty_pin03(float valueD);
void setFreq(char option);
char duc = 0;
ISR (TIMER0_COMPA_vect)
{
    duc++;

    if(duc > 90)
    {
        duc = 90;
        PORTD |= pwmOut;
    }
    else setDuty_pin03(duc);
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);

```

```
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,Hora,Tensao,Corrente,Potencia,linha");

    tensaoSensor.calibrate();
    emon1.current(pinoSensor, CURRENT_CAL);
    cli();
    DDRD |= pwmOut;
    PORTD = pwmOut;
    TCCR2A = 0xA3;

    setFreq(7);
    TCCR0A = 0x00;
    TCCR0B = 0x00;
    TCNT0 = 0x00;

    OCR0A = 243;
    TCCR0A |= (1 << WGM01);
    TCCR0B |= (1 << CS02) | (1 << CS00);
    TIMSK0 |= (1 << OCIE0A);
    sei();

    void setDuty_pin03(float valueD)
    {
        int duty;
        valueD = valueD/100;
        duty = (valueD * 256) - 1;
        OCR2B = duty;
    }

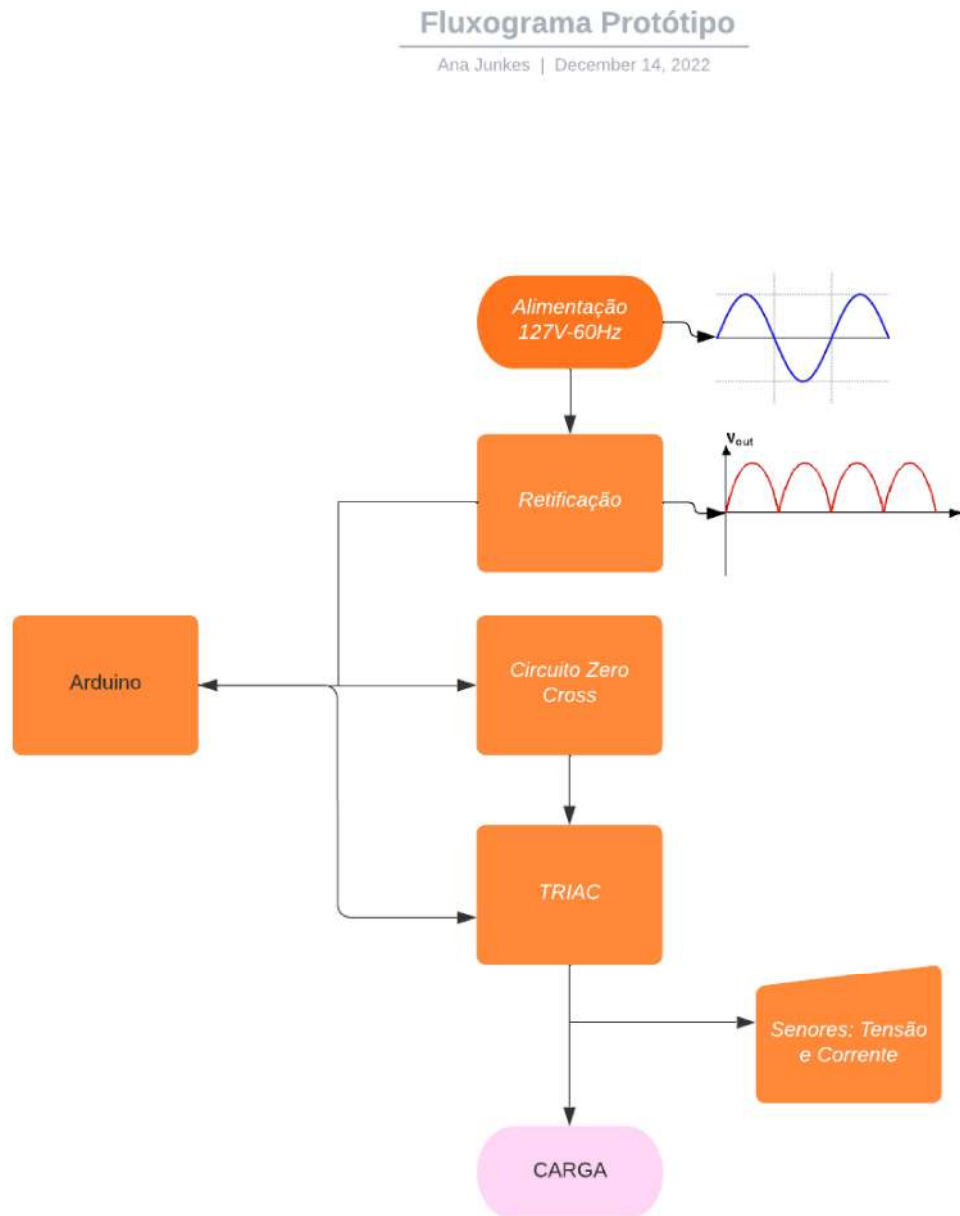
    void setFreq(char option)
    {
        TCCR2B = option;
    }

    void loop()
    {
        emon1.calcVI(17,100);
        double currentDraw = emon1.Irms; currentDraw = currentDraw-ruído;
```

```
    U = tensaoSensor.getVoltageAC();
    I = currentDraw;
    P = U * I;
    linha++;
    Serial.print("DATA,HORA,");
    Serial.print(U);
    Serial.print(",");
    Serial.print(I);
    Serial.print(",");
    Serial.print(P);
    Serial.print(",");
    Serial.println(linha);

    if(linha > 1000)
    {
        linha = 0;
        Serial.println("ROW,SET,2");
    }
    delay(100);
}
```

APÊNDICE B – Fluxograma do funcionamento do Protótipo



Fonte: Desenvolvido em (LUCIDCHART, 2022)

Anexos

ANEXO A – Ficha Técnica Mixer Mondial Power M-07

Informações Técnicas		-
Modelo	M-07	
Cor	Preto/Inox	
Voltagem (Tensão)	127V/220V	
Tipo	Multiuso	
Itens inclusos	01 Mixer - Manual de Instruções	
Velocidades	2 velocidades	
Material	PP e Inox	
Capacidade (L)	800ml	
Potência	500W	
Tipo de lâminas	Lâmina em Aço Inox	
Ação do produto	Processa alimentos, prepara milk-shake, sucos, vitaminas, coquetéis, molhos e outros alimentos.	
Desmontável	Sim	
Botão turbo	Sim	
Botão liga-desliga	Sim	
Alimentação	Energia Elétrica	
Dimensões do produto	24,5cm x 14,5cm x 21,8cm (AxLxP)	
Peso do produto	1,180kg	
Comprimento do cabo	1,50m	
Garantia	1 ano	

Fonte: MONDIAL (2021)

ANEXO B – Valor do kWh Dezembro - PR

* valores sem impostos

(Resolução Homologatória nº 2.313 de 16/11/2022 - Vigência a partir de 22/11/2022)

Grupo B - Baixa Tensão Tarifas	
Classificação	Valor R\$/kWh
B1 - Residencial	0,65313
B1 - Residencial Baixa Renda	0,54537
Residencial Mensal até 30 kWh	0,19088
Residencial Mensal de 31 kWh até 100 kWh	0,32722
Residencial Mensal de 101 kWh até 220 kWh	0,49083
Residencial Mensal acima de 221 kWh	0,54537
B2 - Rural	0,61394
B2 - Cooperativa de Eletrificação Rural	0,61394
B2 - Serviço Público de Irrigação	0,60088
B3 - Demais Classes (Comercial, Industrial e Outros)	0,65313

Fonte: DME (2022)

ANEXO C – Fatura Comercial do Estabelecimento para Estudo de Caso



COPEL
Para Energia

0800 51 00 116 - www.copel.com

DANF3E - DOCUMENTO AUXILIAR DA
NOTA FISCAL ELETRONICA DE ENERGIA ELETRICA
Copel Distribuição S.A.
R Jose Izidoro Biazetto, 158 - Bloco C - Mossungue
CEP: 81200-240 - Curitiba - PR
CNPJ 04.368.898/0001-06
INSC. ESTADUAL 9023307399

Responsável pela Iluminação Pública: Município 153

Classificação:
B3 Comercial, Serviços, Outras Atividades /

Tipo de Fornecimento:
Trifásico / 50A

DATAS DE LEITURAS

Leitura anterior	Leitura atual	Nº de dias	Próxima Leitura
23/09/2022	25/10/2022	32	24/11/2022

Nome:

UNIDADE CONSUMIDORA

CEP:

Cidade: Toledo - Estado: PR

CÓDIGO DO CLIENTE

NOTA FISCAL Nº. 4224723 - SÉRIE 3 / DATA DE EMISSÃO: 25/10/2022

REF. MÊS / ANO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
10/2022	16/11/2022	R\$446,87

Itens de fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS / COFINS	ICMS	Tarifa unit. (R\$)
ENERGIA ELET CONSUMO	kWh	494	0,334650	165,32	7,65	29,76	0,268440
ENERGIA ELET USO SISTEMA	kWh	494	0,329372	162,71	9,18	0,00	0,310800
SERVICO DE RELIGACAO	UN	1	40,860000	40,86			
MULTA POR ATRASO NO PAGAMENTO	UN	1	18,500000	18,50			
JUROS CONTA ANTERIOR	UN	1	5,900000	5,90			
CONT. ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO	UN	1	53,580000	53,58			
TOTAL				446,87	16,83	29,76	

Tributo	Base de Cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	165,32	18%	29,76
COFINS	295,27	4,5167%	13,32
PIS	295,27	1,0109%	3,01

HISTÓRICO DE CONSUMO / kWh

CONSUMO FATURADO	Nº DIAS FAT.
OUT22	494
SET22	417
AGO22	423
JUL22	264
JUN22	100
MAI22	100
ABR22	100
MAR22	
FEV22	
JAN22	
DEZ21	100
NOV21	100
OUT21	497

Medidor	Grandezas	Postos horários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Cont. Medidor	Consumo kWh
0351342446	CONSUMO kW	TP	5545	6030	1	494

Reservado ao Fisco

PERÍODO FISCAL: 25/10/2022

INCLUSO NA FATURA PIS R\$3,01 E COFINS R\$13,82 CONFORME RES. ANEEL 130/2005.
A PARTIR DE 01/10/2022 - PIS/PASEP 1,00% e COFINS 4,58%.
CENSO 2022, A PARTIR DE AGOSTO, ATENDA O RECALENDADOR DO IBGE.
A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados à prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações.
Períodos Band.Tarif.: Verde:24:00-25/10

UNIDADE CONSUMIDORA	MÊS REFERÊNCIA	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
	10/2022	16/11/2022	R\$446,87

