

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL VINICIUS BENTO

**APLICATIVO DE SMARTPHONE PARA CONTROLE E MONITORAMENTO DE
UM PROTÓTIPO DE SOFT-STARTER**

MEDIANEIRA

2022

DANIEL VINICIUS BENTO

**APLICATIVO DE SMARTPHONE PARA CONTROLE E MONITORAMENTO DE
UM PROTÓTIPO DE SOFT-STARTER**

Smartphone application for control and monitoring of a soft-starter prototype

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Alberto Noboru Miyadaira

MEDIANEIRA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DANIEL VINICIUS BENTO

**APLICATIVO DE SMARTPHONE PARA CONTROLE E MONITORAMENTO DE
UM PROTÓTIPO DE SOFT-STARTER**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/junho/2022

Alberto Noboru Miyadaira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yuri Ferruzzi
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2022

Dedico este trabalho primeiramente à Deus e depois
minha família, pelos momentos em que sofreram
comigo e me ajudaram em todo caminho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, o dom da inteligência e por tudo que ele permitiu em minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alberto Noboru Miyadaira, pela paciência e sabedoria com que me ajudou e me guiou nesta caminhada.

Aos meus amigos que fizeram parte da minha jornada.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço também, à minha família, pois sem o apoio deles e sem sua fé em mim, se mostrando estar ao meu lado mesmo nos momentos mais difíceis, seria quase impossível para mim chegar até aqui.

A UTFPR pela oportunidade da graduação, bem como pela disponibilidade na disposição dos equipamentos necessários para a realização do projeto.

Também agradeço a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram e me permitiram chegar até aqui, sei que mesmo se enumerasse provavelmente esqueceria a todos, mas podem ter certeza que fazem parte do meu pensamento e agradecimento.

Por fim, a todos os que tiveram uma parcela de contribuição a minha pesquisa.

RESUMO

A elevada corrente de partida que pode ser gerada no momento do acionamento de motores de indução trifásicos tem o potencial de prejudicar a rede elétrica e os equipamentos ligados a essa rede, provocando flutuações de tensão na linha. Portanto, o controle da corrente e da tensão são essenciais para assegurar a qualidade bom desempenho da rede e do sistema de distribuição no qual há cargas ligadas. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um aplicativo para SO Android capaz de se comunicar via bluetooth com um protótipo de soft-starter didático, desenvolvido em outro trabalho de conclusão de curso, foram adicionados sensores de tensão e corrente e foi realizada uma atualização no firmware já existente, possibilitando alterar os parâmetros de partida, desaceleração, assim como monitorar a corrente e a tensão na qual o motor está ligada, os dados obtidos sobre o comportamento da carga em todas as fases são essenciais para análises didáticas.

Palavras-chave: arduino; android; motores elétricos de indução.

ABSTRACT

The high inrush current that can be generated when starting three-phase induction motors has the potential to harm the electrical network and the equipment connected to this network, causing voltage fluctuations on the line. Therefore, current and voltage control are essential to ensure the quality and good performance of the network and distribution system in which loads are connected. The present work aims to develop an application for Android OS capable of communicating via bluetooth with a didactic soft-starter prototype, developed in another course conclusion work, voltage and current sensors were added and a firmware update was performed already existing, making it possible to change the starting and deceleration parameters, as well as monitoring the current and voltage to which the motor is connected, the data obtained on the behavior of the load in all phases are essential for didactic analysis..

Keywords: arduino; android; electric motors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de motores.....	16
Figura 2 - Fluxograma de motores.....	17
Figura 3 - Comparação de correntes de partidas.....	20
Figura 4 - Representação Tiristor.....	21
Figura 5 - Esquema de ligação do Soft-Starter.....	22
Figura 6 - Configuração dos tiristores.....	22
Figura 7 - Ângulo de partida.....	23
Figura 8 - Circuito Snubber.....	24
Figura 9 - Rampa de Aceleração.....	25
Figura 10 - Rampa de Desaceleração.....	26
Figura 11 - Função Kick starter.....	27
Figura 12 - Modelos Comerciais.....	28
Figura 13 – Arduino Uno.....	29
Figura 14 - APP Inventor Designer.....	31
Figura 15 - <i>APP Inventor Blocks Editor</i>	32
Figura 16 - Controlador CA-CA.....	33
Figura 17 - Shield Acs712 (30A).....	35
Figura 18 - Shield Zmpt101b.....	36
Figura 19 - Shield Bluetooth HC-05 - Frente.....	37
Figura 20 - Shield Bluetooth HC-05 - Atrás.....	38
Figura 21 - Fluxograma de atuação do firmware.....	40
Figura 22 - Blocos de montagem do Blocks Editor.....	41
Figura 23 - Interface de apresentação.....	42
Figura 24 - Interface de partida e desaceleração.....	43
Figura 25 - Fluxograma da Interface de apresentação.....	45
Figura 26 - Fluxograma da Interface de partida e desaceleração.....	46
Figura 27 - Esquema de ligação.....	47
Figura 28 - Montagem do experimento.....	48
Figura 29 - Gráfico 1 do acionamento da carga.....	49
Figura 30 - Gráfico 2 do acionamento da carga.....	50
Figura 31 - Gráfico 3 do acionamento da carga.....	51
Figura 32 – Monitoramento da carga.....	52
Figura 33 – Monitoramento da carga 2.....	53
Figura 34 - Gráfico 1 do desligamento da carga.....	55
Figura 35 - Gráfico 2 do desligamento da carga.....	55
Figura 36 - Gráfico 3 do desligamento da carga.....	56
Figura 39 - APP Inventor App Designer da Primeira Tela.....	61
Figura 40 - APP Inventor App Designer da Segunda Tela.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Corrente
APP	Apicativo
ms	Milisegundos
MIT	Motor de Indução Trifásico
V	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivo	14
1.2.1	Objetivos Eespecíficos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	MOTORES ELÉTRICOS	15
2.1.1	Estrutura do MIT	16
2.1.2	Princípio de funcionamento	18
2.2	Soft-Starter	19
2.2.1	Tiristor SCR.....	20
2.2.2	Princípio de Funcionamento	21
2.2.3	Principais Funções	24
<u>2.2.3.1</u>	<u>Rampa de aceleração</u>	<u>24</u>
<u>2.2.3.2</u>	<u>Rampa de desaceleração</u>	<u>25</u>
<u>2.2.3.3</u>	<u>Limitação de corrente</u>	<u>26</u>
<u>2.2.3.4</u>	<u>Kick starter</u>	<u>26</u>
<u>2.2.3.5</u>	<u>Pump control</u>	<u>27</u>
<u>2.2.3.6</u>	<u>Modelos Comerciais</u>	<u>27</u>
2.3	Arduino	28
2.3.1	Arduino Uno	29
2.4	APP INVENTOR	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Controlador CA-CA trifásico para partidas suaves	33
3.2	Sensoriamento	34
3.2.1	Sensor de Corrente Acs712	34
3.2.2	Sensor de Tensão Zmpt101b	35
3.3	Shield Bluetooth	36
3.4	Microcontrolador	38
3.5	APP Inventor	38
3.6	Programação	38
3.6.1	Programação Arduino	39
3.6.2	Programação APP Inventor	41
3.7	ESQUEMA DE LIGAÇÃO	46

4	RESULTADOS	48
4.1	Partida da carga	49
4.2	Monitoramento da carga	51
4.3	Desligamento da carga	54
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICE A - Programação do APP Inventor App Designer.	61

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico industrial muitas coisas que antes pareciam impossíveis, podem ser fabricadas e comercializadas de maneira genérica, tais avanços se devem a implementação de novas tecnologias e melhoria das que já existem, como por exemplo a criação de tecnologias que se utilizam de energia elétrica, e de maneira bem particular dos motores de indução trifásicos.

Entretanto, existem prós e contras, assim como os avanços nos trazem melhorias em nossas vidas, eles também vêm atados de problemas que necessitam de avanços tecnológicos ou inovações tecnológicas para atenuar ou corrigir tais problemas.

Um motor elétrico é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica. Quando conectamos o motor à fonte de alimentação, ele absorve uma certa quantidade de corrente que ativa a carga.

Tal corrente de partida pode atingir de 5 a 8 vezes a corrente nominal de operação do motor, com isso é necessário que sejam criadas técnicas que visam diminuir essa alta corrente em sua partida, reduzindo assim as chances de ocorrer problemas nas máquinas e equipamentos ligados a rede elétrica.

1.1 Justificativa

Por existirem várias técnicas desenvolvidas para o acionamento de motores elétricos, algumas se destacam por oferecerem um maior uso de eletrônica para sua implementação, uma dessas técnicas é o acionamento por soft-starter, entretanto quanto maior o emprego de componentes eletrônicos maior é o custo de implementação.

Por isso esse trabalho se preocupa com a atualização de uma partida por soft-starter e seu monitoramento, buscando o menor custo para a implementação e permitindo que o acionamento possa ser acessível a todos que não podem arcar com os valores que são praticados no mercado atualmente.

1.2 Objetivo

O objetivo do trabalho é atualizar um firmware para o acionamento suave de motores, com o controle por smartphone, além de disponibilizar aos usuários informações referentes ao funcionamento do motor.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Atualizar o firmware para partidas suaves e adicionar as leituras de tensão e corrente a partir de sensores de tensão e corrente adicionados ao protótipo;
- Desenvolver aplicativo no APP Inventor para controle e monitoramento das correntes e tensões medidas pelo soft-starter;
- Integrar o soft-starter com o aplicativo;
- Testar e avaliar a comunicação do soft-starter com o aplicativo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

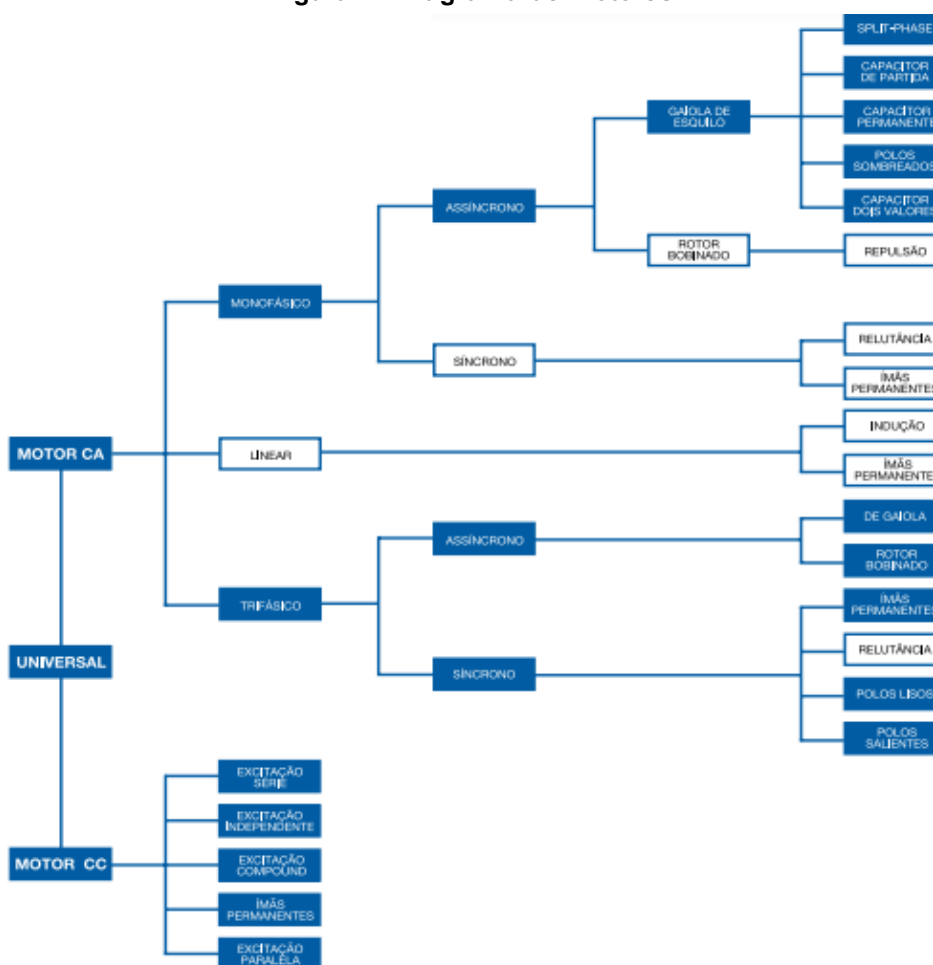
Neste tópico é apresentado uma revisão da literatura relacionada ao tema do trabalho proposto, tendo como finalidade levantar os principais conceitos e definições presentes na literatura.

2.1 MOTORES ELÉTRICOS

Na atualidade, sabe-se que os motores elétricos são responsáveis pela maior parte dos processos industriais, sendo eles um dos núcleos mais importantes das indústrias, pois sem o auxílio de tais equipamentos não seria possível a operação industrial de maneira eficiente, regular e rápida. Tais equipamentos tem várias vantagens como: baixo custo, versatilidade, fácil transporte, fácil manutenção e por fim tendo uma simplicidade em seu comando (Azevedo, 2008).

Por haverem várias vantagens e serem vitais nas indústrias eles são comercializados de maneiras diversas, tendo motores específicos para cada aplicação, eles também podem ser divididos de maneira fundamental em motores elétricos de corrente alternada ou motores elétricos de corrente contínua, na Figura 1 é exibido um diagrama com todos tipos de motores e algumas informações necessárias para o dimensionamento.

Figura 1 - Diagrama de motores



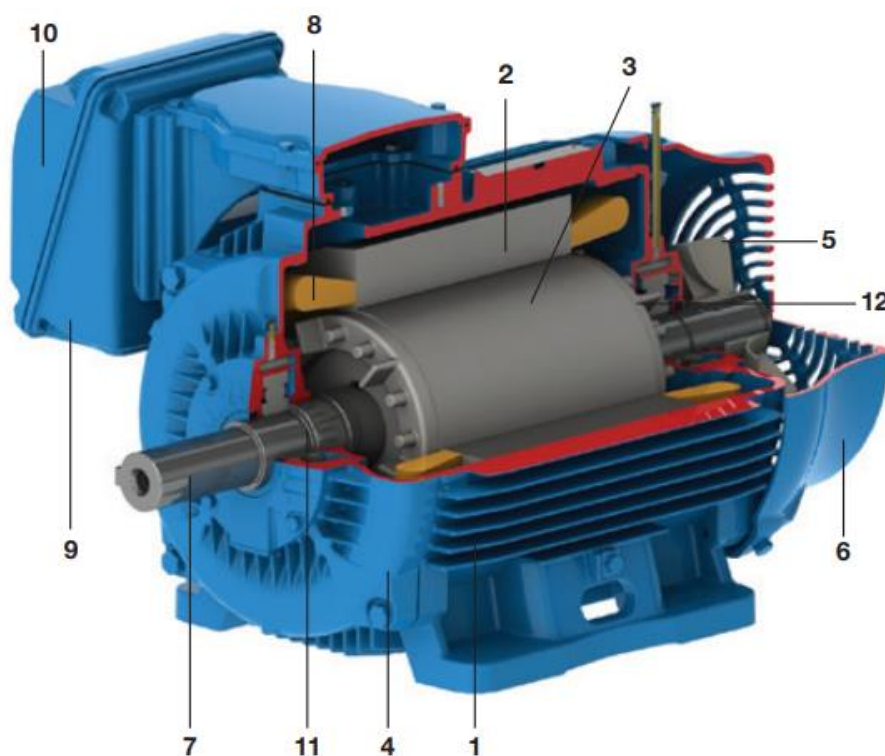
Fonte: WEG (2021)

Os motores com maior atuação no meio industrial são os Motores de Indução Trifásicos ou MIT, motores esses que agregam vantagens de funcionalidade e custo. Ele recebe esse nome, pois além de ser autossuficiente (não necessita de conexão externa ao motor), é um motor que induz a corrente alternada no rotor, através de campos girantes provocados pelas bobinas do estator. Em 2003, os MIT já representavam 75 % dos motores utilizados na indústria. (GARCIA, 2003).

2.1.1 Estrutura do MIT

Os MIT são basicamente compostos de duas partes, o rotor que é a parte girante do motor e o estator que é a parte fixa, dentro dessas duas partes podemos encontrar outras menores que integram e formam esses dois conjuntos. Na Figura 2 tem-se um MIT e suas respectivas partes.

Figura 2 - Fluxograma de motores



Fonte: WEG (2021)

Segundo WEG (2020, p.13) No MIT as partes que formam o estator são:

“Carcaça (1) - é a estrutura robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas; Núcleo de chapas (2) – as chapas são de aço magnético; Enrolamento trifásico (8) – três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação”.

Ainda de acordo com WEG (2020, p.13),

“O rotor é composto peças seguintes partes: Eixo (7) – transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor; Núcleo de chapas (3) – as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator; Barras e anéis de curto-circuito (12) – são de alumínio injetado sob pressão numa peça”.

As outras partes que formam o MIT são: “Tampa (4); Ventilador (5); Tampa defletora (6); Caixa de ligação (9); Terminais (10); Rolamentos (11).” (WEG, 2020, p.13).

2.1.2 Princípio de funcionamento

O MIT tem o princípio de funcionamento baseado em campo girante. Tal campo girante é formado quando alimentamos os enrolamentos do motor trifásico com correntes trifásicas equilibradas, produzindo polos magnéticos que se movimentam em relação ao respectivo enrolamento que o originou. Quando esses campos são gerados eles fazem um torque mecânico, permitindo o rotor se movimentar ao longo do fluxo magnético.

Segundo Chapman (2013), se apenas a componente de frequência fundamental for considerada, o campo rotativo é uma onda senoidal de força magnetomotriz, movendo-se ao longo do entreferro a uma velocidade síncrona e formando polos rotativos assim permitindo uma velocidade síncrona do campo que se pode ser obtida pela Equação 1:

$$n_{sinc} = \frac{120 * f}{p} \quad (1)$$

Sendo n_{sinc} é a velocidade síncrona do campo girante (em rpm), p é o número de polos do MIT e f é a frequência (em Hz).

Ainda de acordo com Chapman (2013), é importante salientar que os motores de indução são chamados de motores assíncronos ou motores não síncronos, pois a velocidade de um motor assíncrono também é obtida a partir da relação de frequência e número de polos, mas um motor de indução não pode operar com a velocidade síncrona, visto que o rotor estaria parado em relação ao campo girante e não existiria uma velocidade relativa não formando assim a tensão induzida, conforme observa-se na Equação 2.

$$e_{ind} = (v \times B) . l \quad (2)$$

Sendo, e_{ind} a tensão induzida no rotor (em V), v a velocidade em relação ao campo magnético (em rpm), B é o vetor densidade do fluxo magnético (em Wb/m^2) e l é o comprimento do condutor inserido no campo magnético (em m).

A diferença existente entre a n_{sinc} e a n_{motor} que é relativamente menor que a síncrona e permite o funcionamento do motor é chamado de escorregamento e tem duas expressões validas sendo uma expressa em rpm e outra em porcentagem, conforme Equações 3 e 4, respectivamente.

$$n_{esc} = (n_{sinc} - n_{rotor}) \quad (3)$$

$$s = \frac{n_{esc}}{n_{sinc}} \times 100\% = \frac{n_{sinc} - n_{rotor}}{n_{sinc}} \times 100\% \quad (4)$$

Com n_{esc} sendo a velocidade de escorregamento (em rpm), n_{sinc} a velocidade síncrona (em rpm), ou seja, a velocidade de campo do estator e n_{rotor} a velocidade do rotor (em rpm). (Chapman, 2013)

Segundo Pinho (2019), quando o MIT opera a vazio, a velocidade de escorregamento, a frequência do rotor, a reatância e a tensão induzidas no rotor são pequenas. Entretanto a corrente é o bastante para realizar um torque no motor. Mas quando há carga, a predisposição é que a velocidade seja diminuída e o torque aumentado. Com isso tem-se uma corrente de partida muito maior para compensar a potência necessária para que aja potência mecânica. Os MIT, tem a particularidade de precisar que a corrente de partida seja da ordem de 5 à 8 vezes a corrente nominal do motor.

2.2 Soft-Starter

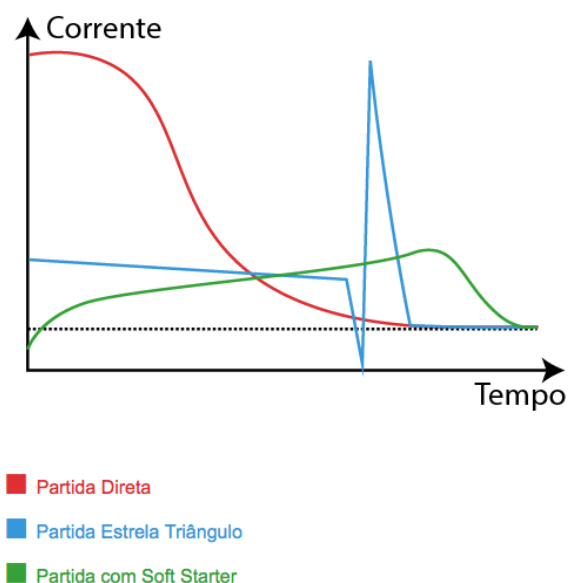
O soft-starter é um equipamento eletrônico que tem a capacidade de controlar a corrente de partida de motores alternados, tal fato se dá por meio de Tiristores SCR (Retificador Controlado de Silício) que através do chaveamento de

disparo, conseguem fazer uma atenuação controlada da tensão no terminal de alimentação do motor.

Soft-starter em uma tradução para o português significa partida suave, ele é composto de microcontroladores, Tiristores e um circuito eletrônico acoplado, tal conjunto tem a capacidade de controlar o torque e a corrente de motores para valores desejados dependendo de cada aplicação, na Figura 3 pode ser observada uma comparação da corrente de partida direta, estrela-triângulo e soft-starter.

Existem várias vantagens nas instalações e partidas de motores que se utilizam de soft-starter, sendo elas: baixo consumo de energia, aumento na vida útil de motores e equipamentos elétricos, uma vez que não permite altos solavancos, assim como a partida estrela-triângulo visa diminuir o solavanco causado pela corrente de partida, é versátil, podendo ser achado no comercio soft-starters monofásico, bifásico e trifásico o modo com melhor arquitetura.

Figura 3 - Comparação de correntes de partidas



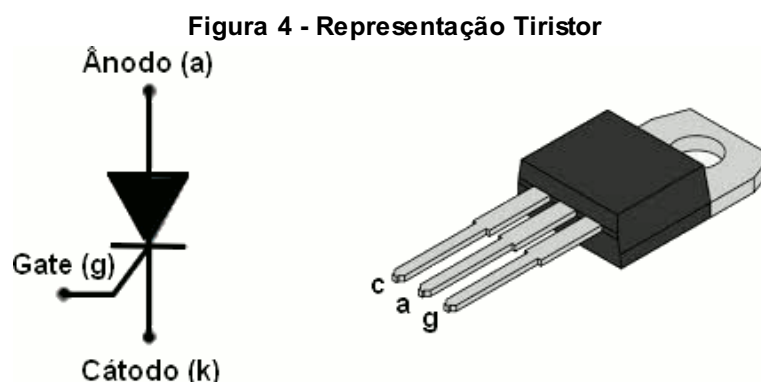
Fonte: MASCHERONI (2012)

2.2.1 Tiristor SCR

O tiristor SCR, foi criado em 1957, pela Bell Telephone Laboratory (EUA), seu princípio de funcionamento é semelhante ao de um diodo, com um terminal de

gatinho que deve receber um pulso para que o tiristor entre em condução, na Figura 4 há uma representação. Ele é um semicondutor de multicamadas biestáveis, tendo em sua composição quatro ou mais ligações PN, o que lhe atribui um chaveamento entre os estados de corte e condução e é composto de silício o que lhe confere uma robustez para alta capacidade de potência e resistência a altas temperaturas. (AZEVEDO, 2008).

Os tiristores não têm a capacidade de voltarem ao seu estado original, uma vez que eles recebem um pulso de condução eles permanecem no mesmo estado até que recebam novamente outro pulso, ou seja, podemos dar um exemplo de um interruptor que depois de haver uma mudança de estado no liga/desliga, o mesmo não volta ao seu estado anterior, a não ser que haja outra mudança de estado. (RABELLO, 2016).



Fonte: STMicroelectronics (2020)

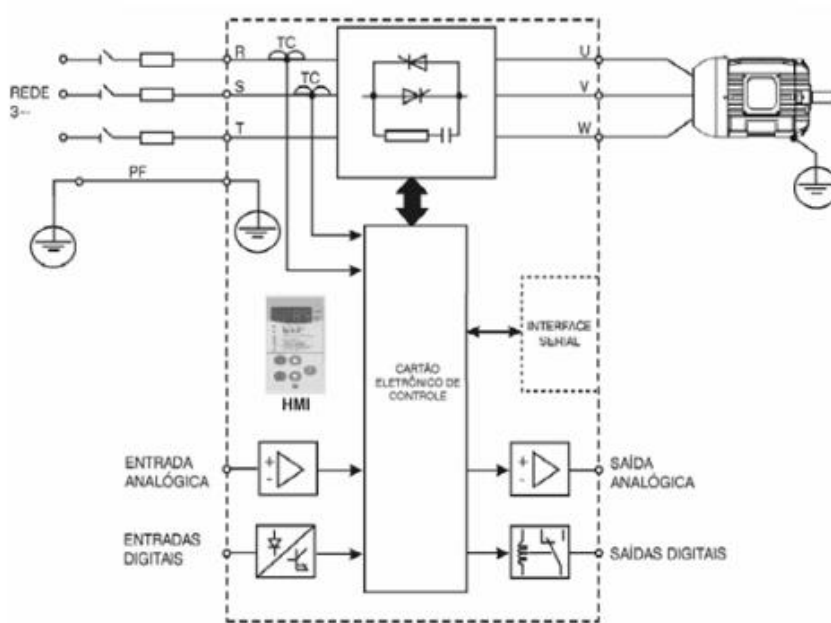
Segundo Rabello (2016), para que ocorra o disparo, é necessário que uma tensão seja empregue entre o Gate (g) e o Cátodo (K), sendo necessário uma fonte DC, formando assim um curto entre o Gate (g) e o Ânodo (a), possibilitando a passagem de corrente no cátodo. Para que o tiristor continue atuando a corrente deve permanecer, já que no momento em que não haver mais corrente é cessado a atuação do tiristor.

2.2.2 Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento de um soft-starter é baseado na utilização de Tiristores em uma configuração antiparalelo, com na Figura 5 e 6, que é controlada por um microcontrolador ou microprocessador, para que haja o ajuste de tensão no

terminal do motor de acordo com a programação fornecida. Assim, havendo uma variação no ângulo de disparo do circuito de potência, na qual faz com que o valor da tensão eficaz do motor varie. (COSTA, 2014).

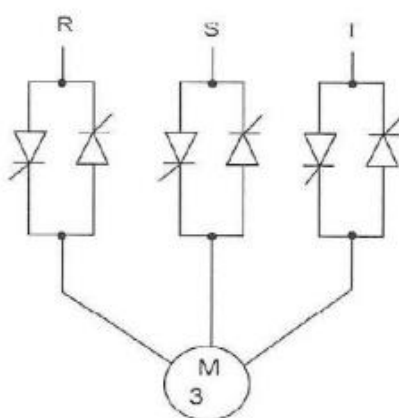
Figura 5 - Esquema de ligação do Soft-Starter



Fonte: Azevedo e Mendes (2008)

Na Figura 6, tem-se o modo como os tiristores são distribuídos para o acionamento de uma soft-starter.

Figura 6 - Configuração dos tiristores

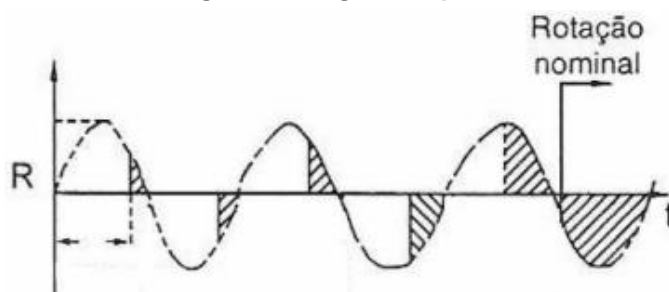


Fonte: Costa (2014)

Para um funcionamento correto do soft-starter é necessário que os Tiristores possam atuar em algum dos momentos, o primeiro momento é quando a tensão é igual a zero e o segundo é quando a corrente é igual a zero, pois assim evita que ocorra interferências na comutação. (PINHO, 2019).

Segundo PINHO (2019), os ângulos de disparo dos Tiristores podem variar de 0° a 180° , numa forma que a tensão cresça enquanto os ângulos de disparos diminuam. Sendo assim quando o ângulo de disparo no Tiristor for de 180° não haverá tensão, mas quando o ângulo for igual a 0° a tensão nominal será a tensão de linha, na Figura 7 tem-se um exemplo.

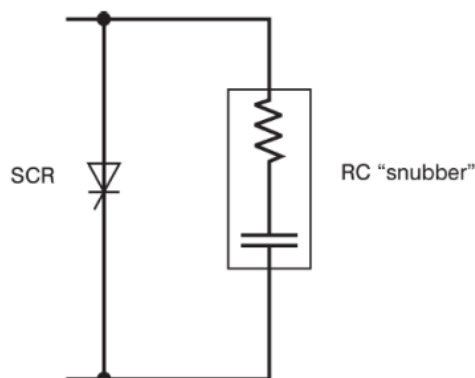
Figura 7 - Ângulo de partida



Fonte: Costa (2014)

É importante ressaltar que o soft-starter não comuta a frequência nem a velocidade. Logo, afim de observar a corrente de saída de um soft-starter, é necessário acrescentar TC, para que seja possível haver um controle, uma proteção e uma manutenção dos níveis fornecidos pelo usuário. Também para impossibilitar uma alteração brusca de tensão em um curto período de tempo, é necessário a instalação de um circuito auxiliar, chamado Snubber. Tal circuito é necessário ser instalado em paralelo com o Tiristor, afim de que evite disparos acidentais, ele é composto por um capacitor e um resistor em série. Na Figura 8, tem-se uma exemplificação. (RABELLO, 2016).

Figura 8 - Circuito Snubber



Fonte: Rabello (2014)

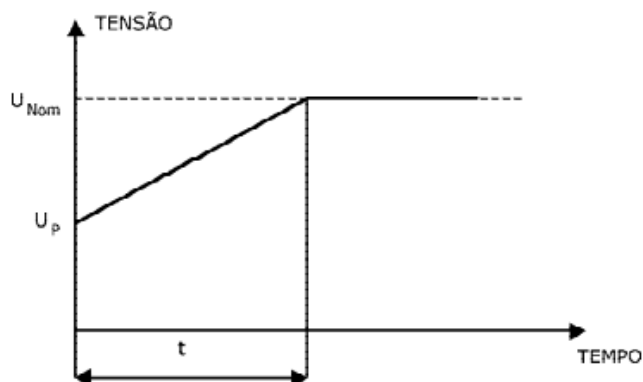
2.2.3 Principais Funções

Pelo fato do soft-starter ter um microcontrolador que tem a possibilidade de se adequar as configurações do usuário, essas configurações fazem parte de um conjunto de modificações liberadas para troca de parâmetros, tais parâmetros fazem parte das principais funções do soft-starter, algumas sendo: controle das rampas de aceleração e desaceleração; limitação de corrente ajustável; conjugado de partida; frenagem por injeção de corrente contínua; proteção do acionamento por sobrecarga; proteção do motor contra aquecimento devido a sobrecargas ou a partidas demasiadamente frequentes; detecção de desequilíbrio ou falta de fases e de defeitos nos tiristores.

2.2.3.1 Rampa de aceleração

A função mais básica de um *soft-starter* é a rampa de aceleração, na qual há um crescente aumento de tensão que sai de U_P (tensão e partida), até U_{nom} (tensão nominal) em um determinado tempo fixado t , na Figura 9 tem-se um exemplo.

Figura 9 - Rampa de Aceleração



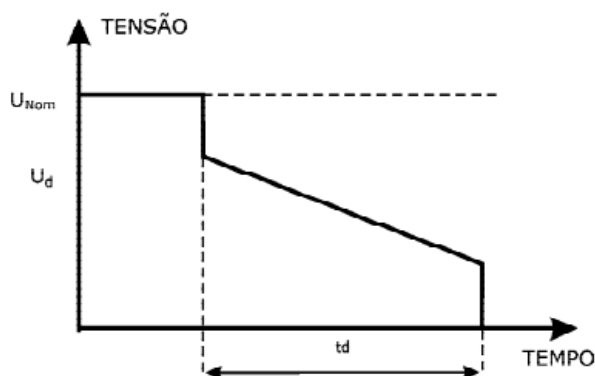
Fonte: WEG Motores (2021)

Mesmo que se possa configurar a tensão de partida e um tempo específico, isso não quer dizer que o acionamento ocorrerá no tempo previsto para ele sair de U_p até U_{nom} , pois as influências das características dinâmicas do motor-carga podem mudar comparado com a seleção do usuário, entretanto existem faixas de tempo que variam de fabricante para fabricante que garante o acionamento.

2.2.3.2 Rampa de desaceleração

A interrupção do funcionamento de um motor pode ocorrer de duas formas, sendo elas por inércia ou controlada. Quando há uma interrupção por inércia, o soft-starter zera a tensão em um momento, deixando que a dissipação da energia cinética pare o motor, mas quando a parada é controlada, existe uma rampa decrescente da tensão, onde a tensão é reduzida até um valor específico e aí é zerada. A rampa de desaceleração pode ser observada no gráfico da Figura 10. (RABELLO,2016).

Figura 10 - Rampa de Desaceleração



Fonte: WEG Motores (2021)

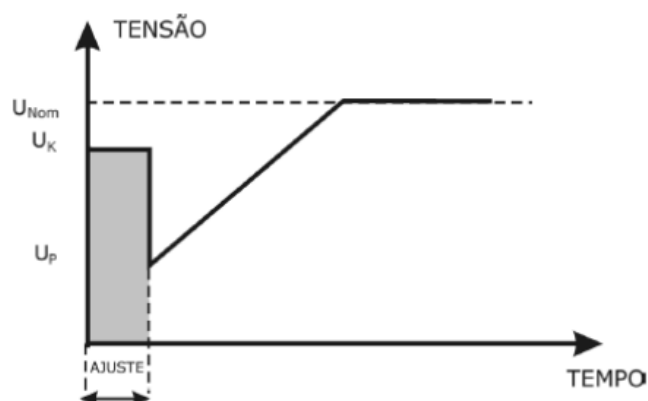
2.2.3.3 Limitação de corrente

Na maioria dos casos onde a carga tem alta inércia, uma função chamada limite de corrente é usada. Esta função força o soft starter a fornecer apenas corrente necessária a carga, sendo bastante útil, pois garante uma ativação verdadeiramente suave e, melhor ainda, permite o arranque do motor na maior parte da rede. Na prática, pode-se dizer que esta função deve ser utilizada após a falha de uma simples tentativa de rampa de tensão, ou mesmo quando forem necessários ajustes na carga para a ativação do motor.

2.2.3.4 Kick starter

Devido ao alto torque, algumas cargas requerem força motriz adicional ao iniciar. Nestes casos, o soft starter deve normalmente aplicar uma tensão mais alta ao motor do que a tensão definida na rampa de tensão de aceleração. Podendo fazer isso usando uma função chamada *Kick start*. Conforme pode ser visto na Figura 11, esta função permite que o motor receba pulsos de tensão com amplitude e duração programáveis para que o motor possa gerar torque de partida suficiente para superar o atrito e acelerar a carga. Esse recurso deve ser utilizado com muito cuidado, pois ele só deve ser usado quando for absolutamente necessário (Costa, 2014).

Figura 11 - Função Kick starter



Fonte: RABELLO (2016)

2.2.3.5 Pump control

Segundo Costa (2014), esta função é usada especialmente para a partida suave do sistema da bomba d'água. Na verdade, trata-se de uma configuração especial (pré-definida) para este tipo de aplicação, que geralmente requer o ajuste da rampa de tensão de aceleração, rampa de tensão de desaceleração e habilitação da proteção. A inclinação da tensão durante a frenagem é ativada para minimizar a água, choques que afetam adversamente todo o sistema, rotação de fase e proteção de subcorrente instantânea (para evitar cavitação).

2.2.3.6 Modelos Comerciais

Atualmente são comercializados muitos tipos diferentes de soft-starters, sendo esses modelos muitas vezes escolhidos com base em suas correntes nominais e seu uso, na Figura 12, tem-se uma tabela que relaciona a aplicação com o modelo de soft-starter, comercializado pela empresa WEG.

Figura 12 - Modelos Comerciais

Aplicação		Carga	Inércia	Fator de multiplicação ²⁾	Soft-starter sugerida ³⁾
Bomba centrífuga	Bomba secundária (chiller)	Leve	Baixa	1,0	SSW05 - SSW08 ³⁾
	Bombeamento predial (cisternas)	Leve	Baixa	1,0	SSW05 - SSW08 ³⁾
	Bomba elevação ou distribuição	Leve	Baixa	1,0	SSW07 ³⁾ - SSW900
	Grandes colunas d'água ou adutoras	Leve	Baixa	1,0	SSW900
	Sistema aberto	Leve	Baixa	1,0	SSW900
Bomba a pistão		Pesada	Média	1,0	SSW07 ³⁾ - SSW900
Dosadora de líquido	Bomba helicoidal	Leve	Baixa	1,0	SSW08
Compressores (parafuso)	Partida com alívio	Leve	Baixa	1,0	SSW05 - SSW08 ³⁾
Compressor (alternativo)	Partida sem alívio	Moderada	Média	1,0	SSW07 ³⁾ - SSW900
Misturadores		Moderada	Média	1,2 - 1,5	SSW07 ³⁾ - SSW900
Ventiladores	Moderada/pesada	Média/alta	1,2 (<25 cv)	SSW07 ³⁾	
			1,5 (>25 cv)	SSW07 ³⁾ - SSW900	
Exaustor	Pesada	Média	1,5 - 1,8	SSW07 ³⁾ - SSW900	
Moinhos	Pesada	Média	1,5 - 1,8	SSW07 ³⁾ - SSW900	
Transportadores	Pesada	Alta	1,5 - 1,8	SSW07 ³⁾ - SSW900	
Centrífugas	Pesada	Muito alta	1,5 - 1,8	SSW07 ³⁾ - SSW900	
Prensa	Volante de inércia	Pesada	Muito alta	1,8 - 2,0	SSW900

Fonte: WEG Motores (2021)

É importante ressaltar que os modelos listados na tabela, fazem uso de algumas especificações quanto a quantidade de partidas por hora, tendo valor igual a 10; um informativo que a maneira correta de escolha da soft-starter é por meio da Equação (5). Onde f_s é o fator de serviço.

$$i_{soft-starter} = i_{nom_motor} \times f_s \quad (5)$$

2.3 Arduino

Iniciado em 2005 pelo Prof. Massimo Banzi e o pesquisador suíço David Cuartielles na Itália, o projeto Arduino nasceu como uma ideia para que estudantes trabalhassem em tecnologia de forma acessível. Com baixo custo e flexibilidade para desenvolver diferentes tipos de projetos (ROSA, 2016).

A plataforma Arduino consiste essencialmente em hardware que é a parte física, onde estão localizadas as entradas e saídas, e software, um ambiente de desenvolvimento através do qual o sistema é programado para executar um projeto específico, utilizando a linguagem Arduino. A plataforma Arduino possui diversas utilidades e os projetos criados permitem o acesso ao mundo físico, utilizando os softwares e hardwares que compõem o sistema, que atua como ferramenta no atendimento das mais diferentes áreas. (KRIEGER, 2016)

Segundo Krieger (2016), desde a criação do Arduino até hoje, o número de usuários cresceu significativamente. A plataforma é de código aberto, portanto qualquer um pode usar os códigos, esquemas ou mesmo os projetos para qualquer finalidade, assim possibilitando que seja possível criar inúmeras placas clonadas que não levem o nome "Arduino".

2.3.1 Arduino Uno

Existem várias versões de placas Arduino, uma das opções mais populares é a placa Arduino Uno que é baseada no microcontrolador ATmega328, na Figura 13 tem-se uma imagem do Arduino Uno.

Figura 13 – Arduino Uno



Fonte: SILVA (2019)

O Arduino UNO possui um microcontrolador ATmega328, o qual possui 32 KB de memória flash (onde o software está armazenado), além de 2 KB de SRAM (onde residem as variáveis) e 1 KB de EEPROM (este último pode ser lido e escrito através da biblioteca EEPROM). O microcontrolador pode ter 28 ou 100 pinos conectores, operar a uma frequência de clock de 16 MHz, permitindo um conjunto de instruções estendido (múltiplas instruções e instruções para gerenciamento de programas com grande memória) e uma ampla gama de periféricos. O poder do microcontrolador ATmega328 e seus recursos fazem do Arduino Uno um dos modelos de placa Arduino mais versáteis disponíveis atualmente. (SOUZA; SANTOS JUNIOR; SASAKI, 2018)

Abaixo são apresentadas algumas características do Arduino Uno:

- Tensão de Operação: 5V;
- Tensão de Entrada: 7-12V;
- Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM);
- Portas Analógicas: 6;
- Corrente Pinos I/O: 40mA;
- Corrente Pinos 3,3V: 50mA;
- Velocidade do Clock: 16MHz
- Alimentação feita por porta USB ou fonte 7 a 12V.

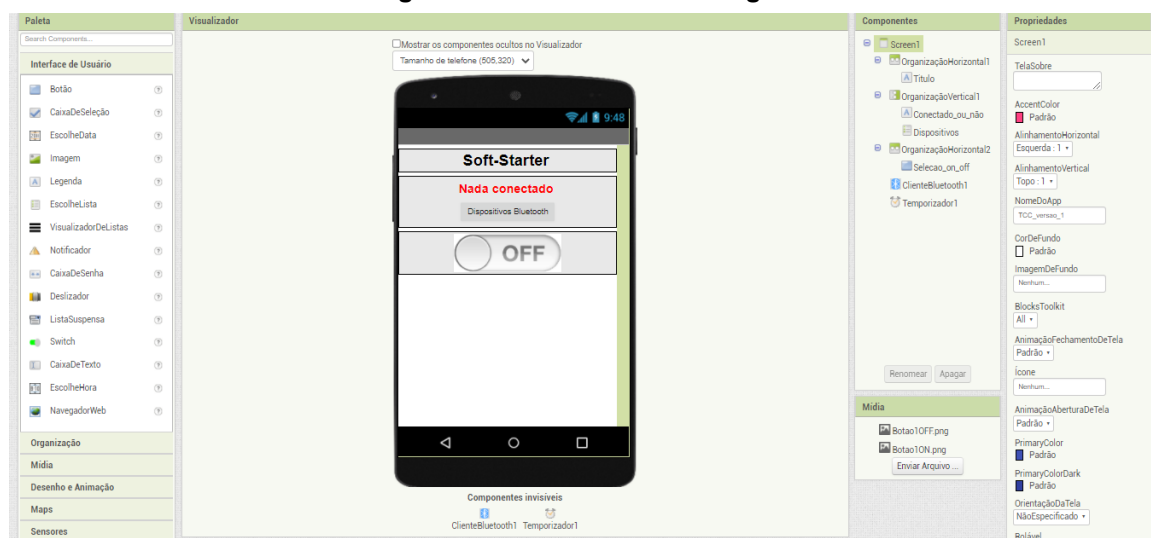
2.4 APP INVENTOR

O App Inventor é um software de programação em bloco desenvolvido em conjunto pelo Google e pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) para o desenvolvimento simples e intuitivo de aplicativos móveis Android. O software tem a capacidade de integrar serviços da web em aplicativos desenvolvidos, interagir com redes sociais, ler códigos de barras, interagir com sensores de direção e geolocalização, além de texto, idioma e voz. (SOUZA; SANTOS JUNIOR; SASAKI, 2018)

Segundo Souza, Santos Junior e Sasaki (2018), a programação do aplicativo no App Inventor é orientada a eventos, o que significa que o comportamento do componente depende em grande parte dos eventos acionados pela interação do usuário com o aplicativo.

A construção do aplicativo é feita em duas janelas: App Inventor Designer e Blocks Editor. A janela App Inventor Designer é iniciada através do navegador e é usada para editar intuitivamente a interface do usuário para o visualizador clicando e arrastando componentes da paleta (como botões, caixas de texto, imagens, animações, sons, etc.), assim como na Figura 14.

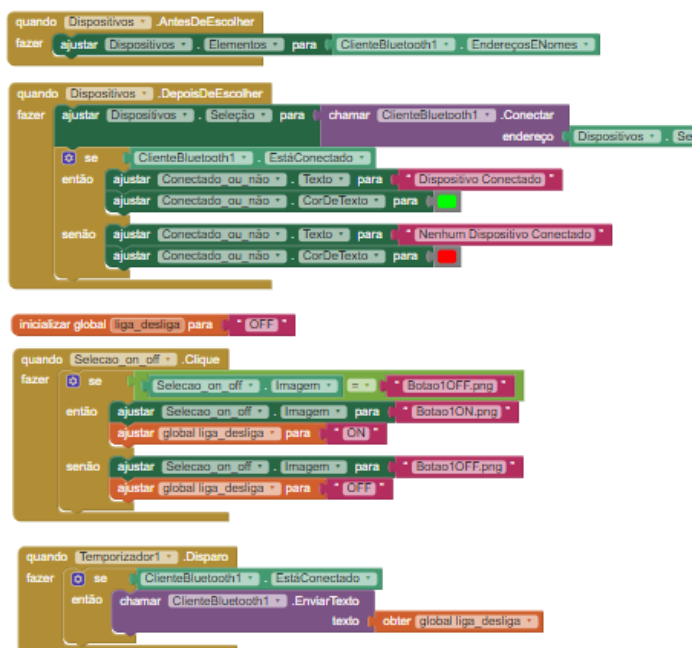
Figura 14 - APP Inventor Designer



Fonte: Autoria própria (2022)

Por sua vez, a janela do editor de blocos, Figura 15, permite controlar o comportamento dos componentes definidos no designer do App Inventor. Nesse ambiente, os usuários encontrarão plug-ins na interface de arrastar e soltar, que podem ser eventos ou métodos. Esses blocos gerenciam cadeias e listas, realizam operações de controle (como else, for, etc.) e realizam operações matemáticas e outras funções. Você pode executar testes de aplicativos diretamente no dispositivo Android conectado (smartphone ou tablet) ou através do simulador incluso no editor de blocos.

Figura 15 - APP Inventor Blocks Editor



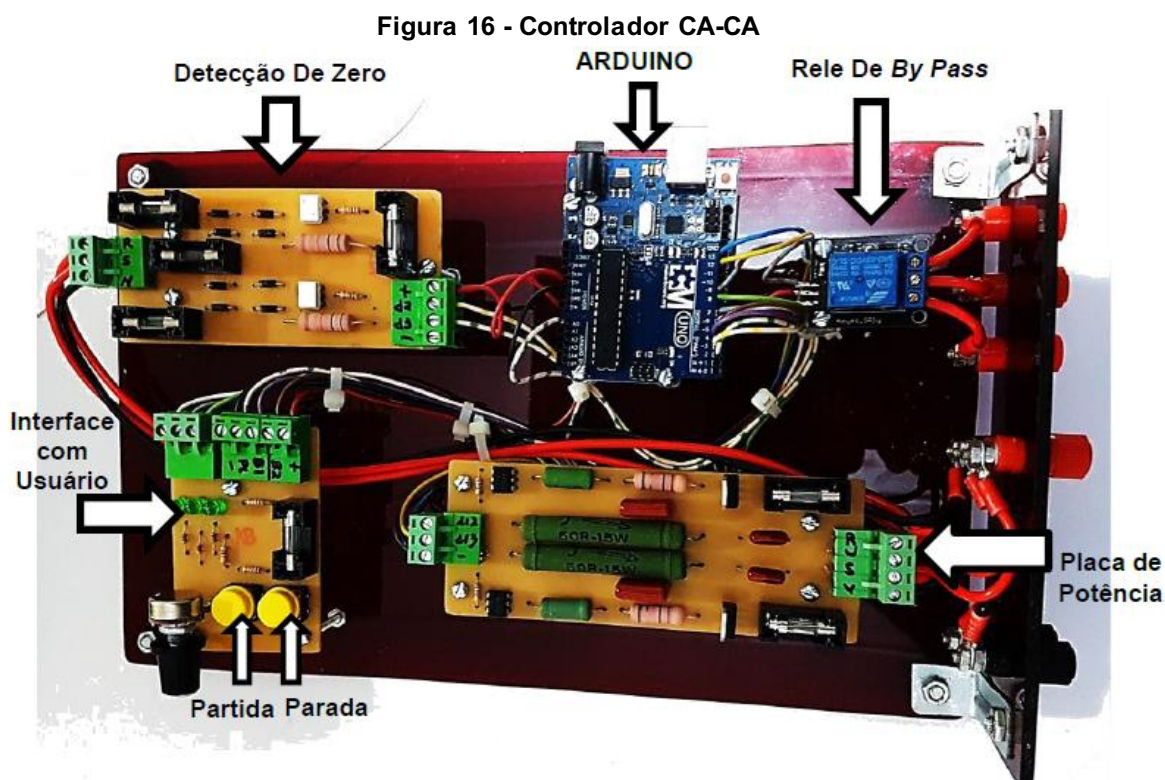
Fonte: Autoria própria (2022)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste momento irá ser abordado os materiais e métodos utilizados para a resolução do projeto proposto, bem como as mudanças no firmware e implementações necessárias para a sua resolução.

3.1 Controlador CA-CA trifásico para partidas suaves

No presente trabalho foi utilizado um controlador trifásico para partidas suaves, desenvolvido por Alex Sandro Klak em seu trabalho de conclusão de curso. Segundo Klak (2017), o controlador age como uma soft-starter para o acionamento de desligamento de cargas, assim ele é composto por 5 partes que são comandadas por um Arduino que tem a função de regular todas as partes que são indicadas na Figura 16.



Fonte: Klak (2017)

A composição do controlador é composta por:

- Detecção de zero – Shield que tem por função enviar um pulso ao microcontrolador, informando toda vez que a onda elétrica passa por 0V;
- Arduino – Placa de controle que utiliza um microcontrolador ATM ATMEGA328 e tem a função de comandar e fazer a ligação entre a Interface com Usuário e a Placa de Potência;
- Rele De By Passa: Tal rele tem a função de By Pass que comando as contadoras, responsáveis pelo acionamento do motor;
- Placa de Potência – Responsável pelo acionamento da carga em partida e desaceleração em rampa;
- Interface com Usuário – Placa responsável pela partida e desaceleração da carga, além de permitir que o usuário programe os tempos de partida e desaceleração.

3.2 Sensoriamento

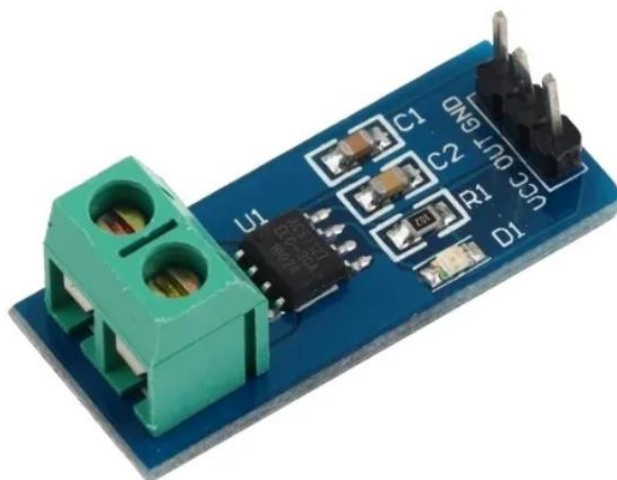
O sensoriamento é composto de dois tipos de sensores: sensor de corrente e sensor de tensão.

3.2.1 Sensor de Corrente Acs712

O sensor de corrente Acs712 da empresa Allegro MycroSystems, é um sensor de pequeno porte e com uma sensibilidade alta para mediação de corrente contínua e corrente alternadas, tal detecção é efetuado pelo efeito Hall, o efeito é gerado quando a corrente passa por um condutor e essa passagem gera um campo magnético que sucede em um diferencial de potencial adequado a leitura do microcontrolador (PIRES, 2021).

Assim, o projeto é concebido com o shield de leitura de corrente composto por um sensor Acs712, conforme ilustração da Figura 17.

Figura 17 - Shield Acs712 (30A)



Fonte: Master Walkershop (2022)

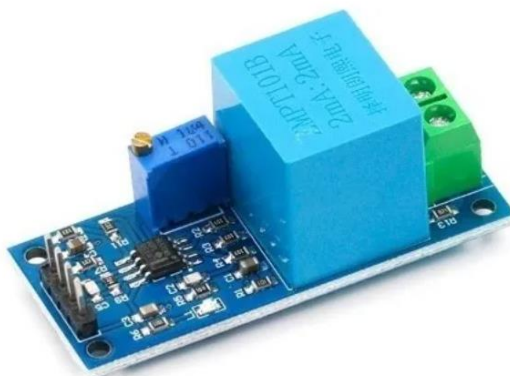
As principais características desse sensor são:

- Faixa de Medição: Até 30A;
- Tensão de Alimentação: 5V;
- Sinal de Saída: 66mV/A.

3.2.2 Sensor de Tensão Zmpt101b

O sensor de Tensão Zmpt101b, Figura 18, produzida pela *Qingxian Zeming Langxi Electronic*, é um transformador de tensão de alta precisão, sendo ideal para medição de tensão em projetos ou protótipos que requerem uma precisão alta e seja compatível com os microcontroladores disponíveis no mercado.

Figura 18 - Shield Zmpt101b



Fonte: Master Walkershop (2022)

Principais características:

- Capacidade de Medição: Até 250V;
- Alimentação: De 5 a 30VDC;
- Sinal de Saída: 0 a 5VDC;
- Erro: $\pm 1\%$.

3.3 *Shield Bluetooth*

O *shield bluetooth* utilizado para a comunicação entre o Arduino e o smartphone foi o HC-05, Figura 19, um módulo *bluetooth* com duas interfaces, sendo uma UART que é responsável pela comunicação com o Arduino e uma interface bluetooth.

Figura 19 - Shield Bluetooth HC-05 - Frente

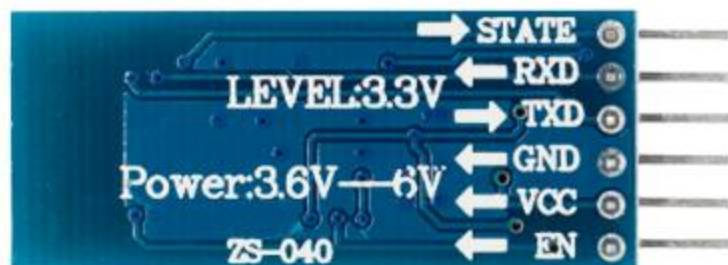


Fonte: FILIPEFLOP (2022)

O módulo HC-05, tem uma capacidade de transmissão de 10 metros e pode ser utilizado tanto em modo escravo, modo este utilizado no presente trabalho e em modo mestre, em sua placa possui um regulador de tensão sendo necessário uma alimentação de 3,3 a 5 VDC, o módulo também possui 6 pinos, apresentados na Figura 20, sendo eles:

- State: Que indica se a conexão foi realizada;
- RX: Pino que recebe dados via serial e precisa ser alimentado com 3,3VDC, sendo assim necessário um divisor de tensão para que haja o funcionamento preciso;
- TX: Pino responsável por receber os dados;
- GND: Pino de referência;
- VCC: Pino responsável pela alimentação do módulo;
- EN: Pino encarregado pelo modo mestre do módulo HC-05.

Figura 20 - Shield Bluetooth HC-05 - Atrás



Fonte: FILIPEFLOP (2022)

3.4 Microcontrolador

A função do microcontrolador foi comandar os acionamentos e desligamento das cargas, também tem a função de colher os dados do sensoriamento, além de realizar os controles de falta de fase, sub e sobre tensão, sobre corrente e por fim o de enviar e receber dados do smartphone, tantos comandos são concedidos pelo usuário através de programação feita e carregada pela IDE do Arduino.

3.5 APP Inventor

O APP Inventor foi responsável pela interface e comunicação entre o microcontrolador e o usuário, dando ao usuário a oportunidade de definir o momento de acionar a partida do motor e monitorar quando o mesmo está acionado.

3.6 Programação

Abaixo segue-se a programação utilizada no Arduino e do APP Inventor.

3.6.1 Programação Arduino

Toda a programação do Arduino Uno foi realizada usando a linguagem de programação baseada em C/C++, por meio da IDE do Arduino.

Inicialmente o sensoriamento foi realizado com as leituras de corrente e tensão, onde foram obtidas 10 amostras ao todo para que o programa pudesse entender que poderia iniciar a partida da carga, em seguida, a cada 2s são obtidas novas amostras. Quando a tensão e a corrente ficaram dentro das faixas toleradas foi liberado o acionamento da carga, mas no momento em que as medições saem das faixas toleradas, o programa como um todo desliga, através do reset do próprio Arduino e aguarda 15 segundos, para que o mesmo reinicie novamente a amostragem e possa permitir a partida da carga.

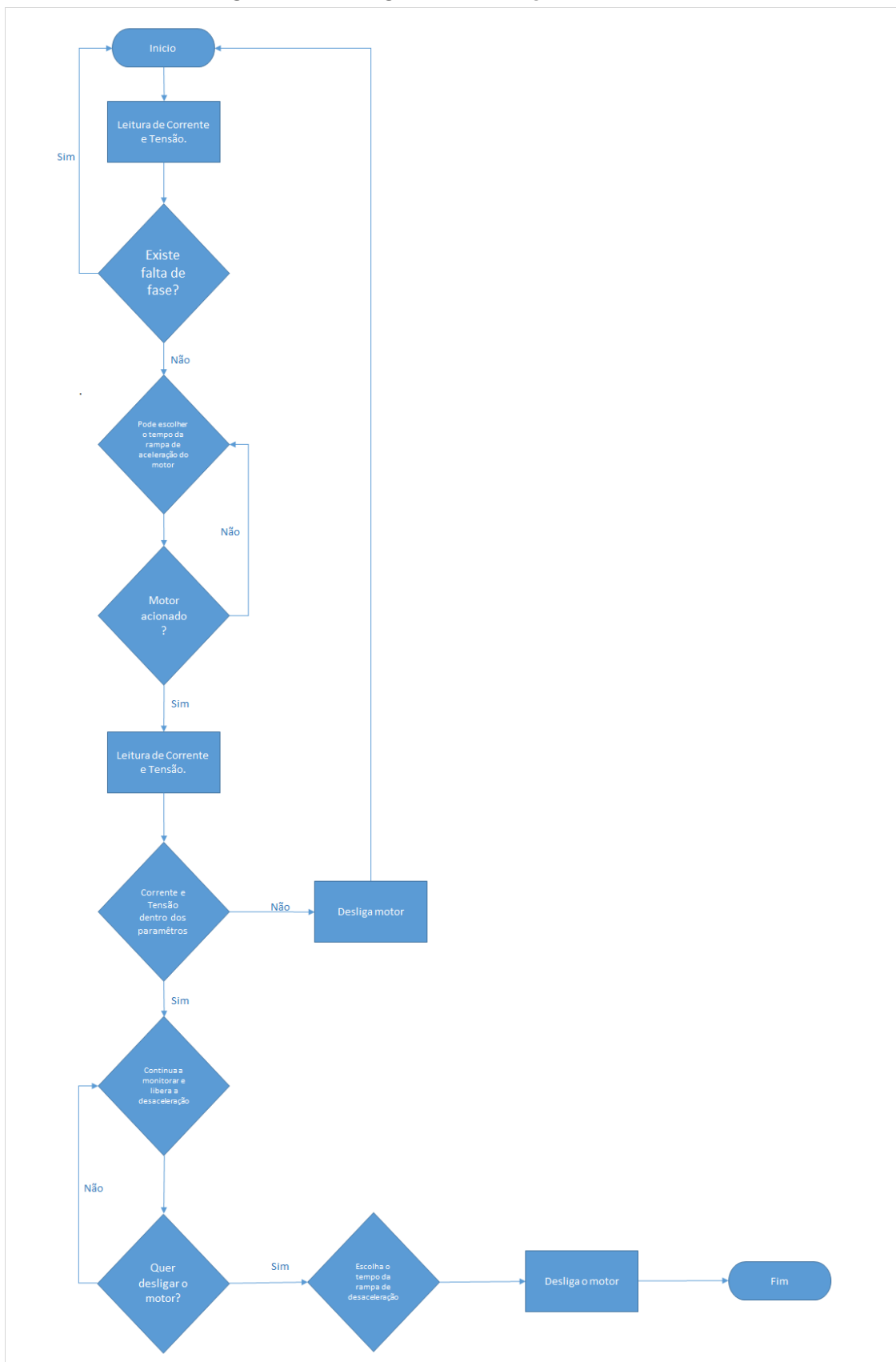
Com o estado da carga indicando que a mesma se encontra acionada foi liberado a desaceleração e conseqüentemente o desligamento da mesma, tanto o acionamento quanto o desligamento da carga permitiam uma escolha de tempo em que pudessem ocorrer, isto é, para acionarem a carga tem-se o tempo de rampa de aceleração de 0, 5, 10, 15 e 20 segundos, tempos esses que obtiveram melhores resultados na apresentação da forma de onda e o mesmo tempo se aplicaram para a rampa de desaceleração da carga e posteriormente seu desligamento.

Cada leitura da corrente e tensão apresentadas para o usuário e que monitoram a rede são refinadas por um filtro de média móvel, filtro esse que tem a função de minimizar ruído dentro das medidas.

Também tem-se a comunicação entre o microcontrolador e o smartphone que ocorre por meio do módulo *bluetooth*, no qual após iniciar o microcontrolador o mesmo fica pronto para parear com o dispositivo e assim enviar e receber dados referentes ao acionamento, desligamento e amostragem da carga.

Abaixo na Figura 21, sucede um fluxograma que simplifica o modo de operação do funcionamento do projeto, é importante ressaltar que a parte de comunicação não se encontra nele, pois o mesmo é utilizado apenas para os comandos de partida, desaceleração e a amostragem que ocorre por meio do aplicativo desenvolvido para este projeto, no aplicativo é possível acompanhar os dados coletados pelo microcontrolador por meio de gráficos gerados pelo envio das informações.

Figura 21 - Fluxograma de atuação do firmware



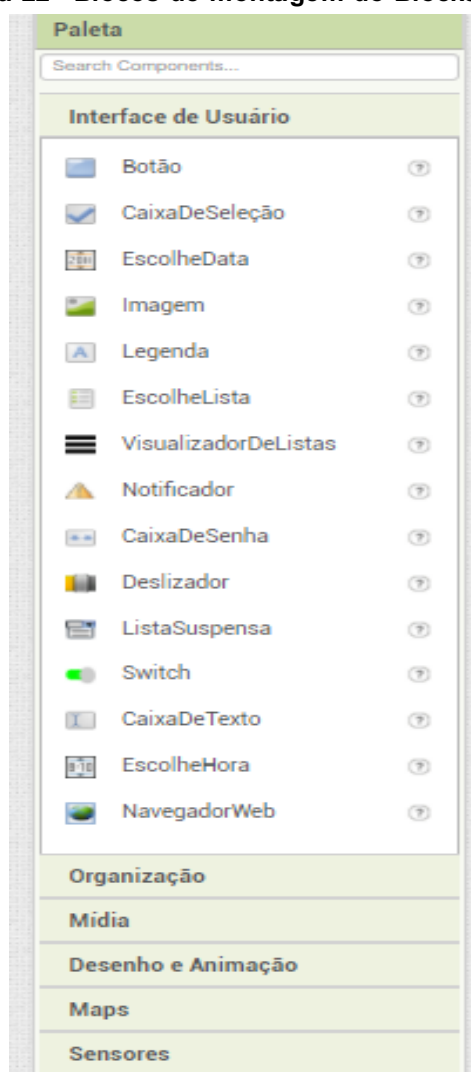
Fonte: Autoria própria (2022)

3.6.2 Programação APP Inventor

Como já visto anteriormente no APP Inventor existem duas partes que juntas fazem a programação para smartphone, uma delas é o App Inventor Designer, Figura 22, que tem a função de tornar fácil a montagem da interface do aplicativo e o Blocks Editor que é o modo de programação por blocos combinacionais.

No App Inventor Designer contém a montagem da interface gráfica, composta de elementos da tabela esquerda do mesmo.

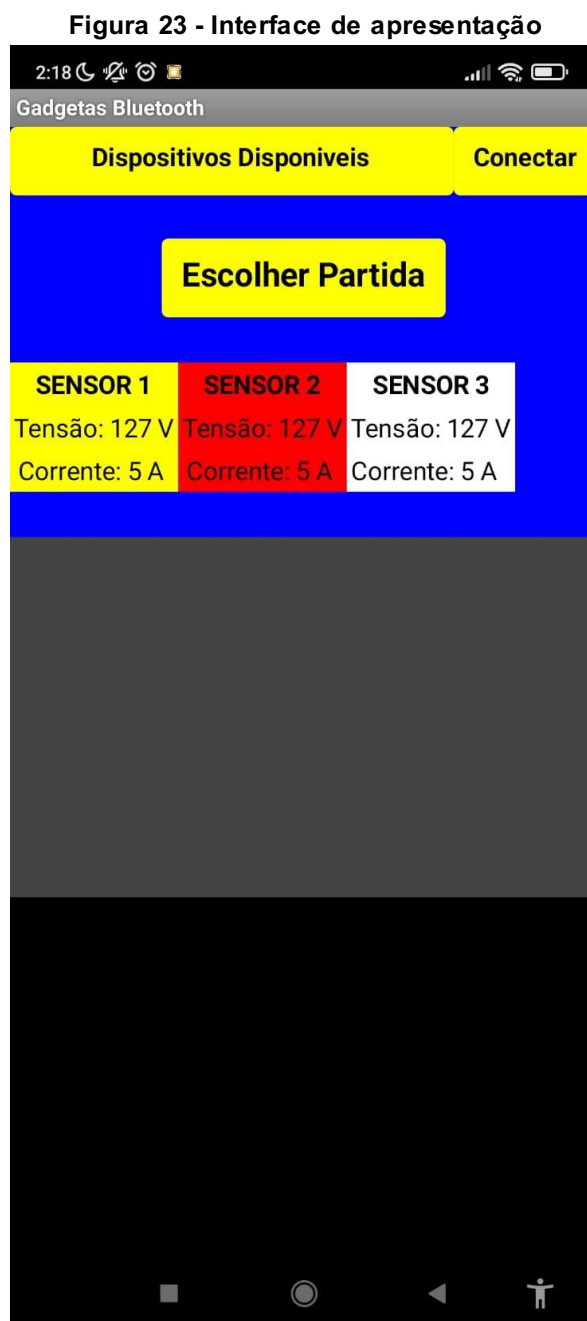
Figura 22 - Blocos de montagem do Blocks Editor



Fonte: Autoria própria (2022)

Sendo assim, a interface gráfica do aplicativo é composta por duas telas, sendo uma delas responsável pela amostragem dos dados enviados pelo

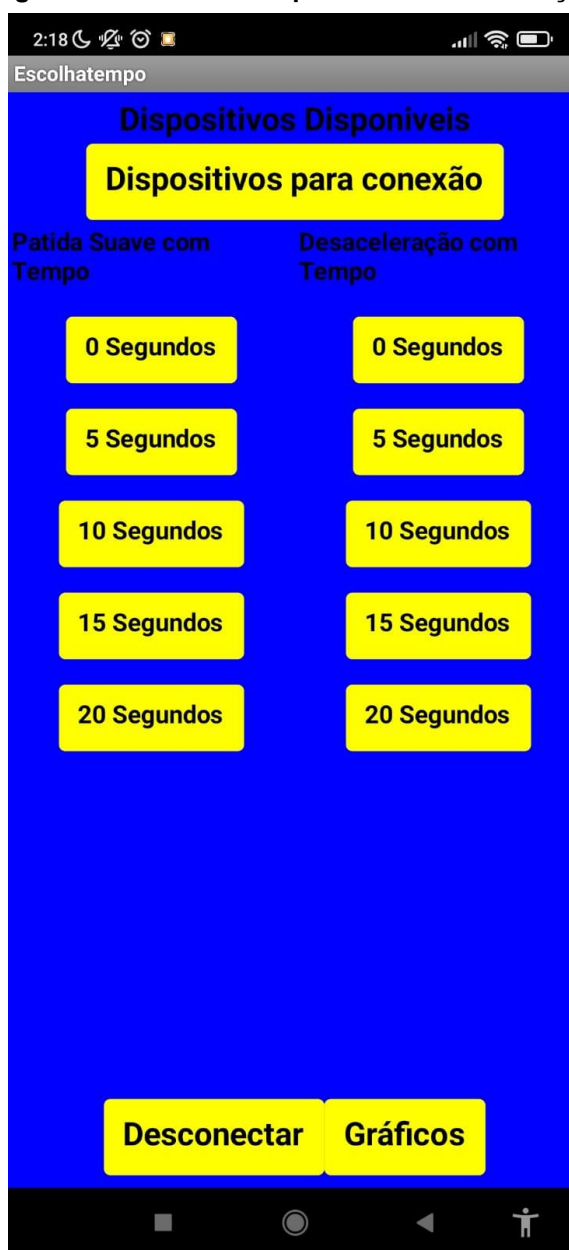
microcontrolador referentes as medições obtidas pelos sensores de leitura da corrente e da tensão e a outra encarregada pelas rampas de aceleração e desaceleração da carga. Na Figuras 23 abaixo é possível visualizar como foi apresentada a interface da tela no smartphone para a amostragem do monitoramento durante o experimento.



Fonte: Interface de apresentação (2022)

Na Figura 24, é apresentada como a interface de acionamento e desligamento foi composta e quais elementos possui.

Figura 24 - Interface de partida e desaceleração



Fonte: Autoria própria (2022)

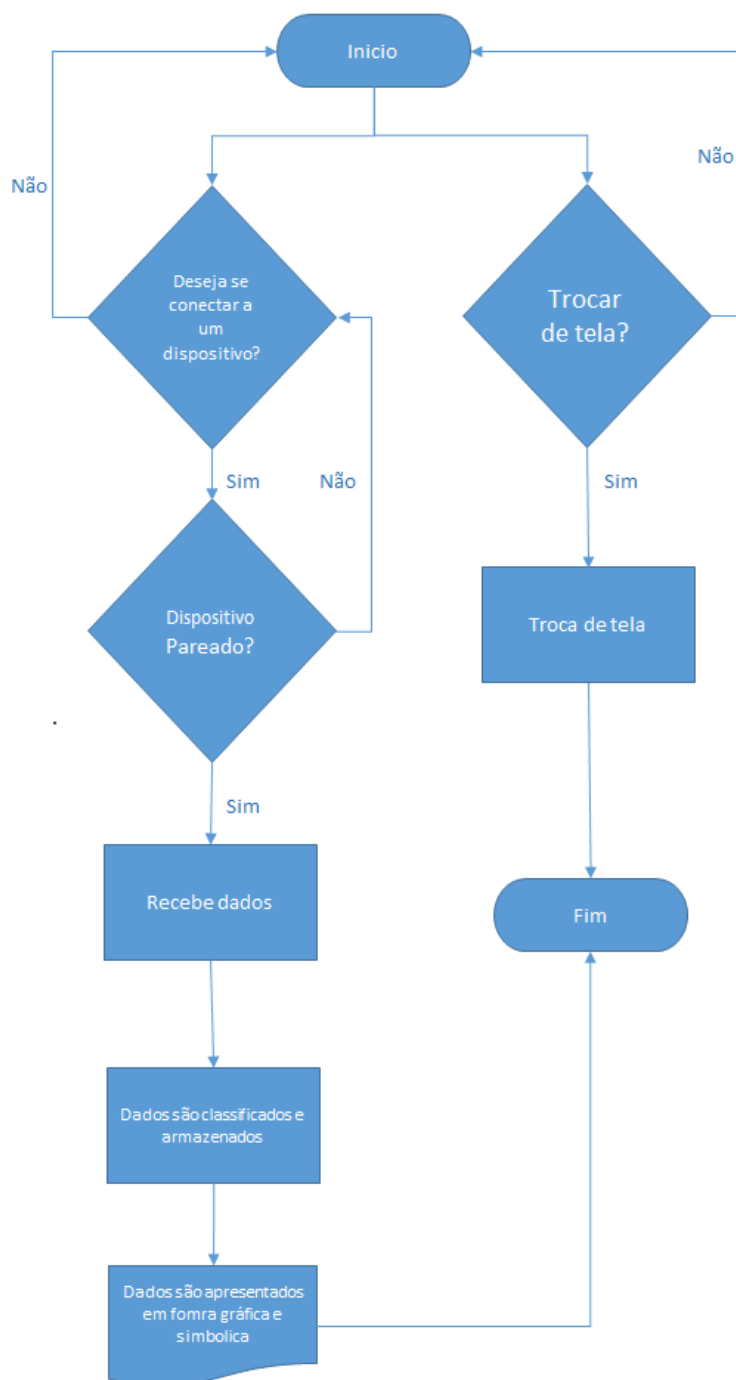
No Blocks Editor foi feita a lógica que tem a função de se conectar ao microcontrolador por *bluetooth*, apresentando graficamente as informações obtidas através do recebimento de dados e enviar a informação referentes ao tempo de rampa do acionamento e da desaceleração.

As programações foram divididas entre as telas, pois uma das limitações do APP Inventor é que cada tela é independente uma da outra, ou seja, é necessário que cada tela tenha que se conectar com o módulo HC-05, já pareado com o smartphone para que haja a troca de informações, entretanto isso não afeta as informações enviadas ou recebidas das telas com o microcontrolador.

Na primeira tela tem-se a amostragem das informações referentes aos dados dos sensores e um botão que permite o deslocamento entre as telas contidas no aplicativo desenvolvido, primeiramente escolhemos o dispositivo a ser conectado via *Bluetooth*, após isso é habilitado o recebimento das informações dos dados dos sensores, esses dados são recebidos de maneira que o programa entenda onde começa um e termina outro, um exemplo: #S1, 0.54, 220; #S2, 0,54, 221.

Após receber os dados eles foram armazenados em variáveis globais, em seguida é criada uma lista com os valores dos sensores e eles recebem uma cor, dependendo dos dados do sensor que foi recebido a informação. Com os dados recebidos e já separados, eles são amostrados de duas formas, a primeira é através de um quadrado que contém os elementos referentes ao nome do sensor, tensão e corrente do respectivo sensor e a outra forma é através de um gráfico, onde posteriormente a separação e classificação dos dados é iniciada as funções de geração de gráficos do APP Inventor que possibilitam a escolha do tamanho do gráfico e o tipo do gráfico, o escolhido neste caso foi o gráfico de linha. Abaixo na Figura 25, tem-se um fluxograma simplificado da programação em bloco.

Figura 25 - Fluxograma da Interface de apresentação

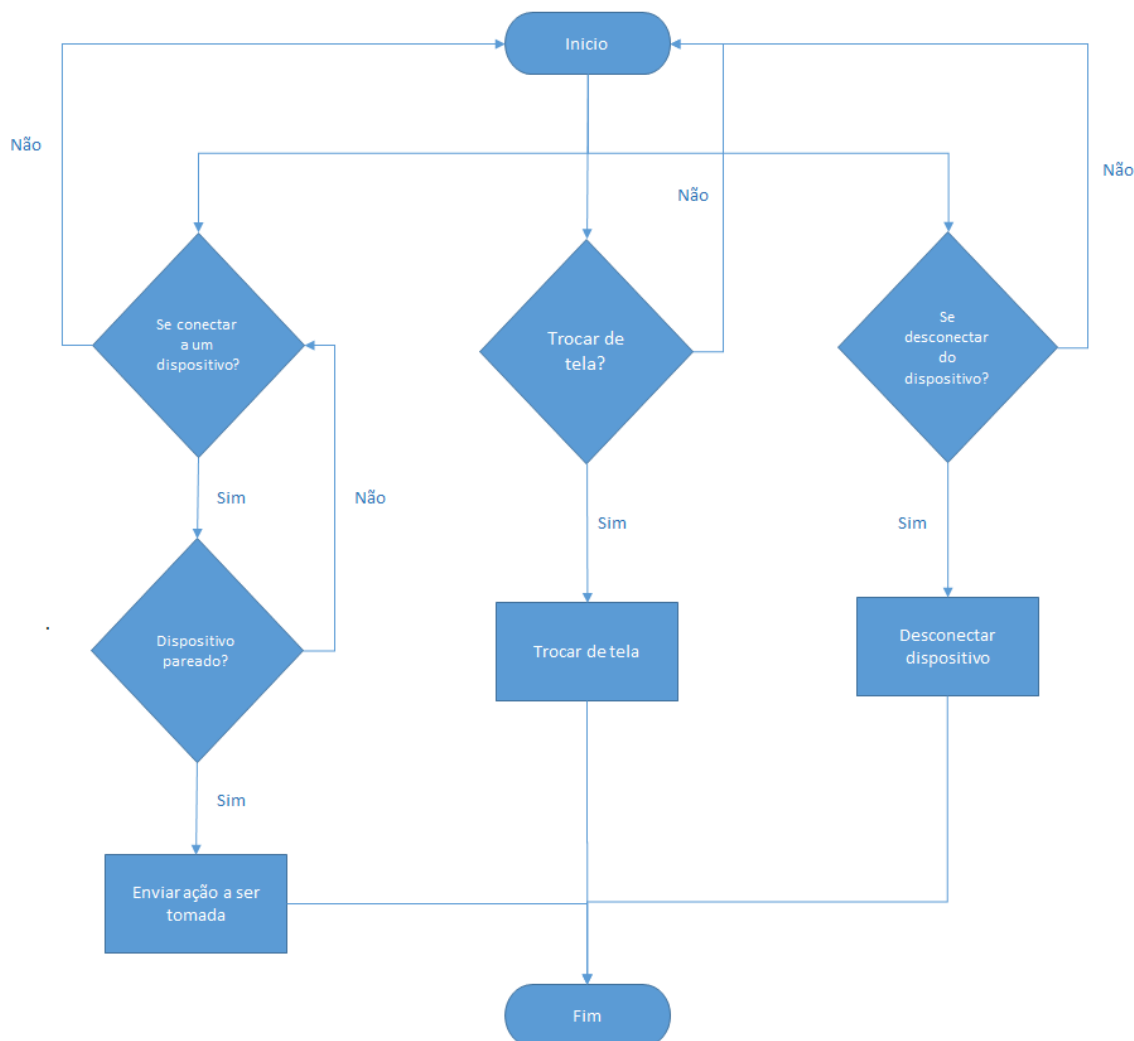


Fonte: Autoria própria (2022)

Na segunda tela, tem-se também os botões de escolha de dispositivos onde podemos nos conectar, neste caso, ainda nos conectamos ao HC-05, o botão para deslocamento entre telas do aplicativo e um botão de desconexão do smartphone com o HC-05, podendo assim ser possível se conectar a mais de um dispositivo *Bluetooth*, além destes botões possuímos duas colunas com os tempos tanto das

partidas quanto da desaceleração, onde a cada clique de botão é enviado um caractere correspondente ao tempo requerido e a função escolhida pelo usuário. A seguir na Figura 26, tem-se um fluxograma simplificado da programação em bloco.

Figura 26 - Fluxograma da Interface de partida e desaceleração



Fonte: Autoria própria (2022)

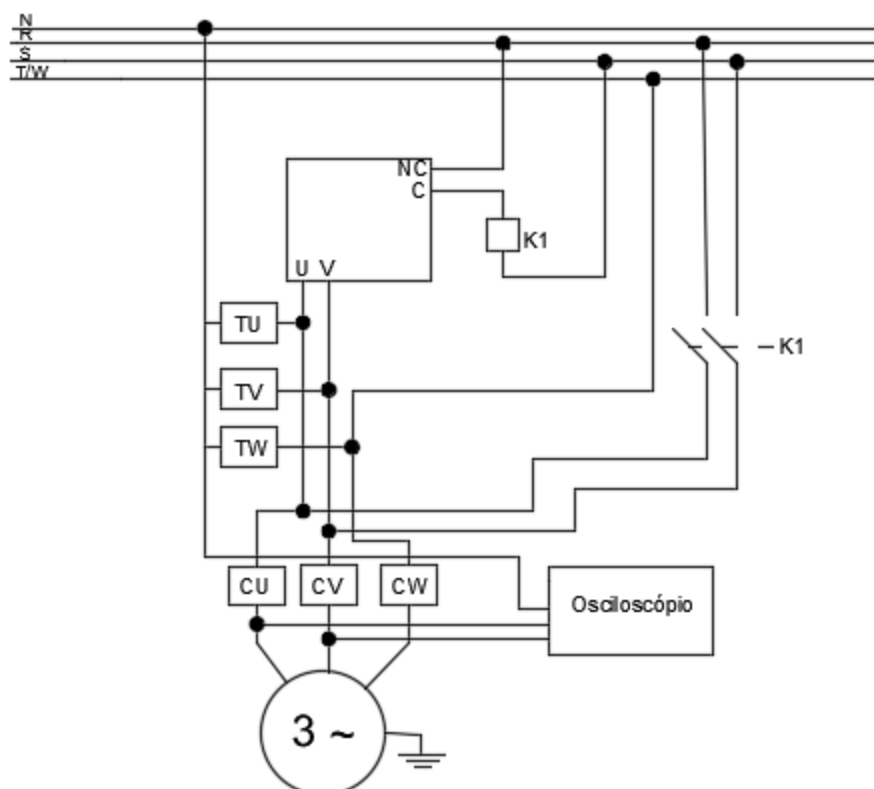
3.7 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

Tendo em vista que foram apresentadas todas as partes que constituem o projeto, a Figura 27 esclarece como foi como a disposição de cada componente e seu respectivo lugar, tem-se a ligação feita para a partida da carga que neste caso é um motor Siemens 220V, com uma ligação estrela-estrela juntamente com os sensores de tensão e corrente.

Os sensores de tensão (TU, TV e TW) foram ligados entre a fase respectiva da rede e o neutro, quando o sensor enviava a informação sobre a rede foram feitos os cálculos de tensão de linha, assim tem-se uma tensão composta que informava ao usuário qual a tensão que a rede fornecia ao motor.

Já os sensores de corrente (CU, CV e CW), por serem invasivos são ligados em serie com o motor, contator e o controlador, o contator nesta ligação serve para que o motor permanecesse acionado em regime, pois após o acionamento do controlador CA-CA, é acionado o relé *by-pass* permitindo assim o controlador se ausentar da alimentação continua da carga, apenas quando o usuário enviava a informação para que o controlador desacelere a carga é que o controlador voltava a atuar novamente, com o sensor de corrente em serie o sensoriamento ocorria sem problemas em todas as etapas do acionamento e desligamento da carga.

Figura 27 - Esquema de ligação



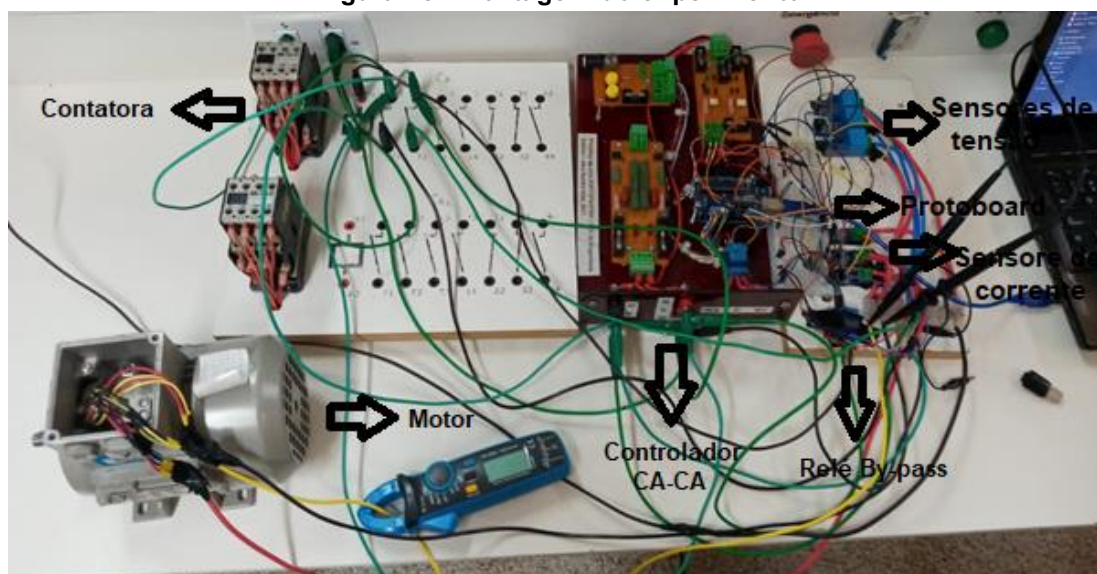
Fonte: Autoria própria (2022)

4 RESULTADOS

O presente trabalho teve seus resultados comprovados através da análise das formas de onda, obtidas com a utilização de um osciloscópio e imagens do aplicativo em funcionamento, todos os valores medidos são comprovados tanto pelo osciloscópio quanto pelas medições realizadas com um multímetro.

A montagem completa do protótipo em bancada pode ser observada na Figura 28, os equipamentos estão dispostos de maneira a ficarem o mais perto possível do controlador. Observa na bancada da esquerda para a direita, o motor utilizado no canto inferior esquerdo, na parte de cima percebe-se o contator utilizado, ao lado tem-se o controlador CA-CA e próximo no canto direito encontra-se na parte superior os três sensores de tensão, logo mais abaixo localiza-se os três sensores de corrente e ainda mais abaixo o relé *by-pass*, entre o os sensores e o controlador fica um protoboard que facilita a ligação dos sensores e do HC-05 com o microcontrolador.

Figura 28 - Montagem do experimento



Fonte: A autoria própria (2022)

4.1 Partida da carga

Nas Figuras 29, 30, 31 e 32 são expostos os gráficos obtidos através do osciloscópio, tais gráficos são representam o acionamento da carga com os parâmetros que foram ajustados por meio do aplicativo feito pelo APP Inventor.

Figura 29 - Gráfico 1 do acionamento da carga



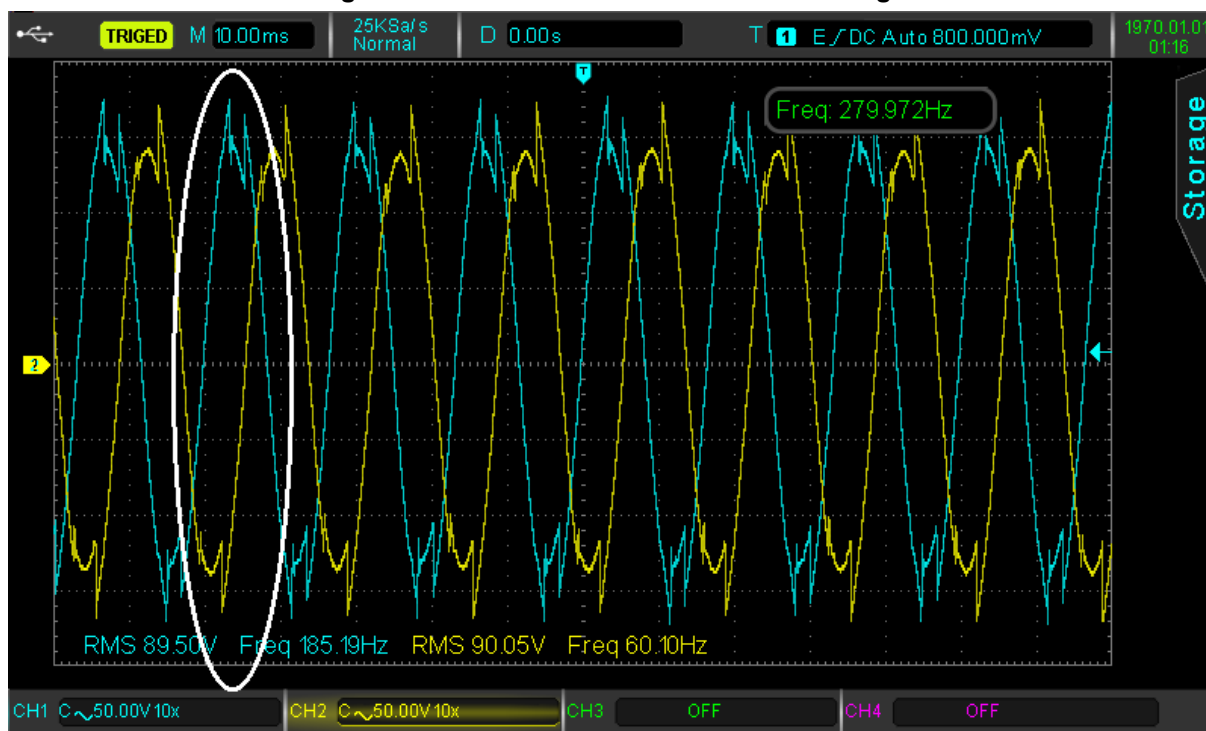
Fonte: Autoria própria (2022)

Quando o microcontrolador recebe o sinal para acionar a carga, o mesmo começa a chavear os tiristores de modo que a cada determinado tempo, o ângulo de disparo dos tiristores permita que uma fração a mais da onda de tensão seja fornecida à carga. Essas frações crescentes vão em contra mão ao ângulo de disparo dos tiristores, ou seja, quanto menor o ângulo de disparo do tiristor maior será o valor da tensão fornecida. Um exemplo seria que com o disparo dos tiristores começando em 180° a tensão eficaz a ser fornecida é de 0V, entretanto com o disparo dos tiristores em 0° a tensão liberada é de 127V, possibilitando assim o controle da potência fornecida à carga, nas distorções da Figura 29, é possível ver como fica a formação da onda senoidal com um disparo crescente dos tiristores.

Já na figura 30, foi visualizado um momento posterior do acionamento, observa-se que ao passar do tempo com os disparos dos tiristores diminuindo o ângulo, a formação da onda senoidal fica mais evidente, entretanto por não haver

uma liberação total da tensão, nas bordas da onda senoidal da tensão, ainda tem-se deformações provenientes do ângulo de disparo.

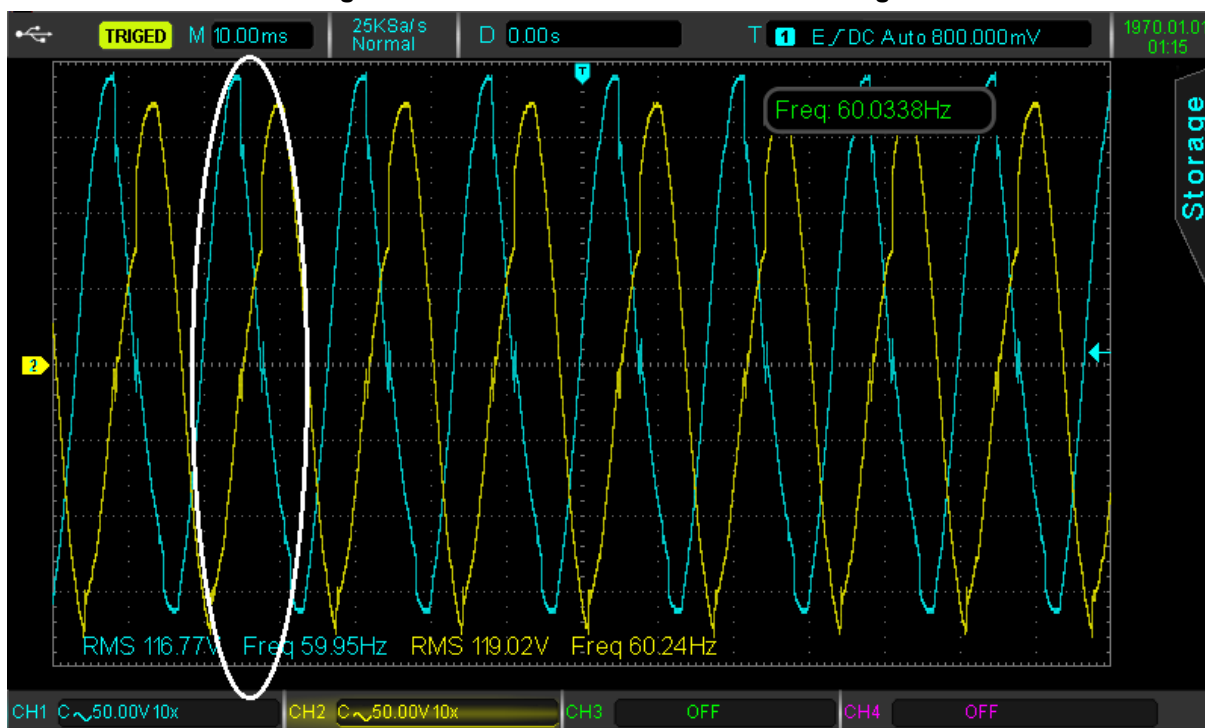
Figura 30 - Gráfico 2 do acionamento da carga



Fonte: A autoria própria (2022)

Na Figura 31 podem ser visualizadas formações de ondas senoidais não comumente identificadas ou que estavam fora do padrão esperado, além disso antes que as mesmas possam enfim se tornarem uma onda senoidal e conseqüentemente a carga assuma a tensão total da rede, tal deformação ocorre quando o relé *by-pass* é acionado, esse acionamento ocorre quando o ângulo de disparo dos tiristores atingem 45° ou 97% da tensão nominal o que pode se considera como a rampa de aceleração concluída transferindo assim a carga total do controlador para a contatora.

Figura 31 - Gráfico 3 do acionamento da carga



Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como pode-se observar o controle através de um aplicativo em smartphone para o acionamento de carga é funcional. Tal afirmação se dá pelo fato da mediação que o próprio osciloscópio fornece é igual a tensão encontrada na rede.

4.2 Monitoramento da carga

Como já visto no subtópico anterior, a amostragem ocorre em todos os momentos desde que o controlador CA-CA é ligado, mas infelizmente não é possível observar de maneira precisa a variação da tensão aplicada na carga quando o controlador aciona a mesma, pois por mais que o envio de dados entre os sensores, microcontrolador e smartphone aconteça sem parar, é preciso levar em conta o tempo em que troca-se as telas do aplicativo e nos conectamos novamente ao controlador, outra limitação que ocorre é que o microcontrolador utilizado não pode executar duas tarefas ao mesmo tempo, então enquanto uma tarefa acontece, como o envio de informações, não é possível mandar qualquer comando que o controlador espere.

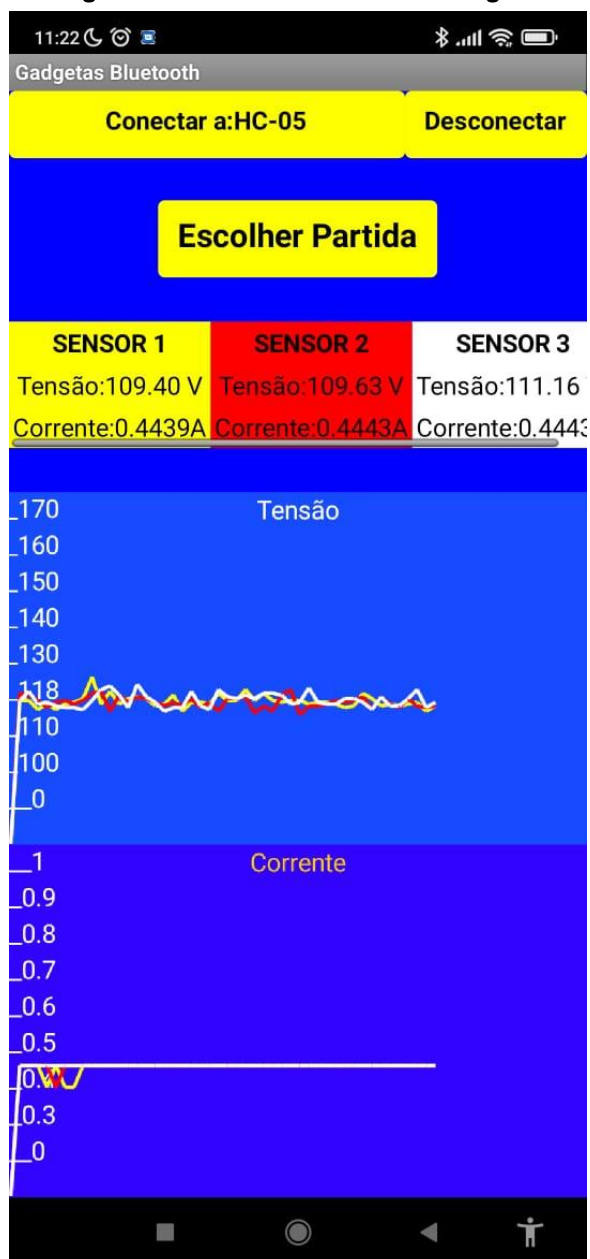
Abaixo na Figura 32, tem-se como são apresentadas as informações referentes as medições de monitoramento da carga.



Fonte: Autoria própria (2022)

Tanto na Figura 32, quanto na Figura 33, tem-se que as cores que representam as fases estão destacadas na amostragem simbólica em forma de quadrados coloridos com as informações do número de sensor, senso eles, SENSOR 1, SENSOR 2 e SENSOR 3, com as fases R, S, T respectivamente, tensão e corrente.

Figura 33 – Monitoramento da carga 2



Fonte: Autoria própria (2022)

Novamente é possível comprovar que a amostragem da carga ocorre e que o usuário consegue acompanhar informações da carga de maneira.

Com a ajuda gráfica, existe uma facilidade para o usuário de verificar informações através do tempo e estudar o comportamento da carga que ajudam em algum estudo posterior de como a carga se comporta no tempo.

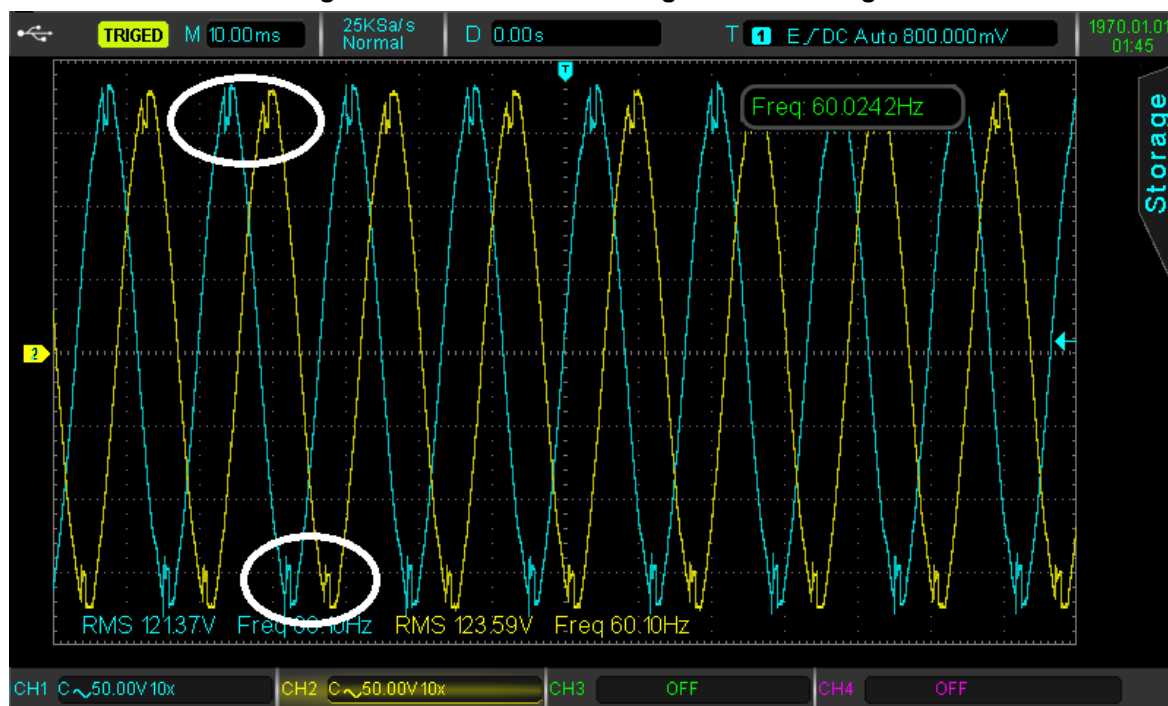
4.3 Desligamento da carga

Quando partimos a carga e ela entra em regime, é liberado para o usuário as opções para desligar a carga, nas Figuras 34, 35, 36 e 37 abaixo tem-se os gráficos retirados do osciloscópio quando o controlador começa o processo para desligar a carga, novamente na Figura 34, tem-se a deformação que ocorre pela troca entre a contatora e o controlador, através o relé By-Pass, após isso o desligamento ocorre de maneira continua.

Após a troca entre a contatora e o controlador acontecer, o desligamento da carga ocorrem de maneira que o microcontrolador faça com que aconteça o crescimento dos ângulo de disparo dos tiristores, gerando diminuição na retração da forma de onda completa da tensão, uma vez que quanto maior o ângulo de disparo dos tiristores menor será a tensão a ser liberada pelos próprios tiristores, tal ação ocorre até que o ângulo de disparo atinja os 135° , isto é, até o momento em que a onda de tensão quase não exista, ocorrendo então o total desligamento da carga com a rede e conseqüentemente abrindo o circuito em contato com a rede.

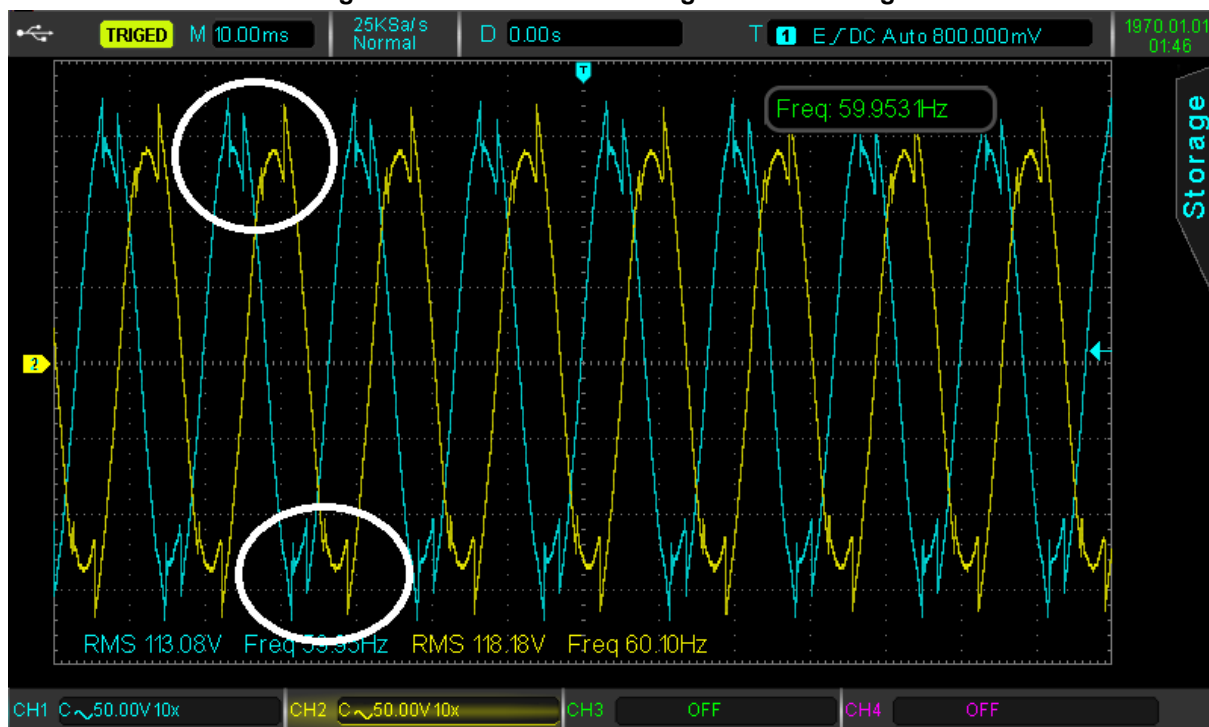
Nas Figuras 35, 36 e 37, pode-se observar que existe uma diminuição na forma de onda da tensão, começando pelos extremos da forma de onda na Figura 34, até que a onda e tensão não seja mais reconhecida igual a Figura 37.

Figura 34 - Gráfico 1 do desligamento da carga



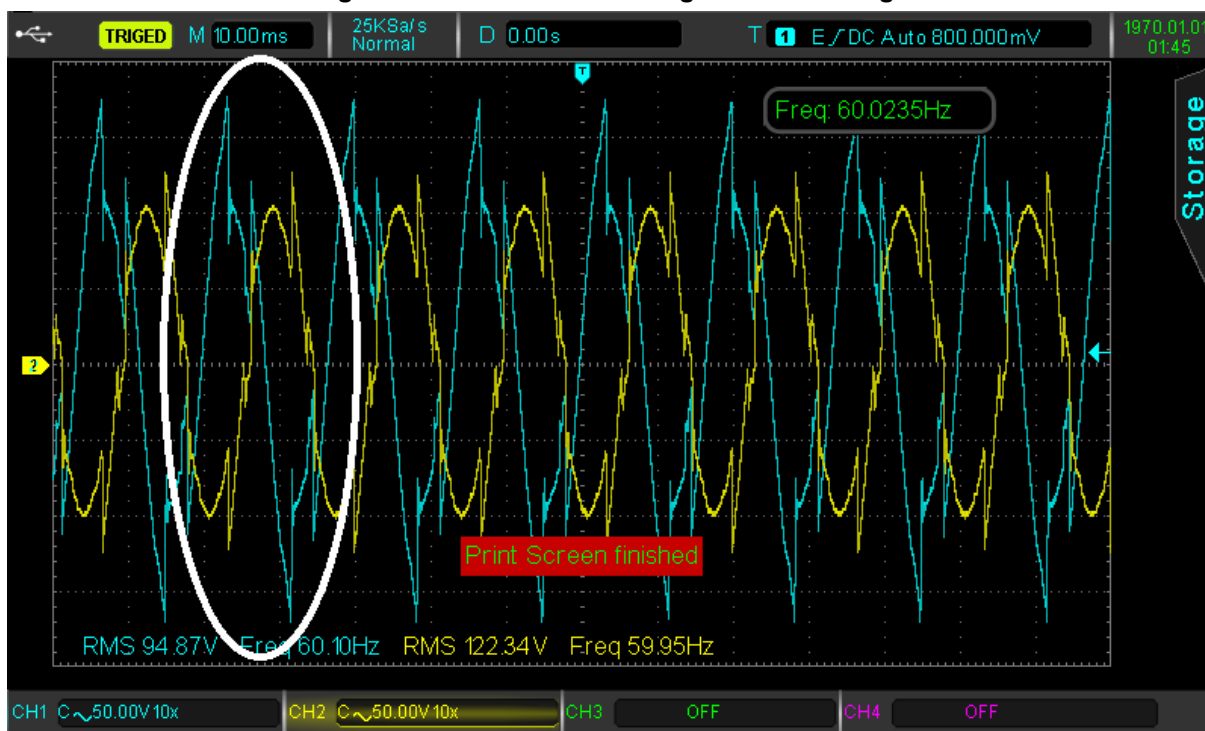
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 35 - Gráfico 2 do desligamento da carga



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 36 - Gráfico 3 do desligamento da carga



Fonte: Aatoria própria (2022)

Logo, com a deformação da onda de tensão que pode ser observada nas Figuras 35, 36 e 37, tem-se uma forma de comprovar que o aplicativo desenvolvido para o controle da carga funciona com a desaceleração da carga e consequentemente seu desligamento.

5 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido executou os objetivos propostos de acionar, desligar e monitorar o acionamento de um motor CA, por meio de um aplicativo desenvolvido para este fim.

O monitoramento do acionamento e desligamento da carga não podem ser observados no aplicativo, devido das limitações que o próprio APP Inventor apresenta, mas pode ser observado que o aplicativo cumpre com sua proposta inicial de monitorar, acionar e desligar cargas e apresenta os resultados de maneira a facilitar a observação do usuário.

Os sensores conseguem obter os dados de maneira adequada, por mais que os dados de tensão apresentados sejam os de linha e não de fase, ainda assim, pode-se comprovar que as informações quanto ao sensoriamento ocorrem de forma correta.

A conexão Bluetooth, necessária para a troca de informações entre o controlador e o smartphone também ocorreu de forma esperada, uma limitação identificada durante o experimento foi encontrada no próprio microcontrolador que não tem a capacidade de fazer duas funções ao mesmo tempo, como receber e enviar informações.

Sendo assim, observando todas as características e particularidades que o protótipo desenvolvido neste projeto apresenta, pode-se afirmar que ele consegue de maneira satisfatória e dentro do esperado monitorar e comandar esse controlador CA-CA. Tendo uma possibilidade de se aproveitar para algum estudo posterior de melhoria ou didático.

REFERÊNCIAS

- PINHO, J. de J. V. **MODELAGEM COMPUTACIONAL DE PARTIDA SUAVE PARA MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO E CONSTRUÇÃO DE UM CIRCUITO FÍSICO CONTROLADO POR UM ESP8266**. 2019. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2019.
- GARCIA, A. G. P. **IMPACTO DA LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MOTORES ELÉTRICOS NO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- PEREIRA, A. H. **FREIO ELETROMAGNÉTICO PARA ENSAIOS DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO**. 2006. 121 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- FERREIRA, C. A. **SISTEMA DE MONITORAMENTO EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**. 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019.
- BORBA FILHO, P. G. de A. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TURBINA A VAPOR E MOTOR ELÉTRICO APLICADO A USINA SUCROALCOLEIRA**. 2018. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- GUIA DE ESPECIFICAÇÃO: MOTORES ELÉTRICOS. [S. l.]: WEG, 2020. 68 p.
- MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERALDI, Denise. Guia de aplicação de inversores de frequência. Santa Catarina: WEG Automação, 2012. 238p.
- MÁQUINAS Elétricas II. 2. ed. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2012. 74 p.
- Chapman, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas** [recurso eletrônico] / Stephen J. Chapman; tradução: Anatólio Laschuk. – 5. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: AMGH, 2013.
- FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 3. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2008. 250 p.
- JOCLAMAR. **Joclamar**. Disponível em: <http://joclamar.com.br/soft-starter-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- COSTA, M. H. F. **ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE DOIS EQUIPAMENTOS PARA PARTIDA DIRETA DE MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO ROTOR GAIOLA DE ESQUILO: INVERSORES DE FREQUÊNCIA X CHAVES DE PARTIDA ESTÁTICA (SOFT-STARTER)**. 2014. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, J. G. da. **DISPOSITIVO PARA CONEXÃO A REDES IOT PARA INDÚSTRIA 4.0**. 2019. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, 2019.

KRIEGER, P. A. **USO DE SENSOR DE PARTICULADOS NA SAÍDA DE UM PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO UTILIZANDO HARDWARE LIVRE (ARDUINO)**. 2016. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

OLIVEIRA, Y. E. de S. **APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS**. 2019. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

AZEVEDO, V. L.; MENDES, L. E. **ANÁLISE TRANSITÓRIA DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**. 2008. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RABELLO, R. G. **PROPOSTA DE PRÁTICA COM SOFT-STARTER PARA O LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE DA FGA**. 2016. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ELECTRONICA PT. **Electronica PT**. Disponível em: <https://www.electronica-pt.com/triac-tiristor>. Acesso em: 28 jul. 2021

Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Electronic Publication, 2021.

STMicroelectronics. 40 A standard TRIACs Datasheet. Electronic Publication, 2020.

FILIFELOP. Filipeflop. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/qual-modulo-wifi-esp32-e-ideal-para-meu-projeto/>. Acesso em: 31 jul. 2021

MASTER WALKERSHOP. Blog Master Walkershop. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-corrente-ac-e-dc-ac-712-5a-20a-30a/>. Acesso em: 10 mar. 2022

MASTER WALKERSHOP. Blog Master Walkershop. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101b>. Acesso em: 10 mar. 2022

KLAK, A. S. **ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR CA-CA TRIFÁSICO MICROCONTROLADO PARA PARTIDA SUAVE DE MOTORES DE INDUÇÃO**. 2017. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

SOUZA, A. A. L. de; SANTOS JUNIOR, G. S.; SASAKI, H. K. **DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL ATRAVÉS DE ARDUINO CONTROLADA POR ANDROID**. 2018. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CASTRO, A. de S. **AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL CENTRALIZADA UTILIZANDO ESP32 EM CONJUNTO COM FPGA E COMUNICAÇÃO WI-FI**. 2019. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

PIRES, L. S. de O. **DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA RESIDÊNCIA**. 2021. 70 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia de Computação, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Escola Politécnica, Goiânia, 2021.

SANTOS, J. W.; LARA JUNIOR, R. C. de. **SISTEMA DE AUTOMATIZAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO CONTROLADO PELO MICROCONTROLADOR ESP32 E MONITORADO VIA SMARTPHONE**. 2019. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

BORGES, E. A. de O. **SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL UTILIZANDO A TECNOLOGIA ESP32 COMO ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO**. 2019. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Computação, Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí, 2019.

MARTINS, V. F. **AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL USANDO PROTOCOLO MQTT, NODERED E MOSQUITTO BROKER COM ESP32 E ESP8266**. 2019. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SOUZA, A. A. L. de; SANTOS JUNIOR, G. S.; SASAKI, H. K. **DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL ATRAVÉS DE ARDUINO CONTROLADA POR ANDROID**. 2018. 80 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ELETRO SHIELD. **Eleto Shield**. Disponível em: <https://eletroshields.com.br/>. Acesso em: 11 Ago. 2021

Alibaba. **Alibaba**. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/bta41-600-bta41-600b-bta41600b-bta41600-bta41-to-247-600v-triacs-60776341534.html>. Acesso em: 11 Ago. 2021

ROSA, M. **MONITORAMENTO DE INTERRUPÇÕES DE FORNECIMENTO EM UMA REDE ELÉTRICA MONOFÁSICA RESIDENCIAL UTILIZANDO MICROCONTROLADOR E SUPERVISÓRIO SCADABR**. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

APÊNDICE A - Programação do APP Inventor App Designer.

Figura 37 - APP Inventor App Designer da Primeira Tela



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 38 - APP Inventor App Designer da Segunda Tela



Fonte: Autoria própria (2022)