



ANALISADOR DE CORRENTES E TENSÕES RMS DE MOTORES DE INDUÇÃO COM MONITORAMENTO ATRAVÉS DE SISTEMAS EMBARCADOS

Gabriel Gomes Oliveira Melo*¹, Gabriel Antônio Francisco de Oliveira¹, Dênis Alves Teixeira Pereira¹, Heuler Andrade Silva¹, Lucas Calazans Silva¹, Beatriz Ribeiro Cardoso¹, João Victor Costa Cardoso¹ e Mariana Guimarães dos Santos¹

¹IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga

Resumo – O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de sistema de controle e supervisão para monitoramento dos níveis de correntes e tensões de um motor elétrico de indução, a fim de identificar possíveis distúrbios indesejáveis na rede em regime permanente. Para aquisição dos valores de corrente, é utilizado um sensor TC que coleta os dados e envia para um microcontrolador que em associação com *software* de supervisão realiza o acompanhamento dos dados recebidos. Este artigo apresenta os detalhes de projeto do dispositivo bem como alguns resultados de funcionamento da interface de monitoramento. Ademais, são discutidos aspectos vantajosos do protótipo bem como suas limitações.

Palavras-Chave – Microcontrolador, Motores elétricos e Supervisão.

CURRENT AND RMS VOLTAGE ANALYZER OF INDUCTION MOTORS WITH MONITORING USING EMBEDDED SYSTEMS

Abstract - The objective of this article is to present the development of a control and supervisory system for monitoring the current and voltage levels of an electric induction motor. In order to identify possible undesirable disturbances in the network in a permanent regime. To acquire the current values a TC sensor is used that collects the data and sends it to a microcontroller which is associated with supervisory software monitors the received data. This article presents the design details of the device and some results of operation and the monitoring interface. In addition, advantageous aspects of the prototype as well as its limitations are discussed.

Keywords – Microcontroller, electric motors and Supervision.

*gabrielgomes2597@hotmail.com

I. INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são equipamentos que transformam a energia elétrica em energia mecânica. São equipamentos robustos capazes de manipular os mais diversos tipos de cargas em aplicações residenciais e industriais. Existem diversos fatores que influenciam no rendimento dos motores, alguns associados às suas condições de operação, tais como operação em temperaturas elevadas, falta de fase, falhas mecânicas, dentre outras [1]. Os motores podem ser classificados conforme seu tipo de alimentação, em motores de corrente contínua e motores de corrente alternada. O motor de indução é o tipo de máquina de corrente alternada mais utilizada em ambientes industriais devido ao seu funcionamento simples, construção robusta, facilidade na manutenção, baixo custo, simplicidade no controle e boa confiabilidade [2]. Dentre as suas aplicações industriais pode-se destacar o manuseio de cargas, exaustores, compressores e bombas.

Existem sistemas que realizam o monitoramento da operação dos motores de indução em ambientes industriais a fim de garantir que os mesmos operem com segurança e em condições de rendimento desejável. O sistema de controle e supervisão SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), permite que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de dados, como um microcontrolador, que são manipulados, analisados, armazenados e posteriormente, apresentados ao usuário [3].

Este trabalho pretende desenvolver um sistema de monitoramento que será testado nas máquinas elétricas do laboratório do IFMG *campus* Formiga. O objetivo é desenvolver um dispositivo de baixo custo quando comparado aos sistemas comercializados.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

É evidente a necessidade de controlar e monitorar correntes e tensões dos motores ao durante sua operação, a fim de identificar possíveis distúrbios indesejáveis na rede de

alimentação, evitando perdas e possíveis falhas nos sistemas [4].

É possível verificar inconformidades no sistema do motor ao monitorar suas correntes, tais como, eixo travado, falta de fase ou fuga de corrente para o aterramento. No que diz respeito a tensões, o monitoramento também é relevante uma vez que sobretensões, subtensões ou tensões desbalanceadas entre fases, podem provocar redução de vida útil ou até queima de motores [5].

Uma alternativa para o monitoramento destas grandezas é a utilização de microcontroladores para aquisição dos dados de corrente e tensão do motor. Dois microcontroladores podem ser úteis neste processo, o arduino UNO e o ESP-32. As Figuras 1 e 2 ilustram estes dispositivos.

Figura 1: Arduino UNO [6].



Figura 2: ESP-32 [6].



Cada um destes dispositivos tem suas características, como tensão de trabalho número de portas de entrada e saída e custos. Estes parâmetros devem ser levados em consideração para escolha do mais adequado para o sistema.

São necessários dispositivos para transmissão destes dados ao microcontrolador. Para corrente pode-se utilizar um TC, a Figura 3 ilustra o sensor de corrente não invasivo 100A SCT-013.

Figura 3: Sensor de corrente não invasivo [6].



Este tipo de sensor não precisa interromper o circuito para que seja feita a medição, ele adquire os valores de corrente através do campo magnético gerado com a passagem de corrente pelo cabo o qual ele envolve. Estes valores são transmitidos ao microcontrolador onde são tratados.

Já para aferição de tensão, como os microcontroladores recebem em suas entradas analógicas uma tensão de baixo nível, é necessário utilizar um sensor de medição de tensão, o qual irá receber a tensão de 0 a 250V a ser medida e a converterá para os valores de trabalho dos microcontrolador, que irão tratar esses dados. A Figura 4 ilustra o sensor de tensão Ac de 0 à 250Vca saída analógica de 0 à 5Vcc.

Figura 4: Sensor de tensão [6].



Para visualização dos dados aferidos além do supervísório pode-se utilizar displays, um modelo interessante é o display LCD 16x2 com módulo I2C. Este componente se comunica com o microcontrolador através do protocolo I2C, o que leva a diminuir bastantes conexões entre dispositivos. A Figura 5 ilustra este dispositivo.

Figura 5: Display LCD 16X2 com módulo I2C soldado [6].



III. PROJETO PROPOSTO

O objetivo do presente projeto é criar de um sistema para monitoração das correntes e tensões RMS de motores de indução. O escopo do projeto contém : (i) uma placa de circuito impresso eletrônica para acoplamento de um microcontrolador, para aquisição de dados, (ii) um painel elétrico com os devidos componentes para acionamento do motor de indução, (iii) um sensor TC para aferição de corrente, (iv) um sensor de tensão AC para medida da tensão e (v) um software de supervísório para acompanhamento dos dados aferidos.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do projeto são necessários os materiais apresentados na Tabela 1.

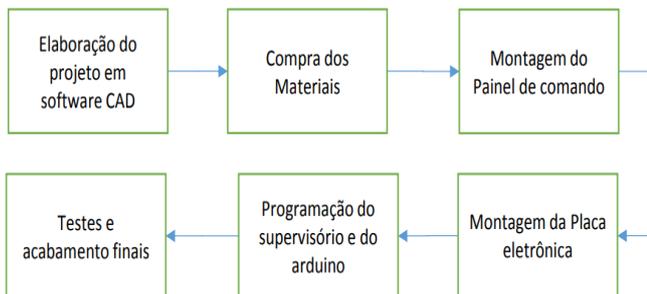
Tabela 1: Materiais e custos do projeto.

Item	Descrição	Qtd.	Custo (UN)
1	Arduino UNO	1 UN	R\$38,86
2	Placa Composite 10x20 Cm	1 UN	R\$7,60
3	Led 5mm verde	5 UN	R\$0,35
4	Resistores	10 UN	R\$0,08
5	Borne Azul KF-301 KRE2 10mm 2 conexões	8 UN	R\$0,93
6	Borne Azul KF-301 KRE3 10mm 3 conexões	2 UN	R\$1,12
7	1N4004 - Diodo retificador 1A 400V	2 UN	R\$0,11
8	Transistor NPN - BC548	1 UN	R\$0,14
9	Capacitor 10 μ F	1 UN	R\$0,30
10	Sensor de Corrente Não Invasivo 100A SCT-013	1 UN	R\$47,61
11	Sensor De Tensão Ac De 0 À 250vca Saída Analógica De 0 À 5v	1 UN	R\$29,99
12	Barra de Pinos Macho Passo 2mm 1x40 180°	1 UN	R\$4,40
13	Barra BCI 040 1E-40 terminais	1 UN	R\$1,27
14	Chave Botão 8x8 sem Trava	3 UN	R\$0,58
15	Display LCD 16X2 com módulo I2C soldado	1 UN	R\$26,75
			Total: R\$171,11

A tabela apresenta os custos totais para montagem do protótipo, totalizando R\$ 171,11.

A metodologia empregada para execução do projeto segue de acordo com a Figura 6.

Figura 6: Metodologia de desenvolvimento do projeto.



Conforme ilustrado na Figura 6, a etapa de elaboração do projeto em software CAD, consiste na criação do layout do painel de comando considerando-se a partida direta do motor

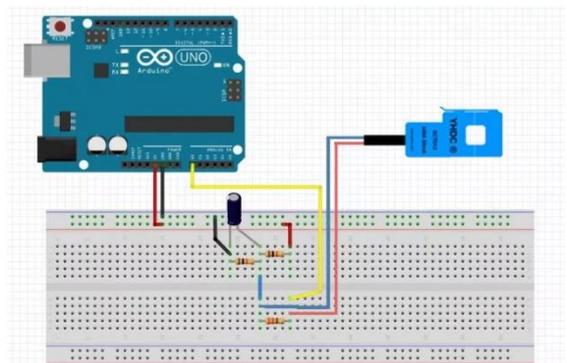
elétrico de indução. É desenvolvido um sistema para aquisição das correntes e tensões e avaliações de conformidades.

Na etapa de compra de materiais são analisados os preços e melhores produtos listados na Tabela 1, para que assim se obtenha um melhor custo benefício para a montagem do projeto.

Em sequência é feita a montagem física do layout do painel de comando elétrico, utilizando-se os dispositivos de comando e proteção necessários para o acionamento dos motores.

A montagem das placas eletrônica, é a principal etapa do projeto, onde são desenvolvidas duas placas: uma com os componentes de medição e outra com o display de visualização. Primeiramente são realizados testes para verificação do funcionamento dos componentes eletrônicos que fazem o controle da medição de corrente, tensão do sistema e a visualização dos dados em um protoboard. A Figura 7 ilustra a ligação TC para medição de corrente no protoboard.

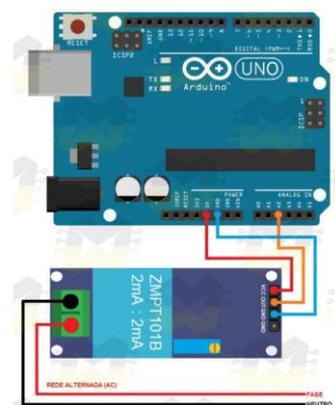
Figura 7: Esquemático da ligação do TC no fritzing.



O TC SCT-013 trabalha com uma corrente de até 100A RMS em seu primário e no secundário uma corrente de até 50mA rms. Como o arduino faz leitura analógicas de 0 à 5 V é necessário utilizar um capacitor 10 μ F, dois resistores 10k Ω e um resistor 33 Ω para adequar este valor para a entrada do Arduino, conforme ilustrado na Figura 7. Para tal o resistor de 33 Ω é ligado aos terminais do TC e um capacitor em paralelo a um dos resistores obtendo-se uma variação de tensão de 0 a 5V, adequada à entrada do Arduino.

A Figura 8 ilustra o esquemático da ligação do TP para medição de tensão.

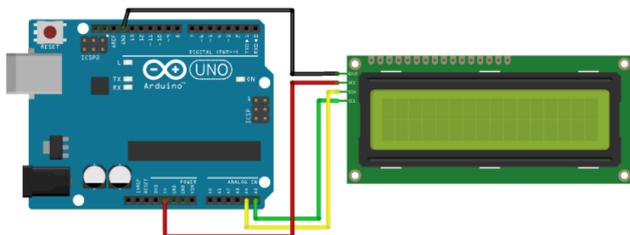
Figura 8: Esquemático da ligação do TP no fritzing.



Este tipo de TP de medição do modelo ZMPT101B, converte uma tensão de até 250Vca para 0 à 5V, para que o Arduino possa fazer a leitura. Basicamente seu hardware é composto de um módulo que é integrado por um transformador que cumpre a função de isolamento galvânico para maior segurança no uso. O lado primário do transformador está conectado à tensão alternada que se deseja medir, por exemplo: a rede elétrica de nossa casa de 220VCA. No lado secundário do transformador, há um divisor de tensão e um circuito com amplificador operacional (AMP-OP LM358) para adicionar um deslocamento à saída analógica.

A Figura 9 ilustra a ligação do display LCD 16x2 com I2C:

Figura 9: Esquemático da ligação do display LCD 16x2 com I2C no fritzing.



Este componente é alimentado com 5Vcc e se comunica com o Arduino pelo protocolo de comunicação I2C.

Após realização dos testes dos componentes no protoboard é desenvolvido o layout das placas eletrônicas no software Proteus, e então é executada a montagem das placas.

Em sequência é desenvolvida a programação do supervisor e do Arduino. Cada componente é programado individualmente, assim como o layout e a programação do supervisor, para que estes conjuntos sejam interligados, assim formando o sistema para monitoração da corrente e tensão de motores de indução.

O supervisor utilizado é o Elipse E3 na versão de demonstração. Para comunica-lo com o Arduino é utilizado o protocolo de comunicação modibus RTU. Todos os dados obtidos pelos sensores são armazenados em um banco de dados que utiliza a linguagem de programação VBA.

V. RESULTADOS PARCIAIS

Nesta seção são apresentados os principais resultados associados ao desenvolvimento e execução do projeto. Estes resultados são importantes e podem auxiliar para que outros discentes realizem trabalhos semelhantes.

As Figuras 10 e 11, ilustram o circuito impresso e a vista frontal do PCB da placa com o Arduino e os medidores, elaborados no software Proteus.

Figura 10: Circuito impresso da placa com Arduino e medidores elaborado no software Proteus.

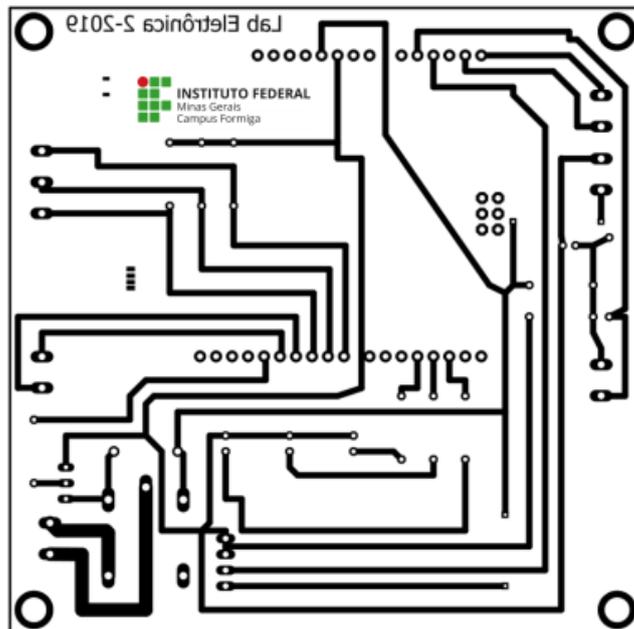
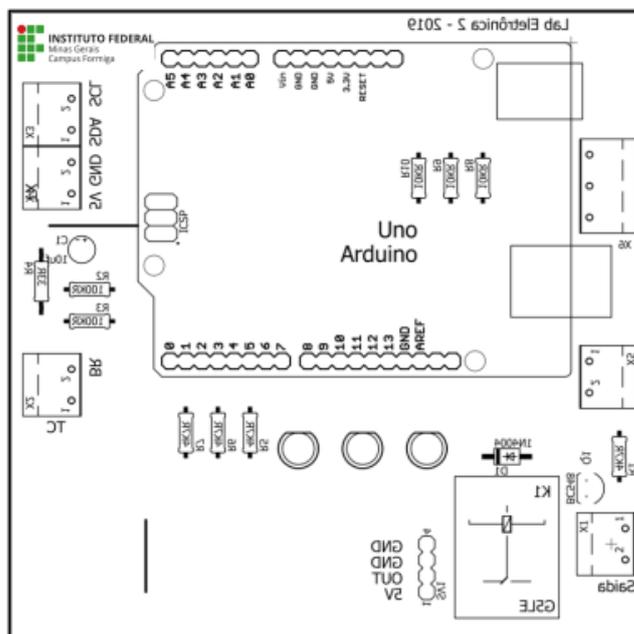


Figura 11: Vista frontal do PCB da placa com Arduino e medidores elaborado no software Proteus.



A Figura 10 ilustra a alocação das trilhas de ligação dos componentes eletrônicos na placa, enquanto a Figura 11 ilustra a vista superior da placa, mostrando o devido local de cada componente na placa eletrônica.

Do mesmo modo as Figuras 12 e 13, ilustram o circuito impresso e a vista frontal do PCB da placa com o display de visualização, elaborados no software Proteus.

Figura 12: Circuito impresso da placa com display no software Proteus.

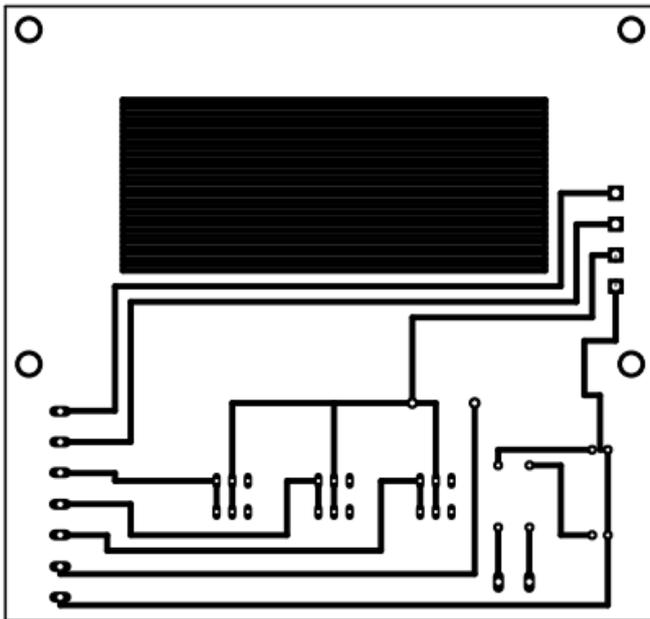
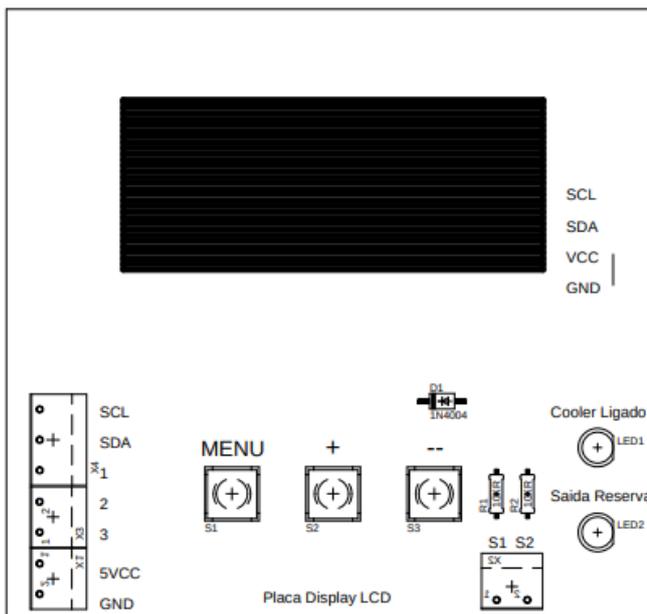


Figura 13: Vista frontal do PCB da placa com display no software Proteus.



Seguindo as descrições das Figuras 10,11,12 e 13, é realizada a montagem das placas eletrônicas em circuito impresso como ilustrado nas Figuras 14 e 15.

Figura 14: Trilhas da placa de circuito impresso.

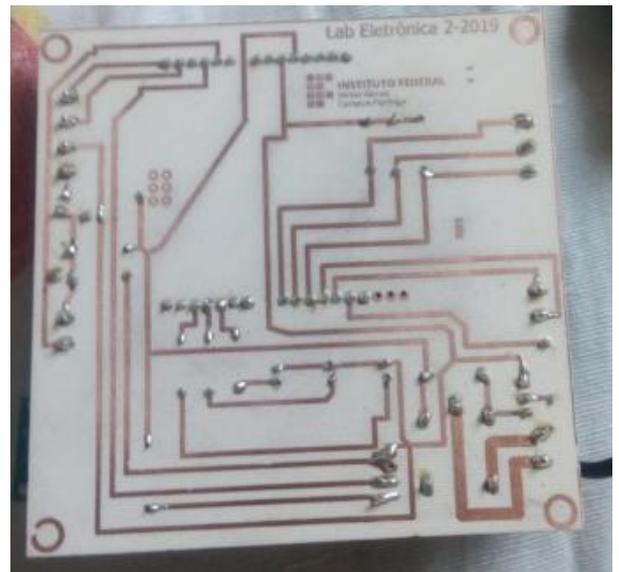


Figura 15: Parte superior das placas de circuito impresso.



Ao observar a Figura 15, nota-se que são implementados leds, relés e bornes extras na placa eletrônica com Arduino. Isto é necessário para suprir expansões futuras, na intenção de realizar melhorias. Já a placa com o display, três botões de ajustes e dois leds, é utilizada para visualização das tensões e correntes RMS e da potência aparência do motor de indução no exato momento da aferição. Além disso, os três botões permitem ajustes e a seleção das correntes nominais e de sobrecarga do motor, permitindo indicações de situações de sobrecarga ou até interrupção do sistema em situações severas, evitando a queima do motor.

As bibliotecas utilizadas para a programação no IDE do arduino seguem descritas na Figura 16.

Figura 16: Bibliotecas utilizadas na programação do arduino.

```
#include <EmonLib.h>           //Biblioteca Sensores
#include <Wire.h>              //Biblioteca para LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Biblioteca LCD
#include <EEPROM.h>           // salvar variaveis na memoria
#include <Modbusino.h>        //Biblioteca comunicação modbus RTU
```

A biblioteca Emonlib.h é utilizada tanto para programação TP de medição de tensão, quanto para o TC de medição de

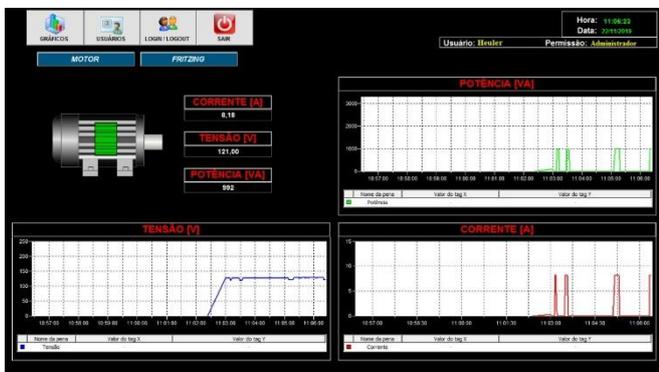
corrente. Desta forma, ela recebe os valores da conversão A/D do arduino gerados pelas entradas analógicas de 0 à 5 V e realiza as conversões necessárias para exibição dos valores de correntes e tensões RMS reais, consumidas pelo motor elétrico de indução.

As bibliotecas Wire.h e LiquidCrystal_I2C.h, são referentes a interligação e programação do display de visualização de variáveis.

A biblioteca EEPROM.h é utilizada para salvar variáveis na memória EEPROM do arduino e a Modbusino.h é referente a interligação do arduino ao supervisor, que é criado no software Elipse.

A Figura 17 apresenta uma ilustração da interface desenvolvida no supervisor Elipse E3 para projeto, com a amostragem das tensões, corrente e potência aparente em uma das fases e pode-se observar que os dados são salvos ao longo do tempo em um banco de dados.

Figura 17: Gráficos ao decorrer do tempo da corrente rms, tensão rms e potência aparente.



Para validação dos resultados obtidos pelo dispositivo, foram utilizados instrumentos de medição convencionais, como amperímetros, wattímetros e voltímetros. O sistema de monitoramento mostrou-se eficaz e permite que o usuário consiga visualizar e identificar inconformidades durante a operação dos motores em tempo real. Além disso, são registrados os horários e o tempo pelo qual a inconformidade se prolongou, para que assim possa focar nas possíveis causas que motivam essas falhas.

Este projeto foi idealizado como projeto prático interdisciplinar do curso de engenharia, o que permitiu um amplo aprendizado com relação à diversos dispositivos e o desenvolvimento de habilidades adicionais. Além disso, devido aos resultados positivos do dispositivo, a equipe está dando sequência ao projeto buscando implementar melhorias ao protótipo.

Dentre as principais vantagens do protótipo, pode-se destacar: (i) baixo custo, quando comparado à equipamentos comercializados, (ii) utilização de componentes largamente comercializados, (iii) utilização de ferramentas gratuitas para criação de layouts e da interface, (iv) aprendizado adquirido pela equipe de trabalho durante a disciplina e (v) desenvolvimento de habilidades adicionais tais como: capacidade de solucionar problemas, apresentação de projetos, análise de custos, dentre outras.

Considerando às limitações identificadas no projeto, são sugeridas melhorias. A Tabela 2 apresentar as limitações identificadas e possíveis melhorias a serem incorporadas ao projeto.

Tabela 2: Materiais e custos do projeto.

Limitação	Melhoria
Dificuldade de amostrar correntes de partida	Utilização de um sistema embarcado com maior capacidade
Monitoramento das correntes nas três fases ao mesmo tempo	Utilização de mais dois medidores de correntes
Identificação de sequência de fase	Utilização de mais dois medidores de tensões
Monitoramento de mais motores	Monitorar corrente de partida

VI. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, o protótipo desenvolvido é capaz de realizar a medição e o monitoramento das principais grandezas elétricas de operação dos motores, quais sejam, correntes e tensões. Por meio da interface idealizada, é possível identificar e atuar no sistema, interrompendo o funcionamento dos motores em situações severas. Além disso, os registros das inconformidades podem auxiliar no processo de manutenção dos motores, identificando previamente possíveis falhas ou mau funcionamento dos motores. Todo o desenvolvimento e passos para montagem do projeto são apresentados neste artigo, bem como sugestões de melhoria do equipamento. Sendo assim, este trabalho pode servir como referencial para o desenvolvimento de projeto semelhantes. Ademais, o desenvolvimento do projeto permitiu um aprendizado a respeito de vários dispositivos de medição, controle, sistemas de aquisição de dados, softwares para desenvolvimento de projetos e linguagem de programação, bem como habilidades como por exemplo a identificação e solução de problemas, trabalho em equipe e confecção de relatórios técnicos. Algumas das sugestões de melhorias estão sendo aprimoradas ao projeto e podem ser apresentadas posteriormente em artigos científicos.

REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, C. (2016). Motor elétrico Premium. Rio de Janeiro: Eletrobrás.
- [2] Guedes, M.V. (1994). O motor de indução trifásico–seleção e aplicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [3] Da Silva, A.P.G. and Salvador, M. (2005). O que são sistemas supervisórios? São Paulo.
- [4] MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais. 8.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2013.
- [5] Ferreira, C. A. (2019). Sistema de monitoramento em motores de indução trifásico utilizando a plataforma arduino (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- [6] FILIPEFLOP; Disponível em: <www.filipflop.com> Acesso em 06/09/2019.