

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CARLOS EDUARDO CAVALLIERI DESIDERIO
EDUARDO MATHEUS VOLANSKI
JADER JEPSEN SCHMIELE

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO
INTEGRADO COM MICROCONTROLADOR PARA MOTORES
E GERADORES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2017

CARLOS EDUARDO CAVALLIERI DESIDERIO
EDUARDO MATHEUS VOLANSKI
JADER JEPSSEN SCHMIELE

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO
INTEGRADO COM MICROCONTROLADOR PARA MOTORES
E GERADORES

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof^o Me. Ednilson Soares Maciel

CURITIBA
2017

TERMO DE APROVAÇÃO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO INTEGRADO COM MICROCONTROLADOR PARA MOTORES E GERADORES

CARLOS EDUARDO CAVALLIERI DESIDERIO
EDUARDO MATHEUS VOLANSKI
JADER JEPSEN SCHMIELE

Este Trabalho de Diplomação foi considerado adequado como cumprimento das exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial e aprovado em sua forma final pela Coordenação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Curitiba.

Profº. Me. Ednilson Soares Maciel
Orientador do trabalho de diplomação e
Coordenador do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial

Banca Examinadora:

Profº. Dr. Joaquim Eloir Rocha

Profª. Ma. Mariana Antonia Aguiar Furucho

Profº. Me. Thiago Alberto Rigo Passarin

RESUMO

DESIDERIO, Carlos Eduardo C.; SCHMIELE, Jader J.; VOLANSKI, Eduardo Matheus. Implementação de um Sistema de Monitoramento Integrado com microcontrolador para Motores e Geradores. 2017. 85 f. Projeto de Pesquisa – Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

A recente modernização de sistemas embarcados e de soluções de integração abriram a possibilidade para sua utilização em sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados. Com a chamada internet das coisas (IoT), muitos aparelhos e dispositivos podem receber e transmitir dados, além de ter a capacidade de realizar tomadas de decisões. Este projeto apresenta uma proposta de utilização de um microcontrolador para coleta e transmissão de dados. Esses dados são transmitidos via rede RS485 para um computador que tem a função de analisar, tratar e fornecer informações corretas, importantes e claras para o usuário. O acesso às informações se dá de maneira clara e objetiva, por meio de um programa supervisor com a apresentação de relatórios, gráficos e tabelas. O projeto visa o monitoramento de variáveis de um gerador, como temperatura e corrente de campo, adicionando esses dados aos já monitorados por um módulo de ensaios de máquinas com multimedidores e cargas RLC. A obtenção de dados tem como objetivo auxiliar a detecção de falhas. Os dados obtidos são didáticos, podendo ser utilizados como complemento para disciplinas ligadas ao tema. Como resultado, foi obtido um sistema de monitoramento de dados de baixo custo que agregou grande valor ao módulo, garantindo assim uma operação e manutenção do equipamento de maneira mais eficiente.

Palavras-chave: Monitoramento de Máquinas. Compartilhamento de Informações. Gerenciamento de Dados. Integração de Tecnologias.

ABSTRACT

DESIDERIO, Carlos Eduardo C.; SCHMIELE, Jader J.; VOLANSKI, Eduardo Matheus. Implementation of an Integrated Monitoring System with microcontroller for Motors and Generators. 2017. 85 f. Projeto de Pesquisa – Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

The recent modernization of embedded systems and integrated solutions brought the possibility of applying supervisory systems, controlling and data acquisition. With Internet of Things (IoT), lot of equipment and devices are able to receive and send information, besides taking decisions by itself. This referred project presents a suggestion of using a microcontroller for collecting and send data. This data are sent by RS485 for a computer that will analyze, treat and further giving all kind of information for the users. The access to these information is clear and objective, shown by supervisory through presentations of reports, charts and tables. The project aims to monitoring electrical variables of a generator, such as temperature and the field current of a machine test module with multi measuring equipment and RLC loads for obtaining data with the purpose of preventing failing during operation. The obtained information is didactic, which will be allowed to be use as a complement for subjects related to this topic. As a result, a low-cost data monitoring system was obtained that added great value to the module, thus ensuring more efficient operation and maintenance of the equipment.

Keywords: Machine Monitoring. Information Sharing. Data Management. Technology Integration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Módulo de ensaio de máquinas AZEHEB.	12
Figura 2: Processador ATmega328 do arduino.	17
Figura 3: Plataforma de desenvolvimento de programas.	18
Figura 4: Relação de documentos disponibilizados.	18
Figura 5: Gerador síncrono.	20
Figura 6: Sistema supervisorio Elipse 21.	22
Figura 7: Sistema supervisorio.	23
Figura 8: Pirâmide organizacional da automação industrial.	26
Figura 9: Arquitetura comunicação Modbus.	29
Figura 10: Comunicação Modbus RS485.	30
Figura 11: Transmissão do sinal no protocolo Hart.	32
Figura 12: Comunicação Hart ponto-a-ponto.	33
Figura 13: Comunicação Hart Multi-drop.	34
Figura 14: Exemplo de rede Profibus.	35
Figura 15: Diagrama de blocos.	36
Figura 16: Arduino UNO.	37
Figura 17: Módulo Arduino no painel.	38
Figura 18: Sensor de corrente ACS712.	39
Figura 19: Sensor de temperatura MAX6675.	40
Figura 20: Termopar tipo K.	41
Figura 21: Módulo MAX485.	41
Figura 22: Sensor de temperatura e umidade DHT11.	42
Figura 23: Módulo de ensaio de máquinas.	44
Figura 24: Multimetro.	45
Figura 25: Acionamento dos inversores de frequência.	47
Figura 26: Chaves seletoras das cargas.	48
Figura 27: Instrumentos de sincronismo.	49
Figura 28: Chaves de excitação da corrente de campo.	50
Figura 29: Conversor RS485/RS232.	51
Figura 30: Geradores e motores.	52
Figura 31: Placa de identificação do motor.	53
Figura 32: Placa de identificação do gerador.	54
Figura 33: Diagrama de ligação do circuito de campo.	55
Figura 34: Diagrama comunicação.	56
Figura 35: Diagrama de ligação do sensor de temperatura.	57
Figura 36: Localização do sensor de temperatura.	58
Figura 37: Diagrama de ligações módulo arduino.	59
Figura 38: Tela Inicial do supervisorio.	62
Figura 39: Tela principal do sistema.	63
Figura 40: Tela de gráficos.	65
Figura 41: Tela de histórico.	66
Figura 42: Tela para seleção de data e horário.	67
Figura 43: Relatório dos dados.	67
Figura 44: Banco de dados.	68
Figura 45: Driver de comunicação.	69
Figura 46: Configuração das variáveis no driver.	70
Figura 47: Gráfico – Ensaio 1.	73
Figura 48: Gráfico – Ensaio 2.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Funções no protocolo Modbus.....	31
Tabela 2: Grandezas elétricas medidas no multimedidor.....	46
Tabela 3: Endereçamento dos dispositivos.	56
Tabela 4: Portas utilizadas no Arduino.	60
Tabela 5: Dados do ensaio 1.	74
Tabela 6: Dados do ensaio 2.	75

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

AGV	Automatic Guided Vehicle
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Controle Numérico Computadorizado
FSK	Frequency Shift Keying
HART	Highway Addressable Remote Transducer
IHM	Interface Homem Máquina
IoT	Internet of Things
JIT	Just In Time
MM	Multimedidor
NTC	Negative Temperature Coefficient
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
OSS	Open Source Software
PWM	Pulse Width Modulation
RS232	Recomendad Standart-232
RS485	Recomendad Standart-485
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
TQM	Total Quality Manegement
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	13
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo geral	13
1.3.2	Objetivos específicos.....	14
1.4	JUSTIFICATIVA	14
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	MÓDULO ARDUINO.....	16
2.2	GERADOR SÍNCRONO	19
2.3	SISTEMA SUPERVISÓRIO	21
2.4	PAINEL ELÉTRICO.....	24
2.5	MANUTENÇÕES DE EQUIPAMENTOS	25
2.6	REDES INDUSTRIAIS.....	25
2.6.1	Protocolos de comunicação	28
2.6.1.1	Modbus.....	28
2.6.1.2	Hart.....	31
2.6.1.3	Profibus	34
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	36
3.1	MATERIAIS.....	37
3.1.1	Microcontrolador Arduino	37
3.1.2	Sensor de corrente	39
3.1.3	Sensor de temperatura	40
3.1.4	Módulo RS485	41
3.1.5	Sensor de temperatura e umidade DHT11	42
3.1.6	Módulo de ensaio de máquinas CA AZEHEB.....	43
3.1.6.1	Multimedidores	44
3.1.6.2	Inversores de Frequência	47
3.1.6.3	Cargas.....	47
3.1.6.4	Coluna de sincronismo	49
3.1.6.5	Chave de excitação do gerador.....	50
3.1.6.6	Conversor RS485/RS232	51
3.1.7	Motores e geradores.....	52

3.2	MÉTODO	54
3.2.1	Medição da corrente de campo	54
3.2.2	Rede de comunicação.....	55
3.2.3	Medição de temperatura do gerador.....	57
3.2.4	Módulo Arduino	58
3.2.5	Sinalização de temperatura alta do gerador.....	61
3.2.6	Sistema supervisório	61
3.2.6.1	Tela inicial	62
3.2.6.2	Tela principal	62
3.2.6.3	Gráficos	65
3.2.6.4	Histórico	66
3.2.6.5	Banco de dados.....	68
3.2.6.6	Comunicação Modbus	69
4	RESULTADOS	71
4.1	ENSAIO.....	71
4.2	RESULTADO DOS ENSAIOS	72
5	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE A – SCRIPTS CRIADOS NO SISTEMA SUPERVISÓRIO....	81
	APÊNDICE B – SCRIPTS CRIADOS NO MÓDULO ARDUINO	84

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no cenário industrial, existe um grande aumento na quantidade de variáveis de processo que são coletadas e armazenadas, mas ainda consistem em informações básicas referentes ao processo. Incluir mais sensores ou malhas de controle em uma planta já existente, apesar de possível, tem um custo alto e demanda especificação, compra, instalação, comissionamento, alteração de telas de supervisão e inclusão de variáveis no banco de dados histórico (SALVADOR, 2015).

Ao inserir na indústria os conceitos da Internet das Coisas – IoT (do original Internet of Things), Salvador (2015) afirma que é possível obter um novo aspecto sobre como juntar e processar dados de máquinas ou processos que antes eram inviáveis em termos de custo ou técnicas. Com isso, tem-se uma oportunidade de aplicar melhorias e gerar novas formas de produção e de oferecer novos serviços que, por fim, aumentam a produtividade e a competitividade da indústria.

Com o atual cenário econômico, as empresas procuram por soluções economicamente viáveis que proporcionem um maior valor agregado nos produtos e um beneficiamento em processos e serviços. Desta forma, o objetivo deste trabalho é criar uma solução de baixo custo que visa coletar variáveis de um equipamento e disponibilizá-las na rede.

Um dos dispositivos de baixo custo e fácil acesso é o módulo Arduino. Este dispositivo se baseia em um microcontrolador versátil e escalável que intensifica a função básica de um microcontrolador para além de uma interface ativa de aquisição de dados, podendo controlar, de forma independente, vários dispositivos e sensores, com isso é utilizada em aplicações em instrumentação embarcada, robótica e aquisição de dados (AMORIM *et al.*, 2011, p. 1).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Usualmente, motores e geradores são monitorados por instrumentos chamados multimedidores que, medem as variáveis de grandezas elétricas, tais como: Potência ativa (W), reativa (VAr) e aparente (VA), tensão (V), frequência (Hz) e corrente (A). Porém estas grandezas são normalmente utilizadas para quantificar o consumo de um motor ou a geração de energia de um gerador.

Ao extrair do motor/gerador outras variáveis, como temperatura e vibração, torna-se possível uma manutenção mais efetiva que visa maximizar a vida útil do equipamento. Desta maneira, utilizando-se do módulo de ensaio de máquinas AZEHEB (Figura 1), que já realiza a medição de algumas grandezas elétricas, foi adicionado ao módulo um microcontrolador capaz de realizar a medição outras variáveis como temperatura de carcaça e corrente de campo.

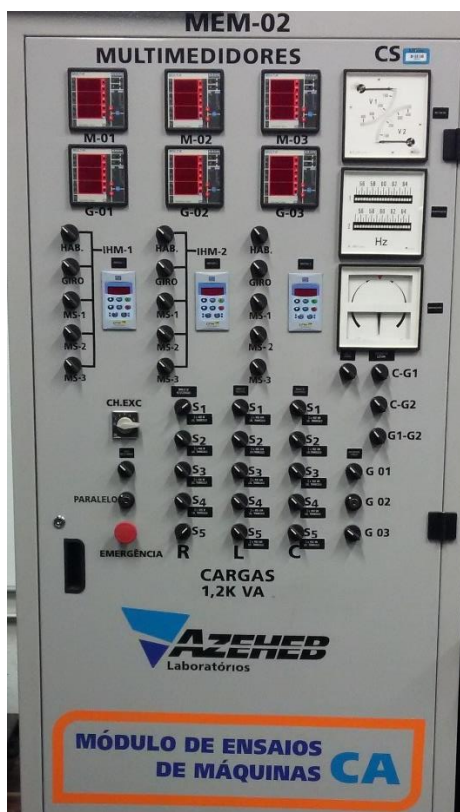


Figura 1: Módulo de ensaio de máquinas AZEHEB.
Fonte: Autoria própria.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os principais problemas encontrados e que objetivaram o trabalho, foram:

1. Inexistência do monitoramento da temperatura do gerador no módulo de multi medição;
2. Falta de monitoramento da corrente de campo do gerador no módulo de multi medição;
3. Falta das informações de monitoramento do módulo em rede;
4. Alto custo de equipamentos industriais para obtenção de dados.

Uma das principais causas de queima de geradores é o superaquecimento. Mesmo sendo de fácil medição, a temperatura é uma variável que não é comumente monitorada, devido ao alto custo de equipamentos de monitoramento de dados. Por esse fato, a ocorrência de falha em geradores devido ao superaquecimento aumenta consideravelmente.

Assim sendo: **como realizar a medição da temperatura e corrente de campo no módulo AZEHEB e transmitir esta informação com baixo custo para um sistema supervisório?**

Com a implantação de um módulo de coleta de dados através de uma plataforma Arduino e monitoramento através de um software supervisório, acredita-se que seria possível realizar o monitoramento com baixo custo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Implementar o monitoramento das variáveis de temperatura e de corrente de campo do gerador, aproveitando a interface existente dos

multimedidores de grandezas elétricas, a partir da coleta de dados com um módulo Arduino.

1.3.2 Objetivos específicos

- Instalar um sensor de temperatura na carcaça do gerador;
- Instalar um sensor de corrente de campo;
- Interconectar os sensores ao módulo arduino;
- Conectar o arduino ao barramento de comunicação existente;
- Desenvolver um software de monitoramento em um sistema supervisorio;
- Monitorar as variáveis do gerador.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os custos de reparo podem ser diminuídos pela detecção antecipada e preditiva de índices que possam levar à ocorrência de falha em motores e geradores. Um alarme gerado pelo supervisorio de monitoramento pode acionar uma parada de emergência ou inibir religamentos antes que os danos ocorram efetivamente ao equipamento.

O monitoramento de dados para manutenções preditivas se faz necessário devido ao alto custo das manutenções corretivas, onde normalmente são necessários reparos ou substituições de componentes danificados. Com a detecção de variáveis anormais aos valores nominais, é possível executar manutenções preventivas, que são de menor custo e geram tempos de paradas menores.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa classifica-se como de natureza científica e aplicada (ORGANIZAÇÃO..., 2009, p. 43), pois é uma investigação original

concebida pelo interesse em adquirir novos conhecimentos direcionados para um objetivo específico.

Em relação ao propósito, a presente pesquisa se classifica como explicativa, pois segundo Medeiros (2003, p. 42) tem como propósito identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos.

O campo de apreensão de dados desta pesquisa é bibliográfico e experimental, pois se baseia em referenciais teóricos desenvolvidos na área e também em dados gerados a partir de experimentos realizados do grupo motor gerador.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente projeto de pesquisa está dividido em capítulos, sendo este primeiro o introdutório que está subdividido em introdução com a apresentação do tema, os problemas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos, estrutura do trabalho e o cronograma referentes ao projeto de pesquisa.

O segundo capítulo contém o referencial teórico. No terceiro capítulo serão apresentados os materiais e o método utilizado para obtenção dos dados, bem como a transmissão dos mesmos para o computador. Será apresentado também o *software* de monitoramento juntamente com suas telas e alarmes, além de uma apresentação ao funcionamento do módulo de ensaio de máquinas CA da AZEHEB. Será explicado o funcionamento do gerador e o funcionamento dos multimedidores KRON, além da apresentação do supervisor Elipse E3, da demonstração do módulo Arduino, dos sensores utilizados e do meio de comunicação para obtenção dos dados.

O quarto capítulo contém os resultados obtidos com a inclusão da variável de temperatura e corrente de campo.

O quinto capítulo contempla a conclusão do projeto de pesquisa com as considerações finais e por fim, o último capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas durante o trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado um embasamento teórico dos equipamentos, dispositivos e sistemas abordados neste trabalho, de maneira que se exponham as características e o modo de funcionamento de cada elemento, tornando assim mais fácil a compreensão de como os resultados foram obtidos.

2.1 MÓDULO ARDUINO

O módulo Arduino se baseia em um microcontrolador versátil e escalável que intensifica a função básica de um microcontrolador para além de uma interface ativa de aquisição de dados, podendo controlar, de forma independente, vários dispositivos e sensores. Com isso, é utilizada em aplicações em instrumentação embarcada, robótica e aquisição de dados (AMORIM *et al.*, 2011, p. 1).

O Arduino é uma plataforma de software livre desenvolvida para criação de dispositivos que interajam com o ambiente a partir de sensores, motores, displays, leds, além de vários dispositivos, criando assim possibilidades ilimitadas (AMORIM *et al.*, 2011, p. 1).

Na plataforma existe ainda uma camada de *software* chamada de *bootloader* e, para a programação, uma interface amigável que se baseia na linguagem C/C++, que também é *open source*. No ambiente de desenvolvimento de programas, é possível a inserção de bibliotecas que facilitam o interfaceamento com *hardwares* de diferentes fabricantes, permitindo a criação de aplicações mais complexas.

A placa Arduino tem limitações referentes a quantidades de entradas e saídas, tipos de comunicação e funções. Para isso são disponibilizados *shields*, que são placas acopladas no Arduino que tem a função expandir as funcionalidades da placa básica de um Arduino. Estes *shields* fazem o acoplamento com as mais diversas aplicações ou formas de comunicação.

O processador da placa Arduino Uno, comumente achado no mercado, é o ATMEGA328, microprocessador de 8 bits da família AVR – Atmel Corporation. O processador de 28 pinos conta com 32 KB de memória flash, 2 KB de memória RAM e 1 KB de EEPROM. A placa Arduino opera com frequência de 16 MHz, embora seu processador possa operar com 20 MHz. Possui grande variedade de entradas e saídas – I/O – analógicas e digitais. Na Figura 2 é possível observar a descrição dos pinos do processador.

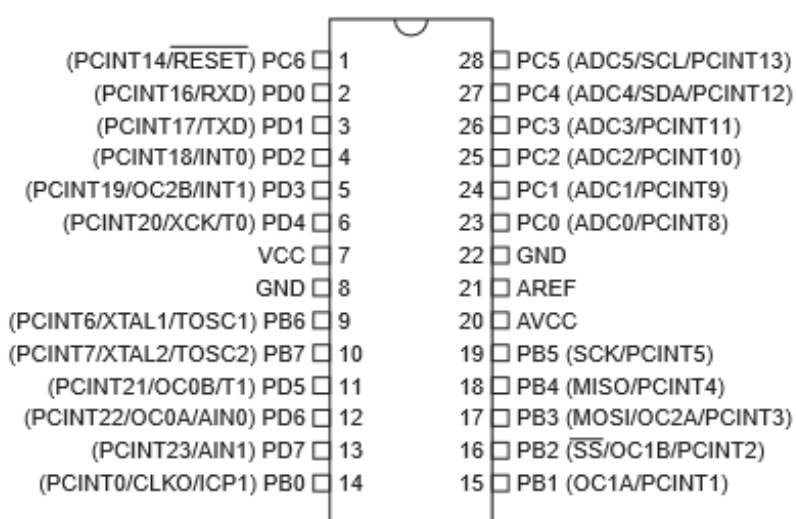


Figura 2: Processador ATmega328 do arduino.

Fonte: Atmel Corporation (2015).

O dispositivo possui interface USART que funciona a até 250 kbps, interface SPI, que vai até 5MHz, e interface I2C que pode operar até 400kHz. Conta com um comparador analógico interno, além de 6 saídas PWM programáveis. A corrente máxima por pino é de 40mA, mas a soma da corrente de todo o CI não pode ultrapassar 200mA.

Cabe ressaltar que para escrever o código, compilar e gravar o arquivo hexadecimal no processador, utiliza-se o *software* próprio “Arduino IDE” (Figura 3). Possui interface amigável e didática, facilitando a interação do usuário. O compilador pode ser baixado ou utilizado de maneira online, conforme indica o desenvolvedor.

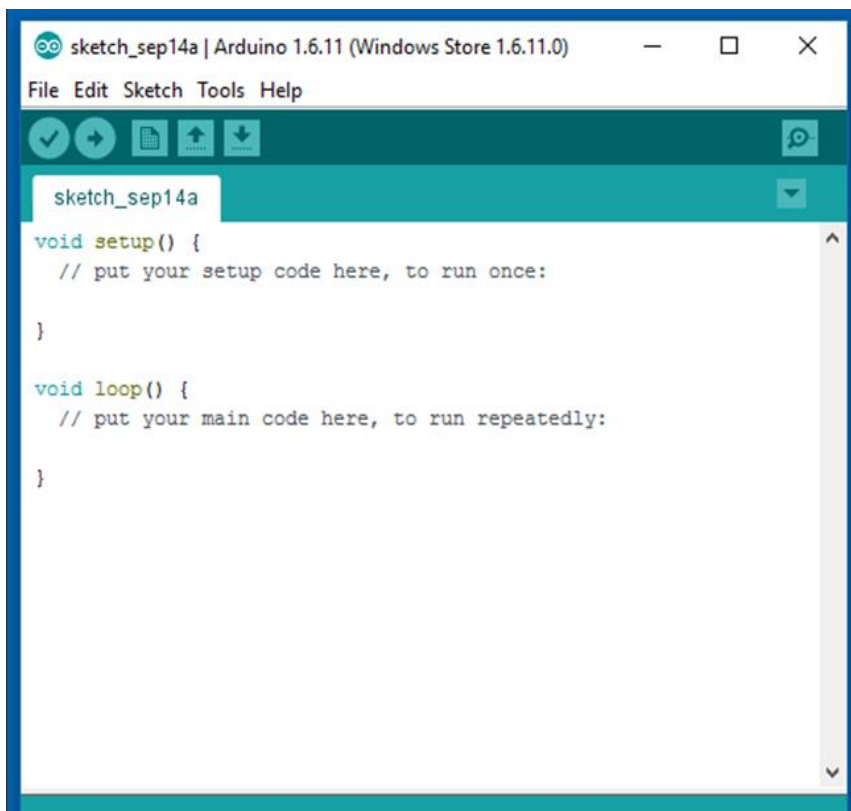


Figura 3: Plataforma de desenvolvimento de programas.
Fonte: Atmel Corporation (2015).

Por ser uma plataforma *open source*, é disponibilizado em seu site oficial todos os documentos para fabricação, tais como dimensional da placa, esquemático elétrico e lista de componentes utilizados (Figura 4).



Figura 4: Relação de documentos disponibilizados.
Fonte: Atmel Corporation (2015).

O projeto que nasceu no *Ivrea Interaction Design Institute* em meados de 2005 como uma ferramenta de prototipagem rápida (ARDUINO, 2015) está hoje, presente em projetos dos mais simples aos mais complexos. De acordo com o próprio site, é preferido por professores, estudantes e interessados por ser mais barato, trabalhar

com diversos sistemas operacionais, possuir ambiente de programação simples e claro e por ser *open source*.

2.2 GERADOR SÍNCRONO

Geradores ou alternadores, são máquinas elétricas que têm como função converter energia mecânica em energia elétrica, através da rotação síncrona de um rotor, com polos salientes ou não. Algumas características básicas, segundo KOSOW (2000), de alternadores CA são:

- A rotação do campo magnético do rotor, em relação à armadura, é oposta ao torque eletromagnético desenvolvido pela corrente presente no condutor da armadura;
- Uma corrente na armadura é induzida pela tensão gerada. As cargas elétricas ligadas nos terminais da armadura vão determinar a fase da corrente de armadura em relação à tensão gerada pelo alternador.
- A tensão por fase gerada pode ser calculada pela Equação (1).

$$E_{gf} = 4,44\Phi N_f f k_p k_d \times 10^{-8} \text{ V} \quad (1)$$

Onde:

Φ - fluxo por polo em linhas ou maxwells
 N_f - número total de espiras por fase
 f - frequência em Hertz
 k_p - fator de passo
 k_d - fator de distribuição

- A frequência é relacionada à fatores construtivos, como número de polos, sendo determinada pela Equação (2).

$$f = \frac{PN}{120} \quad (2)$$

Onde:

f - frequência em Hertz
 P - número de polos do motor
 N - rotação nominal do motor

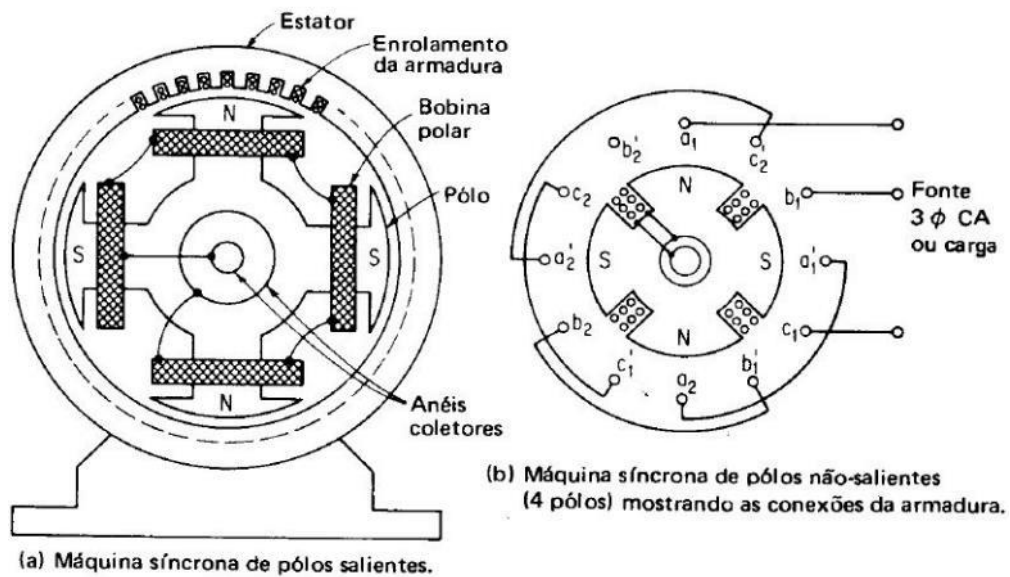


Figura 5: Gerador síncrono.
Fonte: Kosow (2000).

De acordo com KOSOW (2000), uma máquina síncrona (Figura 5) é aquela em que o rotor gira em velocidade síncrona com a frequência obtida nos enrolamentos do estator. Existem duas formas da construção mecânica de um gerador síncrono: com armadura girante e campo estacionário ou com campo girante e armadura estacionária. Ainda, segundo o autor, universalmente, a mais utilizada é a última opção, pelos seguintes motivos:

- Resistência aumentada dos dentes da armadura: máquinas de maior capacidade necessitam de mais cobre na armadura. Em máquinas de armadura girante, conforme os dentes da armadura se tornam mais profundos, os dentes se tornam mais estreitos e fracos. Em máquinas de armadura fixa, os dentes se tornam mais grossos e fortes quanto maiores as ranhuras;
- Reatância de armadura reduzida: armaduras estacionárias apresentam menor relutância ao fluxo, devido à seção transversal de ferro aumentada. Isto também reduz a quantidade de fluxo disperso;
- Melhoria do isolamento: é mais fácil isolar um membro estacionário que um rotativo;

- Vantagens construtivas: em grandes estatores polifásicos o enrolamento da armadura é mais complexo que o enrolamento de campo, sendo assim, a construção das bobinas e interligações entre fases é mais fácil em estruturas estacionárias rígidas;
- Número de anéis coletores isolados: isolar do eixo anéis coletores é um problema que fica mais complexo conforme aumentam o número de fases e também altas tensões induzidas. Dessa forma, fica difícil posicionar os anéis coletores de forma que sejam evitados as faíscas entre os mesmos, sendo que em alternadores com armadura estacionária são necessários apenas 2 anéis coletores para excitar o enrolamento de campo, que geralmente tem tensão baixa de até 390V;
- Peso e inércia do rotor são menores: enrolamentos de campo, com baixa tensão, exigem menos e menores fios que enrolamentos de armadura com alta tensão, assim com peso menor e facilidade na construção mecânica;
- Vantagens na ventilação: através de armadura estacionária, o enrolamento da armadura, que é o qual produz mais calor, pode ser resfriado mais eficientemente. A armadura pode ser construída com maiores recursos de resfriamento, como ductos e orifícios que permitem passagem de ar e ventilação forçada ou até mesmo outras formas de resfriamento.

2.3 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Os softwares SCADA - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (do original Supervisory Control And Data Acquisition) ou supervisórios, surgiram no início dos anos 80 com a evolução do microcomputador e dos sistemas operacionais, além da necessidade de registrar e analisar a grande quantidade de variáveis de processo disponíveis em uma planta industrial e disponibilizar essas informações de forma gráfica, assim como armazenar em banco de dados para importantes tomadas de decisões.

Segundo Jurizato e Pereira (2003, p. 105), um sistema supervisório pode ser definido como um sistema que supervisiona ou monitora processos de uma planta industrial a partir da comunicação com as variáveis de processo, e também na tomada de decisões pré-estipuladas pelo desenvolvedor do sistema. Um sistema supervisório geralmente é utilizado para possibilitar a visualização de prováveis falhas antes que elas ocorram de fato, evitando paradas no processo ou quebras de equipamentos.

Os primeiros sistemas supervisórios tinham funcionalidades básicas como a interface gráfica, geração de alarmes e alguns recursos de operação. Na Figura 6, observa-se o primeiro sistema do fabricante nacional Elipse Software, o Elipse21.

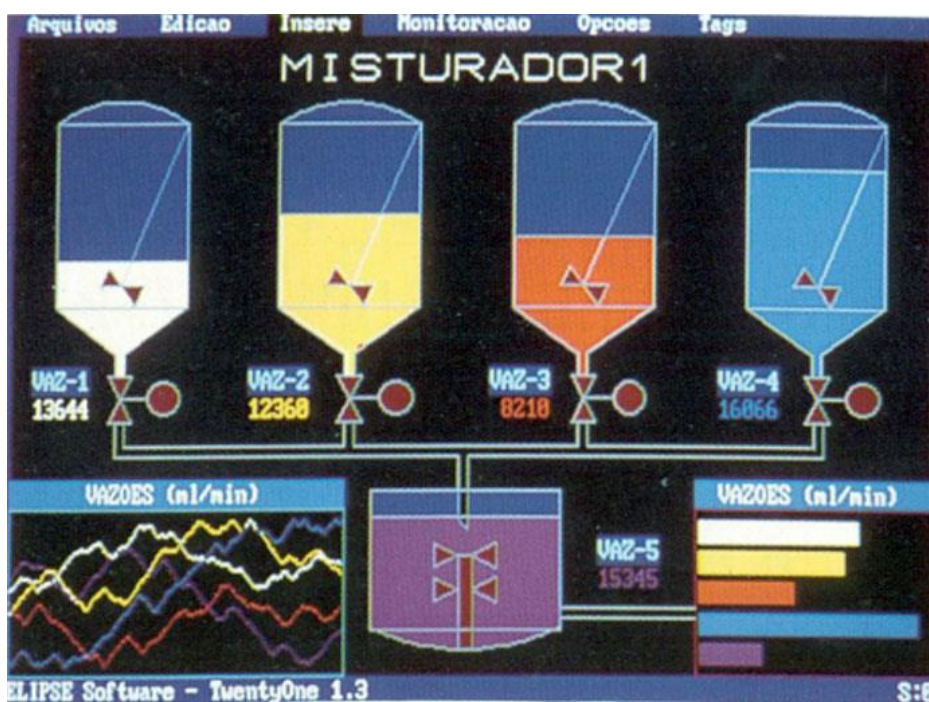


Figura 6: Sistema supervisório Elipse 21.
Fonte: Elipse Software.

Um sistema atual (Figura 7) contém várias telas de operação, além de telas de alarmes, histórico de eventos, gráficos, usuários e relatórios.

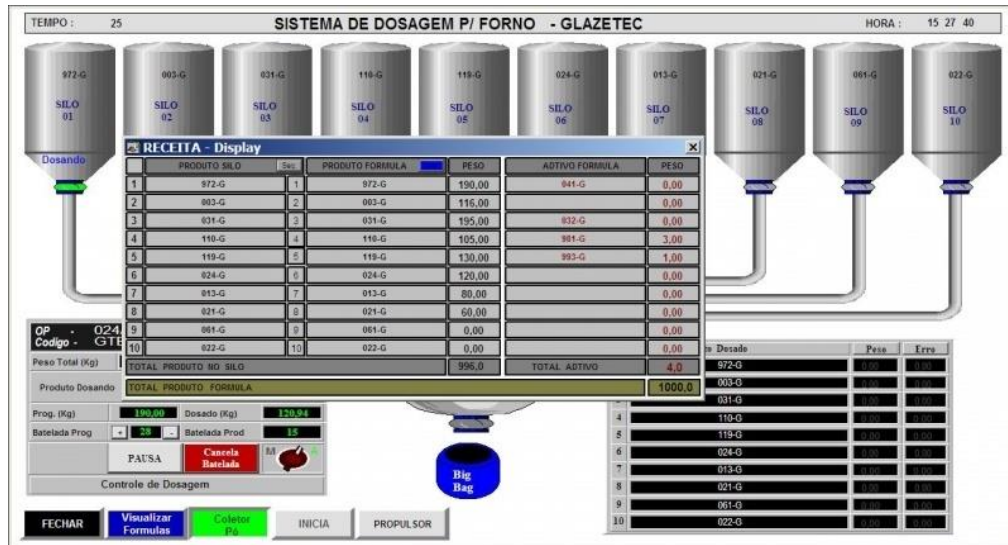


Figura 7: Sistema supervisorio.
Fonte: JBV Automação.

Basicamente um sistema de supervisão é composto por um microcomputador aliado à um software e interconectado a um sistema de controle que normalmente é um CLP – Controlador Lógico Programável. A comunicação dos elementos é realizada a partir de um protocolo comum a todos esses elementos (JURIZATO E PEREIRA, 2003 p. 107).

As principais funcionalidades de um sistema supervisorio são:

- Disponibilização dos dados de forma clara e intuitiva: Para um operador, a melhor forma de se observar e controlar um processo é de forma visual, ou seja, na tela do computador poder ver uma representação da planta e o estado de cada elemento com alternância de cores e mensagens;
- Alarmes: A geração de alarmes tem extrema importância, pois sinaliza que uma variável está fora de um padrão esperado;
- Banco de dados: No banco de dados podem ser armazenados dados referentes às variáveis e registros de alarmes. Todos os dados que o operador do sistema julgar necessário podem ser armazenados para consultas futuras, geração de relatórios ou utilização em planilhas e outros softwares;
- Gráficos: Essencial para visualização de variações em um intervalo de tempo. Auxilia na tomada de decisões e visualizações de tendências;

- Relatórios: Todos os dados armazenados no banco de dados e gráficos podem ser exportados em forma de relatórios;
- OPC: Padrão de comunicação *OLE for Process Control do Windows* para interconectividade de sistemas, mesmo que esses sistemas operem com protocolos diferentes.

Além dessas funcionalidades, os sistemas atuais oferecem a visualização e operação de maneira remota, são usados como fonte de dados para outras aplicações gerenciais, monitoram dados para auxiliar o operador no controle ou até mesmo corrigem eventuais ineficiências de maneira automática, oferecem gerenciamento inteligente de alarmes, no qual monitoram os alarmes mais frequentes e sugerem o tratamento mais adequado (PAIOLA, 2011).

Atualmente, com uma grande oferta de sistemas de diversos fabricantes, inclusive softwares livres, os sistemas supervisórios estão presentes não só em ambientes industriais, mas também em comércios, hospitais, escolas e nos mais diversos segmentos que necessitem de gerenciamento de processos.

2.4 PAINEL ELÉTRICO

Segundo Moraes (2015), comandos elétricos são técnicas e métodos que tem a finalidade de controlar ou manipular acionamentos de máquinas, equipamentos ou circuitos a distância. É constituído de circuito de força, onde circula a tensão para acionar o equipamento, e o circuito de comando, de tensão mais baixa que o de força, responsável pelo acionamento, manobra e proteção.

O painel elétrico é um compartimento onde são dispostos os dispositivos de acionamento e proteção de modo que o usuário tenha segurança ao manipulá-lo e facilidade na sua operação e manutenção (PETRI, 2016).

Dentre os vários dispositivos que são instalados em um painel elétrico, podem-se destacar os seguintes: Na parte frontal; Botoeiras, chaves, Interface homem máquina (IHMs) e luzes de sinalização. Na

parte interior; Contatores, controladores lógicos programáveis (CLPs), inversores de frequência, disjuntores, fusíveis e outros dispositivos necessários no acionamento e proteção de máquinas, equipamentos ou circuitos.

2.5 MANUTENÇÕES DE EQUIPAMENTOS

Após a revolução industrial, a manutenção, segundo Pereira (2011, *apud* BOHNEBERGER, 2016, p.24), era na sua totalidade corretiva, ou seja, o equipamento era reparado após a ocorrência de falha. Mais tarde foi introduzida na indústria a manutenção preventiva, onde são executadas manutenções periódicas com base num período de tempo ou tempo de operação do equipamento. Porém, mais recentemente a manutenção preditiva se tornou presente no cenário industrial. Esta permite detectar falhas com antecedência com base na condição da máquina.

O presente projeto abordará sobre a obtenção de dados de temperatura e corrente de campo de um gerador. Dados estes que poderão ser utilizados para realizar manutenções preditivas no mesmo.

A manutenção preditiva se tornou muito importante em manutenções de motores, pois reduz significativamente os gastos e o tempo de indisponibilidade em relação a manutenção preventiva, devido a manutenção ser executada somente quando é necessária, e não periodicamente. Outro fator importante é a eliminação de desmontagens e remontagens para inspeção, bloqueia a propagação dos dados a outros equipamentos e maximiza a vida útil dos componentes (BOHNEBERGER, 2016, P.27).

2.6 REDES INDUSTRIAIS

Na década de 60, com o desenvolvimento e a crescente utilização de unidades de processamento de informação, a automação

se tornou cada vez mais presente na indústria. Houve a implementação de máquinas de controle numérico computadorizado (CNC), máquinas de manipulação, ou seja, robôs, máquinas de manuseio automático de materiais, os veículos guiados automaticamente – AGVs (do original *Automatic Guided Vehicle*), e também foram implementados os sistemas de gestão de produção *JIT* (*just in time*) e TQM (*Total Quality Management*) (DELGADO, 1998).

Assim, com a evolução de sistemas de produção e também de gestão, tornou-se muito grande a quantidade de informações extraídas de processos e transmitidas entre controladores, computadores e sistemas. Dispositivos que muitas vezes são de tecnologias e fabricantes distintos, sendo assim necessário vários protocolos de comunicação para transmissão desses dados.

Para a organização do gerenciamento das informações utiliza-se a pirâmide organizacional, que é uma representação, de forma hierárquica, dos diversos níveis de gerenciamento dos dados e são criadas áreas restritas de informações.



Figura 8: Pirâmide organizacional da automação industrial.
Fonte: Florencio (2016).

Como é possível observar na Figura 8, a pirâmide organizacional apresenta diferentes níveis de controle de automação industrial, desde os equipamentos e dispositivos de campo até o gerenciamento corporativo da empresa (SANTOS, 2012). A pirâmide é dividida da seguinte maneira:

- Nível 1: Aquisição de dados e controle manual – Conhecido também como nível de chão de fábrica. É composto por dispositivos de campo como, sensores, atuadores e transmissores;
- Nível 2: Controle – Onde se encontram os CLPs e IHMs. É realizado o controle automatizado das atividades da planta;
- Nível 3: Supervisão – É destinada à supervisão dos processos executados em uma determinada célula de trabalho em uma planta. Tem suporte à um banco de dados com informações de índices de qualidade e produtividade da produção, relatórios e estatísticas de processo;
- Nível 4: Gerenciamento da planta – Nível responsável pela programação e planejamento da produção, realizando o controle de processos industriais e a logística de suprimentos;
- Nível 5: Gerenciamento corporativo e planejamento estratégico – Atribui-se para este nível a administração dos recursos da empresa, no qual são utilizados programas de gestão de vendas e gestão financeira para ajudar na tomada de decisões que atingem toda a empresa.

A comunicação entre esses níveis de gerenciamento requer protocolos de comunicação e meios físicos de transmissão específicos, pois a quantidade, o tipo de informação e os dispositivos são diferentes para cada nível.

2.6.1 Protocolos de comunicação

Nos primórdios da automação o *hardware* e o *software* de controle eram de um mesmo fabricante, o que ocasionava a dependência da empresa para com esse fabricante e qualquer ampliação da planta gerava problemas e prejuízos às empresas, uma vez que a integração e a conectividade com outros equipamentos não era possível, seja por motivos técnicos ou incompatibilidade de *software*.

Com isto houve a necessidade de uma padronização para a comunicação de diferentes fabricantes. Surgiram então os protocolos de comunicação que possibilitou a conectividade entre equipamento de fabricantes distintos. A seguir tem-se alguns protocolos de comunicação utilizados em ambiente industrial.

2.6.1.1 Modbus

Segundo Souza (2009) o protocolo foi criado em 1979 para a comunicação entre equipamentos da empresa Modicon, que era fabricante do primeiro CLP. Este protocolo foi criado como sendo de código aberto OSS (do original *Open Source Software*), e também ser de fácil operação e manutenção, com isso se tornou muito utilizado por vários fabricantes de equipamentos e supervisórios.

Os dispositivos que têm como padrão o Modbus, utilizam a técnica Mestre-Escravo, no qual somente o dispositivo mestre pode iniciar as transmissões e os dispositivos escravos somente começam uma transmissão com o pedido do mestre.

O protocolo Modbus pode ser dividido em:

- Modbus padrão, que é utilizado para a comunicação dos CLPs com os dispositivos de entrada e saída de dados, reles de proteção, controladores, atuadores de válvulas, transdutores de energia e outros. O Modbus padrão utiliza como meio físico o RS232 (do Inglês *Recommendad Standart-232*) e o RS485.

- Modbus PLUS, que tem uma taxa de transmissão mais alta e é utilizado em CLPs, chaves de partida eletrônica de motores, IHMs e inversores de frequência. O Meio físico utilizado é o RS485.
- Modbus TCP/IP, que encapsula o Modbus no protocolo TCP/IP e é transmitido por meio de redes padrão ethernet com controle de acesso ao meio por CSMA/CD. É utilizado para a comunicação entre sistemas de supervisão e CLPs.

Na Figura 9, observa-se uma arquitetura que utiliza os três padrões de comunicação Modbus.

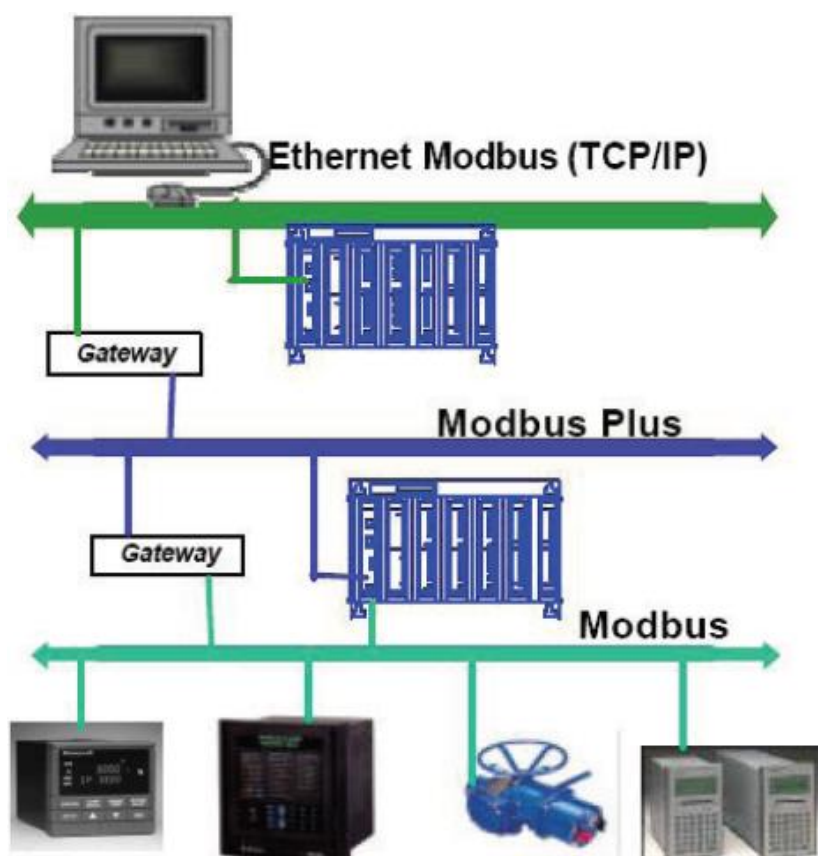


Figura 9: Arquitetura comunicação Modbus.
Fonte: Souza (2017).

A velocidade de transmissão e a distância entre os dispositivos varia de acordo com o meio físico utilizado. Segundo Freitas (2014), no RS232 a velocidade pode chegar a 115Kbps e a distância máxima é de 30 metros. No RS 485 (Figura 10) as distâncias podem chegar a 1200 metros com uma taxa de transmissão de até 12Mbps. Já no padrão

TCP/IP, a velocidade pode chegar a 100 Mbps e em alguns casos até 10Gbps e a distância máxima é de 100 a 200 metros de distância, dependendo das condições de instalação.

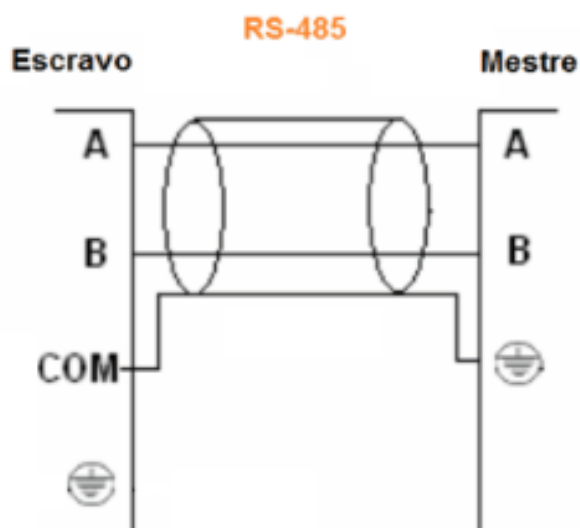


Figura 10: Comunicação Modbus RS485.
Fonte: Freitas (2014).

Na comunicação entre o mestre e o escravo, existem determinadas funções que o mestre solicita ao escravo. No Protocolo Modbus, cada função é utilizada para acessar um tipo específico de dados. Na Tabela 1, tem-se todas as funções utilizadas no protocolo Modbus.

Tabela 1: Funções no protocolo Modbus.

Função	Descrição
1	Leitura de bloco de bits do tipo coil (saída discreta).
2	Leitura de bloco de bits do tipo entradas discretas.
3	Leitura de bloco de registradores do tipo holding.
4	Leitura de bloco de registradores do tipo input.
5	Escrita em um único bit do tipo coil (saída discreta).
6	Escrita em um único registrador do tipo holding.
7	Ler o conteúdo de 8 estados de exceção.
8	Testes para verificação da comunicação e erros internos.
11	Obter o contador de eventos.
12	Obter um relatório de eventos.
15	Escrita em bloco de bits do tipo coil (saída discreta).
16	Escrita em bloco de registradores do tipo holding.
17	Ler algumas informações do dispositivo.
20	Ler informações de um arquivo.
21	Escrever informações em um arquivo.
22	Modificar o conteúdo de registradores de espera.
23	Ler e escrever em registradores numa única transação.
24	Ler o conteúdo da fila FIFO de registradores.
43	Identificação do modelo do dispositivo.

Fonte: Freitas (2014).

2.6.1.2 Hart

O protocolo de comunicação HART (Highway Addressable Remote Transducer) é um protocolo de automação industrial de comunicação híbrida e bidirecional que se popularizou pela possibilidade de se transmitir informações digitais na mesma fiação de um dispositivo analógico. É usado para comunicações entre dispositivos “smart” de campo com sistemas de controle e monitoramento.

Foi desenvolvido inicialmente pela Rosemount Inc., baseado no padrão Bell 202, com tecnologia FSK – chaveamento por deslocamento

de frequência (do original, Frequency Shift Keying), que sobrepõe os sinais digitais aos analógicos. O sinal FSK é simétrico em relação ao zero, desta forma, não possui nível DC que interfira no sinal analógico. Enquanto o sinal analógico varia de 4-20mA, a lógica digital é caracterizada por frequências, sendo a lógica "0" caracterizada pelo sinal de 2200Hz e a lógica "1" por 1200Hz. A taxa de transmissão é de 1200 bits por segundo. Assim que o protocolo se tornou o HART, também se tornou um protocolo aberto. Atualmente o protocolo é administrado pelo FieldComm Group e desde então o protocolo tem sido revisado e aprimorado (HELSON, 2002). Na Figura 11 observa-se a forma de onda do sinal transmitido no protocolo Hart.

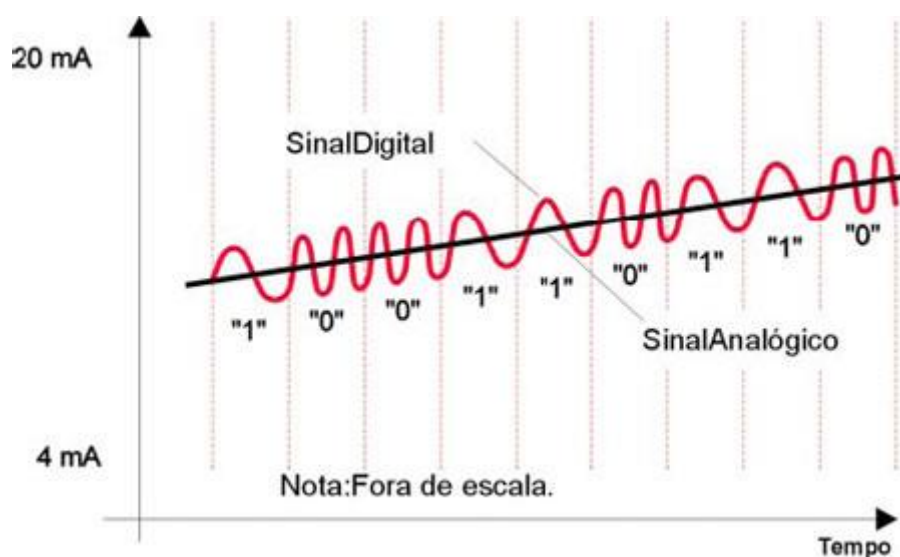


Figura 11: Transmissão do sinal no protocolo Hart.
Fonte: Hart Communication Foundation.

De acordo com o guia de aplicação da FieldComm, o HART é um típico protocolo de comunicação mestre-escravo. Desta forma, o dispositivo escravo apenas "responde" ao mestre quando "perguntado". Basicamente o sistema pode ter dois dispositivos mestres, um primário e outro secundário. O primário é geralmente um CLP, um SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) ou um PC. Dispositivos de campo, que são os escravos, podem ser transmissores, atuadores e controladores que respondem aos mestres primários e secundários.

Dispositivos HART basicamente podem operar em dois tipos de configurações de rede: ponto a ponto ou multi-drop.

No seu modo ponto a ponto (Figura 12), o sinal analógico 4-20mA é utilizado para transmissão de uma única variável do processo, enquanto o restante de parâmetros, configurações, e outros dados do dispositivo são transmitidos digitalmente via protocolo HART. A comunicação HART pode ser usada para acesso à diversas outras variáveis que podem auxiliar na operação, controle, manutenção e até diagnósticos, enquanto o sinal analógico pode ser usado para controle.

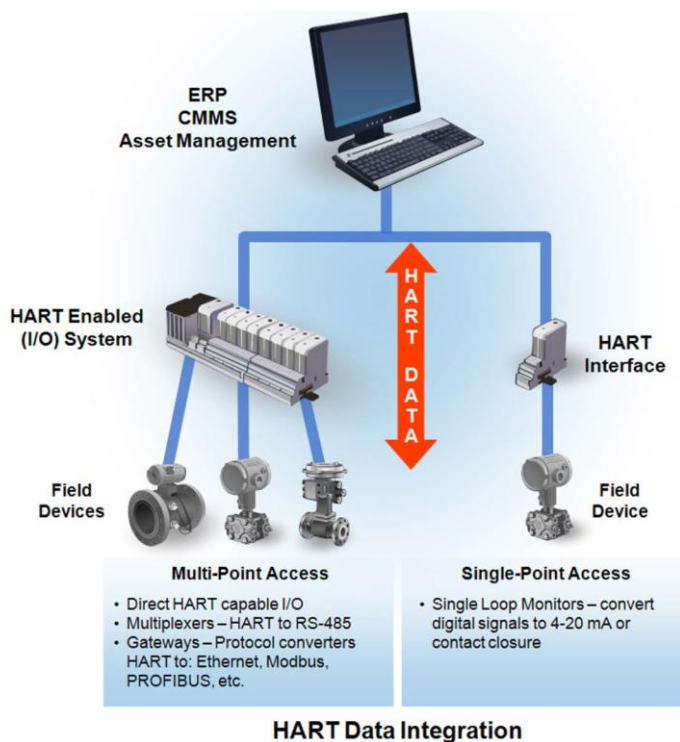
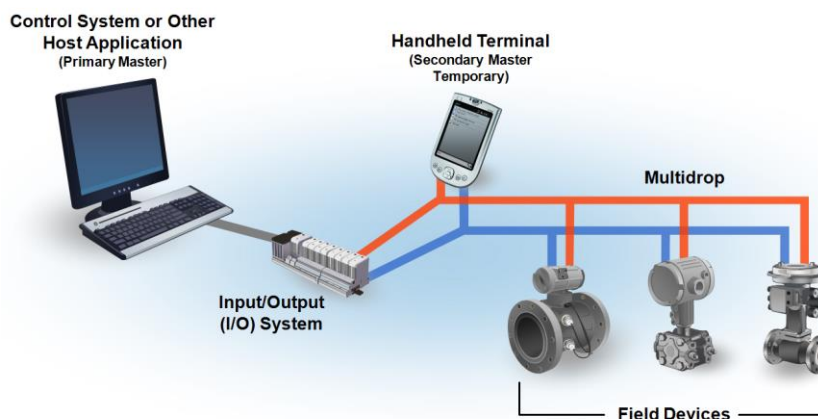


Figura 12: Comunicação Hart ponto-a-ponto.
Fonte: Hart Communication Foundation.

O modo de operação multi-drop (Figura 13) necessita de apenas um par de fios. Conecta até 62 dispositivos que devem ser endereçados entre 1 e 63. A corrente de cada dispositivo é fixada no valor mínimo de 4mA.

Conexões multi-drop são mais utilizadas em locais nos quais os dispositivos ficam muito espaçados.



Note: Instrument power is provided by an interface or an external power source that is not shown.

Two Masters with Multidrop

Figura 13: Comunicação Hart Multi-drop.
Fonte: Hart Communication Foundation.

2.6.1.3 Profibus

Em 1987, na Alemanha, 21 empresas e institutos se uniram com o apoio de autoridades públicas para criar um projeto estratégico fieldbus, ou seja, um sistema de rede de comunicação industrial para controle em tempo real. O objetivo era criar um protocolo para padronizar a comunicação de dispositivos de campo. Surgiu então o Profibus FMS. Mais tarde, em 1993, foi concluído a especificação do Profibus DP, que requer uma configuração mais simples e tem maior velocidade de transmissão (CASSIOLATO, TORRES, PADOVAN, 2012 P.6).

O Profibus DP é um protocolo de alta velocidade desenvolvido para sistemas de automações e equipamentos descentralizados. Utiliza-se o meio físico RS-485 ou fibra ótica para a transmissão dos dados. Atualmente, em torno de 90% das aplicações Profibus utilizam-se do Profibus DP.

Para a comunicação em nível de controle, por exemplo entre CLPs, é utilizado o Profibus FMS, pois permite a transmissão de grandes pacotes de dados com inúmeras funções de comunicação.

Existe ainda um outro padrão de comunicação Profibus que é o Profibus PA. Este padrão é utilizado para a comunicação entre sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo. Seu barramento é constituído de dois condutores, baseado na

norma IEC61158-2, onde são transmitidos os dados e a tensão de alimentação dos dispositivos de campo. Também permite a alimentação de equipamentos de campo em áreas intrinsecamente seguras, além de permitir a conexão e a desconexão de equipamentos durante sua operação.

Na Figura 14 é possível observar uma rede constituída somente pelo protocolo Profibus.

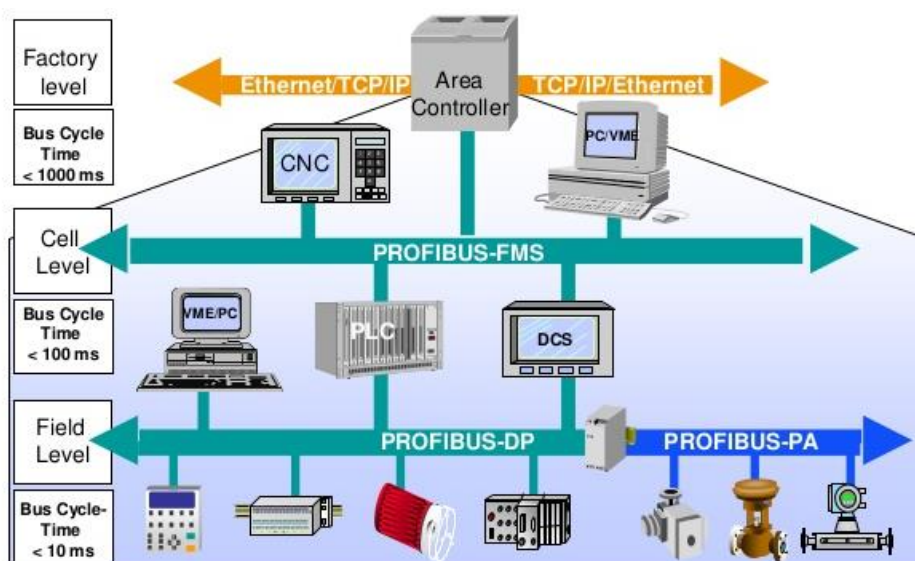


Figura 14: Exemplo de rede Profibus.
Fonte: Cassiolato, Torres, Padovan, 2012.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Tomando como base os itens apresentados no capítulo anterior, foi necessária a utilização de diferentes materiais e procedimentos para a realização do trabalho. Os materiais utilizados foram um microcontrolador Arduino juntamente com sensores de corrente, temperatura e umidade, um módulo conversor RS 485, como também da utilização do gerador e do módulo AZEHEB em conjunto com seus dispositivos. Na Figura 15 tem-se o diagrama de blocos mostrando a interconexão do sistema.

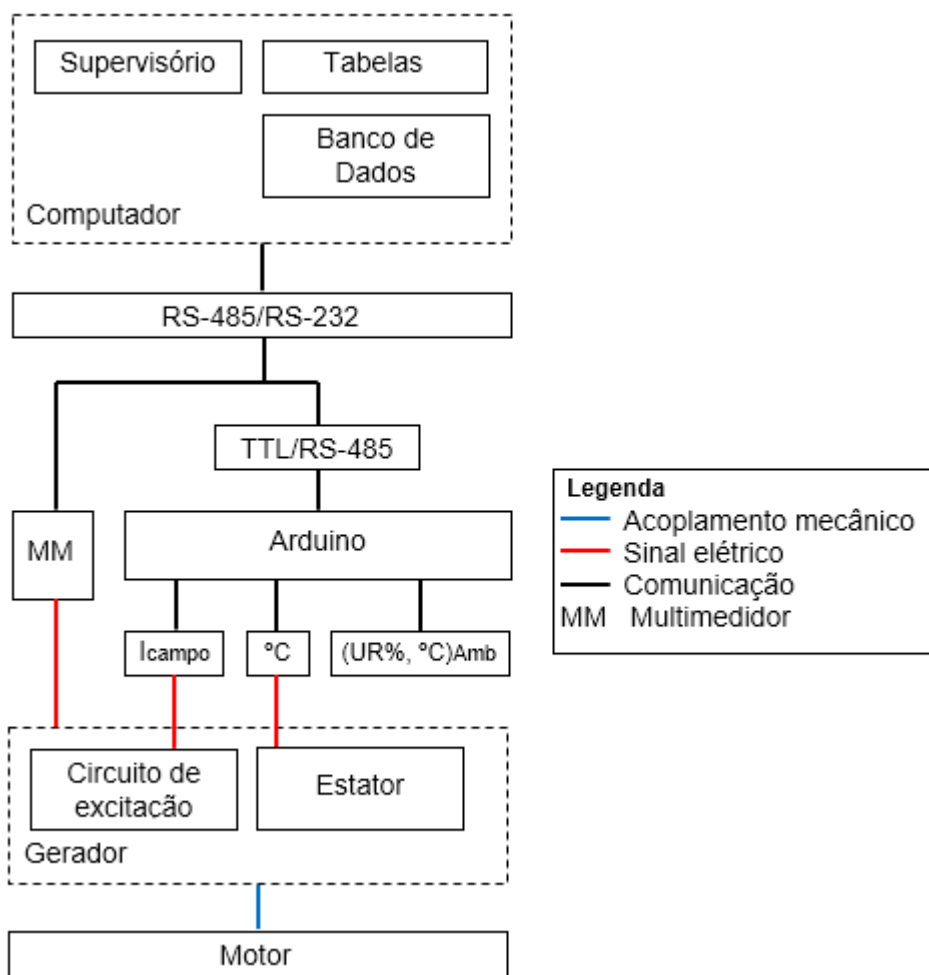


Figura 15: Diagrama de blocos.
Fonte: Autoria própria.

Nas seções a seguir são apresentados os materiais, bem como o método aplicado no desenvolvimento do trabalho para a obtenção dos resultados.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Microcontrolador Arduino

Para este projeto foi utilizado o microcontrolador Arduino modelo UNO (Figura 16), devido ao seu baixo custo e ser facilmente encontrado no mercado.

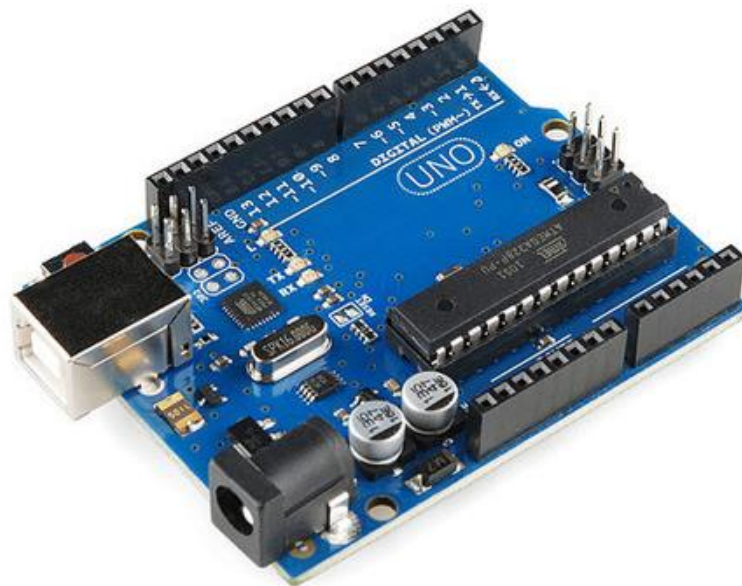


Figura 16: Arduino UNO.
Fonte: Arduino.cc.

O circuito Integrado responsável pelo processamento é o ATMEGA328, o qual possui 28 pinos e é fixado na placa através de um soquete para fácil retirada, caso seja necessária a troca do chip ou a utilização em outros dispositivos.

O módulo Arduino UNO possui 14 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser utilizadas como saída PWM - Modulação de largura de pulso (do original Pulse Width Modulation), 6 entradas

analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação e um botão de reset. Cada pino digital pode ser configurado como entrada ou como saída e sua corrente máxima suportada é de 40mA. As 6 entradas analógicas possuem resolução de 10 bits, ou seja, realizam a leitura de 1024 valores de tensão.

O Arduino pode ser alimentado pela conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa que pode ser de um adaptador CA para CC ou uma bateria. A tensão suportada no conector de alimentação é de 6 a 20 volts.

A placa Arduino UNO possui comunicação serial via USB e suporte para comunicação UART TTL 5v através dos pinos digitais 0 e 1, além de comunicação I2C e SPI.

Na Figura 17 observa-se o microcontrolador juntamente com o sensor de corrente e o modulo RS485, assim como a organização dos fios e conexões.

Para facilitar manutenções, foi instalado um conector DB25 onde se encontram os fios de alimentação e comunicação dos dispositivos que ficam mais distantes do Arduino.

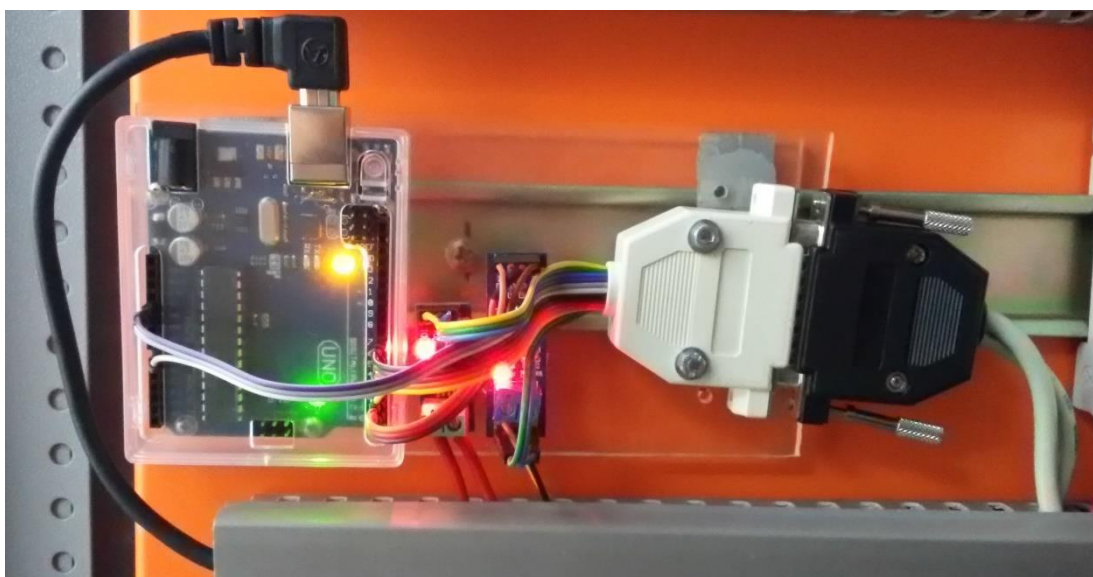


Figura 17: Módulo Arduino no painel.
Fonte: Autoria Própria.

3.1.2 Sensor de corrente

Para realizar a medição da corrente de campo do gerador, foi utilizado o sensor ACS712 (Figura 18) do fabricante Allegro MicroSystems. Este sensor é capaz de realizar a leitura de corrente alternada ou contínua de -30A a +30A. A sua medição é realizada a partir do efeito hall que detecta o campo magnético gerado pela passagem de corrente, isso evita que a corrente do circuito em que a medição está sendo feita possa influenciar ou danificar o sensor ou o microcontrolador.



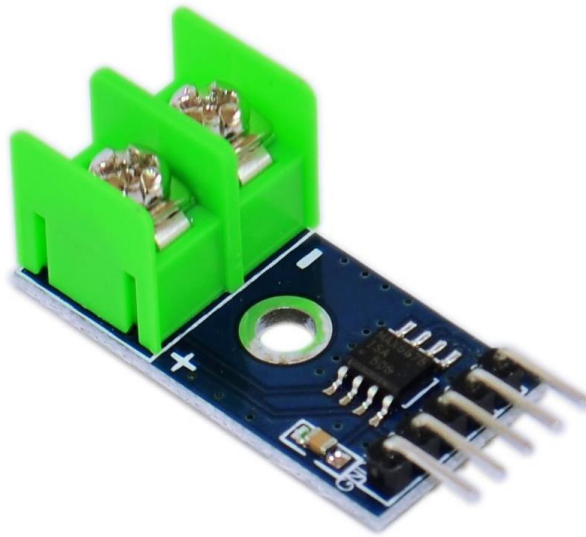
Figura 18: Sensor de corrente ACS712.
Fonte: Filipe Flop.

O sensor ACS712 possui um terminal de 2 vias tipo KRE, no qual é conectado o circuito a ser medido e um terminal de 3 vias para alimentação e comunicação com o microcontrolador. Sua alimentação é de 5V e é realizada nos pinos um e três. O pino dois é o pino de saída que é conectado na entrada analógica do microcontrolador.

Este sensor tem uma sensibilidade de 66mV/A com temperatura ambiente de 25°C, ou seja, cada ampere medido na entrada, corresponde à 66mV na saída. O tempo de resposta do sensor de corrente é de 5 μ s.

3.1.3 Sensor de temperatura

A medição da temperatura do gerador foi realizada com o módulo de temperatura MAX6675 do fabricante Maxim, conforme pode ser observado na Figura 19.



**Figura 19: Sensor de temperatura MAX6675.
Fonte: Green Electronics Store.**

Sua resolução é de 12 bits, o que resulta em uma faixa de medição de 0°C a +1023,75°C, porém este módulo utiliza um sensor termopar tipo K que o que limita o seu range de medição de 0°C a +800°C. A sonda de temperatura (Figura 20) que acompanha o módulo possui uma blindagem que protege os condutores da temperatura e de fontes eletromagnéticas.



Figura 20: Termopar tipo K.
Fonte: Green Electronics Store.

A comunicação do sensor de temperatura com o microcontrolador é do tipo SPI e utiliza três pinos: SCK (serial clock), CS (chip select) e SO (serial output). Sua alimentação é de 3V a 5,5V.

3.1.4 Módulo RS485

Como a placa Arduino não possui comunicação RS485, foi necessário a utilização de um conversor TTL/RS485, o qual é apresentado na Figura 21. Este dispositivo é conectado à um barramento RS485 e converte esse sinal para o padrão TTL 5V.

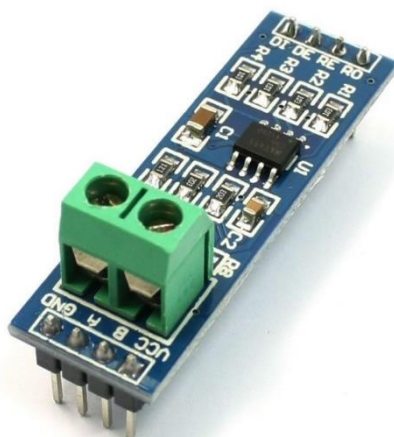


Figura 21: Módulo MAX485.
Fonte: MSSEletrônica.

Este dispositivo é alimentado por 5V e possui dois terminais para conexão com o barramento RS485 e quatro terminais para conexão com o microcontrolador, sendo eles: DI (driver input), RO (receiver output), DE (driver output enable) e RE (receiver output enable).

O módulo pode atingir uma taxa de transmissão de 2,5Mbps e pode transmitir a uma distância de até 1200 metros.

3.1.5 Sensor de temperatura e umidade DHT11

O sensor de temperatura e umidade DHT11 é um sensor de baixo custo, possui comunicação digital com o microcontrolador e necessita de uma corrente média de $300\mu\text{A}$.

Na Figura 22, tem-se o sensor DHT11 onde é possível observar que a placa onde se encontra o microcontrolador e os sensores é envolvida por um encapsulamento de material plástico para proteção.

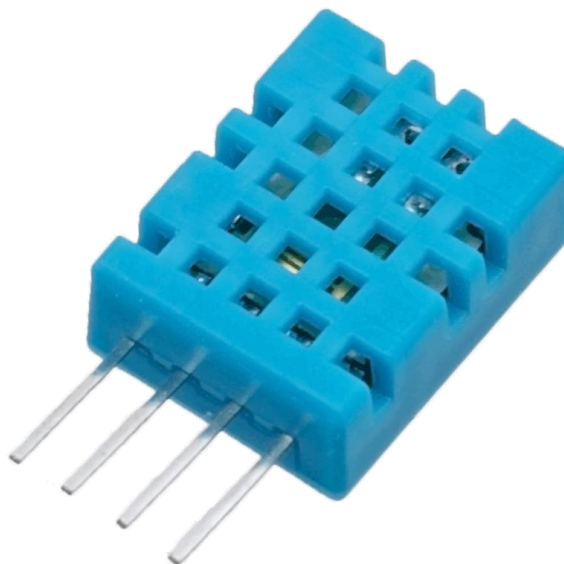


Figura 22: Sensor de temperatura e umidade DHT11.
Fonte: Eletrodex.

O sensor DHT11 possui quatro terminais, sendo o primeiro e o último o VCC e o GND, respectivamente. O terceiro não é utilizado e o segundo terminal é a saída do sensor, onde são transmitidos os dados

de temperatura e umidade a partir de uma comunicação serial. Este sensor faz leituras de temperatura de 0 a 50°C e umidade de 20 a 90% UR (umidade relativa), o que é suficiente para medições de temperatura e umidade ambiente. O elemento sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC (do inglês *Negative Temperature Coefficient*) e o sensor de umidade é do tipo HR202. A precisão de medição de temperatura é de 2°C para mais ou para menos e a precisão de medição de umidade é de 5% UR para mais ou para menos.

3.1.6 Módulo de ensaio de máquinas CA AZEHEB

Este projeto utiliza-se da estrutura do módulo de ensaio de máquinas CA do fabricante AZEHEB para a instalação do microcontrolador, como também dos dados do gerador G2, que estão presentes no multimedidor acoplado ao painel.

O Painel é apresentado na Figura 23 e tem como principal função possibilitar, de forma didática, o acionamento e a supervisão de três motores de indução e três geradores trifásicos.



Figura 23: Módulo de ensaio de máquinas.
Fonte: Autoria própria.

No painel existem dispositivos de acionamento, de proteção e de interface, que serão apresentadas nas próximas seções.

3.1.6.1 Multimeditores

Os multimeditores do fabricante KRON (Figura 24) possibilitam a visualização de vários parâmetros elétricos em sistemas de corrente

alternada. No painel AZEHEB existem seis multimedidores do modelo MULT-K, três para os motores e três para os geradores.

No multimetido há três displays de três dígitos, cada display exibe informações referentes à cada fase. Há também leds que indicam a unidade da informação que é exibida na tela e também botões para navegação e parametrização do instrumento.



Figura 24: Multimetro.
Fonte: Kron Medidores.

Este dispositivo é capaz de realizar medições de até 44 grandezas elétricas e disponibilizar essas informações localmente, através dos displays, ou remotamente, por meio de sua interface serial.

Na Tabela 2 são apresentadas as grandezas elétricas que o multimetro mede.

Tabela 2: Grandezas elétricas medidas no multimedidor.

Grandeza	Unidade
Tensão	Vc.a.
Corrente	Ac.a.
Potência Ativa	W
Potência Reativa	VAr
Potência Aparente	VA
Fator de potência	-
Frequência	Hz
THD – Distorção Harmônica Total	%
Energia Ativa Positiva	KWh
Energia Ativa Negativa	KWh
Energia Reativa Positiva	KVArh
Energia Reativa Negativa	KVArh
Demanda Média Ativa	KW
Demanda Média Aparente	KVA
Demanda Máxima Ativa	KW
Demanda Máxima Aparente	KVA
Máxima Tensão Trifásica	Vc.a.
Máxima Corrente Trifásica	Ac.a.

Fonte: Manual do usuário MULT-k – KRON.

Cada uma das grandezas medidas pelo multimedidor, possui um registro, ou seja, um endereço para ser acessado via comunicação serial.

O multimedidor possui uma interface de comunicação que utiliza como meio físico o RS485 e o protocolo de comunicação é o Modbus-RTU, o que possibilita o uso de até 247 multimedidores em uma mesma rede de comunicação.

3.1.6.2 Inversores de Frequência

Para o acionamento dos motores existem no painel três inversores de frequência modelo CFW08 do fabricante WEG. Os inversores estão instalados no interior do painel, porém as IHMs dos inversores estão localizadas na parte frontal do painel, assim como as chaves de acionamento de funções, que tem a função de habilitar o inversor, selecionar o sentido de giro e alterar a frequência. Na Figura 25 observa-se o conjunto de chaves juntamente com as IHMs dos inversores de frequência.

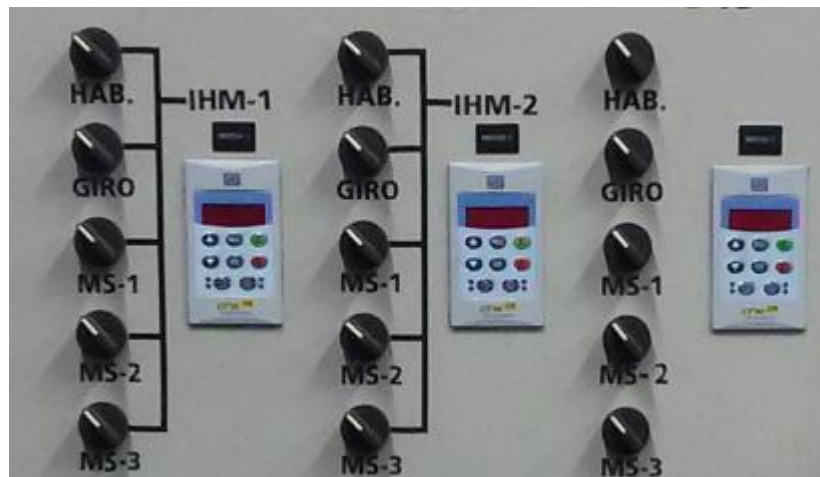


Figura 25: Acionamento dos inversores de frequência.
Fonte: Autoria própria.

3.1.6.3 Cargas

No interior do painel estão instalados os bancos de resistores, de capacitores e de indutores, que têm a função de simulação de cargas acopladas aos geradores.

O módulo resistivo é constituído de 15 resistores que dissipam uma potência ativa de 400 watts cada na tensão de 220V, formando quatro conjuntos de três resistores ligados em triângulo, que dissipam 1200W cada e um conjunto de três resistores ligados em estrela, formando uma potência de 400W para simulação de cargas menores. No

painel há um grupo de chaves para acionar cada um dos conjuntos resistivos e esse grupo é identificado pela letra “R”, conforme Figura 26. Os 15 resistores ficam instalados em um compartimento com ventilação forçada, pois geram aquecimento quando ligados por períodos mais longos.



Figura 26: Chaves seletoras das cargas.
Fonte: Autoria própria.

O módulo indutivo é composto por 15 indutores, sendo que cada indutor dissipa uma potência reativa de 400VAr na tensão de 220V. Os indutores estão ligados em triângulo, em conjuntos de três, formando cinco conjuntos de 1200VAr. Cada conjunto é acionado por uma chave na coluna “L” do grupo de chaves, conforme Figura 26.

O banco capacitivo é formado por 15 capacitores que dissipam uma potência reativa unitária de 400 VAr ligado na tensão de 220V. Assim como os indutores, os capacitores também são ligados em conjuntos de três unidades formando uma ligação triângulo, totalizando cinco conjuntos de três capacitores, sendo que cada conjunto tem uma potência de 1200VAr e cada conjunto acionado por uma chave na coluna “C”, demonstrado na Figura 26.

3.1.6.4 Coluna de sincronismo

Em qualquer tipo de geração de energia elétrica, em que a geração é conectada à rede da concessionária, necessita-se que a tensão, a frequência e a fase estejam perfeitamente em sincronismo. Esta é a finalidade da coluna de sincronismo (Figura 27), que está instalada na parte frontal do painel.



Figura 27: Instrumentos de sincronismo.
Fonte: Autoria própria.

O voltímetro, que é o primeiro instrumento da Figura 27, tem a finalidade de mostrar ao operador a tensão gerada no ponteiro V1 e a tensão da rede da concessionária no ponteiro V2. Os dois ponteiros devem estar alinhados, assim a tensão gerada será igual a tensão da rede.

O segundo instrumento da Figura 27 é o frequencímetro, que tem a finalidade de mostrar ao operador a frequência da energia elétrica gerada no mostrador 1 e a frequência da rede no mostrador 2. Assim o operador pode fazer ajustes na velocidade de rotação do gerador para que a frequência do gerador esteja sincronizada com a frequência da rede.

E por fim, tem-se o sincronoscópio, que tem como função mostrar ao operador se a tensão do gerador e a tensão da rede estão em fase. Esta informação é mostrada em um ponteiro giratório que deve permanecer apontado para a seta vermelha, na parte superior do

instrumento. Se este permanecer assim, as tensões se encontram em fase.

3.1.6.5 Chave de excitação do gerador

A corrente de campo do gerador é controlada de forma automática ou manualmente a partir de uma chave seletora. Na Figura 28 é observada a chave de excitação e a chave seletora manual/automático.



**Figura 28: Chaves de excitação da corrente de campo.
Fonte: Autoria própria.**

Se o circuito de excitação está em modo automático, a corrente de campo do gerador é ajustada automaticamente dependendo da tensão

de saída do gerador. Porém em modo manual, é possível selecionar 7 posições na chave denominada CH.EXC.

3.1.6.6 Conversor RS485/RS232

Como os multimedidores tem uma interface de comunicação serial que utiliza o meio físico RS485 e o microcomputador disponibiliza uma porta serial RS232, se faz necessário a utilização de um conversor RS485/RS232, mostrado na Figura 29.



Figura 29: Conversor RS485/RS232.
Fonte: Advantech.

O conversor presente no painel é o modelo 4520 da marca Adam do fabricante Advantech, e está instalado no interior do painel. O barramento RS485 que é composto de dois fios, está conectado aos pinos RT e TX do conversor e a comunicação do conversor com o microcomputador é realizada através de um cabo com conectores DB9.

3.1.7 Motores e geradores

Acionados pelo painel AZEHEB, há três motores, denominados M1, M2 e M3 e três geradores, denominados G1, G2 e G3, conforme é observado na Figura 30.



Figura 30: Geradores e motores.
Fonte: Autoria própria.

Os motores de indução presentes no sistema são do tipo gaiola assíncronos trifásicos do modelo W22 do fabricante Weg e têm potência de 3 KW cada. Na Figura 31 é possível observar os dados do motor.

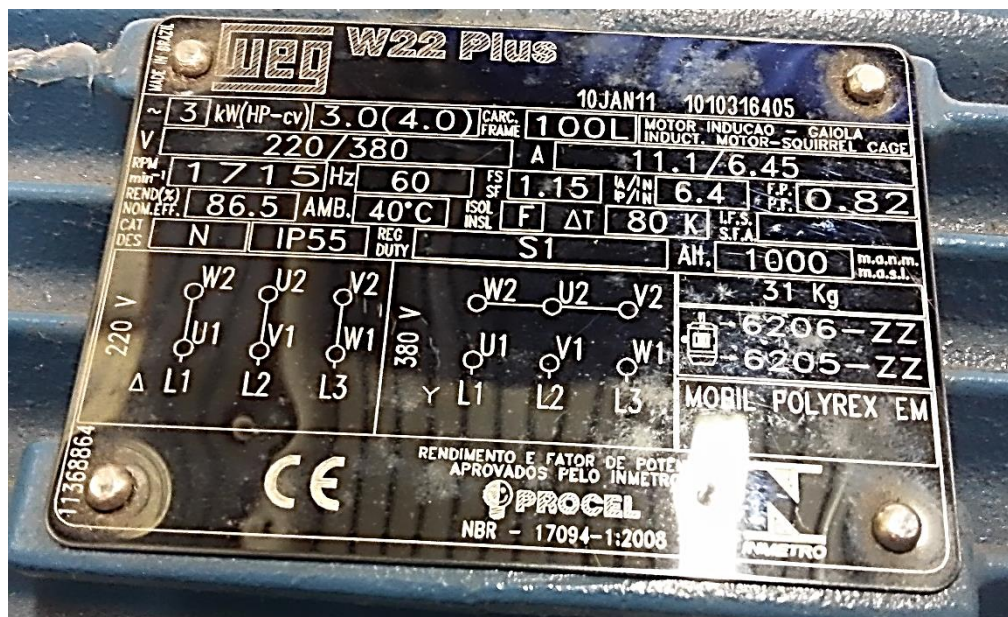


Figura 31: Placa de identificação do motor.
Fonte: Autoria própria.

Os motores têm a finalidade de acionar os geradores, ou seja, são a fonte de energia primária do sistema de geração. Existe um acoplamento mecânico entre os eixos do motor e do gerador.

Um motor assíncrono W22 também é utilizado para fazer a função do gerador G1.

A geração é realizada a partir de dois geradores síncronos modelo KS280 do fabricante Nova, cujo os dados de placa são apresentados na Figura 32.



Figura 32: Placa de identificação do gerador.
Fonte: Autoria própria.

O gerador tem potência nominal de 3KVA, 4 polos, rotação nominal de 1800RPM e fator de potência de 0,80.

3.2 MÉTODO

3.2.1 Medição da corrente de campo

No circuito da corrente de campo foi adicionado o sensor de corrente ACS712. Na Figura 33 tem-se o esquemático do circuito de campo, o qual é composto por um transformador, chave de excitação, ponte retificadora, chave S1, circuito de excitação, sensor de corrente e pelos enrolamentos do rotor do gerador.

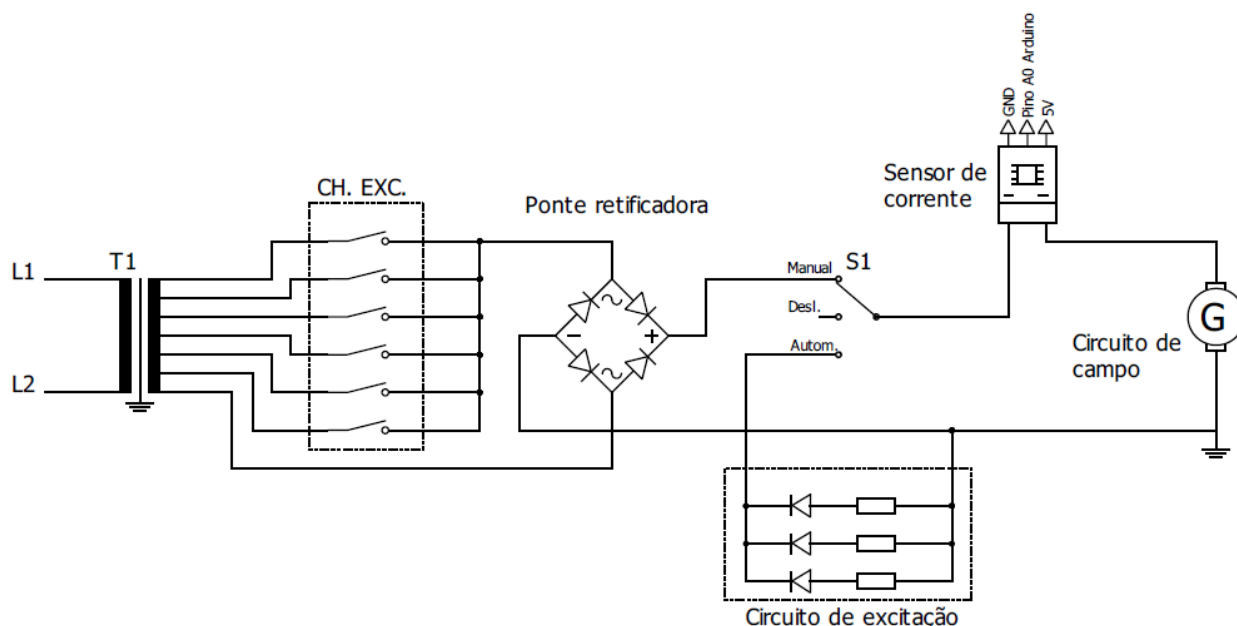


Figura 33: Diagrama de ligação do circuito de campo.
Fonte: Diagrama painel AZEHEB (adaptado).

O sensor de corrente utilizado no circuito é do tipo invasivo, ou seja, é necessário interromper o circuito para realizar a medição. O condutor que faz a interligação da chave S1 com o enrolamento do rotor foi interrompido para a ligação do sensor.

3.2.2 Rede de comunicação

A comunicação dos multimedidores e do Arduino com o sistema supervisório presente no microcomputador é realizada através do barramento RS485. Este barramento é composto de dois fios, sendo eles data+ e data-. O módulo arduino se conecta a este barramento a partir da comunicação UART TTL5, disponível nos pinos 0 e 1 do Arduino, passando pelo módulo RS485 e deste para o barramento RS485. Na Figura 34 tem-se o diagrama da ligação dos multimedidores e do arduino ao barramento RS485.

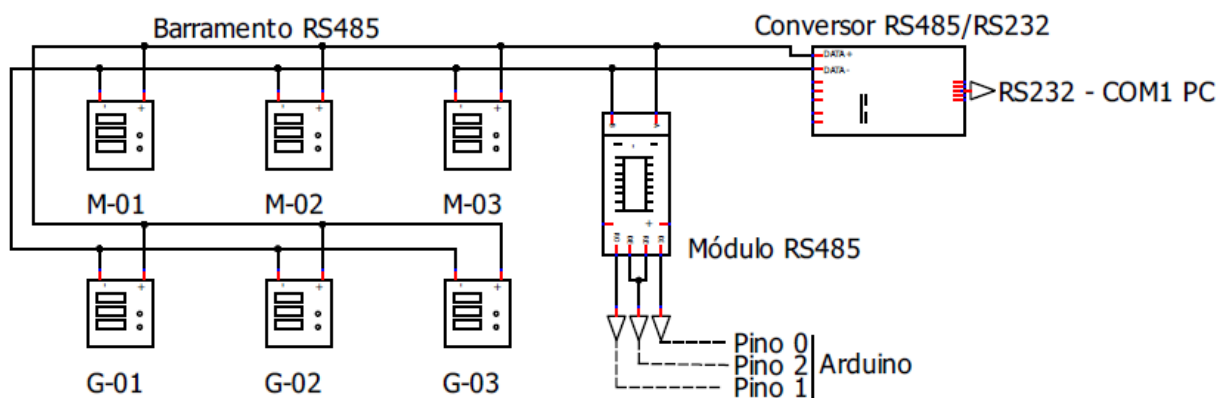


Figura 34: Diagrama comunicação.
Fonte: Autoria própria.

No diagrama da Figura 34 é possível observar que a comunicação utiliza a topologia tipo barramento e todos os dispositivos estão ligados no barramento.

O protocolo de comunicação da rede é o Modbus RTU, o qual necessita que cada elemento da rede tenha um endereço que deve ser único para cada dispositivo. Os multimedidores e o Arduino estão configurados conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Endereçamento dos dispositivos.

Dispositivo	Endereço
Multimedidor M-01	001
Multimedidor G-01	002
Multimedidor M-02	003
Multimedidor G-02	004
Multimedidor M-03	005
Multimedidor G-03	006
Módulo Arduino	007

Fonte: Autoria própria.

Além das configurações de endereçamento, os dispositivos da rede devem seguir o protocolo mestre/escravo. O microcomputador a partir do driver de comunicação do Eclipse está configurado como mestre e os outros dispositivos como escravo.

Todos os elementos da rede Modbus estão configurados para operarem com velocidade de 9600bps (bits por segundo), start bit 1 e no padrão 8N2, ou seja, 8 bits de dados, N (none) – sem paridade e stop bit 2.

3.2.3 Medição de temperatura do gerador

O sensor de temperatura utilizado no projeto consiste em uma placa, onde se encontra o CI 6675 e um termopar tipo K. O termopar foi fixado na carcaça do gerador com silicone com o objetivo de se ter o máximo de transferência de temperatura do gerador para o sensor.

O diagrama de ligação pode ser visto na Figura 35.

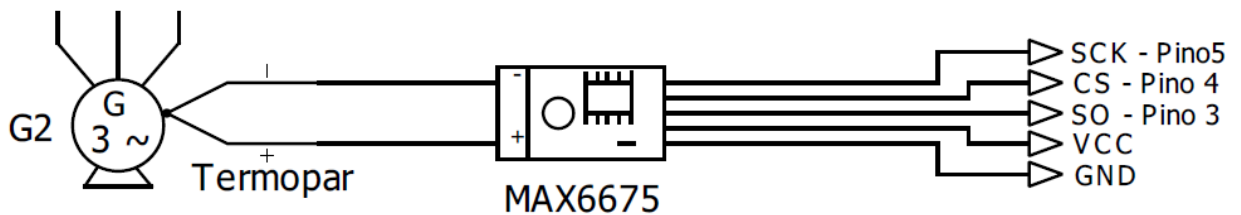


Figura 35: Diagrama de ligação do sensor de temperatura.
Fonte: Autoria própria.

A placa MAX6675 foi instalada junto ao gerador pois o comprimento do cabo do termopar é de aproximadamente 40 centímetros. Esse cabo não pode ter seu comprimento alterado, pois a diferença de potencial gerada na junção do sensor pode sofrer alteração com a mudança de comprimento do cabo. Com isso a placa foi fixada em um compartimento plástico, e este na lateral da carcaça do gerador (Figura 36).



Figura 36: Localização do sensor de temperatura.
Fonte: Autoria própria.

No compartimento foi instalado um conector DB9 fêmea e um led para indicar a alimentação do sensor.

A interligação do módulo MAX6675 com o Arduino se fez com um cabo de cinco metros que têm os seus condutores protegidos por uma blindagem, visto que o roteamento do cabo é feito juntamente com os cabos de potência do gerador e do motor, essa medida evita que o campo eletromagnético gerado pelos cabos de potência possa causar falhas na comunicação do sensor.

3.2.4 Módulo Arduino

O módulo Arduino foi programado para comunicar no protocolo Modbus no modo escravo, ou seja, o Arduino só envia alguma informação quando houver uma solicitação do dispositivo mestre. Esta configuração é realizada por meio de uma biblioteca inserida na inicialização do Arduino, a qual é encontrada no próprio software de programação.

Na Figura 37 observa-se a ligação do Arduino com as placas controladoras dos sensores, conversor TTL/RS485 e o led.

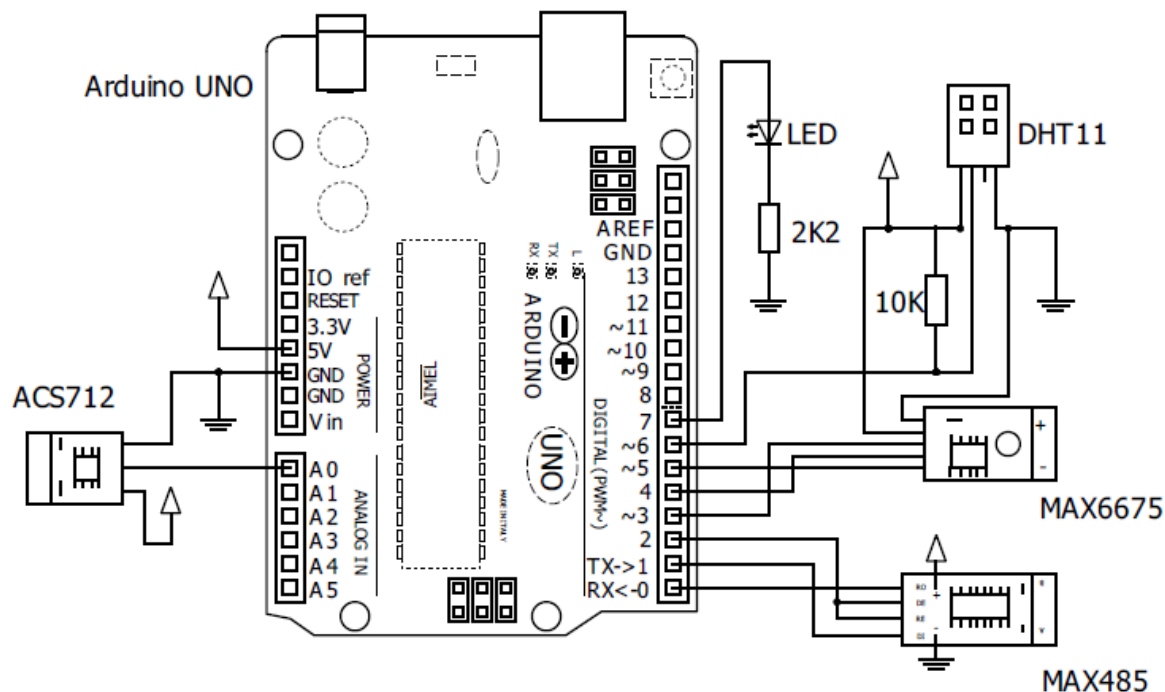


Figura 37: Diagrama de ligações módulo arduino.
 Fonte: Autoria própria.

Como todos os periféricos conectados ao microcontrolador operam com tensão de 5V DC, optou-se por utilizar uma fonte AC/DC com tensão de saída de 5V DC e conectada à entrada USB da placa.

No projeto utilizou-se 8 portas digitais e uma porta analógica, sendo que a conexão de cada porta está descrita na Tabela 4.

Tabela 4: Portas utilizadas no Arduino.

Porta	Descrição
Digital 0	Pino RO do módulo RS485
Digital 1	Pino DI do módulo RS485
Digital 2	Pino DE e RE do módulo RS485
Digital 3	Pino SO do módulo MAX6675
Digital 4	Pino CS do módulo MAX6675
Digital 5	Pino SCK do módulo MAX6675
Digital 6	Pino 2 (Data) do DHT11
Digital 7	LED
Analógica 0	Pino OUT do ACS712

Fonte: Autoria própria.

O painel estando energizado e botão de emergência não pressionado, ao acionar o disjuntor geral do painel, o módulo Arduino inicializa automaticamente.

A inicialização do Arduino se dá da seguinte maneira: Primeiramente são criados todos os registros das variáveis que o arduino monitora. Esses registros são utilizados no driver de comunicação do Elipse.

No Arduino há cinco variáveis que estão configuradas com os seguintes registros:

```
TERMO_REG_AN = 500 (Temperatura);
CORRENTE_REG_AN = 501 (Corrente de campo);
TEMP_REG_AN = 502 (Temperatura ambiente);
UMID_REG_AN = 503 (Umididade relativa);
ALAR_REG_COIL = 504 (Alarme).
```

Após a inicialização, o microcontrolador permanece em modo de operação, no qual é realizada a leitura dos sensores e transmissão dos dados para o barramento Modbus, além de realizar a leitura da TAG de alarme do supervisório e atualizar a respectiva saída. O código de programação completo do Arduino pode ser visualizado no apêndice B deste projeto.

3.2.5 Sinalização de temperatura alta do gerador.

O principal objetivo deste projeto é monitorar a temperatura do gerador e sinalizar ao operador a alta temperatura do mesmo. Desta maneira foi criado no supervisório Elipse um alarme que monitora a variável de temperatura do gerador. Foi tomada como referência a classe de isolamento do gerador, classe F, que indica que o gerador pode operar com uma temperatura máxima de 155°C.

Como o sensor de temperatura está instalado na carcaça do gerador, onde a temperatura é menor que nos enrolamentos, o alarme foi configurado para acionar aos 115°C. Com isso o supervisório aciona um TAG chamado “alarme” e envia esta informação ao Arduino que ativa o LED ligado na porta digital 7, possibilitando ao operador uma tomada de decisão quanto ao desligamento do gerador.

3.2.6 Sistema supervisório

O sistema supervisório foi desenvolvido para apresentar de forma clara todos os dados referentes ao gerador G2, de maneira que o professor ou o aluno possa realizar testes ou atividades didáticas no supervisório.

As principais finalidades do sistema são: Apresentar os dados provenientes do multimedidor G-02 e do Arduino na tela principal do sistema, apresentar graficamente as variáveis de temperatura e corrente de campo do gerador, possibilitar o armazenamento das variáveis em banco de dados, mostrar o histórico dos dados na tela do sistema, gerar relatório com as variáveis armazenadas no banco de dados e disponibilizar o histórico de dados em uma tabela Excel.

3.2.6.1 Tela inicial

A tela inicial do sistema supervisor é uma tela de boas-vindas ao sistema (Figura 38). Nesta tela são mostrados os logotipos da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná e do DAELT - Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, como também a data e hora atual e um texto com a descrição “Entrar”, que ao ser clicado, abre a tela principal do sistema.

Aplicação E3 Viewer - Screen Title



7-mai-2017 16:20:03

**Bem vindo ao supervisor de monitoramento do
gerador G2**

Entrar



Figura 38: Tela Inicial do supervisor.
Fonte: Autoria própria.

3.2.6.2 Tela principal

Ao clicar no texto “Entrar” da tela inicial, o usuário é direcionado à tela principal do supervisor (Figura 39). Nesta tela o usuário tem acesso às variáveis medidas, ao menu de navegação e aos alarmes.

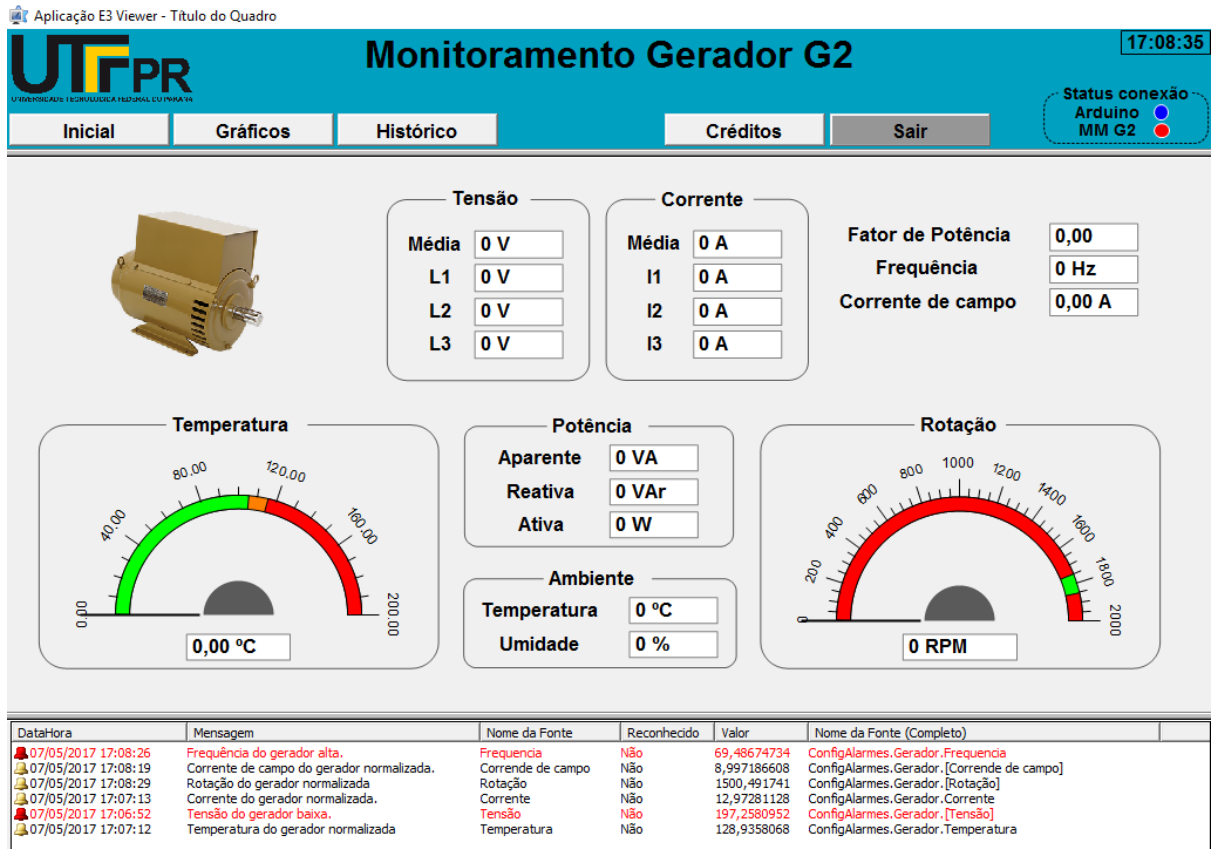


Figura 39: Tela principal do sistema.
Fonte: Autoria própria.

Para facilitar a navegação entre as telas, foi utilizado um recurso do programa Elipse que é a inserção de um quadro. O quadro possibilita a organização e a estruturação da interface, criando visualizações compostas dentro da janela principal do navegador. O quadro da aplicação em questão foi seccionado em três áreas, sendo elas: Área superior, área central e área inferior.

A área superior é destinada a exibir a tela de menu, a qual sempre estará fixa nesta posição, independentemente da tela escolhida pelo usuário.

A tela de menu contém os botões das telas inicial, gráficos, histórico, créditos e um botão “sair”, além de um display que mostra a hora atual e um status de comunicação do Elipse com o multimedidor e com o Arduino, que ao detectar uma falha na comunicação, gera uma sinalização na cor vermelha e, caso contrário, uma sinalização na cor azul.

Na área central do quadro é exibida a tela das variáveis, a tela dos gráficos ou a tela de histórico. E por fim, na área inferior, é exibida continuamente a tela de alarmes.

O botão “Inicial” abre a tela de visualização das variáveis. Essas variáveis estão dispostas na tela de maneira que cada parâmetro fique agrupado para uma melhor organização dos dados. Nesta tela as informações são exibidas em tempo real.

Foram disponibilizadas nesta tela 18 parâmetros, sendo que 14 são provenientes do multimedidor G-02 e 4 do Arduino. Do multimedidor foram transmitidos os dados de tensão média, tensão de linha (F1/F2, F2/F3 e F3/F1), corrente média, corrente das fases (I1, I2 e I3), potência ativa, potência reativa, potência aparente, fator de potência, frequência e velocidade de rotação, que é medida a partir da frequência.

Do Arduino foram transmitidos os dados de temperatura do gerador, corrente de campo, temperatura ambiente e umidade.

Para que se tenha uma melhor visualização das variáveis de temperatura e rotação, foram inseridos mostradores com ponteiros. Com esses mostradores é possível identificar de maneira clara se o valor medido está fora do recomendado.

Na área inferior da tela principal é exibida uma lista com os alarmes referentes ao gerador. Os parâmetros que geram alarme no sistema são: Temperatura, rotação, tensão média, corrente média, frequência e corrente de campo. Cada alarme exibido na tela tem as seguintes informações: Data e hora do alarme, mensagem, fonte, reconhecimento, valor e nome completo da fonte.

3.2.6.3 Gráficos

A tela de gráficos (Figura 40) contém a área onde os gráficos são exibidos, uma legenda, dois setpoints para a inserção da data e hora inicial e final de exibição do gráfico e um botão para exibição dos dados em tempo real.

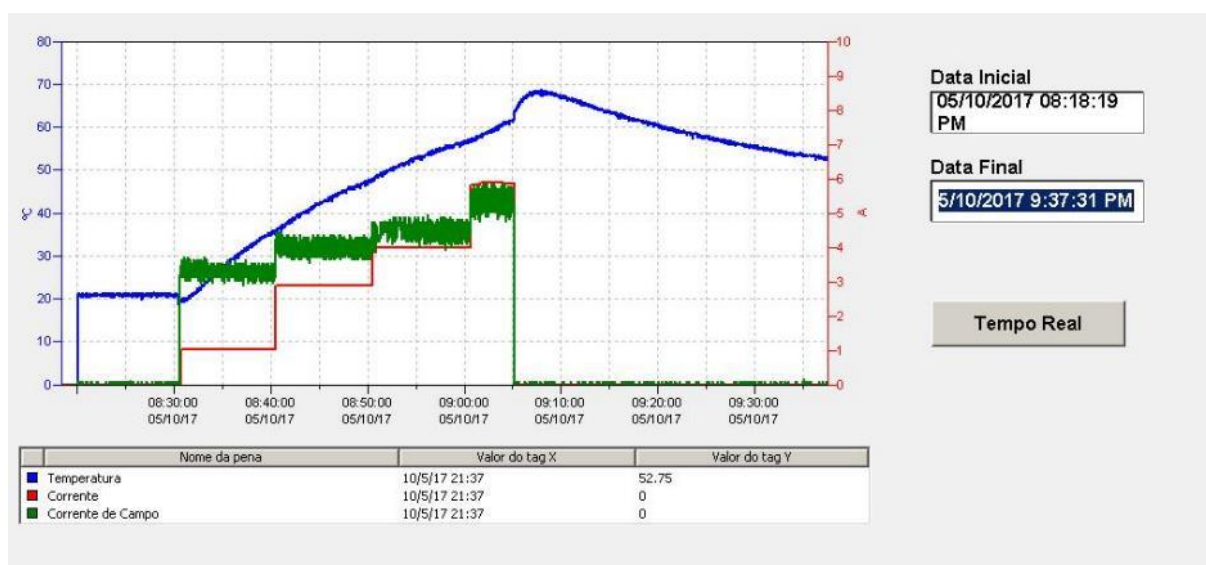


Figura 40: Tela de gráficos.
Fonte: Autoria própria.

No gráfico são mostradas três séries de dados: Corrente média das fases, corrente de campo e temperatura do gerador. Essas três variáveis estão sobrepostas no mesmo gráfico para ser possível realizar uma comparação entre a corrente e a temperatura.

Para exibir uma serie de dados em um período específico é necessário selecionar a data inicial e a data final desejada nos campos à direita do gráfico. Clicando no botão “Tempo Real”, é exibido um gráfico com os dados em tempo real acrescido do último período histórico de três minutos.

No gráfico da Figura 40 tem-se um exemplo de curva gerada na operação do gerador com aplicação de cargas resistivas. A curva de temperatura do gerador é exibida na cor azul, a variação da corrente média das fases na cor vermelha e a corrente de campo na cor verde.

Para saber o valor do parâmetro em uma determinada posição da curva, basta clicar no ponto desejado que a informação é mostrada na legenda, abaixo do gráfico.

3.2.6.4 Histórico

A tela “Histórico” (Figura 41) tem a função de apresentar ao usuário as variáveis que estão armazenadas no banco de dados.

Na tabela são exibidos os dados de potência ativa, potência reativa, tensão média, corrente média, frequência, temperatura do gerador, corrente de campo e fator de potência, além da data e hora da leitura de cada parâmetro.

	E3TimeStamp	Pot_Ativa	Pot_Reativa	Tensão	Corrente	Frequência	Temperatura	Corrente_campo	FP
▶	18/04/2017 22:54:15	651	698	20	8,96	7	27,35	4,2	0,16
	18/04/2017 22:54:16	678	651	21	9,56	6	29	4,6	0,18
	18/04/2017 22:54:17	676	574	22	10,26	5	32,01	5	0,2
	18/04/2017 22:54:18	700	512	23	10,85	3	36,79	5,49	0,22
	18/04/2017 22:54:19	752	428	21	11,15	4	40,58	5,89	0,24
	18/04/2017 22:54:20	808	348	18	11,42	5	42,43	6,37	0,25
	18/04/2017 22:54:21	866	279	13	11,65	5	45,06	6,77	0,26
	18/04/2017 22:54:22	899	248	10	12,14	5	49,55	7,1	0,26
	18/04/2017 22:54:23	896	250	11	12,38	5	52,42	7,5	0,27
	18/04/2017 22:54:24	888	249	12	12,45	5	56,37	7,94	0,27
	18/04/2017 22:54:25	871	222	15	12,59	5	60,37	8,41	0,28
	18/04/2017 22:54:26	861	184	17	12,54	6	64,37	8,81	0,29
	18/04/2017 22:54:27	822	205	19	12,56	6	69,34	9,21	0,3
	18/04/2017 22:54:28	769	232	23	12,32	8	73,34	9,61	0,32
	18/04/2017 22:54:29	701	225	28	12,28	9	75,77	9,87	0,32
	18/04/2017 22:54:30	631	219	33	12,21	10	79,48	10,05	0,32
	18/04/2017 22:54:31	579	196	38	12,34	12	84,15	10,38	0,32
	18/04/2017 22:54:32	493	217	44	12,48	14	87,08	10,78	0,33
	18/04/2017 22:54:33	411	252	50	12,45	15	88,43	11,18	0,33
	18/04/2017 22:54:34	344	289	56	12,61	17	89,29	11,54	0,33
	18/04/2017 22:54:35	276	345	61	12,52	18	88,18	12,03	0,34

Registro: 1 de 26842

Data Inicial

14/02/2017 17:39:33

Data Final

07/05/2017 17:39:39

Consultar

Gerar Relatório

Gerar tabela Excel

Figura 41: Tela de histórico.

Fonte: Autoria própria.

Para visualizar os dados em um período específico, basta clicar no campo “Data Inicial”, assim abrirá uma tela de seleção de data e horário, conforme Figura 42. Selecionar nesta tela a data e o horário desejado, repetir a operação para a data final e clicar em consultar

E3TimeStamp	Pot_Ativa	Pot_Reativa	Tensão	Corrente	Frequência	Temperatura	Corrente_campo	FP
-------------	-----------	-------------	--------	----------	------------	-------------	----------------	----

Data Inicial

Data Final

Consultar

Gerar Relatório

Gerar tabela Excel

Data e hora

maio de 2017

dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
30	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

16:29:02

OK Cancelar

Registro: 11 de 0

Figura 42: Tela para seleção de data e horário.
Fonte: Autoria própria.

O botão “Gerar Relatório” carrega todas as informações da tabela que está sendo visualizada no momento para um relatório em formato A4. Este relatório pede ser visualizado na Figura 43.

Relatório de dados do Gerador G2								
Data/Hora	Potência Ativa	Potência Reativa	Tensão	Corrente	Temperatura	Corrente de Campo	Frequência	FP
10/05/2017 16:36:23	2904	3248	8	28,56	130,92	15,90	11	0,32
10/05/2017 16:36:24	2811	3249	9	28,40	132,09	16,32	12	0,32
10/05/2017 16:36:25	2731	3243	11	28,46	134,43	16,55	12	0,32
10/05/2017 16:36:26	2668	3238	15	28,41	137,14	16,98	12	0,33
10/05/2017 16:36:27	2580	3257	20	28,52	139,06	17,38	13	0,34
10/05/2017 16:36:28	2506	3296	24	28,36	142,55	17,86	14	0,35
10/05/2017 16:36:29	2446	3372	30	28,01	146,22	18,26	15	0,37
10/05/2017 16:36:30	2359	3451	35	27,88	150,00	18,57	16	0,38
10/05/2017 16:36:31	2279	3505	40	27,90	152,79	18,80	16	0,41
10/05/2017 16:36:32	2185	3574	46	27,67	153,61	18,89	16	0,42
10/05/2017 16:36:33	2105	3640	51	27,35	153,35	19,16	17	0,44
10/05/2017 16:36:34	2025	3671	55	26,91	151,79	19,06	17	0,46
10/05/2017 16:36:35	1964	3700	59	26,28	151,38	18,78	18	0,48
10/05/2017 16:36:36	1901	3748	64	25,78	150,85	18,43	19	0,50
10/05/2017 16:36:36	1826	3775	67	25,39	151,47	18,20	20	0,52

Relatório gerado dia 10/5/2017 16:36

Figura 43: Relatório dos dados.
Fonte: Autoria própria.

Também é possível gerar uma tabela com a extensão “XLS”, para ser aberta no programa Microsoft Excel, sendo assim possível criar gráficos de outros parâmetros e fazer análises mais detalhadas.

A criação de tabelas “XLS” pode ser feita clicando no botão “Gerar tabela Excel”, com isso é aberta uma janela para nomear o arquivo e selecionar o local onde o arquivo será salvo.

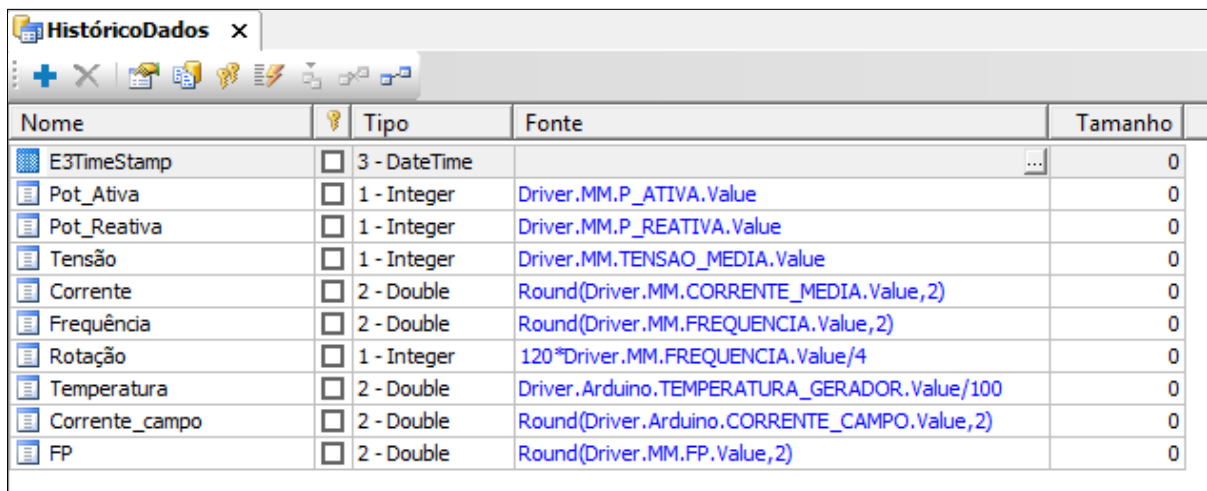
3.2.6.5 Banco de dados

O banco de dados em um sistema supervisorio é extremamente importante, pois permite o armazenamento dos dados do processo para análises futuras, além de ser a fonte de dados para a geração de relatórios e gráficos.

Neste projeto os dados são armazenados em um arquivo de extensão “MDB”, que é o arquivo de dados padrão do Microsoft Access.

A frequência de armazenamento dos dados está configurada para um período de um segundo, ou seja, a cada segundo o sistema armazena o valor de cada variável no banco de dados.

Na Figura 44 observa-se a tela de configuração do armazenamento no banco de dados.



Nome	Tipo	Fonte	Tamanho
E3TimeStamp	3 - DateTime		0
Pot_Ativa	1 - Integer	Driver.MM.P_ATIVA.Value	0
Pot_Reativa	1 - Integer	Driver.MM.P_REATIVA.Value	0
Tensão	1 - Integer	Driver.MM.TENSAO_MEDIA.Value	0
Corrente	2 - Double	Round(Driver.MM.CORRENTE_MEDIA.Value,2)	0
Frequência	2 - Double	Round(Driver.MM.FREQUENCIA.Value,2)	0
Rotação	1 - Integer	120*Driver.MM.FREQUENCIA.Value/4	0
Temperatura	2 - Double	Driver.Arduino.TEMPERATURA_GERADOR.Value/100	0
Corrente_campo	2 - Double	Round(Driver.Arduino.CORRENTE_CAMPO.Value,2)	0
FP	2 - Double	Round(Driver.MM.FP.Value,2)	0

Figura 44: Banco de dados.
Fonte: Autoria própria.

3.2.6.6 Comunicação Modbus

A comunicação Modbus foi realizada a partir do Driver Modicon Modbus v3.0.11. O qual foi configurado para operar no modo Modbus RTU, porta de comunicação COM1, Velocidade 9600bps, data bits 8, sem paridade e stop bits 2.

Na Figura 45 observa-se a janela de configuração do driver, onde são exibidas as operações padrão disponíveis. Neste projeto não foi necessário criar outras operações, foram utilizadas as operações 01, 02 e 06 disponíveis no driver.

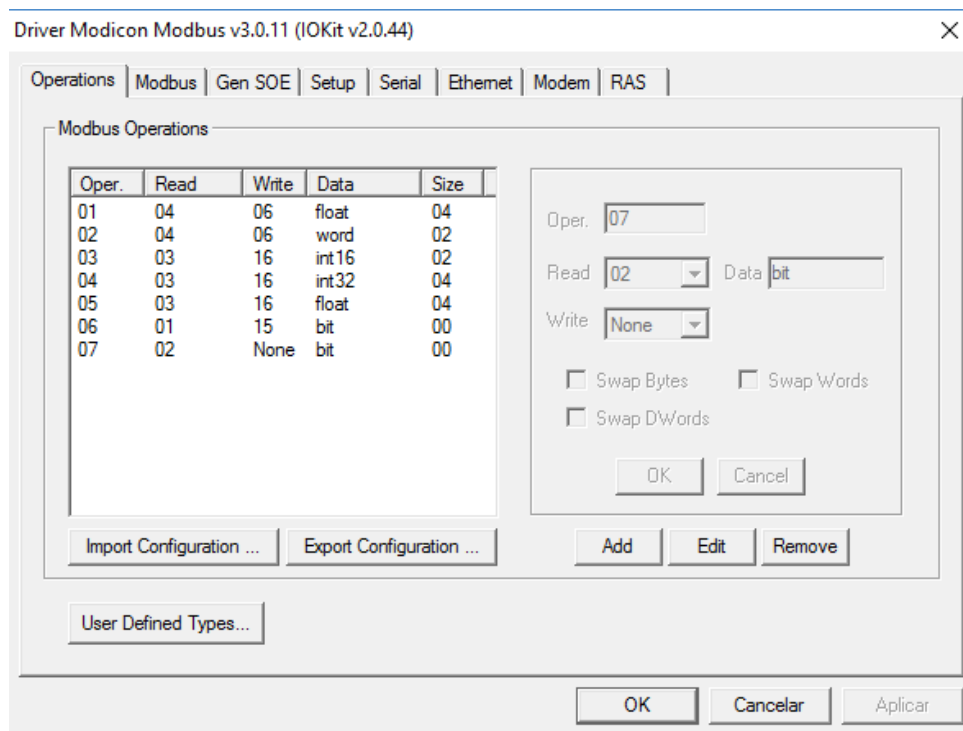


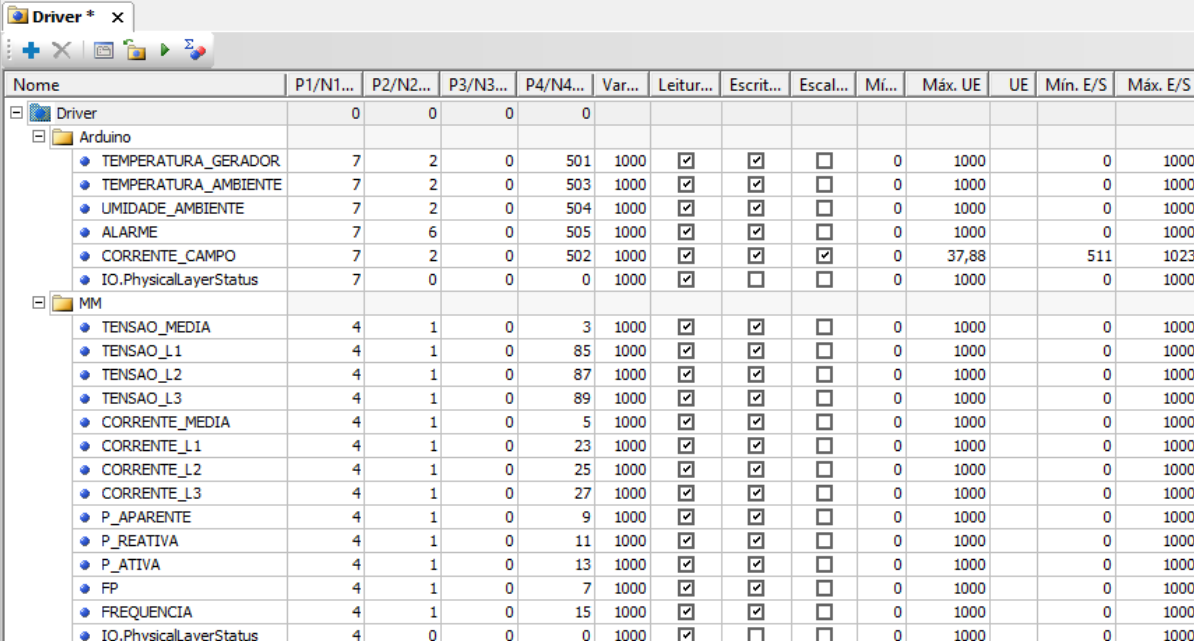
Figura 45: Driver de comunicação.
Fonte: Autoria própria.

A operação 01, que está configurada como *read* 04, *write* 06, dados do tipo *float* e setadas as configurações de *swap bytes* e *swap words* foi utilizada para a comunicação com o multimedidor. A operação 02 está configurada como *read* 04, *write* 06 e tipo de dados *word* e é utilizada para a leitura dos registros analógicos do microcontrolador

Arduino. E por fim a operação 06 é utilizada para a escrita de um valor digital no Arduino.

Na Figura 46 são mostradas as variáveis que estão sendo transferidas para o supervisor, juntamente com a configuração de cada uma delas.

Há ainda um TAG para o Arduino e um TAG para o multimedidor, chamado de IOPhysicalLayerStatus. Esse TAG monitora o status da conexão com o seu respectivo dispositivo.



Nome	P1/N1...	P2/N2...	P3/N3...	P4/N4...	Var...	Leitur...	Escrit...	Escal...	Mi...	Máx. UE	UE	Mín. E/S	Máx. E/S
Driver	0	0	0	0									
Arduino													
TEMPERATURA_GERADOR	7	2	0	501	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
TEMPERATURA_AMBIENTE	7	2	0	503	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
UMIDADE_AMBIENTE	7	2	0	504	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
ALARME	7	6	0	505	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
CORRENTE_CAMPO	7	2	0	502	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	37,88		511	1023
IO.PhysicalLayerStatus	7	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
MM													
TENSAO_MEDIA	4	1	0	3	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
TENSAO_L1	4	1	0	85	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
TENSAO_L2	4	1	0	87	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
TENSAO_L3	4	1	0	89	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
CORRENTE_MEDIA	4	1	0	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
CORRENTE_L1	4	1	0	23	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
CORRENTE_L2	4	1	0	25	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
CORRENTE_L3	4	1	0	27	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
P_APARENTE	4	1	0	9	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
P_REATIVA	4	1	0	11	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
P_ATTIVA	4	1	0	13	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
FP	4	1	0	7	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
FREQUENCIA	4	1	0	15	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
IO.PhysicalLayerStatus	4	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000

Figura 46: Configuração das variáveis no driver.
Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Com os todos testes executados e o sistema operando sem falhas, foram realizados dois ensaios para demonstrar a capacidade do sistema de coletar dados e demonstradas possíveis análises com o estudo do relatório gerado pelo sistema.

4.1 ENSAIO

Para realização do ensaio no gerador, garantindo resultados verdadeiros, o mesmo permaneceu desligado nas 12h anteriores ao ensaio. Desta forma, tanto sua carcaça, quanto enrolamentos do estator estavam em temperatura ambiente.

O arquivo de extensão "XLS" gerado através do sistema foi usado para análise dos dados. Este arquivo armazena as seguintes informações transmitidas pela rede em colunas da planilha:

- Hora: horário do registro (horário do sistema operacional);
- Potência Ativa (W): potência ativa medida em Watts;
- Potência Reativa (VAr): potência reativa medida em VAr;
- Tensão (V): tensão em Volts de linha medida;
- Corrente (A): corrente de linha;
- Temperatura (°C): temperatura medida na carcaça do gerador em graus Celsius;
- Corrente de campo (A): corrente de campo medida em amperes;
- Frequência (Hz): frequência da onda senoidal gerada em hertz;
- FP: valor nominal de 0 a 1 do fator de potência da potência gerada.

As informações são registradas com intervalos de 1 segundo.

O ensaio foi dividido em 6 estágios diferentes numerados de 0

a 5.

O primeiro estágio, ou estágio 0, se refere à condição inicial do sistema, antes mesmo do gerador ser ativado. A temperatura do estator deve ser a mesma temperatura ambiente, corrente de campo nula, e potências zeradas.

O segundo estágio é referente à primeira operação do sistema, o gerador é ativado, é realizada a conexão com o barramento de geração e ativada a carga resistiva equivalente a 400W, automaticamente a corrente de campo é ajustada pelo circuito de excitação para manter no nível desejado a tensão na saída do gerador.

O terceiro, quarto e quinto estágios se referem ao aumento da carga para 1200W, 1600W e 2400W, respectivamente.

O último estágio ocorre com o sistema desligado. A rotação do gerador deve ser nula.

Os registros realizados no banco de dados foram utilizados para analisar as alterações da temperatura em relação aos diferentes estágios do gerador e também da evolução das diferentes correntes de campo.

Foram realizados dois ensaios separados, em datas diferentes. O primeiro ensaio foi realizado com tempos de estágios não controlados. Cada estágio teve a duração necessária suficiente para notar-se a desaceleração da taxa de aumento de temperatura do gerador no estágio. Ou seja, com a percepção de que a temperatura começara a estabilizar, era iniciado o próximo estágio. O segundo ensaio foi realizado com tempos específicos de duração de cada estágio, 10 minutos para os estágios nº1, 2 e 3. Para o estágio nº 4 foi utilizado tempo reduzido de 5 minutos. O último estágio, em que o gerador estava desativado, o tempo foi o suficiente para fazer análises das alterações de temperatura.

4.2 RESULTADO DOS ENSAIOS

A Figura 47 é relativa ao primeiro ensaio e é possível observar a evolução da temperatura (linha azul) em relação ao aumento da corrente de campo (linha vermelha).

No primeiro estágio, mesmo com uma potência baixa, a taxa de aumento da temperatura é alta devido à grande diferença de temperatura entre o enrolamento do estator e também da temperatura ambiente. Com o aumento da corrente de campo nos enrolamentos do estator também há o aumento da potência dissipada “no cobre”, resultado da resistência do material condutor. Essa diferença de potência dissipada nos enrolamentos eleva os índices de temperatura do estator, acarretando em maiores taxas de aquecimento neste e nos estágios subsequentes.



Figura 47: Gráfico – Ensaio 1.
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que, a partir do momento em que a corrente é zerada, ou seja, o gerador é desligado, a temperatura segue um padrão inesperado. Ao invés de diminuir, esta aumenta de forma considerável, conforme explicação na página 76. Na Tabela 5 observa-se a taxa de aquecimento de forma quantitativa nos seis estágios do ensaio.

Tabela 5: Dados do ensaio 1.

Estágio	Início	Fim	Potência	Corrente média de campo	Temperatura Inicial	Temperatura Final	Taxa de aquecimento
0	-	20:28:25	0 W	0,00 A	24,75 °C	24,75 °C	0,00 °C/min
1	20:28:26	20:40:50	400 W	3,30 A	24,00 °C	41,50 °C	1,41 °C/min
2	20:40:51	20:56:55	1200 W	3,95 A	41,50 °C	55,25 °C	0,86 °C/min
3	20:56:56	21:07:23	1600 W	4,32 A	55,25 °C	61,75 °C	0,62 °C/min
4	21:07:24	21:08:32	2400 W	5,64 A	61,75 °C	62,75 °C	0,88 °C/min
5	21:08:39	21:11:41	0 W	0,00 A	62,75 °C	69,00 °C	2,06 °C/min

Fonte: Autoria própria.

É possível notar que, no primeiro estágio, a taxa de aquecimento é alta e reduz nos próximos dois estágios. No quarto estágio, a potência requerida ao gerador foi de 2400W, ou seja, 6 vezes mais do que a potência de 400W solicitada no primeiro estágio. Desta forma, houve aquecimento rápido nos enrolamentos que fez a temperatura subir 1 grau Celsius em pouco mais de 1 minuto. Entretanto, o estágio que teve maior taxa de aumento da temperatura foi o quinto e último, no qual o gerador esteve desligado, sendo mais do que o dobro do valor da taxa anterior.

O segundo ensaio, demonstrado na Figura 48, obteve mesma resposta de aquecimento que o ensaio 1. Mesmo com valores um pouco diferentes de temperatura e taxa de aquecimento (que são decorrentes das variações existentes entre os dois ensaios, como, por exemplo, valores de temperatura ambiente diferentes) o formato resultante do gráfico foi similar ao do primeiro ensaio. Ou seja, nota-se um aumento da temperatura conforme são acionadas as cargas resistivas e um aumento considerável de temperatura ocorre quando o gerador é desligado.

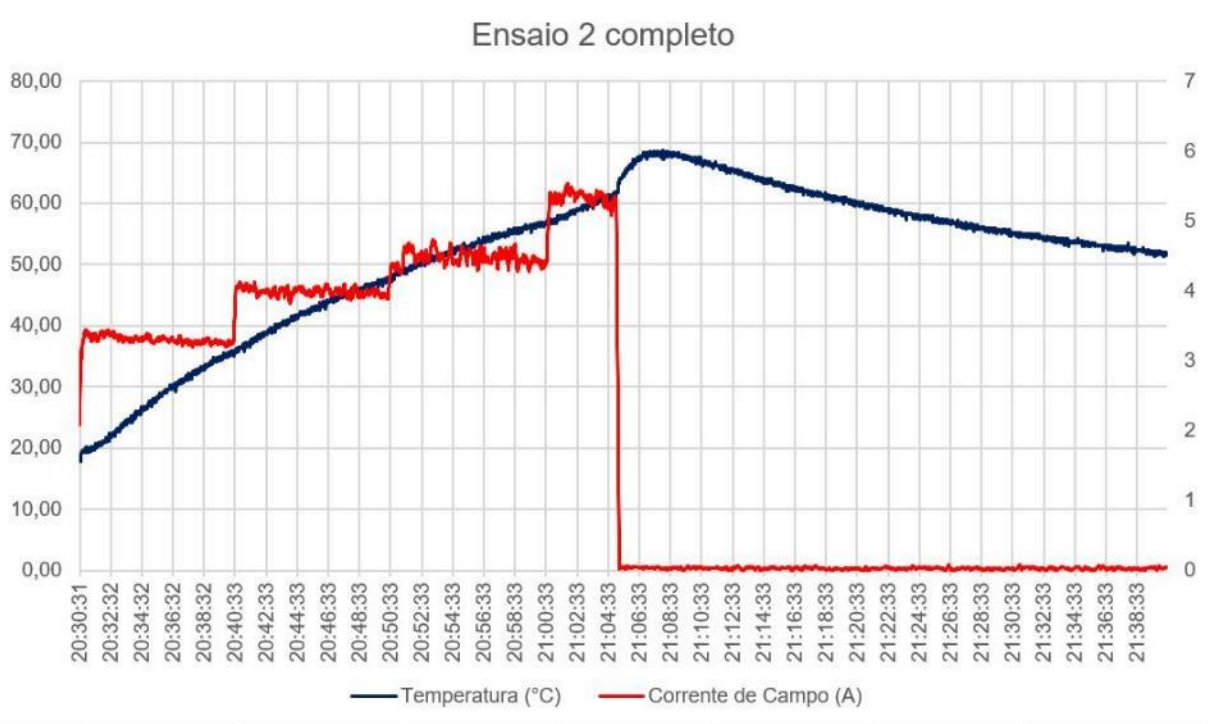


Figura 48: Gráfico – Ensaio 2.
Fonte: Autoria própria.

Todas essas informações ficam ainda mais claras quando expostas em tabela (Tabela 6). Fica evidente o incremento da temperatura em um período curto de tempo, no quinto estágio. Também é possível notar que se repetiu o padrão do ensaio 1 das alterações das taxas de aquecimento entre estágios, sendo alta no primeiro estágio, diminuindo nos estágios 2 e 3, voltando a crescer no quarto estágio e sendo alta a taxa no último estágio.

Tabela 6: Dados do ensaio 2.

Estágio	Início	Fim	Potência	Corrente média de campo	Temperatura Inicial	Temperatura Final	Taxa de aquecimento
0	-	20:30:44	0 W	0,00 A	19,25 °C	19,25 °C	0,00 °C/min
1	20:30:44	20:40:30	400 W	3,31 A	19,25 °C	36,00 °C	1,72 °C/min
2	20:40:32	20:50:31	1200 W	3,98 A	35,50 °C	48,00 °C	1,25 °C/min
3	20:50:33	21:00:40	1600 W	4,47 A	47,25 °C	57,25 °C	0,99 °C/min
4	21:00:42	21:05:09	2400 W	5,33 A	56,50 °C	62,00 °C	1,24 °C/min
5	21:05:11	21:08:02	0 W	-0,03 A	63,25 °C	68,75 °C	1,93 °C/min

Fonte: Autoria própria.

A mais significativa razão para o aumento considerável da taxa de aquecimento no último estágio é o desligamento da ventilação. Como a rotação do rotor do gerador é nula neste estágio, seu ventilador também está desligado. Assim sendo, o estator não recebe ventilação para resfriamento e calor mais elevado que se encontra nos enrolamentos do gerador é transferido para a carcaça, alcançando maiores temperaturas rapidamente.

5 CONCLUSÃO

As atividades realizadas neste trabalho foram: Instalação de um sensor de temperatura na carcaça do gerador, instalação de um sensor para a medição da corrente de excitação do campo do gerador, interligação desses sensores ao microcontrolador Arduino, conexão do Arduino ao barramento Modbus existente e desenvolvimento de um sistema supervisor para monitoramento das variáveis oriundas do Arduino e do multimedidor existente no módulo AZEHEB. Desta forma, ratifica-se que todos os objetivos específicos do projeto foram atingidos.

A necessidade de implementar o monitoramento das variáveis de temperatura e de corrente de campo do gerador com o módulo Arduino se deu devido ao alto custo dos equipamentos de medição atualmente disponíveis no mercado. O total gasto com a implementação desse sistema foi de R\$235,70, sendo que um equipamento capaz de executar a mesma função é encontrado no mercado por R\$1800,00 (Registrador eletrônico FieldLogger – Novus). Sendo assim, o baixo custo de implementação do sistema se mostrou um dos principais motivos para a realização deste projeto.

As principais dificuldades e limitações encontradas na realização do projeto foram devido às interferências eletromagnéticas oriundas do gerador. Todas as placas e sensores utilizados no projeto são alimentadas com tensão de alimentação de 5V DC e o sensor de temperatura utilizado tem uma sensibilidade na ordem de microvolts e qualquer interferência pode gerar medições errôneas. Para obter sucesso nas medições foram utilizados cabos com malha de blindagem além de isolação externa da blindagem, pois ao efetuar o contato da malha de blindagem com a carcaça do gerador, a medição se alterava.

Os conceitos e conhecimentos específicos necessários para a realização deste trabalho foram adquiridos ao longo do curso e complementados com bibliografias e conteúdos específicos. Disciplinas como Máquinas Elétricas, Linguagem de Programação, Sistemas Digitais

e Supervisão e Redes Industriais foram fundamentais para o desenvolvimento das atividades.

O desenvolvimento do projeto se deu primeiramente com a identificação de um problema ou uma melhora em algum processo, foram então listadas possíveis soluções. Posteriormente foram definidos os materiais e o método para a obtenção dos resultados desejados. Com isso fez-se a compra dos materiais, programação do Arduino e do sistema supervisorio, testes em bancada e integração dos módulos com o painel AZEHEB. Na implementação de cada dispositivo, foram realizados testes para garantir o perfeito funcionamento do sistema de monitoramento. Com todos os dispositivos funcionando foram feitos dois ensaios práticos para coleta de dados do gerador, podendo assim verificar o perfeito funcionamento do sistema.

Para o prosseguimento e aperfeiçoamento do sistema de monitoramento do gerador, propõe-se para trabalhos futuros a captação dos níveis de vibração e ruído do gerador, disponibilizar dados em dispositivos mobile, assim como uma análise mais detalhada dos dados coletados, podendo-se fazer uma relação entre corrente de campo e corrente de carga para detectar defeitos nos enrolamentos do gerador. Com isso torna-se possível a realização de manutenções preditivas do gerador, proporcionando um aumento na vida útil com redução de custos de manutenção.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Helio S. de; DIAS, Marco A.; DUARTE, Sergio; PAIXÃO, Alexander C.; SOUZA, Anderson R. de; UZÊDA, Diego D. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.33, n. 1, mar. 2011.

BOHNEBERGER, Stefan L. **Análise de queima de motores de indução trifásico**. 2016. 29 f. Projeto de estágio (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2016.

CASSIOLATO, Cesar; TORRES, Leandro H. B.; PADOVAN, Marco A. **PROFIBUS – Descrição técnica**. Associação PROFIBUS Brasil. São Paulo. 2012

DELGADO, Joaquim D. B. Automatização industrial – Tecnologia CIM: Factores Críticos na Sua Implementação. **Revista Millenium**. Viseu, n. 9, jan. 1998. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/arq9_2.htm>. Acesso em: 02 abr. 2017.

FREITAS, Carlos Márcio. **Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações**. Embarcados. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HELSON, Ron. **Os Benefícios do Protocolo de Comunicação HART em Sistemas de Instrumentação Inteligentes**. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/hart>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

HART COMMUNICATION FOUNDATION. **Hart Communication – Application guide**. Disponível em: <https://www.fieldcommgroup.org/sites/default/files/technologies/hart/ApplicationGuide_r7.1.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

JURIZATO, Luís A.; PEREIRA, Paulo Sérgio R. Sistemas supervisórios. **Revista Network Technologies**. Nova Odessa, n. 1, p. 105-114, 2003.

KOSOW, Irving L., **Máquinas Elétricas e Transformadores**, 14ª edição, Ed. Globo, 2000.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MORAES, Everton. **Comandos Elétricos**. Disponível em: <<http://www.saladaeletrica.com.br/comandos-eletricos/>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO – OECD. **Manual de Frascati**. Gráfica de Coimbra: Coimbra, 2007.

PAIOLA, Carlos. E. G. O Papel Do Supervisório No Atual Contexto Tecnológico. **InTech**, jul. 2011.

PETRI, Jeferson. **Painel elétrico de comando e montagem de painéis**. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/painel-eletrico-comando-montagem/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

SALVADOR, Marcelo. A Internet das Coisas e seu papel no aumento da produtividade da indústria. **Brazil Automation**, São Paulo, v. 161, p. 32-40, jul. 2015.

SANTOS, Guilherme. **A pirâmide da automação industrial**. Automação Industrial. Disponível em: <<http://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

SOUZA, Vitor Amadeu. **O Protocolo Modbus. Cerne**. Disponível em: <<http://cerne-tec.com.br/Modbus.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

APÊNDICE A – SCRIPTS CRIADOS NO SISTEMA SUPERVISÓRIO

 Documentação de Scripts

Domínio: Projeto_TCC
 05/11/17 15:17:21

```
<TelaInicial.Texto4:Texto4_Click()>
Sub Texto4_Click()
Application.GetFrame("").OpenScreen "Quadro1?100?0", CLng(0)
```

End Sub

```
<TelaMenu.CommandButton2:CommandButton2_Click()>
Sub CommandButton2_Click()
Application.GetFrame("Central").OpenScreen "TelaPrinc?100?0",
CLng(0)
```

End Sub

```
<TelaMenu.CommandButton3:CommandButton3_Click()>
Sub CommandButton3_Click()
Application.DoModal "[Créditos]?100?0", "", 250, 200, , , CLng(0), -1
```

End Sub

```
<TelaMenu.CommandButton4:CommandButton4_Click()>
Sub CommandButton4_Click()
Application.GetFrame("Central").OpenScreen "[TelaGráficos]?100?0",
CLng(0)
```

End Sub

```
<TelaMenu.CommandButton6:CommandButton6_Click()>
Sub CommandButton6_Click()
Application.Exit()
```

End Sub

```
<TelaMenu.CommandButton7:CommandButton7_Click()>
Sub CommandButton7_Click()
Application.GetFrame("Central").OpenScreen "[TelaHistórico]?100?0",
CLng(0)
```

End Sub

```
<[Créditos].Texto6:Texto6_Click()>
```

```
Sub Texto6_Click()
Screen.Close(Code)
```

```
End Sub
```

```
<[TelaGráficos].spDataFinal:spDataFinal_Click()>
Sub spDataFinal_Click()
If Application.ShowDatePicker(DataHora, 700, 280) Then
Value=DataHora
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
<[TelaGráficos].spDataInicial:spDataInicial_Click()>
Sub spDataInicial_Click()
If Application.ShowDatePicker(DataHora, 700, 200) Then
Value=DataHora
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
<[TelaHistórico].CommandButton1:CommandButton1_Click()>
Sub CommandButton1_Click()
'Referência dos setpoints
DataIni=Screen.Item("setDataInicial").Value
DataFim=Screen.Item("setDataFinal").Value
```

```
Set Report = Application.LoadReport("RelatorioDados")
Report.Item("Consulta1").SetVariableValue "DataInicial", DataIni
Report.Item("Consulta1").SetVariableValue "DataFinal", DataFim
Report.PrintPreview()
```

```
End Sub
```

```
<[TelaHistórico].CommandButton2:CommandButton2_Click()>
Sub CommandButton2_Click()
'Referência dos setpoints
DataIni=Screen.Item("setDataInicial").Value
DataFim=Screen.Item("setDataFinal").Value
Set consulta = Screen.Item("E3Browser1").Item("Consulta1")
consulta.SetVariableValue "DataInicial", DataIni
consulta.SetVariableValue "DataFinal", DataFim
```

```
End Sub
```

```
<[TelaHistórico].CommandButton3:CommandButton3_Click()>
Sub CommandButton3_Click()
DataIni = Screen.Item("setDataInicial").Value
```

```

DataFim = Screen.Item("setDataFinal").Value

Set consulta1 = Screen.Item("E3Browser1").Item("Consulta1")
Set Report = Application.LoadReport("RelatorioExcel")

Report.Item("Consulta1").SetVariableValue>DataInicial", DataIni
Report.Item("Consulta1").SetVariableValue>DataFinal", DataFim

Report.Item("Consulta1").Execute

consulta1.SetVariableValue>DataInicial", DataIni
consulta1.SetVariableValue>DataFinal", DataFim

Screen.Item("E3Browser1").Item("consulta1").Execute
Screen.Item("E3Browser1").RetrieveE3QueryFields()
Screen.Item("E3Browser1").Requery()

If Application.ShowFilePicker(False, NomeArquivo,"xls", _
    128, "Arquivos xls|*.xls|Todos os arquivos|*.*") Then

Report.Export "EXCEL", NomeArquivo

End If

End Sub

<[TelaHistórico].setDataFinal:setDataFinal_Click()>
Sub setDataFinal_Click()
If Application.ShowDatePicker(DataHora, 700, 280) Then
Value=DataHora

End If

End Sub

<[TelaHistórico].setDataInicial:setDataInicial_Click()>
Sub setDataInicial_Click()
If Application.ShowDatePicker(DataHora, 700, 200) Then
Value=DataHora

End If

End Sub

```

APÊNDICE B – SCRIPTS CRIADOS NO MÓDULO ARDUINO

```

#include <Modbus.h>
#include <ModbusSerial.h>
#include <max6675.h>
#include <dht11.h>

//Modbus Registers Offsets (0-9999)
const int TERMO_REG_AN = 500;
const int CORRENTE_REG_AN = 501;
const int TEMP_REG_AN = 502;
const int UMID_REG_AN = 503;
const int ALAR_REG_COIL = 504;

//const int Entr_an = A0;
int analogPin = 0;
const int Saida_Alarme = 7;

int thermoDO = 3;
int thermoCS = 4;
int thermoCLK = 5;
int mVporAmp = 66;
int RawValue = 0;
int ACSoffset = 2500;
double tensao = 0;
double corrente = 0;
int leitura_temper;
long ts;

#define DHT11PIN 6
dht11 DHT11;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

// ModbusSerial object
ModbusSerial mb;

void setup()
{
  // Configurar Modbus Serial (port, speed, byte format,Pino RE/DE)
  mb.config(&Serial, 9600, SERIAL_8N2, 2);
  // Configurar o endereço ID escravo(1-247)
  mb.setSlaveId(7);

  ts = millis();

```

```

pinMode(Saida_Alarme, OUTPUT);
// Add SENSOR_IREG register - Use addIreg() for analog Inputs
mb.addIreg(TERMO_REG_AN);
mb.addIreg(CORRENTE_REG_AN);
mb.addIreg(TEMP_REG_AN);
mb.addIreg(UMID_REG_AN);
mb.addCoil(ALAR_REG_COIL);
}

void loop()
{
  //Call once inside loop()
  mb.task();

  if (millis() > ts + 500) {           //Ler os sensores a cada 500ms.

    ts = millis();
    DHT11.read(DHT11PIN);
    leitura_temper = thermocouple.readCelsius()*100;
  }
  mb.Ireg(TERMO_REG_AN, leitura_temper);           //Transmitir a
  leitura do sensor (°C) para o driver modbus.

  //RawValue = analogRead(Entr_an);
  //Ler e condicionar o sinal de corrente.
  //tensao = (RawValue/1024.0)*5000;
  //corrente = ((tensao - ACSoffset)/ mVporAmp);
  mb.Ireg(CORRENTE_REG_AN, (analogRead(analogPin)));

  mb.Ireg(TEMP_REG_AN, DHT11.temperature);
  mb.Ireg(UMID_REG_AN, DHT11.humidity);
  digitalWrite(Saida_Alarme, mb.Coil(ALAR_REG_COIL));

  //Transmitir o sinal de alarme do E3 para a saída.

}

```