

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO INTEGRADO A UMA APLICAÇÃO MOBILE PARA MONITORAMENTO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Danilo Kenji Katayama Assunção – danilokatayama@gmail.com

Gabriel de Sena Matos dos Santos – gabrielsen500@gmail.com

Prof. Dr. Ricardo Janes (Orientador) – ricardo.janes@mackenzie.br

RESUMO

Com o avanço tecnológico, surgiram diversos sistemas para controle e gerenciamento de subestações transformadoras de energia elétrica. O objetivo desses sistemas é a integração entre equipamentos de campo e *softwares* de supervisão, controle e aquisição de dados. A integração entre sistemas pode apresentar um valor muito alto, impossibilitando que este venha a ser implementado. O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um sistema supervisório utilizando o conceito do *open source* integrado a uma aplicação *mobile* para a visualização dos dados de uma subestação no *smartphone* do operador.

Palavras-chave: Automação de Subestações Elétricas. Sistemas SCADA. Aplicação *Mobile*.

DEVELOPMENT OF A SUPERVISORY SYSTEM INTEGRATED WITH A MOBILE APPLICATION FOR MONITORING ELECTRICAL SUBSTATIONS

ABSTRACT

With technological advances, several systems for the control and management of electrical energy transforming substations have emerged. The purpose of these systems is the integration between industrial field equipment and supervision, control and acquisition software. The integration between these systems can have a very high cost, making it impossible to be implemented. The purpose of this project is the development of a supervisory system using the concept of open source, integrated with a mobile application to preview substation's data on the operator's smartphone.

Keywords: Automation of Electrical Substations. SCADA Systems. Mobile Application.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais a sociedade contemporânea se torna dependente da energia elétrica, seja na utilização industrial, como até mesmo para a utilização de forma recreativa. O desenvolvimento tecnológico, o crescimento industrial e a melhora no padrão de vida em determinada sociedade são acompanhados pela evolução do consumo de energia através do aumento dos recursos energéticos (SIMABUKULO, 2006).

Os objetivos dos principais sistemas de gerenciamento e controle de subestações transformadoras de energia elétrica são: análise da qualidade de energia, controle e operação de manobras remotas e controle de banco de capacitores.

Um objeto de estudo muito importante na automação industrial para sistemas elétricos é a hierarquização da automação, conhecido popularmente como “pirâmide” da automação, conforme Moraes e Castrucci (2010), ela caracteriza os diferentes níveis de automação, indo desde o nível de aquisição de dados e controle manual até o nível de planejamento estratégico e gerenciamento corporativo. A maioria dos sistemas de supervisão de subestações possuem o foco em acesso local, chegando apenas ao nível 3 dessa hierarquização da automação, o controle de célula remota.

No ano de 2019 a Coordenação de Obras e Manutenção (COMAN) do Instituto Presbiteriano Mackenzie, iniciou o projeto de *Building Management System* (BMS). Esse projeto contempla o total monitoramento e controle dos sistemas de energia, reservatórios de água e sistemas prediais. Esse trabalho é uma extensão desse projeto, visando mostrar a integração de um sistema supervisorio com uma aplicação *mobile* para o monitoramento e gerenciamento de uma subestação de média tensão.

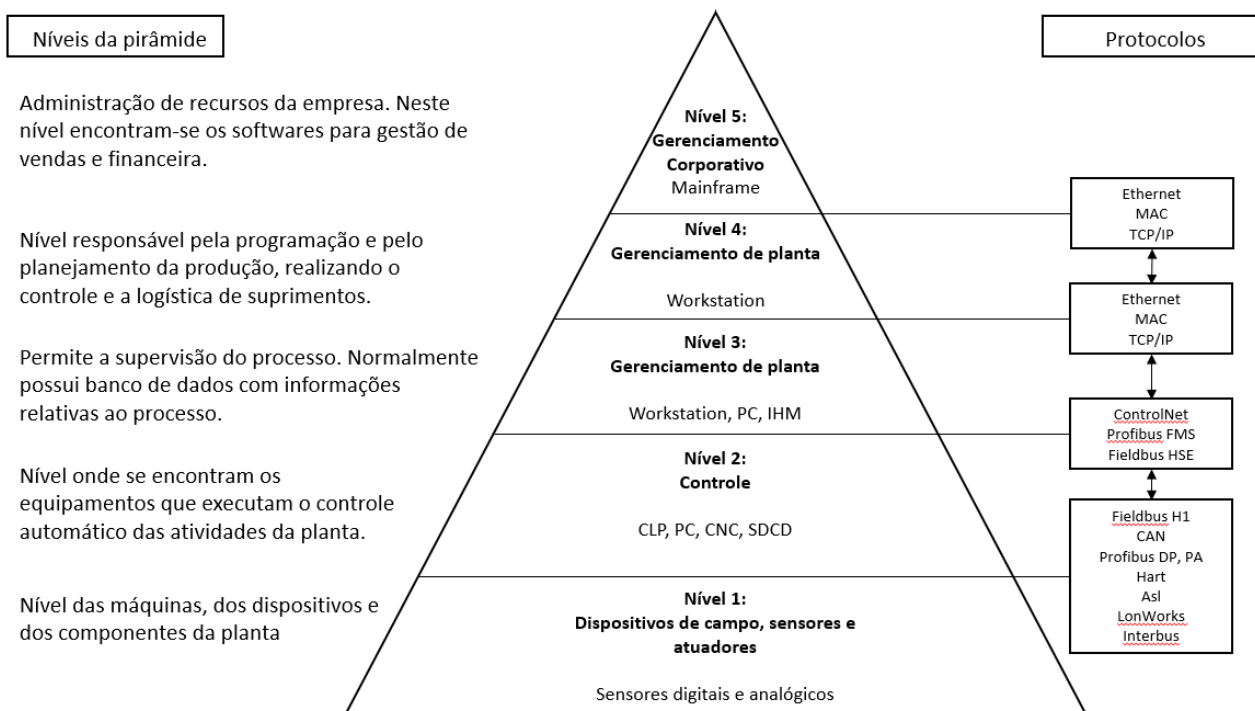
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO

A automação é hierarquizada através de cinco níveis distintos, cada um com uma função específica. O conjunto de funções dos cinco níveis pode ser visualizada na Figura 1. Para Moraes e Castrucci (2010, p.13),

Na base da pirâmide está frequentemente envolvido o Controlador Programável, atuando via inversores, conversores ou sistemas de partida suave sobre máquinas e motores e outros processos produtivos. No topo da pirâmide, a característica marcante é a informatização ligada ao setor corporativo da empresa.

Figura 1 - “Pirâmide” da Automação



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2010)

O nível 1 é composto por sensores digitais, analógicos e atuadores, sendo estes os principais dispositivos utilizados nos equipamentos físicos de uma fábrica. O nível 2 é composto pelos equipamentos de controle e é responsável pela operação da planta. O nível 3 é destinado à supervisão dos processos da planta industrial; nesse nível tem-se o *software* de supervisão conhecido como *supervisory control and data acquisition* (SCADA). O nível 4 é destinado ao gerenciamento da planta. Por fim, tem-se o nível 5 destinado ao gerenciamento corporativo; é nesse nível que se encontram os *softwares* de gestão de vendas, gestão financeira e *business intelligence* (BI), a solução computacional habitual utilizada neste nível é o *enterprise resource planning* (ERP). (SANTOS, 2012).

2.2 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Sistemas Supervisórios são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em bancos de dados locais ou remotos para fins de registro histórico. Os sistemas de supervisão podem ser implementados fisicamente em Interface Humano Máquina (IHM). (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

Ainda segundo Filippo Filho (2014, p.106),

O supervisório se comunica com os elementos presentes na rede, de acordo com a arquitetura hierárquica. As informações de qualquer equipamento chegam ao supervisório em tempo real possibilitando monitorar e controlar todos os processos de chão de fábrica. Os dados podem ser armazenados para processamento posterior. Uma característica importante do SCADA é sua capacidade de interface gráfica. O processo pode ser representado na forma de diagramas na tela de um monitor, com as informações de campo sendo monitoradas e armazenadas em tempo real. Os operadores podem intervir no processo através da tela ou teclado, a partir da sala de controle. Esse sistema possibilita a geração de relatórios detalhados do processo a partir dos dados armazenados.

Sistemas SCADA possuem um aglomerado de tecnologias que facilitam a operação de uma planta industrial. Dentre elas tem-se o registro de dados para futuras consultas, visualização de dados através de sinóticos, gráficos, relatórios, alarmes e eventos.

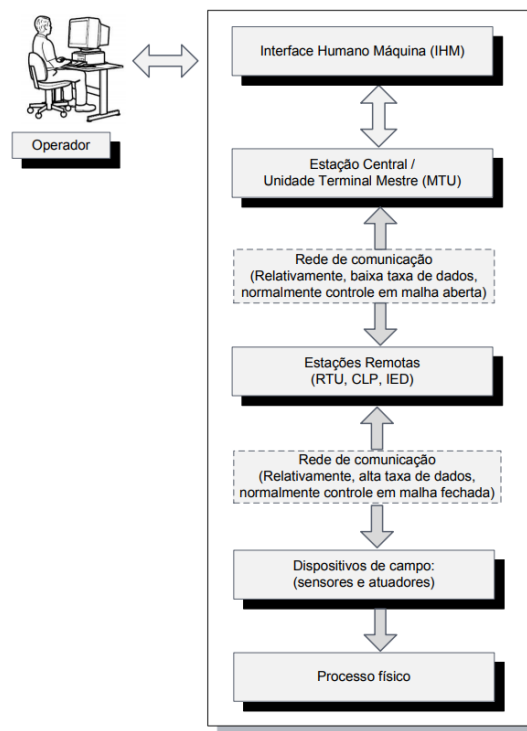
A utilização de sistemas supervisórios em uma indústria está atrelada à efetividade que o gerenciamento busca em sua produção. Conforme Andrade (2019), tem-se 5 motivos básicos para a utilização de sistemas SCADA, são eles: maior segurança operacional, melhoria em processos e produtos, redução de custos, integração com outros sistemas e aquisição de dados.

Para Krutz (2005), um sistema SCADA é composto por 7 elementos básicos, conforme a Figura 2, são eles:

- Operador: agente humano que interage com o sistema SCADA, podendo executar as ações do sistema supervisório e interpretar os dados adquiridos pelo supervisório;
- IHM: apresenta graficamente as informações do processo para que possa haver a interação entre o humano e a máquina;
- Estação Central: é a principal unidade de um sistema SCADA, responsável pela coleta de dados, gerenciamento da informação e armazenamento de informações;
- Rede de Comunicação: para que a estação de campo possa se comunicar com a estação central, se faz necessária a utilização de redes de comunicação. O projeto de um sistema de supervisão não contempla apenas um tipo de rede de comunicação, mas sim um conjunto de redes;
- Estação Remota: é um conjunto de elementos de controle como por exemplo um Controlador Lógico Programável (CLP). Esse nível está sempre localizado próximo a operação;
- Dispositivo de Campo: são os sensores e atuadores utilizados para o controle da operação;

- **Processo Físico:** é a própria produção na qual a planta está destinada e está diretamente ligada ao dispositivo de campo.

Figura 2 – Arquitetura de um sistema SCADA



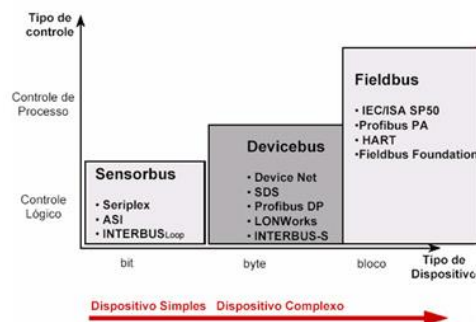
Fonte: Constain (2011, p. 8)

2.3 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

As redes de comunicação facilitam a integração entre dispositivos e supervisão de dados, possibilitando o monitoramento dos processos industriais. Pode-se compor uma rede de comunicação industrial através da classificação do tipo de rede, da topologia de rede, do meio físico de transmissão, da tecnologia de comunicação e do protocolo de comunicação.

Segundo Lugli e Santos (2019), as redes de campo são classificadas pelo equipamento conectado a elas. Podemos classificá-las em 3 tipos, conforme Figura 3.

Figura 3 - Classificação das Redes Industriais



Fonte: Lugli (2009)

A rede *Sensorbus* liga os equipamentos físicos da fábrica como por exemplo os sensores e atuadores. Esse tipo de rede tem como característica possuir alta velocidade e baixo custo.

A rede *Devicebus* está um nível acima da *Sensorbus* e necessita de alta velocidade, no entanto, esse tipo de rede é responsável pelo gerenciamento de equipamentos e dados.

A rede *Fieldbus* interliga os equipamentos de controle com processamento avançado. Estes por sua vez possuem um tempo de comunicação maior que as redes de nível mais baixo, no entanto, esse tipo de rede possui a capacidade de se comunicar com vários equipamentos e trafegar diversos tipos de dados.

Além do tipo de rede, a topologia física para o controle e aquisição de dados de uma planta industrial é necessária. A topologia física é a disposição construtiva na qual os dispositivos estão conectados. Pode-se classificar a topologia física em 4 tipos, ponto-a-ponto, barramento, anel e estrela. (LAMB, 2015).

A tecnologia de comunicação é a forma de gerenciamento entre os pontos de comunicação, conforme Moraes e Castrucci (2010), podemos classificá-las em 3 tipos, são eles:

- Mestre/Escravo: modelo na qual o equipamento escravo é um periférico que recebe uma informação do processo. O fluxo de informação é provido pelo escravo, desde que o mestre tenha feito uma requisição.
- Cliente/Servidor: esse modelo é caracterizado por trabalhar com os sistemas finais, podendo qualquer dispositivo alternar sua função entre cliente e servidor, muito utilizado em aplicações que envolvem o uso da *internet*. (KUROSE E ROSS, 2002).
- Produto/Consumidor: este modelo é caracterizado pelos identificadores, onde os dados possuem origem e destino. Com o uso desse modelo, os nós podem se conversar, ou seja, um mesmo nó pode assumir tanto o papel de produtor como o de consumidor.

Além das características físicas da rede, é necessária a utilização de protocolos de comunicação para a padronização das mensagens entre os dispositivos.

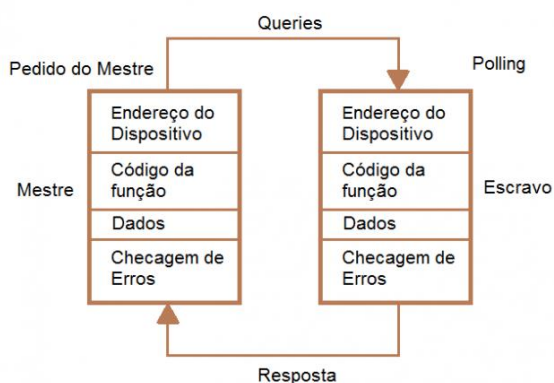
Segundo Freitas (2014), “O protocolo Modbus é uma estrutura de mensagem aberta desenvolvida pela Modicon na década de 70, utilizada para comunicação entre dispositivos mestre-escravo / cliente-servidor.”.

O protocolo Modbus Serial possui tecnologia de comunicação do tipo mestre/escravo, ou seja, apenas o mestre pode iniciar a comunicação. Neste protocolo apenas um mestre e no máximo 247 escravos podem ser conectados à rede. O mestre pode transmitir dois tipos de mensagens aos escravos, o *unicast*, onde o mestre envia uma requisição a um escravo definido e este por sua vez retorna uma resposta ao mestre, e o *broadcast*, onde o mestre envia requisições a todos os escravos e não é enviada mensagem de resposta para o mestre. O Modbus Serial aceita dois modos de

transmissão, RTU e ASCII. Os meios físicos de transmissão do Modbus Serial são os padrões, RS-485, RS-232 e RS-422. Todos os dispositivos dentro dessa rede devem estar configurados com o mesmo modo de transmissão. Já o Modbus TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) trabalha com o padrão *ethernet*, e é utilizado para aplicações que exigem maior taxa de transmissão de dados. (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

Os protocolos Modbus Serial e TCP/IP trabalham com o conceito de funções, ou seja, cada código de função representa uma operação, onde podemos escrever ou ler um *bit*, escrever ou ler uma instrução analógica (*byte* ou *word*) proveniente de um sensor ou um atuador. O mestre inicia a comunicação solicitando que os escravos enviem seus dados. Esses dados estão contidos em um bloco que possui o endereço do dispositivo na qual ele está requisitando, o código de função, os dados da operação e um código de checagem de erros. (Freitas, 2014). A Figura 4 mostra como é feito o ciclo de varredura e resposta e como é composto os blocos de comunicação.

Figura 4 - Quadro de mensagens do protocolo Modbus Serial - TCP/IP



Fonte: Freitas (2014)

2.4 COMPONENTES DE PROTEÇÃO E MONITORAMENTO EM SUBESTAÇÕES

Uma subestação é composta por diversos componentes, dentre eles se destacam os transformadores, chave seccionadoras, relés de proteção, cubículos e disjuntores.

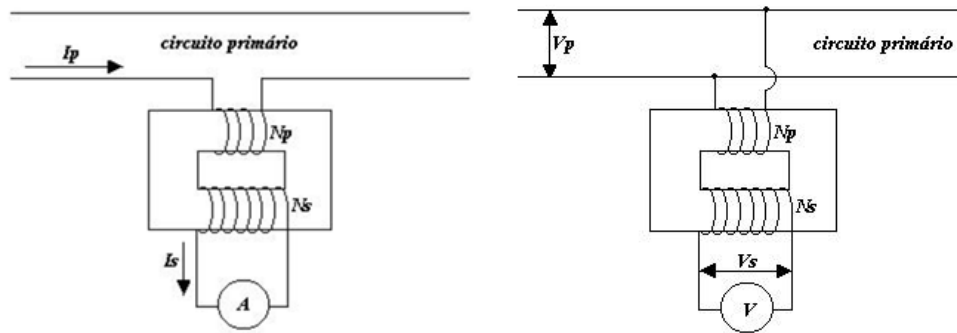
Segundo Barros e Gedra (2010, p. 88),

Os instrumentos de medição e proteção não podem ser conectados diretamente em um circuito de alta tensão, pois não são providos de isolamento para essa aplicação. Para que eles possam executar a sua função, precisam de um equipamento auxiliar conectado entre eles e a instalação elétrica, o transformador para instrumento.

Os transformadores para instrumento podem ser classificados em 2 tipos, o transformador de corrente (TC) e o transformador de potencial (TP). Ambos possuem a função de reduzir os valores das suas respectivas grandezas elétricas para valores padronizados que podem ser conectados na medição e proteção. Os valores de saída de um transformador para instrumento não são fixos, eles variam em função ao valor que percorre o enrolamento primário do transformador, sendo o valor

contido na saída do enrolamento secundário do transformador, proporcional à relação de transformação. O TC tem a função de suprir a corrente para os medidores e equipamentos de proteção com valores proporcionais aos circuitos de potência. O TP tem a função de suprir a tensão para medição dos componentes de proteção. Conforme Figura 5, temos o esquema de ligação de um TC, em série e um TP em paralelo ao circuito de medição.

Figura 5 - Tipo de ligação TC e TP



Fonte: Oliveira (2020)

O relé de proteção é um equipamento vital para o funcionamento de uma subestação. A proteção elétrica de alta tensão é geralmente operada por meio de relés de proteção atuando em conjunto aos transformadores para instrumento. Cada relé de proteção possui suas características que são marcadas por funções. Para cada função são definidos os parâmetros que determinam uma anomalia. As funções são definidas por números, esses números são padronizados pela IEC 61850. (BARROS E GEDRA, 2010).

Enquanto ao lado de alta tensão temos os relés de proteção para o monitoramento, na baixa tensão possuímos os multimedidores de grandezas elétricas, estes por sua vez são equipamentos microprocessados que trabalham em conjunto aos transformadores para instrumento e conseguem realizar medições em tempo real do sistema de potência. A medição é realizada através do TC e do TP que fornecem respectivamente corrente e tensão. Por sua vez o multimedidor calcula todas as outras grandezas e fornece para o operador através de uma IHM, os valores calculados (BARROS e GEDRA, 2010).

2.5 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARA SISTEMAS ELÉTRICOS

O padrão IEC 61850, publicado pela primeira vez em 2003 pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), introduziu os princípios para automação em sistemas elétricos de potência. As vantagens na utilização dessa norma estão voltadas para a interoperabilidade entre diversos fabricantes, facilidade na configuração, infraestrutura padrão e redução nos custos de engenharia. A arquitetura básica de uma rede local em uma subestação geralmente é formada por

cabos de rede (metálicos ou fibra óptica), *switches* e diversos *Intelligent Electronic Device (IED)* (VENTURELLI, 2017). (CABRAL e GIMENEZ, 2015).

Algumas camadas do modelo *Open System Interconnection (OSI)* são utilizadas em ambientes de subestações elétricas, segundo Cabral e Gimenez (2015), são utilizadas as camadas:

- Física: cabos de rede com pares trançados ou fibra óptica;
- Enlace: endereçamento físico MAC (*Media Access Control*);
- Rede: endereçamento lógico IP (*Internet Protocol*);
- Transporte: Conexões lógicas fim a fim TCP (*Transmission Control Protocol*);
- Aplicação: Aplicativos usando Modbus, DNP3, IEC104 e IEC 61850.

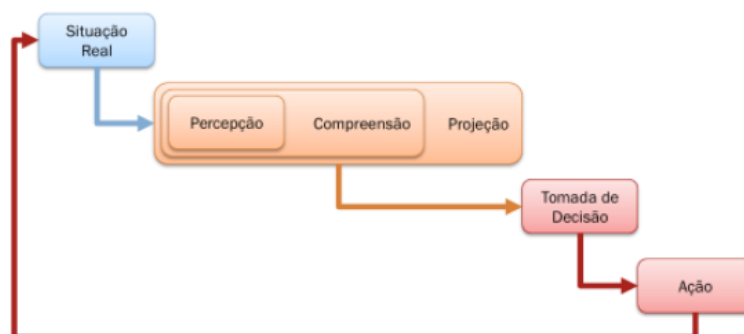
Apenas não são utilizadas as camadas sessão e apresentação do modelo OSI.

Em ambientes de subestação, é necessária a criação de uma *virtual local area network (VLAN)*, a criação de VLAN's permite a separação da rede física *local area network (LAN)* em duas ou mais redes lógicas (virtuais), permitindo isolar o tráfego de mensagens entre estas. (CABRAL e GIMENEZ, 2015).

2.6 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE IHM'S UTILIZANDO A NBR 9241

Tela sinóticas devem atuar na prevenção de falhas e na redução de erros operativos, através do aumento da sua eficiência. A consciência situacional do operador, ou seja, a ciência do que se passa ao redor, é importante em aplicações supervisórias, conforme a Figura 6, a tomada de consciência situacional envolve três aspectos: percepção, compreensão e projeção. (GOETZ, 2019).

Figura 6 - Consciência situacional e suas características



Fonte: Goetz (2019)

O dado bruto fornece a percepção, a compreensão é obtida através da indicação de limites de alarmes e os gráficos de tendência fornecem a projeção. Uma tela sinótica que possua essas 3 características, possibilita a melhor tomada de decisão por parte do operador. (GOETZ, 2019).

2.7 APLICAÇÃO MOBILE

Com o crescente avanço na tecnologia de computação móvel, os dispositivos móveis mais modernos possuem processadores de alto desempenho, ampla capacidade de armazenamento e diversos tipos de sensores. A evolução no *hardware* tornou possível também a evolução no *software*, os programadores criam aplicativos para aproveitar o potencial dos avanços no *hardware* e darem novas funcionalidades ao aparelho. Uma arquitetura muito utilizada para o desenvolvimento dessas aplicações é a separação da aplicação em duas partes, *frontend* e *backend*. De forma simplificada, o *backend* é a parte não visual do programa, ele é o responsável por fazer a conexão com o banco de dados e manter a regra de negócio, como por exemplo, fazer a autenticação de um usuário. Já o *frontend* é encarregado pela parte visual e interação do usuário com a interface do programa, a representação dos dados que serão passados pelo *backend* é de responsabilidade do *frontend*. (BOUSHEHRINEJADMORADI *et al.*, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 ESCOLHA DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

No ambiente de automação industrial a escolha de um *software* supervisório é fundamental para o bom funcionamento da operação. Como esse trabalho é uma extensão de um projeto desenvolvido na Universidade Presbiteriana Mackenzie, o *software* supervisório escolhido foi o ScadaBR, por ter sua licença gratuita e ser um *software* desenvolvido no modelo *open source*.

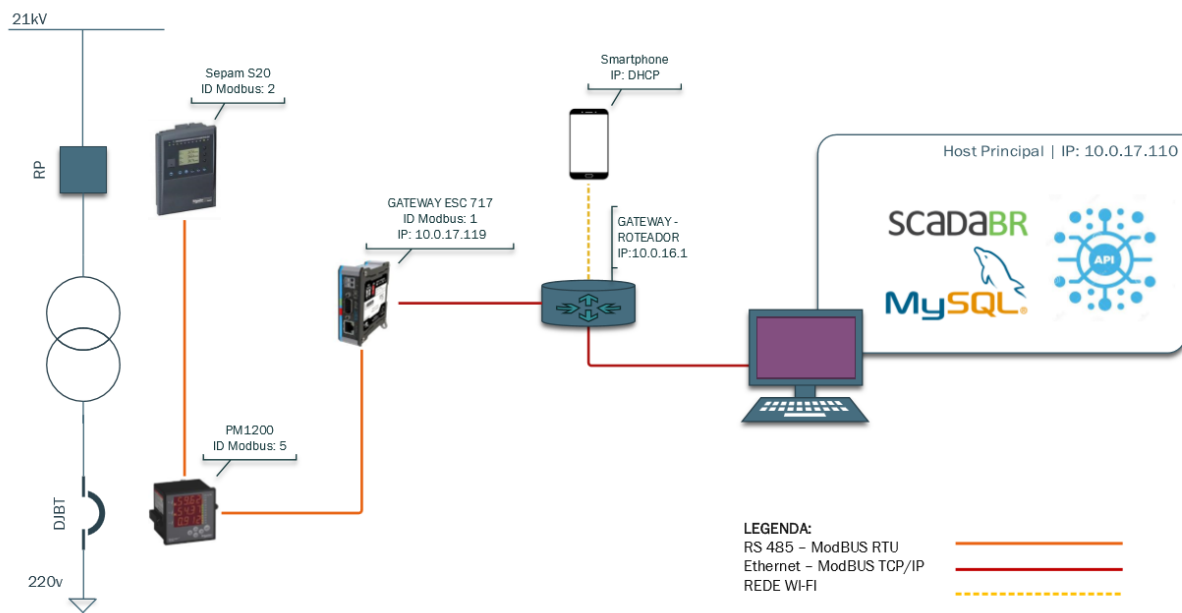
3.2 ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO

O ambiente de supervisão de dados, localizado na Universidade Presbiteriana Mackenzie no campus Higienópolis na Subestação SE-ENG, será constituído de:

- 1x *Notebook* com a aplicação do ScadaBR, banco de dados MySQL e a *Application Programming Interface* (API) responsável pelo envio dos dados para a aplicação *mobile*;
- 1x *Smartphone* Android®;
- 1x *Gateway* ModBUS RTU/ModBus TCP-IP - HI Tecnologia ESC717-B4;
- 1x Multimedidor de grandezas elétricas - Schneider PM1200;
- 1x Relé de Proteção - Schneider Sepam S20;
- 1x Roteador WiFi – Intelbras IWR 3000N.

A Figura 7, apresenta a arquitetura de comunicação do projeto realizado.

Figura 7 - Arquitetura de Comunicação



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O relé de proteção Sepam S20 localizado na alta tensão (21kV) do transformador e o multimetror de grandezas elétricas PM1200 localizado na baixa tensão (220V) do transformador, são conectados através de uma rede serial RS-485 com o protocolo ModBUS RTU. Como o *software* supervisório não opera nesse protocolo, se fez necessária a utilização de um *gateway* conversor de ModBUS RTU para ModBUS TCP/IP. O conversor é conectado através um cabo *ethernet* em um roteador, possibilitando a comunicação dos equipamentos de campo com o *software* supervisório ScadaBR. Os dados são requisitados através do ScadaBR e são armazenados no banco de dados MySQL. Uma API é responsável por coletar esses dados e disponibilizá-los na aplicação *mobile*, permitindo a visualização no aplicativo por parte do usuário.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE SUPERVISÓRIO

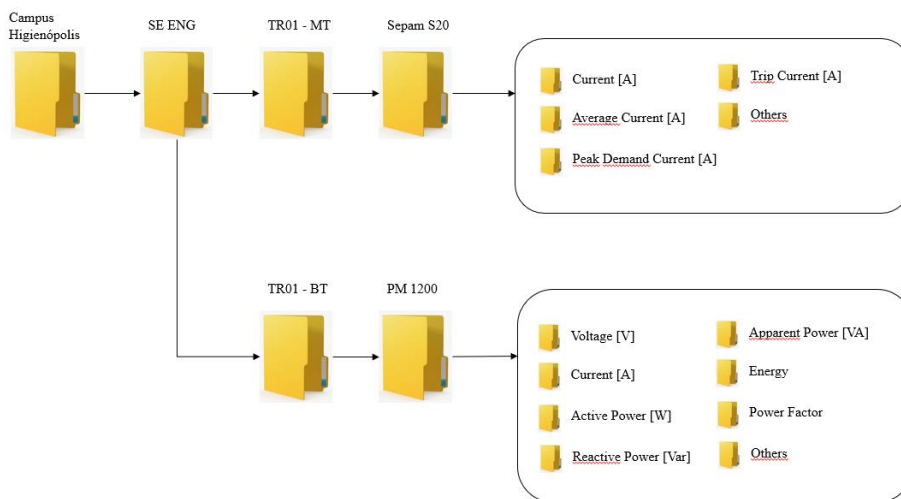
Um *software* supervisório pode ser dividido entre aquisição e controle de dados, exibição dos dados em uma tela sinótica, alarmes e eventos e hierarquia de usuários.

Para o projeto desenvolvido nesse trabalho, a fonte de dados, também conhecida como *datasource*, foi o protocolo ModBus TCP/IP fornecido pelo *gateway* ModBus RTU/TCP-IP. Como na rede Modbus tem-se dois equipamentos, atribuiu-se o endereço de escravo 2 para o relé de proteção modelo Sepam S20 e o endereço de escravo 5 para o multimetror modelo PM1200. No desenvolvimento do *software* supervisório foram atribuídas essas configurações e, através da consulta ao manual do fabricante de ambos os equipamentos, foi possível configurar os *datapoints*, também chamados de registradores, para que o *software* realizasse a requisição de dados de maneira correta.

A configuração de um *datasource* se dá através da escolha do protocolo de comunicação, para esse projeto o Modbus TCP-IP e, do endereço IP na qual o *gateway* está configurado. A configuração dos *datapoints*, se dá através do endereço escravo do equipamento, do *Offset* do registrador, do tipo de registro que será lido e do formato de dado que o supervisorio deve considerar.

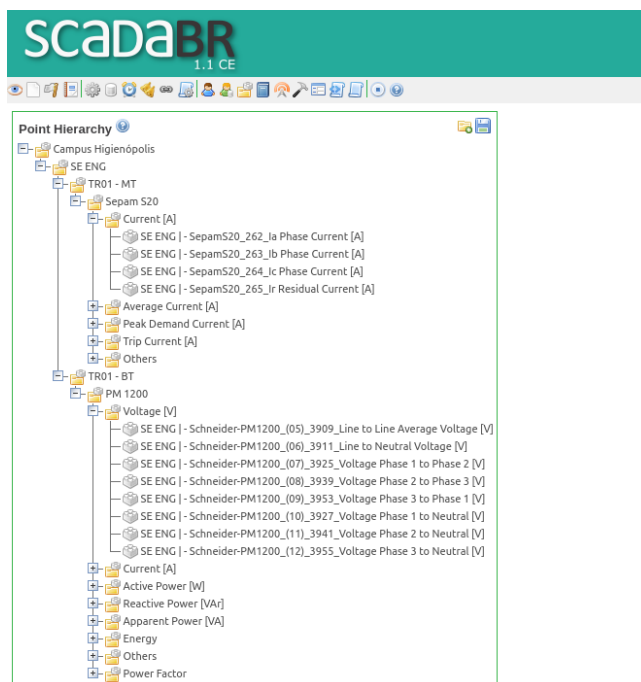
Foi realizada a hierarquia de dados de aquisição para facilitar o controle e o gerenciamento dos dados. Segue Figura 8 com a hierarquia dos dados e Figura 9 com a estrutura hierárquica programada no ScadaBR.

Figura 8 - Hierarquia de Dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

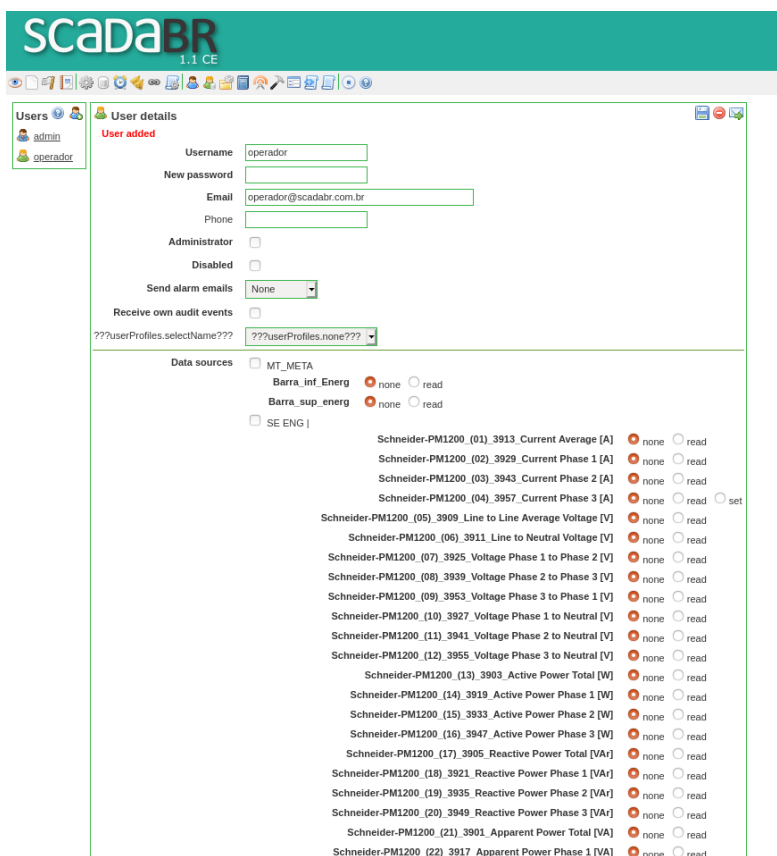
Figura 9 - Hierarquia de dados programada ScadaBR



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Foi também implementada a hierarquia de usuários do sistema, sendo que apenas o administrador pode alterar as configurações e o colaborador pode apenas visualizar ou controlar certos processos. O sistema supervisor ScadaBR permite a criação e controle dos usuários. Para esse projeto foi criado um usuário chamado “operador”. Este usuário não possui permissões de administrador, impossibilitando que ele consiga alterar o *software* desenvolvido, por outro lado ele possui a permissão de visualizar os dados que estão chegando do campo. Segue Figura 10 com a criação do usuário “operador” e suas permissões.

Figura 10 - Hierarquia de usuário



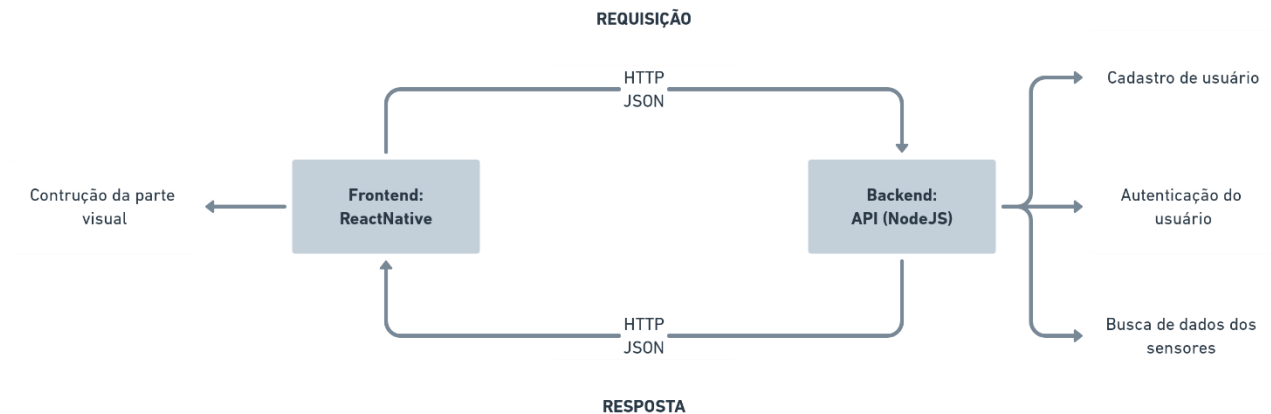
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

3.4 API

Para a comunicação entre aplicação *mobile* e os dados fornecidos pelo ScadaBR, foi desenvolvida uma API utilizando Node.js. A API permanece em modo de espera enquanto não recebe nenhuma requisição do aplicativo *mobile* e assim que recebê-la, ela se conecta ao banco de dados, faz a busca da informação e retorna para o aplicativo os dados no formato *Javascript Object Notation* (JSON).

A comunicação entre o aplicativo e o banco de dados relacionado ao ScadaBR é mostrada conforme a Figura 11.

Figura 11 – Arquitetura da Aplicação



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

As requisições sempre são feitas através do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e todas são acompanhadas de um cabeçalho e corpo, o cabeçalho indicará qual é o tipo de requisição que foi feito, por exemplo, de inserção ou de busca, e no corpo possuirá os parâmetros como nome, senha, para autenticação de um usuário ou parâmetros como período de tempo e token para uma busca de informação de tensão de fase por exemplo.

As responsabilidades desenvolvidas na API são: cadastro de usuário, autenticação de usuário e verificação de *token* antes de qualquer busca relacionada aos dados dos sensores.

3.5 APLICAÇÃO MOBILE

A interface gráfica do aplicativo *mobile* foi desenvolvida com o *framework* React Native desenvolvida pela equipe do Facebook®, pois ela traz uma solução para o desenvolvimento tanto para dispositivos IOS quanto para Android com o mesmo código, e possui diversos exemplos de aplicação e documentação disponíveis.

O *frontend* é responsável por exibir as informações adquiridas através das requisições feitas ao *backend* (API) e a interação com o usuário (navegação entre telas), conforme foi mostrado na Figura 11.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

No dia 20 de novembro de 2020, foram realizados os testes em campo da aplicação desenvolvida nesse projeto. Os testes foram realizados na subestação SEE-ENG da Universidade Presbiteriana Mackenzie, localizada próxima ao prédio 09. Para o acompanhamento da atividade, o setor de manutenção do Instituto Presbiteriano Mackenzie disponibilizou o eletricitista Robson para o auxílio e acompanhamento no teste prático.

Para os testes, foi utilizado um roteador na qual foi possível criar a rede para a conexão com o gateway ModBUS RTU/ModBus TCP-IP - HI Tecnologia ESC717-B4, conforme Figura 12.

Figura 12 - Gateway ModBus instalado no Cubículo de 21 kV



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Os equipamentos que foram utilizados para a requisição de dados foram o relé de proteção Sepam S20, localizado no cubículo de 21kV, conforme Figura 13, e o multimedidor PM 1200, localizado na baixa tensão, conforme Figura 14.

Figura 13 - Relé de Proteção Sepam S20



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Figura 14 - Multimetro PM1200



Fonte: Autoral (2020)

Após a finalização das configurações da arquitetura de comunicação, foi possível iniciar a aplicação *mobile*. A Figura 15 apresenta o fluxo do aplicativo com os dados reais que foram requisitados em campo com as telas desenvolvidas pelos autores, e o nome Xplore escolhido para o aplicativo. Ao entrar no aplicativo o operador se depara com a tela de *login*, onde é possível entrar no aplicativo caso ele já esteja cadastrado, ou é possível realizar um cadastro novo. Ao fazer *login* no aplicativo, o operador pode escolher entre as opções:

- **Diagrama Unifilar:** o operador pode visualizar o diagrama unifilar do sistema verificando quais disjuntores estão em operação. Há também alguns valores pontuais que são exibidos para auxiliar na consulta de medições;
- **Analíticos Baixa Tensão:** o operador pode visualizar valores em forma de gráficos na baixa tensão, corrente, potência e fator de potência. Além dos gráficos também foram colocados os valores de máximo e mínimo para cada medição e o horário em que ocorreram;
- **Analíticos de Média Tensão:** o operador pode visualizar os dados de corrente em média tensão, além de valores pontuais como número de operações e *starts* permitidos. Ainda utilizando o mesmo princípio de exibir máximos e mínimos em conjunto com o horário em que eles ocorreram;
- **Consumo de energia:** o operador pode visualizar dados de energia em kWh, além de poder visualizar o número de operações e a quantidade de interrupções do cubículo onde ocorre a medição.

Figura 15 - Fluxo de navegação



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A ideia principal desse projeto é apresentar de forma rápida e fácil ao operador de uma subestação dados fundamentais para a tomada de decisão, além de alertar através de gráficos as curvas de tendência dos dados. Com o auxílio da funcionalidade de máximos e mínimos, é possível alertar ao operador algumas anormalidades do sistema.

4.2 CUSTOS DO PROJETO

Para o desenvolvimento do código do projeto foram gastos ao todo 100 horas que foram divididas, conforme Tabela 1, em programação da aplicação *mobile* e programação do *software* supervisor. Além da divisão de horas de programação, levou-se em consideração o custo da mão de obra dos autores, levando a um custo médio de R\$ 30,00/hora de trabalho.

Tabela 1 - Quantidade de Horas de Projeto e Custo de Mão de Obra

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO - HORAS		
Item	Horas	Valor
Desenvolvimento <i>Backend</i>	50	R\$ 1250,00
Desenvolvimento <i>Frontend</i>	30	R\$ 750,00
Parametrização <i>Driver</i> Supervisor	4	R\$ 200,00
Criação das lógicas de Alarmes	2	R\$ 100,00
Criação da hierarquia de dados	4	R\$ 200,00
Criação da Hierarquia de usuários	2	R\$ 100,00
Comissionamento do Projeto	8	R\$ 400,00
Total	100 horas	R\$ 3.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Além do custo da mão de obra, foram levantados os custos de material e equipamentos, conforme Tabela 2. Como o trabalho foi desenvolvido com *softwares open source*, não houveram custos com licenças de *softwares* proprietários.

Tabela 2 - Custo de Material e Equipamentos

MATERIAL E EQUIPAMENTOS	
Item	Preço
Gateway HiTecnologia Modbus TCP/IP	R\$ 1.000,00
Cabeamento Geral	R\$ 200,00
Total	R\$ 1.200,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O custo total do projeto levando em consideração as horas de trabalho e o material utilizado foi de R\$ 4.200,00.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia principal deste projeto é a integração entre sistemas, trazendo cada vez mais a facilidade na tomada de decisão por parte do operador, evitando futuros problemas por falta de informação. Esse projeto foi desenvolvido com o intuito de unir a automação de campo com uma supervisão, controle e aquisição de dados realizado através de um aplicativo embarcado. Conclui-se que é possível integrar sistemas de automação com baixo custo e utilizando ferramentas *open source*. Soluções que utilizam ferramentas proprietárias tendem a ter um custo maior de *software* com a vantagem de baixo custo de engenharia. Apesar do alto gasto em horas de desenvolvimento, o projeto desenvolvido apresenta confidencialidade pois todo o código foi criado pelos autores, dificultando assim a sua cópia, ainda que tenha se seguido o mesmo padrão industrial utilizado em *softwares* proprietários similares.

Como proposta futura desse projeto, pode-se prever o envio dos dados de campo para servidores em nuvem, onde será possível integrar outros sistemas na automação de uma subestação, como por exemplo um *dashboard* focado em BI, integração com distintos meios de informação como aplicativos de mensagens instantâneas ou até mesmo e-mail, para o envio de notificações de eventos ou alarmes, diminuindo o tempo na qual o operador levaria para descobrir um problema no sistema e, por fim a visualização das informações em qualquer parte do mundo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Ana Paula. **SCADA: o que é e 5 motivos para começar a utilizar em sua indústria**. 2019. Disponível em: <https://www.logiquesistemas.com.br/blog/scada/>. Acesso em: 06 abr. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9241: Requisitos ergonômicos para o trabalho com dispositivos de interação visual: Parte 11: Orientações sobre usabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- BARROS, Benjamin Ferreira de; GEDRA, Ricardo Luis. **Cabine Primária: subestações de alta tensão de consumidor**. São Paulo: Érica, 2010. 192 p.
- BOUSHEHRINEJADMORADI, Nader; GANAPATHY, Vinod; NAGARAKATTE, Santosh; IFTODE, Liviu. Testing Cross-Platform Mobile App Development Frameworks (T). **2015 30th Ieee/acm International Conference On Automated Software Engineering (ase)**, Lincoln, Nebraska, p. 441-451, nov. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ase.2015.21>.
- CABRAL, Marcos Vinícius Guimarães; GIMENEZ, Edson Josias Cruz. **Melhores práticas na implantação de redes Ethernet (IEEE802.3) em conjunto com a norma IEC61850 em redes locais de subestações elétricas**. Revista Científica da Fai, Santa Rita do Sapucaí, v. 15, n. 1, p. 36-45, 2015. Anual. Disponível em: https://www.protcom.net/Literatura/Automacao/Redes_Com/NOTAS%20TÉCNICAS/NOTA%20TÉCNICA_REDES%20ETHERNET%20EM%20IEC%2061850_SUBESTAÇÕES%20ELÉTRICA_S.pdf. Acesso em: 28 abr. 2020.

CONSTAIN, Nicole Beatriz Portilla. **INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SCADA COM A IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE SUPERVISÓRIO EM CLP PARA SISTEMAS DE MANUFATURA**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/95357/296291.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Automação de Processos e de Sistemas**. São Paulo: Érica, 2014. 144 p.

FREITAS, Carlos Márcio. **Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações**. 2014. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

GOETZ, Helcker Ferrarezi. **Metodologia para Desenvolvimento de IHMs de Alta Performance Visual**. 2019. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/metodologia-para-desenvolvimento-de-ihms-de-alta-performance-visual/>. Acesso em: 28 abr. 2020.

KRUTZ, Ronald L.. **Securing SCADA Systems**. 11. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2005. 218 p.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W.. **Redes de Computadores e a Internet: uma nova abordagem**. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2002. 570 p. Tradução de Arlete Simille Marques.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015, 361 p.

LUGLI, Alexandre Baratella. **Uma visão do protocolo industrial Profinet e suas aplicações**. 2009. Disponível em: <http://www.profibus.org.br/news/marco2009/news.php?dentro=4>. Acesso em: 22 abr. 2020.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes Industriais para Automação Industrial: AS-I, PROFIBUS e PROFINET**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2019. 184 p.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2010. 347 p.

NODEJS. **Sobre Node.js**. [20--]. Disponível em: <https://nodejs.org/pt-br/about/>. Acesso em: 12 out. 2020.

OLIVEIRA, Punaro Bley Adão de. **Transformador de Corrente**. 2020. Disponível em: <https://sites.google.com/site/punarobley/medidor-de-energia-eletrica>. Acesso em: 06 maio 2020.

OLIVEIRA, Punaro Bley Adão de. **Transformador de Potencial**. 2020. Disponível em: <https://sites.google.com/site/punarobley/medicao-de-demanda>. Acesso em: 06 maio 2020.

REACT NATIVE. **React Native**. [2020]. Disponível em: <https://reactnative.dev/>. Acesso em: 17 out. 2020.

SANTOS, Guilherme. **A Pirâmide da Automação Industrial**. 2012. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 29 mar. 2020.

SCADABR. **Sobre o ScadaBR**. [20--]. Disponível em: <http://www.scadabr.com.br/index.php/sobre-o-scadabr/>. Acesso em: 12 out. 2020.

SIMABUKULO, Lucas Antônio Nizuma et al. **ENERGIA, INDUSTRIALIZAÇÃO E MODERNIDADE - HISTÓRIA SOCIAL**. 2006. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de História, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.museudaenergia.org.br/media/63129/03.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

VENTURELLI, Márcio. **Automação Elétrica com IEC 61850**. 2017. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/automacao-eletrica-com-iec-61850/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter nos dado saúde e força para superar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso. Aos nossos familiares que nos incentivaram nos momentos difíceis e nos apoiaram no desenvolvimento desse trabalho. Aos colaboradores da equipe de manutenção do Instituto Presbiteriano Mackenzie, em especial, Matheus Luz, Ricardo Poli e Robson Aquino pela idealização e ajuda na implementação desse projeto. Ao Vinicius Pazian pela contribuição no design do aplicativo. A toda a comunidade Open Source, StackOverflow e do ScadaBR, que nos guiaram no desenvolvimento de toda a aplicação. Aos nossos colegas de curso, com quem convivemos intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando. E por fim aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o nosso aprendizado.