



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ADSON ALVES ANDRADE**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DISTRIBUÍDAS PARA  
AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**FORTALEZA**  
**2020**

ADSON ALVES ANDRADE

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DISTRIBUÍDAS PARA  
AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado  
Sampaio

Coorientador: Prof. Me. Lucas Silveira Melo

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A565e Andrade, Adson Alves.  
Estudo e desenvolvimento de funções distribuídas para automação de sistemas de distribuição de energia elétrica / Adson Alves Andrade. – 2021.  
38 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.  
Coorientação: Prof. Me. Lucas Silveira Melo.

1. Automação. 2. Sistema de elétricos de distribuição. 3. Integração. 4. SCADA. 5. Sistema multiagente. I. Título.

CDD 621.3

---

ADSON ALVES ANDRADE

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DISTRIBUÍDAS PARA  
AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raimundo Sampaio Furtado (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Lucas Silveira Melo (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Edilberto e Maria Benedita

A todos familiares e amigos

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Edilberto e Maria Benedita, por tornarem esse sonho realidade, acreditando e apoiando durante toda a minha vida,

Aos meus Familiares, que me deram forças e incentivaram desde o início da caminhada.

À todos os integrantes do GREI, que me proporcionaram momentos inesquecíveis de amizade e aprendizagem.

Aos professores Raimundo Furtado Sampaio, Lucas Silveira Melo e Ruth Pastôra Leão, que me acompanham desde muito cedo em minha vida acadêmica e nunca mediram esforços para ajudar, ensinar e guiar nas diversas dificuldades.

Aos amigos, que tive o imenso prazer de conhecer durante o curso de Engenharia Elétrica, Lucas Félix Magalhães, Lucas Matheus Cordeiro, Gabriel Paiva, Arnold Almeida, Felipe Carvalho Sampaio, Andresa Sombra, Cícero Fábio, Bruna Castro, João Davy Venceslau, entre diversos outros.

Ao companheiros, Henry Silva, Luís Felipe Nunes, Breno de Farias que me acompanham desde da infância, apoiando, incentivando, sempre com palavras amigas.

Aos incontáveis amigos, a qual deixei de citar os nomes, que sempre estiveram comigo.

A minha namorada e parceira de vida, Jessica Andrade Moreira, por todo apoio, prontamente prestado, em diferentes áreas da vida, durante todo o tempo em que estamos juntos. Pela paciência e reciprocidade nas dificuldades da vida, sempre motivando e aconselhando da melhor forma possível.

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.”

**(Dalai Lama)**

## RESUMO

Nos últimos anos o estudo e desenvolvimento de sistemas distribuídos aplicado à proteção e automação de sistemas elétricos de potência tem crescido com o advento do conceito de Redes Elétricas Inteligentes. Esse tema é pouco explorado nos cursos de graduação em Engenharia, de forma que se torna desconhecido para uma parcela dos estudantes. Este trabalho tem como objetivo apresentar o Estudo e Desenvolvimento de Funções Distribuídas para Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. No âmbito do trabalho são apresentadas as minhas contribuições no desenvolvimento de funções inteligentes e na implantação da bancada de teste do laboratório do Grupo de Redes Elétricas Inteligentes - GREI do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. Como resultados são apresentados os diversos trabalhos implantados, testados e validados e artigos publicados em eventos nacionais.

**Palavras-chave:** Automação, Integração, Proteção, Relé, Sistema de elétricos de distribuição, SCADA, Sistema multiagente, Virtualização.



## ABSTRACT

In recent years the study and development of distributed systems applied to the protection and automation of electrical power systems has grown with the advent of the concept of Intelligent Electric Grids. This theme is little explored in undergraduate engineering courses, so it is unknown to a portion of students. This work aims to present the Study and Development of Distributed Functions for Automation of Electric Power Distribution Systems. As part of the work, my contributions are presented in the development of intelligent functions and in the implantation of the test bench of the laboratory of the Intelligent Electrical Networks Group - GREI of the Electrical Engineering Course at the Federal University of Ceará. As results, the various works implemented, tested and validated and articles published in national events are presented.

**Keywords:** Automation, Integration, Protection, Relay, Distribution electrical system, SCADA, Multi-agent system, Virtualization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relé de proteção Modelo SEL 751.....	21
Figura 2 – Comprove teste Center - Softwares disponíveis para mala de testes.....	23
Figura 3 – Testador Universal Hexafásica.....	24
Figura 4 – Representação da Comunicação do relé virtualizado.....	27
Figura 5 – Trecho em manutenção numa rede radial com recurso.....	30
Figura 6 – Diagrama de bloco de decisão das funções de bloqueio do SMAD.....	30
Figura 7 – Tela do supervisor dedicada ao SMAD .....	31
Figura 8 – Log de status do SMAD .....	32
Figura 9 – Sinais lógicos extraídos do relé de proteção através do software Sequenc – COMPROVE .....	32
Figura 10 – Plataforma de testes do laboratório de redes elétricas inteligentes.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GREI	Grupo de Redes Eléctricas Inteligentes
SEP	Sistema Eléctrico de Potência
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SMAD	Sistema Multiagente para Automação de Distribuição
S MDF	Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta
S MDIF	Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta
SMRA	Sistema Multiagente de Recomposição Automática
SMPA	Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa
SMGD	Sistema Multiagente de Gerenciamento de Geração Distribuída
SMGM	Sistema Multiagente de Gerenciamento de Microrredes
SMGQE	Sistema Multiagente de Gerenciamento da Qualidade de Energia
SMGM	Sistema Multiagente de Gerenciamento da Medição de energia
SMCT	Sistema Multiagente de Controle de Tensão
SMME	Sistema Multiagente de Monitoramento de Equipamentos
SMGA	Sistema Multiagente de Gestão de Ativos da rede eléctrica
SMIED	Sistema Multiagente IED
IED	Dispositivo Eletrónico Inteligente
GOOSE	<i>Generic object oriented substation event</i>
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>
DNP3	<i>Distributed Network Protocol</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
REI	Redes Eléctricas Inteligentes

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Motivação</b> .....	14
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	14
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Geral</i> .....	14
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i> .....	15
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	15
<b>2</b>	<b>SOFTWARES E FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FUNÇÕES INTELIGENTES PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Linguagem de programação</b> .....	17
<i>2.1.1</i>	<i>Linguagem Python</i> .....	17
<i>2.1.2</i>	<i>Linguagem VBScript</i> .....	17
<i>2.1.3</i>	<i>Linguagem C</i> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Protocolos de Comunicação</b> .....	18
<i>2.2.1</i>	<i>IEC 61850</i> .....	18
<i>2.2.2</i>	<i>DNP 3.0</i> .....	19
<i>2.2.3</i>	<i>Modbus</i> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Sistema Supervisório SCADA</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Hardware e Software de Relé de Proteção</b> .....	20
<i>2.4.1</i>	<i>Hardware do relé de proteção</i> .....	20
<i>2.4.2</i>	<i>SEL – Quickset</i> .....	21
<i>2.4.3</i>	<i>SEL – Architect</i> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Equipamento Hexafásico para Teste e Validação de IED e Funções inteligentes</b> .....	22
<b>2.6</b>	<b>SoMachine</b> .....	24
<b>2.7</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	24
<b>3</b>	<b>TESTE E VALIDAÇÃO DE FUNÇÕES DISTRIBUÍDAS PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Contribuições</b> .....	25

3.2	<b>Descrição das funções inteligentes do SMAD.....</b>	25
3.2.1	<i>Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta (SMDF).....</i>	25
3.2.2	<i>Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta (SMDIF).....</i>	26
3.2.3	<i>Sistema Multiagente de Recomposição Automática (SMRA).....</i>	26
3.2.4	<i>Sistema Multiagente IED baseado na norma IEC 61.850 (SMIED).....</i>	26
3.2.5	<i>Sistema Multiagente Proteção Adaptativa (SMPA).....</i>	26
3.2.6	<i>Virtualização da comunicação IEC 61850 de IED.....</i>	26
3.3	<b>Considerações finais .....</b>	27
4	<b>DESENVOLVIMENTO DE NOVAS FUNCIONALIDADES PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO.....</b>	28
4.1	<b>Integração entre sistema SCADA e relés de proteção.....</b>	28
4.2	<b>Integração entre sistema SCADA e Microrrede.....</b>	28
4.3	<b>Função de bloqueio de recomposição automática do SMRA.....</b>	29
4.4	<b>Integração do SMRA com sistema SCADA.....</b>	31
4.5	<b>Plataforma de teste e validação das funções inteligentes propostas.....</b>	32
4.6	<b>Resultados.....</b>	33
4.6.1	<i>Monitorias e Treinamentos .....</i>	33
4.6.2	<i>Publicações em eventos.....</i>	34
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	35
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	36

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o estudo e desenvolvimento de sistemas distribuídos aplicado à proteção e automação de sistemas elétricos de potência tem crescido com o advento do conceito de Redes Elétricas Inteligentes. Esse tema é pouco explorado nos cursos de graduação em Engenharia, de forma que se torna desconhecido para uma parcela dos estudantes.

Nos últimos anos, foram desenvolvidas por um grupo de alunos de graduação e pós-graduação, sob orientação dos professores do GREI, diversas atividades de pesquisa, desenvolvimento de Sistemas Inteligentes baseados em Sistemas Multiagentes, bem como a implantação de uma plataforma de sistema de automação e proteção de sistemas elétricos, visando a realização de teste e validação de funções inteligentes aplicados as Redes Elétricas Inteligentes (REI) e o avanço da pesquisa das REI.

## 1.1 Motivação

Estudos em automação, por diversas vezes, apresentam um difícil acesso a informações, tornando restritivo à realização de implementações práticas. Quando associado a sistemas elétricos de potência, mas especificamente à distribuição de energia elétrica, o assunto torna-se bem mais escasso.

Como forma de disseminação do estudo de automação de distribuição, esse trabalho descreve as principais atividades relacionadas ao tema, realizadas em conjunto com o GREI, listando os trabalhos acadêmicos desenvolvidos, ferramentas utilizadas, testes e trabalhos relacionados a ensino.

A motivação para desenvolvimento desse trabalho consiste em apresentar a bancada de teste, as ferramentas e funções inteligentes desenvolvidas e utilizadas no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes.

## 1.2 Objetivos

### *1.2.1 Objetivo Geral*

Este trabalho tem como objetivo apresentar o Estudo e Desenvolvimento de Funções Distribuídas para Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

testadas e validadas na plataforma de automação e proteção de Sistemas Elétricos de Potência do Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

Dentre os objetivos específicos estão:

- Apresentar a plataforma de sistema de automação e proteção de sistemas elétricos implementada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes (REI) para realização de teste e validação de funções inteligentes centralizadas e distribuídas;
- Apresentar ferramentas (linguagens de programação, protocolos de comunicação, Software de produção de supervisórios, Softwares de parametrização de equipamentos de automação e Softwares de configuração da mala hexafásica) para desenvolvimento das funções distribuídas para automação da distribuição.
- Testar e validar Sistema Multiagente para Recomposição Automática de Sistema de Distribuição de Energia (SAMPAIO, 2017, P. 225);
- Testar e validar Sistema Multiagente IED baseado na norma IEC61850 (SAMPAIO, 2017, P. 225);
- Testar e validar virtualização de IED baseado na norma IEC 61850 (MAGALHÃES, 2019, P. 97);
- Testar e validar Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa de Sistema aplicada a Distribuição de Energia (SAMPAIO, 2017, P. 113);
- Desenvolver bancada de teste para integração de sistema SCADA a relé de proteção;
- Desenvolver integração entre CPL e SCADA
- Desenvolver bancada de teste para as funções de bloqueio com integração de SMAD e sistema SCADA.
- Elaborar atividades voltadas ao ensino de automação de distribuição

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos como segue:

No Capítulo 1 é apresentada a motivação, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 são apresentadas as principais ferramentas e softwares utilizados no desenvolvimento das funções inteligentes.

No Capítulo 3 são apresentados os sistemas de inteligentes para automação da distribuição desenvolvidos, testados e validados no laboratório de Redes Elétricas Inteligentes

No Capítulo 4 são apresentadas as conclusões do trabalho.



## **2 SOFTWARES E FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE FUNÇÕES INTELIGENTES PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO**

Neste Capítulo são apresentadas as ferramentas, linguagens de programação, equipamentos e padrões de comunicação utilizados nos desenvolvimentos das Funções Distribuídas para Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

### **2.1 Linguagem de programação**

#### ***2.1.1 Linguagem Python***

O Python Essa é uma linguagem computacional simples e poderosa, permitindo uma aprendizagem bem fácil, ao mesmo tempo que o usuário consegue desenvolver programas de alto nível.

O domínio dessa linguagem de programação por outros integrantes do grupo proporcionou a capacitação de novos integrantes e a formação de uma equipe de desenvolvimento de funções inteligentes na Linguagem Python. Os conhecimentos passados dos por outros integrantes do GREI foi complementado pelo estudo individual, utilizando o “Curso Python” do Canal “Curso em Vídeo” disponível gratuitamente no Youtube. Outra plataforma gratuita de aprendizado e de realização de exercícios utilizada foi o a “CodeCademy”, onde a lição é passada através de pequenos exercícios.

A maioria das funções e sistemas distribuídos desenvolvidos pela equipe do Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes do GREI utilizam a linguagem de programação Python (RODRIGUES, 2015, P 135), (MAGALHÃES, 2019, P. 97), (MELO, 2015, P.121),

#### ***2.1.2 Linguagem VBScript***

A linguagem VBScript faz parte de subconjunto da linguagem Visual Basic desenvolvida pela Microsoft. O VBScript possui um interpretador rápido, leve e portátil, desenvolvido para uso em navegadores para a Internet e outras aplicações que usam ActiveX Controls, Automation Servers e Java Applets (Eclipse, Manual de referência de Scripts do E3).

Residente no sistema Supervisório Elipse Power, a linguagem de Programação o

VBScript foi utilizada no desenvolvimento de novas funcionalidades para teste e validação de sistemas inteligentes integradas ao Sistema SCADA.

A utilização da linguagem VBScript surgiu da necessidade de integrar o sistema SCADA da Elipse Power com o Sistema Multiagente de Automação de Subestação (SMAD). Essa ferramenta proporcionou altos níveis de customização no Sistema SCADA, como a definição de funções usando arquitetura de controle client e server HTTP, criação de botões com diversas funcionalidades, timers de execução, balões de aviso, etc.

A própria Elipse disponibiliza material de aprendizagem bastante intuitivo. Possui um manual próprio para scripts (Elipse, Manual de referência de Scripts do E3) e disponibiliza diversos conteúdos no site Elipse Knowledgebase, desde uma introdução à linguagem até códigos de atividades específicas.

### ***2.1.3 Linguagem C***

Uma das mais conhecidas linguagens de programação é o C, que se destaca principalmente por ser uma linguagem de programação compilada, possuindo assim, uma velocidade de execução considerável.

Durante a atividade descrita no tópico 2.2.1.2, foi concretizado o aprendizado dessa linguagem. A necessidade da aplicação da linguagem C foi devido à biblioteca LibIEC61850, uma biblioteca de código aberto, que utiliza o protocolo de comunicação IEC 61850.

A plataforma “CodeCademy” citada no tópico 3.1.1 também disponibiliza material de estudo sobre essa linguagem.

## **2.2 Protocolos de Comunicação**

### ***2.2.1 IEC 61850***

A norma IEC 61850 apresenta como principal objetivo oferecer a interoperabilidade entre IEDs de diferentes fabricantes, ou ainda, entre funções de automação da subestação a serem executadas por equipamentos de diferentes fabricantes (MAGALHÃES, 2019, P. 97).

Juntamente com o Python, foi uma das normas que houve contato desde o início como participante do GREI e vem sendo utilizada até então nas atividades atuais do grupo. A

norma possui certa complexibilidade, sendo necessário estudo mais aprofundado para o total domínio.

Como material de estudo, foram utilizados os trabalhos (SAMPAIO, 2017, P. 225), (RODRIGUES, 2015, P 135), (MAGALHÃES, 2019, P. 97), (MELO, 2015, P.121), além é claro, da própria norma IEC/TR 61.850 disponível em (IEC,2003).

### **2.2.2 DNP 3.0**

O protocolo DNP3 (Distributed Network Protocol versão 3.0) foi apresentado nesta configuração em 1997, como um protocolo aberto e público com o intuito de alcançar a interoperabilidade entre os sistemas elétricos, petróleo e gás, bem como estações de tratamento de água e esgoto, desenvolvido exclusivamente para o sistema SCADA (DEUS, 2013, P. 105).

O estudo deste protocolo foi adotado pelo GREI no intuito de enriquecer as interações entre os sistemas de automação, diversificando as configurações possíveis, e explorando um protocolo de comunicação tão difundido como o DNP 3.0. Foi utilizado na interação dos relés de proteção da SEL e sistema SCADA e, posteriormente, na montagem de práticas de laboratório.

Para a pesquisa do protocolo e desenvolvimento da comunicação, foi utilizado os trabalhos de (DEUS, 2013, P. 105), (IEEE,2012) e a Documentação do driver DNP 3.0 Master, disponível após o download.

### **2.2.3 Modbus**

O Modbus é um protocolo que utiliza a arquitetura do tipo mestre-escravo entre dispositivos de uma rede, e opera utilizando o método pedido-resposta oferecendo serviços baseados em códigos de função pré-determinados e bem definidos (DEUS, 2013, P 105).

O aprendizado deste protocolo deu-se através da necessidade de comunicação entre CPL da Schneider e o sistema SCADA Eclipse Power da microrrede do GREI. Devido a sua facilidade e compatibilidade com o CPL presente na Microrrede, optou-se por tornar esse protocolo o padrão para a comunicação.

Parte do treinamento fornecido pelo representante da Schneider foi a explicação da aplicação deste protocolo, junto ao software SoMachine, para a comunicação externa do CLP. Ainda como material de estudo, o trabalho (DEUS, 2013, P.105), explica bem como

funciona o protocolo e a documentação do “Driver Modicon Modbus Master” e exemplifica como o protocolo funciona no Elipse Power

## **2.3 Sistema Supervisório SCADA**

O sistema supervisório Elipse Power oferece um ambiente integrado de comunicação, modelagem e análise, constituindo um moderno sistema EMS (Energy Management System) / ADMS (Advanced Distribution Management System), com aplicação em centros de operação para geração, transmissão, distribuição e grandes plantas industriais (ELIPSE, 2020).

O Elipse Power foi utilizado em diversas atividades desenvolvidas no GREI, como implementação de comunicação com os relés de proteção, utilizando os três protocolos citados na seção 3.2, criação de supervisórios, criação de telas, alarmes e relatórios de atuação do SEP. O laboratório proporcionou uma aproximação direta com o software, que é amplamente utilizado no mercado, permitindo a exploração de diversas atividades, sendo até realizado um cliente/server dentro do mesmo. Além do aprendizado da ferramenta em si, o seu conhecimento proporcionou momentos de contato com a docência, pois, junto com a apresentação dos equipamentos de bancada do GREI, foi o assunto mais explanado nas apresentações e aulas relacionado a monitoria de proteção.

O estudo dessa ferramenta, deu-se inicialmente através do canal do Youtube “Elipse Software Taiwan” que conta com acervo de vídeos que explicam desde o processo de criação da planta elétrica até a criação de supervisórios funcionais e comunicação com IEDs. Para um material mais abrangente, a própria Elipse Software fornece manuais explicativos e em português de como utilizar o E3 Studio e Elipse Power. Citado anteriormente no tópico 3.1.2, o site Elipse Knowledgebase também fornece uma série de artigos e explicações sobre as funcionalidades dos softwares da Elipse.

## **2.4 Hardware e Software de Relé de Proteção**

### ***2.4.1 Hardware do relé de proteção***

Na Figura 1 é apresentado o relé de sobrecorrente multifunção, modelo SEL-751 do fabricante Schweitzer que faz parte da plataforma de proteção e automação de sistema elétrico do laboratório de redes elétricas inteligentes do GREI.

Figura 1- Relé de proteção Modelo SEL 751



Fonte: (SOARES, 2016)

#### 2.4.2 SEL – Quickset

O software SEL Quickset é utilizado para parametrização dos relés da Schweitzer, no qual são implementados os ajustes das funções de proteção e lógicas programáveis para mudanças de grupos de ajuste, seletividade lógica, falha de disjuntor, e configurações de muitas outras funcionalidades do relé.

Essa foi a primeira ferramenta aprendida durante a participação no GREI. Foi necessária em todas as atividades desenvolvidas no laboratório, o aprendizado sobre a ferramenta foi progressivo, evoluindo a cada atividade executada no laboratório. A sua utilização varia de acordo com as atividades desempenhadas, em alguns casos só era necessário ajuste de funções de proteção como funções de sobrecorrente e falha de disjuntor. Já em outros casos, o Quickset foi utilizado para a habilitação e configuração do relé para atuar em diversos protocolos de comunicação, bem como foi utilizado para criação de lógicas internas, configuração de seletividade lógica entre diversas outras funções.

Como citado anteriormente, o conhecimento dessa ferramenta foi aprendido progressivamente com a realização das atividades, sendo inicialmente explicada suas funções básicas por outros integrantes do grupo. Existe uma carência de material explicativo desse software, de forma que as práticas de laboratório de proteção promoveram um crescimento e

domínio do software.

### **2.4.3 SEL – Architect**

O SEL Architect é a ferramenta de configuração do protocolo de comunicação da IEC 61850 para os equipamentos da SEL, no qual é possível configurar report's, editores e assinantes das mensagens GOOSE da rede de comunicação, habilitar comandos através de mensagens MMS e diversas outras configurações. Atuando junto com o software Quickset, é possível configurar diversas lógicas associadas à comunicação entre os equipamentos, tal como a seletividade lógica.

Assim como o software Quickset, o contato com esse software foi no início das atividades no GREI e para quase todas as atividades realizadas foi necessário à sua utilização. Para o seu aprendizado não existe material online eficiente, sendo a maior fonte de aprendizado as experiências passadas pelos membros do GREI, as práticas de proteção de SEP e o desenvolvimento associado com as diversas atividades realizadas com essa ferramenta.

## **2.5 Equipamento Hexafásico para Teste e Validação de IED e Funções inteligentes**

Para testes das funções inteligentes no âmbito desse trabalho utilizou-se a mala de teste, ou testador universal hexafásico de relés de proteção do Fabricante CONPROVE.

Esse equipamento simula os transformadores de potencial, transformadores de corrente e disjuntor de uma rede elétrica nas etapas de teste e validação das funções inteligentes. Pode ser observado na Figura 3.

Para sua configuração e aplicação, a mala de testes possui diversos softwares, Conforme a Figura 2 demonstra, cada um com uma maneira distinta de atuação, entre eles podemos citar os softwares “Manual”, utilizado na atuação manual das saídas hexafásicas; “Sequenc”, utilizado para criar uma sequência de acontecimentos, uma programação sequenciada das entradas e saídas da mala de teste; “Sobrecor”, para verificação de parametrização da função de sobrecorrente do relé, desenhando a curva de atuação

A configuração e utilização da mala de testes foi uma habilidade essencial na grande maioria das atividades realizadas no laboratório e por sua vez, umas das primeiras aplicadas. A CONPROVE possui um acervo de tutorias e descrição de testes realizados com o seu produto, hospedado na sua página da internet, onde é disponibilizado gratuitamente,

servindo assim de uma boa base de estudos. Nas práticas de proteção de SEP também consta material explicativo de sua utilização.

Figura 2- Conprove teste Center - Softwares disponíveis para mala de testes



Fonte: < [conprove.com.br/pub/tutoriais/ctc/Testes\\_Secundarios/50\\_51-Sobrecorrente](http://conprove.com.br/pub/tutoriais/ctc/Testes_Secundarios/50_51-Sobrecorrente) >

Figura 3- Testador Universal Hexafásica



Fonte: (SOARES, 2016)

## 2.6 SoMachine

O SoMachine é uma ferramenta de programação gráfica criada para facilitar a configuração, o desenvolvimento e a colocação em funcionamento de programas para controladores lógicos da fabricante Schneider.

Foi utilizado na programação e comunicação do CLP presente no laboratório de Redes Elétricas Inteligente, que por sua vez, gerenciava todos os pontos lógicos da instalação e comunicava, via Modbus, para o sistema SCADA da microrrede GREI.

A fabricante Schneider disponibiliza diversos materiais de exemplificação do software em forma de manuais, entretanto, suas nuances só foram compreendidas através do curso disponibilizado pelo representante, que serviu de base para a construção da programação do CLP.

## 2.7 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas os principais softwares ferramentas utilizados para o desenvolvimento das funções inteligentes para automação da distribuição apresentado nos próximos capítulos.



### **3 TESTE E VALIDAÇÃO DE FUNÇÕES DISTRIBUÍDAS PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO**

Neste capítulo é apresentada a plataforma de sistema de automação e proteção de sistemas elétricos implementada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes (REI).

#### **3.1 Contribuições**

Uma das primeiras atividades realizadas como participante do GREI, em conjunto com um grupo de pesquisadores, foi a implantação da plataforma de testes do SMAD (SAMPAIO, 2017, P. 225). Para realização de teste e validação de funções inteligentes centralizadas e distribuídas. As seguintes funções e sistemas distribuídos que fazem parte do escopo desse trabalho, foram testados e validados nessa plataforma:

- Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta (SMDF);
- Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta (SMDIF);
- Sistema Multiagente de Recomposição Automática (SMRA);
- Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa (SMPA);
- Sistema Multiagente IED baseado na norma IEC 61.850 (SMIED);
- Desenvolvimento de IED virtuais baseado na norma IEC 61850.

Os sistemas SMDF, SMDIF, SMRA e SMIED proposta em (SAMPAIO, 2017, P. 225) e o sistema SMPA proposto por (SAMPAIO, 2017, P.113), fazem parte da plataforma de Sistema Multiagente para Automação da Distribuição (SMAD). Os relés virtuais desenvolvidos em (MAGALHÃES, 2019, P. 97) foram utilizados em conjunto com relés reais modelo SEL-751 na plataforma de teste no âmbito desse trabalho.

#### **3.2 Descrição das funções inteligentes do SMAD**

##### ***3.2.1 Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta (SMDF)***

O SMDF é uma funcionalidade da plataforma SMAD, que tem a função de analisar os eventos recebidos dos relés e apresentar o diagnóstico das ocorrências no alimentador afetado pela falta por meio de relatórios disponibilizados ao operador (Barbosa, 2017).

##### ***3.2.2 Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta (SMDIF)***

SMDIF é o sistema responsável por identificação de faltas e correção da configuração da rede. Através dele, ao ocorrer uma falta, é calculado a correta remodelagem da rede elétrica.

### ***3.2.3 Sistema Multiagente de Recomposição Automática (SMRA)***

O SMRA é responsável pelo isolamento do setor sob falta e recomposição de trechos indevidamente desenergizados, visando sempre minimizar a potência dos blocos de carga que são indevidamente desenergizados

### ***3.2.4 Sistema Multiagente IED baseado na norma IEC 61.850 (SMIED)***

O SMIED é um sistema composto de funções distribuídas implementadas nos IED (Dispositivo Eletrônico Inteligente) de proteção baseadas na comunicação entre nós lógicos padronizada na norma IEC61850, (SAMPAIO, 2017, P. 225).

### ***3.2.5 Sistema Multiagente Proteção Adaptativa (SMPA)***

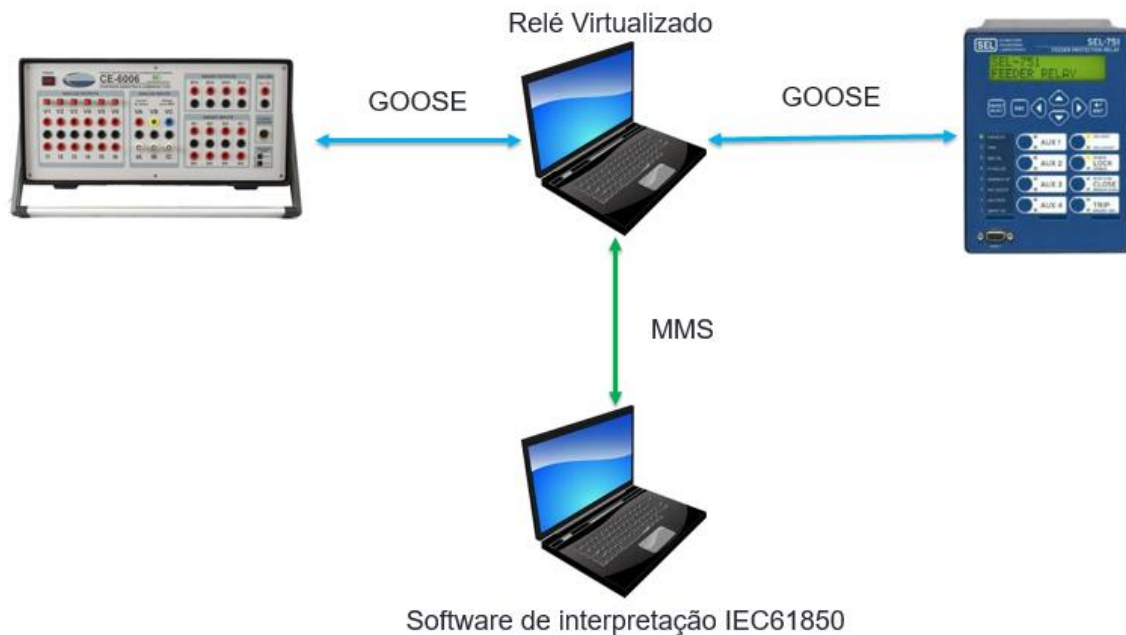
No trabalho em, (SAMPAIO, 2017, P.113), foi desenvolvido um Sistema de Proteção Adaptativa (SMPA), mencionado anteriormente como um dos integrantes do SMAD. Esse sistema é responsável pela parametrização e coordenação de proteção dos relés de forma automática após uma falta. Nesse trabalho, ocorreu a validação em bancada, integrando o sistema modelado em (SAMPAIO, 2017, P. 225), com as novas adaptações propostas.

### ***3.2.6 Virtualização da comunicação IEC 61850 de IED***

Em (MAGALHÃES, 2019, P. 97), foi apresentado o resultado do testes e validação dos IED's virtuais na plataforma de automação do laboratório de redes elétricas inteligentes.

Os relés virtualizados têm a capacidade de se comunicar com diversos componentes da plataforma de testes do laboratório, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4- Representação da Comunicação do relé virtualizado



Fonte: Próprio autor.

Conforme apresentado na Figura 1, foi testado a comunicação de relés reais com relés virtuais usando os protocolos MMS (*Manufacturing Message Specification*) e GOOSE, estabelecidos na norma IEC 61850. Além disso, observa-se na Figura 4, a integração da mala de teste com os relés virtuais por meio de protocolo de comunicação editor-assinante utilizado para o envio de mensagens GOOSE.

### 3.3 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentado as funções inteligentes desenvolvidas no GREI, testadas e validadas na plataforma do laboratório de rede elétricas inteligentes do GREI. No próximo capítulo, será apresentado novas funcionalidades desenvolvidas para o SMAD.

## **4 DESENVOLVIMENTO DE NOVAS FUNCIONALIDADES PARA AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO**

Neste capítulo são apresentadas as seguintes funcionalidades para automação de distribuição desenvolvidas nesse trabalho:

- Desenvolvimento da integração de relés de proteção com o sistema SCADA Elipse, através dos protocolos de comunicação IEC61850 e DNP 3.0;
- Desenvolvimento da integração de uma unidade central de controle (CPL) de uma microrrede com o sistema SCADA Elipse;
- Desenvolvimento de várias funcionalidade para integração do SCADA com o SMAD;
- Desenvolvimento de funcionalidades de bloqueio do SMRA para controle do sistema e para garantir segurança de pessoas durante o processo de recomposição automático;
- Teste de bancada para a validação das novas funcionalidades implementadas;
- Desenvolvimento de atividades voltadas ao ensino de automação e proteção de sistemas elétricos.

### **4.1 Integração entre sistema SCADA e relés de proteção**

Nesse trabalho foi desenvolvido a integração entre o sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) da Elipse Software e os relés de proteção da fabricante SEL, através dos protocolos de comunicação IEC 61850 e DNP 3.0 (*Distributed Network Protocol*).

Como parte da integração, é possível realizar leituras de variável, comandos, geração de relatórios, alarmes, análise de forma de onda e mudanças de grupo de ajuste dos relés de proteção em ambos protocolos

### **4.2 Integração entre sistema SCADA e Microrrede**

Como forma de auxílio a um dos integrantes do GREI, em sua pesquisa de mestrado, foi realizado a integração de um sistema supervisorio SCADA com a microrrede, projetada e implementada em (SOARES, 2016, P.176), constituinte do laboratório de redes elétricas

Inteligentes, parte integrante do GREI.

Na atividade, o contato com o sistema fotovoltaico da microrrede, com os inversores fotovoltaicos, CLP (Controlador Lógico Programável) da Schneider e protocolo de comunicação Modbus, trouxeram um grande aprendizado.

Foi implementada a comunicação entre Elipse Power e CLP Schneider através do protocolo Modbus..

### **4.3 Função de bloqueio de recomposição automática do SMRA**

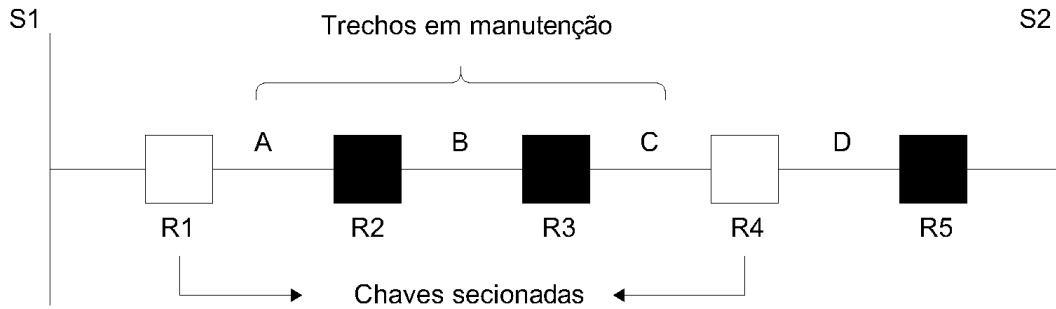
O SMAD proposto por (SAMPAIO, 2017, P. 225) e posteriormente adaptado por (SAMPAIO, 2017, P.113), possui funções de recomposição automática e proteção adaptativa. Essas funções garantem um tempo bem menor na isolação de faltas e reenergização de setores não defeituosos afetados. Entretanto, existem situações em que a atuação desse sistema pode pôr em risco vidas humanas e a integridade de equipamentos da rede elétrica.

Em (SAMPAIO, 2017, P. 225), foi proposto como trabalho futuro o desenvolvimento de uma função de bloqueio para o sistema de recomposição automática. Sem a função de bloqueio, o SMRA opera, independentemente do tipo de função de proteção que eliminou a falta, podendo causar acidentes durante a recomposição automática.

As principais riscos que acionam as funções de bloqueio são as manutenções manuais feitas na rede, faltas relacionadas a funções de proteção de neutro, atuação do sistema durante os ciclos de religamento. Além disso, há ainda uma necessidade do desligamento do religamento automático do SMRA.

Na Figura 5 é apresentado um sistema radial com recurso para ilustrar um exemplo em que pode ocorrer um acidente de trabalho durante a manutenção. Conforme pode ser observado na Figura 5 os trechos A, B e C estão isolados após a abertura manual do religador R1. Nessa condição, o SMRA pode interpretar que ocorreu uma falta e pode comandar o fechamento da chave de transferência de carga R4. Neste caso, o SMRA deve identificar que ocorreu uma atuação manual de abertura no equipamento e bloquear a recomposição automática a partir dos dados disponibilizados pelo relé. Este comando de abertura manual pode ser realizado pela equipe de campo ou pelo operador a partir do sistema SCADA.

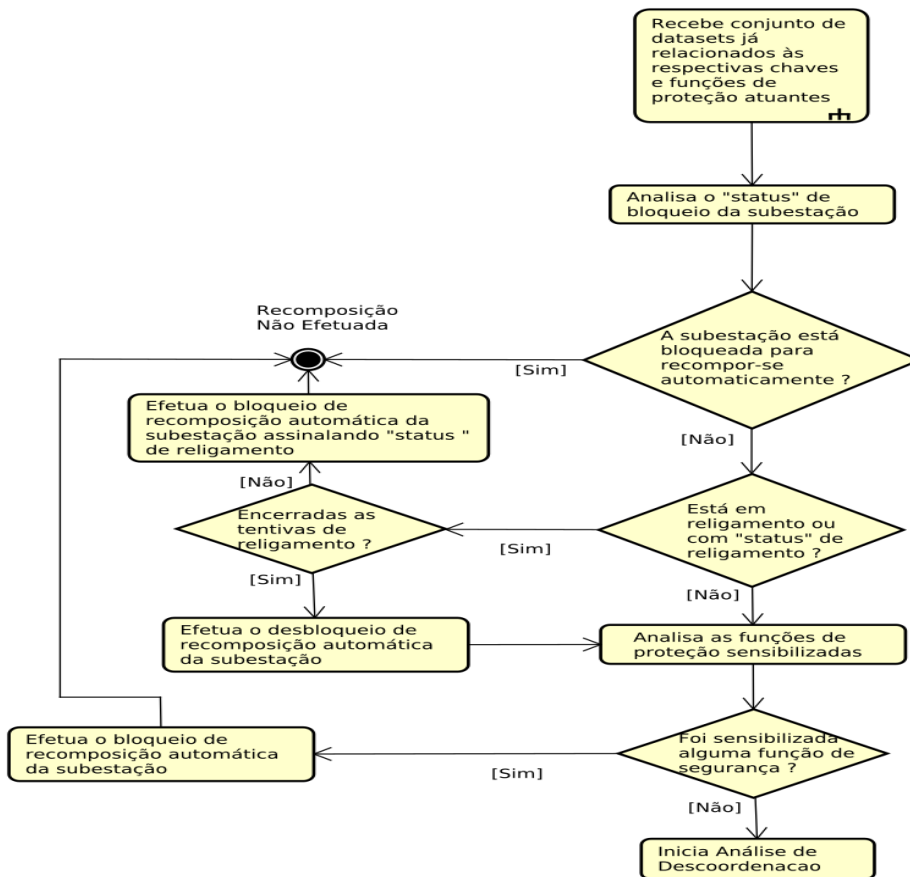
Figura 5- Trecho em manutenção numa rede radial com recurso



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 6 é apresentado o fluxograma da função inteligente desenvolvida para bloqueio da ação do SMRA. Utilizando dados de abertura manuais de equipamento, funções de proteção de neutro e dados de religamento, presente nos relés, ao longo da rede de distribuição, foi possível identificar e classificar o tipo de sensibilização do relé. Dessa forma, o sistema passa a verificar se ocorreu uma falta e decide se segue em frente com a recomposição automática.

Figura 6- Diagrama de bloco de decisão das funções de bloqueio do SMAD



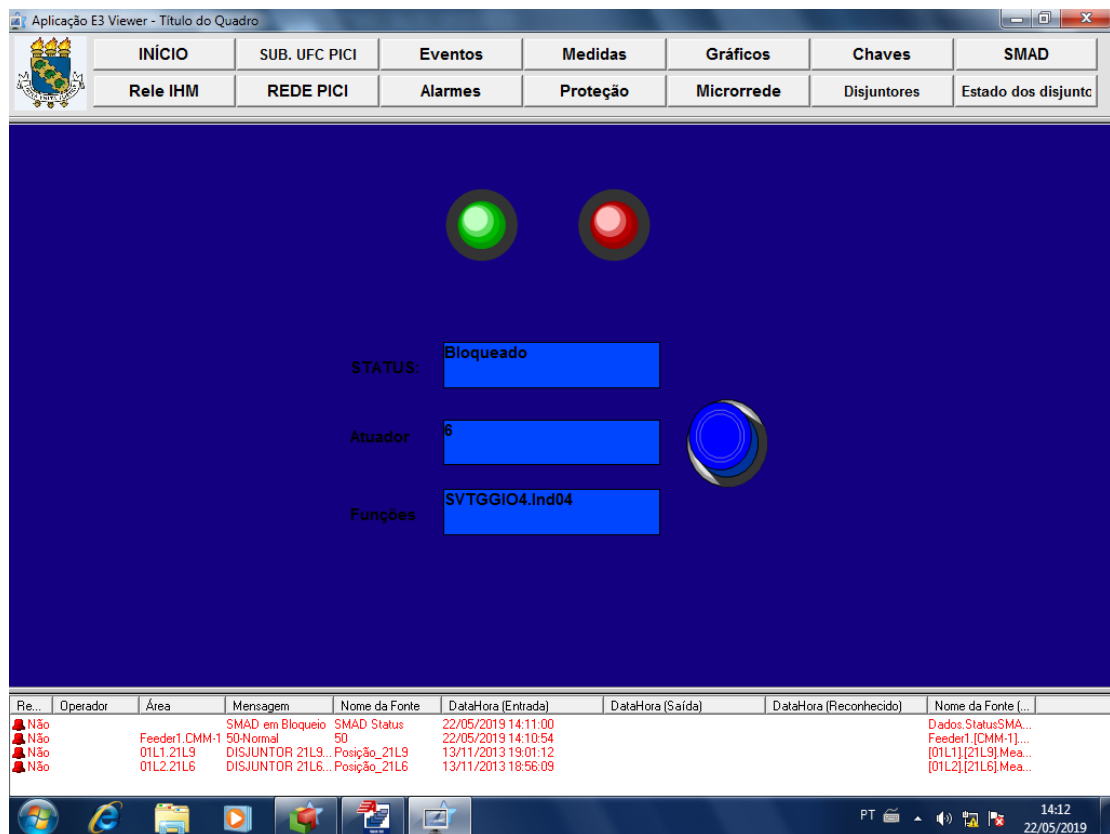
Fonte: Próprio Autor

#### 4.4 Integração do SMRA com sistema SCADA.

Nessa seção é apresentado o desenvolvimento da integração entre o SCADA e SMRA. Para esse fim foi desenvolvido em VBscript, dentro de uma tela do supervisor SCADA, presente na Figura 7, *client* HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) e em linguagem Python, um *server*.

As informações das funções de bloqueio do SMRA são acessíveis a aplicação python, que disponibiliza periodicamente ao sistema SCADA, podendo ainda receber comandos do sistema SCADA e atuar diretamente no bloqueio da recomposição automática.

Figura 7- Tela do supervisor dedicada ao SMAD

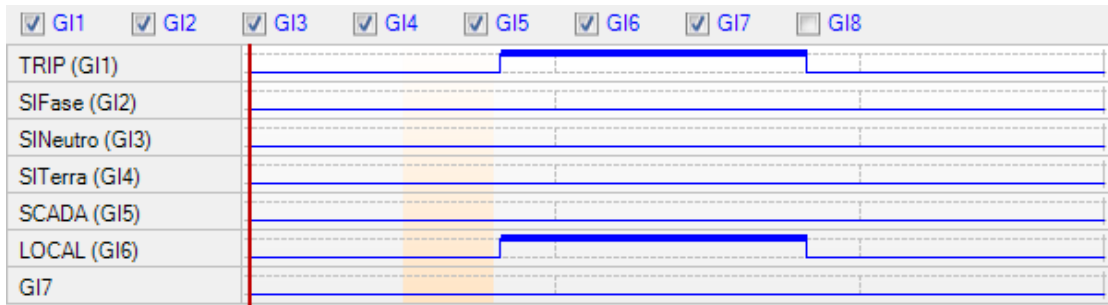


Fonte: Próprio Autor

A Figura 8 mostra 6 sinais lógicos que foram extraídos de um relé de proteção através da comunicação GOOSE. Esses sinais lógicos são pontos lógicos reais presentes na estrutura do relé de proteção. O sinal de TRIP, que está associado à variável G11 do software, representa a atuação do relé de proteção, i.e., o comando enviado para o disjuntor para a sua abertura. O sinal denominado LOCAL, presente na variável G16 do software, indica o ponto lógico SVTGGIO4.Ind04 do relé de proteção. Esse ponto lógico é uma variável em desuso na

estrutura do relé, mas para fins de teste, foi associada a um botão na parte frontal do relé de proteção e também incorporada à lógica de atuação do relé.

*Figura 8- Sinais lógicos extraídos do relé de proteção através do software Sequenc - COMPROVE*



Fonte: Próprio Autor

Através do gráfico, pode-se observar que ao pressionar o botão da parte frontal do relé, este atua com uma diferença mínima de *delay*. O SMAD foi programado para entender que um acionamento local (através de um botão no relé de proteção) significa manutenção de trecho, dessa forma, é bloqueada a atuação da recomposição automática da rede elétrica, o que é representado na Figura 9.

*Figura 9- Log de status do SMAD*

```
[S1_ADiag@192.168.1.157:4000] 22/05/2019 14:07:07 --> Pedido de subscricao aceito
[S1_ADiag@192.168.1.157:4000] 22/05/2019 14:07:07 --> Pedido de subscricao aceito
[Acomunicacao#IED6h@192.168.1.157:4206] 22/05/2019 14:08:09 --> Mensagem TRIP Recebida
[S1_ADiag@192.168.1.157:4000] 22/05/2019 14:08:14 --> Mensagens de TRIP recebidas
('bloqueado', '<< status')
[S1_ADiag@192.168.1.157:4000] 22/05/2019 14:08:14 --> Atuação do sistema Multiagente Bloqueada!
p(s) dispositivo(s) 6, da Subestação S1, bloqueou|bloquearam a atuação devido apresença do(s) evento(s): SVTGGI04.Ind04
```

Fonte: Próprio Autor

As informações de bloqueio são então passadas por HTTP ao sistema SCADA o qual possui uma tela dedicada ao SMAD, informando status, identificador do relé que atuou e o ponto lógico responsável pela atuação. Dessa forma, é possível observar a integração do relé com o sistema SMAD e do sistema SMAD com o sistema SCADA.

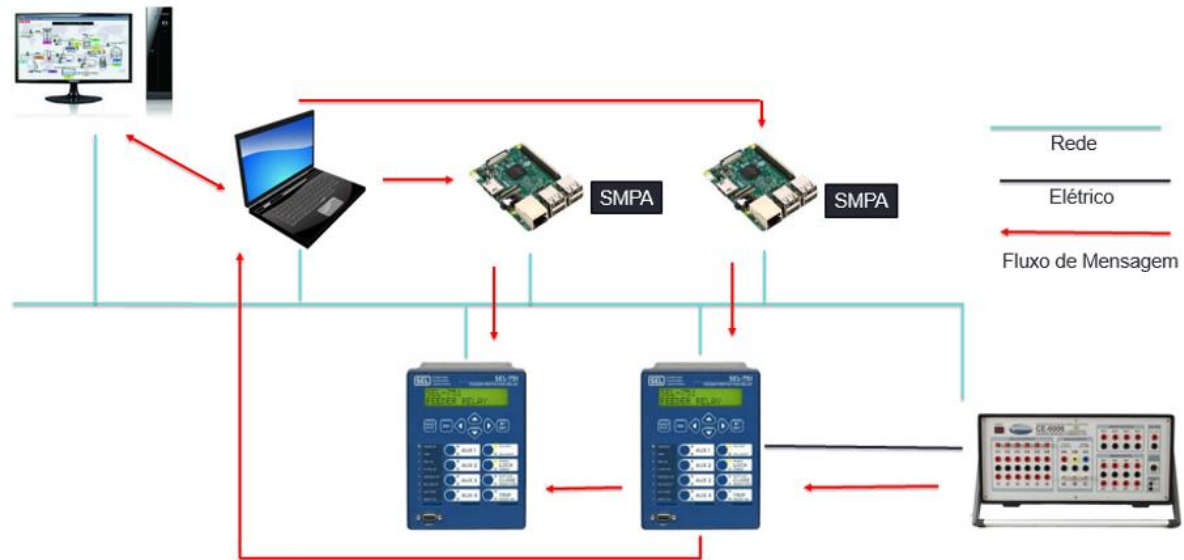
#### 4.5 Plataforma de teste e validação das funções inteligentes propostas

Na Figura 10 é mostrado a plataforma de teste, do laboratório de redes elétricas



inteligentes, utilizada para realização dos testes e validação de todas as funções inteligentes apresentadas nesse trabalho.

*Figura 10- Plataforma de testes do laboratório de redes elétricas inteligentes*



## 4.6 Resultados

### 4.6.1 Monitorias e Treinamentos

A plataforma de testes apresentada na Figura 10, também vem sendo utilizada para desenvolvimento de práticas de proteção de sistemas elétricos de potência, nas disciplinas de proteção de sistemas elétricos de potência e na disciplina de supervisão e controle de sistemas elétricos. Os conteúdos presentes nas práticas estão relacionados à apresentação de equipamentos, parametrização de relé, configuração de comunicação entre relés utilizando IEC 61850, seletividade lógica, desenvolvimento de supervisórios no Elipse Power, comunicação e integração do Elipse Power e relés de proteção, entre outros temas. Foi, ainda, realizado treinamento para os monitores da disciplina de Proteção de Sistema de Potência, apresentando todo o sistema e realizando as práticas citadas anteriormente, no intuito de facilitar a aprendizagem e validar as práticas.

### 4.6.1 Publicações em eventos

Como resultado desse trabalho, foram elaborados e apresentados os artigos em eventos nacionais tais como:

- Práticas de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, XXVI Encontro de Iniciação à Docência, nos Encontros Universitários – UFC, no ano de 2017
- *An adaptive protection system for distribution network with distributed generation.* Publicado no SBSE (Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos).

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento, teste e validação de várias funcionalidade do SMAD e sua integração com o sistema SCADA. Como resultado do trabalho houve a apresentação de trabalhos em eventos que demonstraram o potencial da plataforma de laboratório de redes elétricas inteligentes do GREI para o desenvolvimento de funções inteligentes e para o ensino de proteção e automação de sistemas elétricos.

O conhecimento e aplicação de ferramentas comerciais, como os softwares da SEL, Schneider e Elipse Power, colaboraram não apenas no âmbito acadêmico, mas também profissional, pois o acesso e o conhecimento sobre essas ferramentas são bem restritos

Atuando nas atividades de monitoria da disciplina de Proteção de SEP, obteve-se experiência com o ensino, com a participação na formulação e testes de laboratórios para a disciplina e a ministração de aulas de laboratório com demonstração das atividades por mim desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA T. M. Desenvolvimento de um Sistema de Recomposição Automática baseado em Multiagentes para Redes de Distribuição de Energia em Média Tensão. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017, p. 75.

CARNEIRO, A. V. Projeto, Desenvolvimento e Implementação de Microrrede em Campus Universitário com Tecnologia Solar Fotovoltaica e de Armazenamento. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2017, p. 176.

CODECADEMY. *Codecademy*. Plataforma de estudos de *Python* e *#C*. *New York City, 2020*. Disponível em: <<https://www.codecademy.com/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

CODECADEMY. *Codecademy*. Plataforma de estudos de *Python* e *#C*. *New York City, 2020*. Disponível em: <<https://www.codecademy.com/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

CONPROVE. Conprove Engenharia, Indústria e Comércio. Página Inicial. Disponível em: <<http://www.conprove.com.br/pub/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

DEUS, J. B. B. Utilização do Protocolo DNP3 na comunicação entre IED e Sistema SCADA. Trabalho de Conclusão de Curso, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2013, p. 105.

ELIPSE. *Elipse Software*. 2015. Página Inicial. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

ELIPSE. *Elipse Software*. 2015. Download de Tutorias e Manuais. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/?mta=83>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

ELIPSE. *Elipse Software*. 2015. Manual de referência de Scripts do E3. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/?mta=83>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

ELIPSE. *Elipse Knowledge base*. Página Inicial. 2020. Disponível em: <<https://kb.elipse.com.br/>> Acesso em: 13 de jun. de 2020.

GREI. Grupo de Redes Elétricas Inteligentes – UFC. 2017. Página Inicial. Disponível em <<https://grei-ufc.github.io/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2020.

IEC/TR 61.850-1. IEC 61850-1: Communication Networks and Systems in Substations, Part 1: Introduction and overview. International Electrotechnical Commission, 2003. Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033549!opendocument.>>

IEC/TR 61.850-5. IEC 61850-5: Communication Networks and Systems in Substations, Part 5: Communication requirements for functions and device models. International Electrotechnical Commission, 2003. Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033549!opendocument>>

IEC/TR 61.850-6. IEC 61850-6: Communication Networks and Systems in Substations, Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs, 2003. Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033549!opendocument>>

IEC/TR 61850-7-1. IEC 61850-7-1: Communication Networks and Systems in Substations, Part: 7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and Models International Electrotechnical Commission, 2003a. Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033549!opendocument>>

IEC/TR 61850-7-1. IEC 61850-7-1: Communication Networks and Systems in Substations, Part: 7-1: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and Models, 2003b. Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033549!opendocument>>

IEEE Standard for Electric Power Systems Communications - Distributed Network Protocol (DNP3), IEEE Std 1815-2012 (Revision of IEEE Std 1815-2010), pp.1-821, 10 out. 2012.

LIBIEC61850. LibIEC61850/ LibIEC60870-5: *Open source libraries for IEC 61850 and IEC 60870-5*. Disponível em: < <http://libiec61850.com/libiec61850>>. Acesso em: Acesso: 13 de jun. de 2020.

MAGALHÃES, L. F. Plataforma de Testes e Virtualização de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes Baseados na Norma IEC 61850. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2019, p. 97.

MELO, L. S. Desenvolvimento de uma Plataforma para Implementação de Sistemas Multiagentes com Aplicação para Recomposição Automática de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2015, p. 121.

RODRIGUES, M. S. L. Estudos, Parametrização e Ensaio da Proteção com Funções de Sobrecorrente, Seletividade Lógica, Falha de Disjuntor e Religamento Automático da Rede de Distribuição Aquiraz. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2015, p. 135.

SAMPAIO, F. C. *An adaptive protection system for distribution network with distributed generation*. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2018.

SAMPAIO, F. C. Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa Aplicado a Redes de Distribuição e Microrredes em Média Tensão. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2017, p.113.

SAMPAIO, R. F. Sistema de Automação Distribuído: Uma Abordagem Baseada em Multiagente Aplicada a Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Média Tensão. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2017, p. 225

SOARES, D. M. Metodologia para Implementação, Teste e Validação da Integração dos Níveis Hierárquicos de Automação de Subestação. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2016, p. 48.

YOUTUBE. Elipse Software Taiwan. Elipse Power. Disponível em: <<https://www.youtube.com/user/ElipseSoftwareTaiwan/playlists>>. Acesso: 13 de jun. de 2020.

YOUTUBE. Curso em Vídeo. Curso *Python*. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=S9uPNppGsGo>>. Acesso: 13 de jun. de 2020.>