



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**  
**Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**

**Lucas de Souza Borges**

**Relatório de Estágio Integrado**

**Campina Grande, Paraíba**  
**Maio de 2014**

Lucas de Souza Borges

## Relatório de Estágio Integrado

*Relatório de Estágio Integrado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica*

Empresa: INTEREST Engenharia Ltda.

Período de Estágio: 09/10/2013 a 09/04/2014

Orientador:  
Professor João Batista Morais dos Santos, Dr.

Campina Grande, Paraíba  
Maio de 2014

Lucas de Souza Borges

## Relatório de Estágio Integrado

*Relatório de Estágio Integrado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica*

Aprovado em     /     /

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor João Batista Morais dos Santos, Dr.**

Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Campina Grande, Paraíba  
Maio de 2014

## Agradecimentos

A Deus, por ter me concedido saúde e força para chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicionais dados em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos, Maíra e Caio, por serem fonte de conhecimento, amor e admiração.

À minha namorada, que de forma especial me dá amor e carinho para enfrentar qualquer empreitada.

Aos Srs. Luís Sérgio, José Linhares e Osvaldo Matubara, pela oportunidade de estagiar na INTEREST Engenharia e pelos ensinamentos passados.

Ao professor João Batista, pela orientação e imensurável compreensão em todos os momentos.

A todos os meus colegas de trabalho, que além de dividerem o conhecimento, fizeram da INTEREST uma segunda casa.

A Jamilly, Luiz, Dayanne, Daniel e Rair, pela amizade e momentos compartilhados.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que esta fosse uma experiência de sucesso.

*"O momento em que você para de tentar ser uma pessoa melhor, é o momento em que você se torna pior do que já é." - Carroll Bryant*

## Lista de Figuras

3.1	Unidades lógicas básicas envolvidas em um relé de proteção digital. . .	5
4.1	Arranjo disjuntor e meio. . . . .	8
4.2	Diagrama lógico da proteção de sobretensão temporizada. . . . .	9
4.3	Representação do Relé SEL 421. . . . .	9
4.4	Funcionalidade simplificada do SEL421. . . . .	10
4.5	Tela do AcSELerator QuickSet para ajustes da lógica de trip. . . . .	11
4.6	Tela para ajuste dos parâmetros de comunicação com o relé SEL. . . .	12
4.7	Representação da Omicron CMC 356. . . . .	13
4.8	Tela inicial do Omicron Test Universe. . . . .	14
4.9	Interface do QuickCMC. . . . .	15
4.10	Interface do State Sequencer. . . . .	15
4.11	Painéis de proteção de linhas de 500kV. . . . .	16
4.12	Medidor de espessura de camada. . . . .	17
4.13	Medição da corrente de fuga com um Hi-pot. . . . .	18
4.14	GIGA de testes. . . . .	19
4.15	Relés curinga em funcionamento na SE RCD. . . . .	21

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Apresentação da Empresa</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Introdução Teórica</b>	<b>3</b>
3.1	Descrição Geral de uma Subestação . . . . .	3
3.2	Proteção de Sistemas Elétricos . . . . .	3
3.3	Relés Digitais . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Atividades Realizadas</b>	<b>7</b>
4.1	Estudo de Desenhos Funcionais e Diagramas Lógicos . . . . .	7
4.2	Estudo do Relé SEL421 . . . . .	8
4.2.1	Software AcSELerator QuickSet . . . . .	11
4.3	Caixa de Testes Omicron 356 . . . . .	12
4.4	Inspeção Técnica de Painéis . . . . .	16
4.4.1	Teste de Espessura da Pintura . . . . .	16
4.4.2	Teste de Aderência da Pintura . . . . .	17
4.4.3	Medição da Isolação da Fiação . . . . .	17
4.4.4	Verificação de Potenciais, Entradas e Saídas Digitais do Relé . . . . .	18
4.5	Teste de Aceitação em Fábrica - TAF . . . . .	19
4.6	Comissionamento . . . . .	20
4.7	Projeto do link 05G2 da SE XGO . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>

# 1 Introdução

Neste relatório de estágio integrado estão descritas, de forma sucinta, as atividades desenvolvidas, assim como as experiências e aprendizados adquiridos durante o período na INTEREST Engenharia.

Devido à necessidade de proteger cada vez mais as linhas de transmissão contra defeitos, faz-se necessário o uso de equipamentos cada vez mais modernos e autônomos, capazes de tomarem decisões corretamente o mais rápido possível. Nesse contexto, a modernização dos sistemas associados a essas tarefas vem sendo uma atividade posta em prática pelas concessionárias de transmissão e distribuição de energia elétrica. No caso mais específico do nordeste, a CHESF vem atualizando, através do *retrofit*, o sistema de proteção de suas subestações de transmissão.

As atividades desempenhas pelo estagiário foram todas relacionadas aos projetos e à execução da troca das proteções de 28 terminais de linha de 500kV e 27 terminais de linha de 230kV da CHESF.

## 2 Apresentação da Empresa

A INTEREST Engenharia é uma empresa especializada em consultoria e projetos de engenharia de sistemas de transmissão e geração de energia elétrica. Fundada em 1990, em seu portfólio incluem-se ainda os serviços de acompanhamento e fiscalização de obras e os serviços de instalação, montagem e "retrofit" de painéis de proteção e controle.

O corpo técnico da INTEREST é formado por engenheiros e técnicos, de reconhecida experiência, que se destacaram durante a sua carreira profissional, nas áreas de projetos e implantação de sistemas elétricos de potência, envolvendo-se diretamente com vários empreendimentos de destaque da engenharia nacional.

A empresa está localizada na cidade do Recife, contando com infraestrutura adequada à sua área de atuação, rede de aproximadamente 40 estações de trabalho e softwares de engenharia de última geração.

Alguns dos trabalhos desenvolvidos pela INTEREST são:

- **Subestações de Alta e Extra Alta Tensão.** Projetos básico e executivo eletromecânico, civil e elétrico. Projetos de *retrofit* para substituições de sistemas de proteção eletromecânicos ou estáticos por sistemas digitais. Especificações técnicas de equipamentos. Projetos de sistemas de serviços auxiliares. Projetos de sistemas de medição de faturamento.
- **Consultoria e Assessoria.** Análise técnica de projetos de subestações e usinas. Análise técnica de desenhos de fabricantes. Consultoria e assessoria técnica para serviços de engenharia do proprietário de sistemas de transmissão e geração de energia. Assessoria técnica para obtenção do Parecer de Acesso para conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN).
- **Engenharia de Campo.** Acompanhamento de Testes de Aceitação em Fábrica - (TAF) e Testes de Aceitação em Campo - (TAC) de sistemas digitais de proteção e controle. *Retrofit* para substituição de sistemas de proteção eletromecânicos ou estáticos para sistemas digitais. Montagem e instalação de sistemas de medição, proteção, comando, controle e supervisão.

## **3 Introdução Teórica**

### **3.1 Descrição Geral de uma Subestação**

Uma subestação (SE) é uma instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão, distribuição, proteção e controle de energia elétrica. Funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como ponto de entrega para consumidores industriais. [3]

As subestações podem ser classificadas como transformadoras e de manobras, de acordo com as duas funções básicas que executam no sistema. A primeira permite que a energia seja transmitida em tensões mais altas, por longas linhas de transmissão sem que haja demasiadas perdas. Algumas convertem a tensão para níveis mais altos e geralmente, se encontram perto das unidades geradoras, são as transformadoras elevadoras. Enquanto que as abaixadoras convertem a tensão para níveis mais baixos para que sejam interligados com os centros de carga, ou seja, para que a energia seja entregue aos consumidores em níveis de tensões apropriados. As SE de manobra são destinadas ao seccionamento e interconexão de circuitos com o mesmo nível de tensão, para que seja possível a multiplicação e estabelecimento de diversas rotas para a transmissão de energia.[4]

### **3.2 Proteção de Sistemas Elétricos**

A proteção dos sistemas elétricos de potência é um área de extrema importância para o fornecimento da energia elétrica aos consumidores e para a segurança dos equipamentos que compõem o sistema elétrico. Essa área vem se desenvolvendo muito nos últimos anos, devido ao surgimento de novas tecnologias que possibilitaram a introdução da proteção digital através de relés microprocessados.

O sistema de proteção é composto por um conjunto de subsistemas integrados que interagem entre si com o objetivo de produzir a melhor atuação, ou seja, isolar a área defeituosa sem que esta comprometa o restante. Tais subsistemas são compostos por relés, disjuntores, transformadores de instrumentação e pelo sistema de suprimento de energia.

### 3.3 Relés Digitais

Os relés de proteção são considerados os componentes mais importantes do sistema de proteção, uma vez que a decisão lógica sobre a atuação em uma determinada região é feita por estes equipamentos. Devido a essa importância, os relés devem ser equipamentos extremamente confiáveis e robustos, pois suas funções só serão exigidas em condições anormais de operação.

É importante salientar que a tomada de decisão de um relé, isto é, o envio do sinal de abertura do disjuntor (trip), é determinada pelo tipo de função que o relé está executando e de suas configurações, já que cada aplicação exige uma parametrização específica de acordo com a topologia da rede elétrica, da filosofia de proteção adotada e da parte do sistema que se deseja proteger. A parte do sistema elétrico a qual o relé deverá atuar no sentido de protegê-la é conhecida como zona de proteção. Os equipamentos para aplicação em sistemas de proteção devem possuir algumas propriedades básicas: [6]

- Confiabilidade: assegurar que a proteção atuará corretamente quando for necessária, distinguindo entre situações de falta e condições normais de operação.
- Seletividade: maximizar a continuidade do serviço de fornecimento de energia, desconectando o mínimo do sistema em situações de falta.
- Velocidade de operação: minimizar o tempo de duração da falta e consequente perigo para os equipamentos.
- Simplicidade: mínimo de equipamentos de proteção e circuitos elétricos associados para executar os objetivos da filosofia de proteção desejada.
- Economia: máxima proteção com o mínimo de custo.

As empresas de transmissão e distribuição do setor elétrico estão buscando atualizar os sistemas de proteção através da troca de dispositivos ultrapassados (relés eletromecânicos) por outros mais modernos e confiáveis (relés digitais). Essa troca de proteções é conhecida como retrofit.

Os IEDs (Intelligent Electronic Devices) são unidades multifuncionais para a proteção, controle, automação, medição e monitoramento dos sistemas elétricos, permitindo o desenvolvimento de lógicas de intertravamento e bloqueio, ou seja, funcionalidades em uma única caixa.

As informações que esses relés obtêm do sistema elétrico podem ser distribuídas para diversos centros de controle de forma paralela. Os relés digitais também trouxeram benefícios na vida útil dos equipamentos de potência. Os blocos funcionais envolvidos em um relé microprocessado estão mostradas na Figura 3.1.

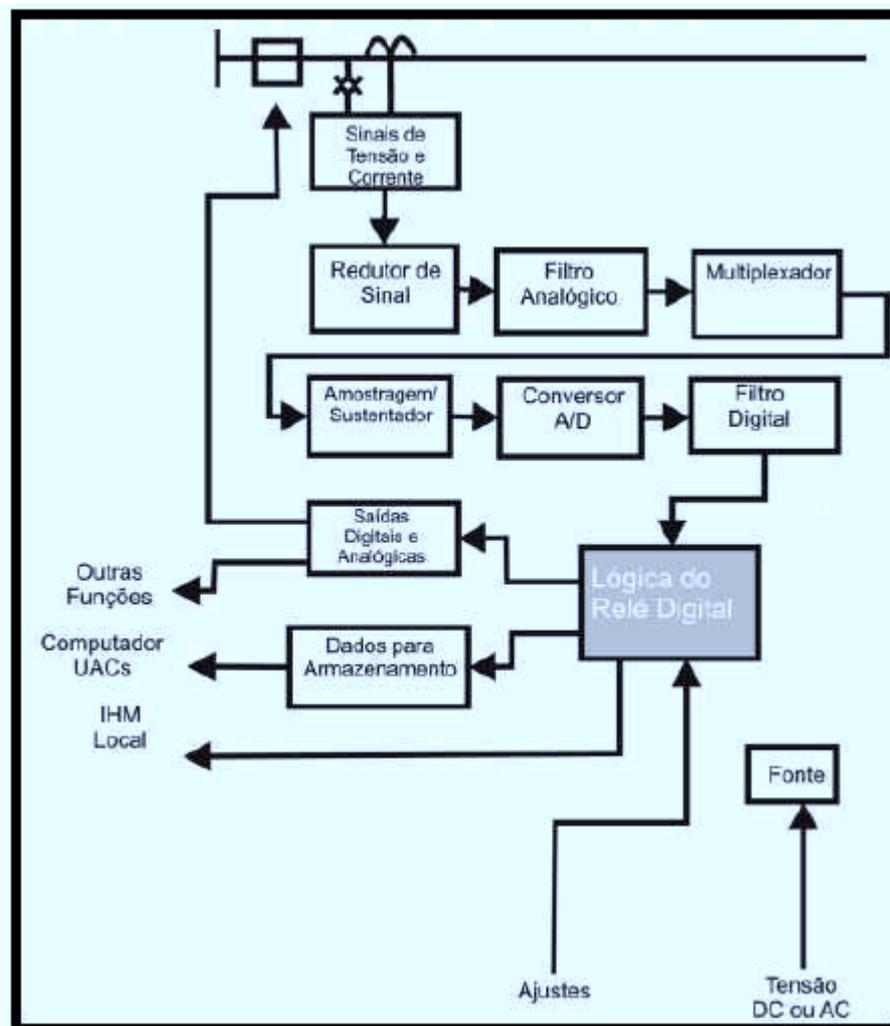


Figura 3.1 – Unidades lógicas básicas envolvidas em um relé de proteção digital.

De maneira geral estes blocos realizam as seguintes funções:

- Entrada Analógica: Bloco por onde entram os sinais analógicos das correntes e tensão via transformador de corrente (TC) e transformador de potencial (TP);
- Redutor de Sinal: Produz adaptação dos sinais de entrada ao circuito do relé digital. Neste bloco, transformadores auxiliares produzem o desacoplamento físico

entre os circuitos de entrada e de saída;

- Filtro Analógico: De acordo com a necessidade da função requerida, realiza uma filtragem dos sinais indesejados;
- Multiplexador: Faz a multiplexação dos sinais de entrada;
- Amostragem e sustentação: Prepara os sinais analógicos em sinais de amostragem por ciclo para a conversão em sinais digitais;
- Conversor A/D: Transforma os sinais amostrados em sinais digitais;
- Filtro Digital: Estabiliza os sinais digitais;
- Lógica do relé: Faz a lógica de operação do relé, a qual depende do algoritmo aplicado e da função de proteção desejada. Este bloco pode conter entradas digitais capazes de alterar a lógica de proteção do relé informando, por exemplo, o estado de disjuntores e chaves seccionadoras;
- Saídas digitais e analógicas: São destinadas a cumprir as funções do relé, podendo estar associadas a alarmes, controles, dados para supervisão, comando para outros relés e principalmente comando de abertura para disjuntores;
- Bloco de registro de eventos e oscilografia: Armazena dados necessários para efetuar análise do desempenho da atuação da proteção e das condições do sistema durante a ocorrência da falta;
- Interface Homem-Máquina (IHM): Dependendo do relé de proteção pode ser realizada diretamente no aparelho, através de um computador local ou de maneira remota.

## 4 Atividades Realizadas

Todas as atividades realizadas durante o período de estágio estão relacionadas aos trabalhos desenvolvidos nos projetos de Retrofit desempenhados pela INTEREST. Este grande contrato executado pela empresa, consiste na substituição das proteções de 28 terminais de linhas de 500kV e 27 terminais de 230kV da CHESF.

Dentre as atividades desempenhadas pela INTEREST neste contrato, estão o fornecimento dos painéis de proteção, execução das obras, testes e comissionamento. Nesta seção estão descritas as atividades desempenhadas pelo estagiário em cada fase deste trabalho.

### 4.1 Estudo de Desenhos Funcionais e Diagramas Lógicos

A base de um projeto elétrico de MPCCSR (Medição, Proteção, Comando, Controle, Supervisão e Regulação) é o desenho funcional. Nele estão contidos os diagramas unifilares, trifilares e todas as conexões entre os equipamentos envolvidos no projeto. Deste modo, inicialmente foi proposto o estudo dos desenhos funcionais típicos utilizados no retrofit. Primeiramente estudou-se os diagramas unifilares da subestação, depois os diagramas trifilares, e daí em diante foi possível começar a compreender quais os elementos envolvidos em um projeto de MPCCSR.

A partir do estudo dos diagramas unifilares, estudou-se os principais arranjos das subestações. Dentre eles destacam-se dois arranjos com os quais o estagiário teve mais contato.

**Barra principal e barra de transferência.** Este arranjo permite que o disjuntor de cada vão seja isolado para manutenção, sem que seja necessário desligar o circuito. Neste caso, as proteções devem ser capazes de atuar sobre ambos os disjuntores, o do vão e o disjuntor de transferência.

**Barra Dupla - Disjuntor e meio.** A nomenclatura disjuntor e meio deve-se ao fato de que para cada duas conexões à barra, necessitamos de três disjuntores ou seja, para cada conexão um disjuntor e meio. Na ocorrência de defeito em um dos circuitos, três disjuntores protegem dois circuitos em uma configuração com dois barramentos. A ocorrência de falha em uma das barras não provocará o desligamento dos circuitos, apenas irá ocorrer a retirada da barra para a manutenção. A vantagem deste esquema é que qualquer disjuntor ou barra podem ser retiradas de operação para a manutenção sem afetar os circuitos. Na Figura 4.1 encontra-se o esquemático deste arranjo.

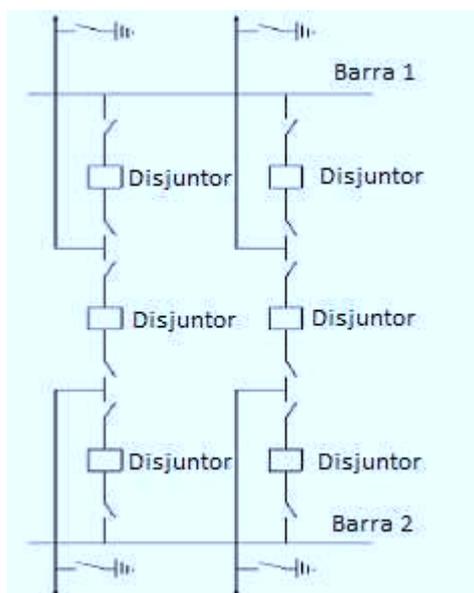


Figura 4.1 – Arranjo disjuntor e meio.

Além dos funcionais, também foram estudados os diagramas lógicos desenvolvidos para os relés digitais. Os diagramas lógicos utilizam portas lógicas e sinais específicos de cada relé, para informá-lo como ele deve se comportar para realizar as funções de acionamento e desligamento de equipamentos (intertravamentos), assim como para definir que tipo de falha será acionada, dada a presença de determinadas condições. Esses diagramas variam de relé para relé, de acordo com os sinais que o fabricante disponibiliza em cada equipamento. O projetista também define quais blocos internos dos relés devem ser utilizados para cada aplicação. A Figura 4.2, apresenta uma página do diagrama lógico de um relé SEL 421 (Schweitzer Engineering Laboratories) utilizada para acionar a proteção de sobretensão temporizada.

## 4.2 Estudo do Relé SEL421

O SEL-421 (Figura 4.3) contém todos os elementos de proteção e lógicas de controle necessários para proteger linhas de transmissão aéreas e cabos subterrâneos. O relé mede simultaneamente cinco zonas de proteção de distância mho de fase e terra e cinco zonas de proteção de distância de terra quadrilateral. Esses elementos de distância, em conjunto com os elementos opcionais direcionais de alta velocidade, seleção de fases em falta e distância de alta velocidade, são aplicados em esquemas

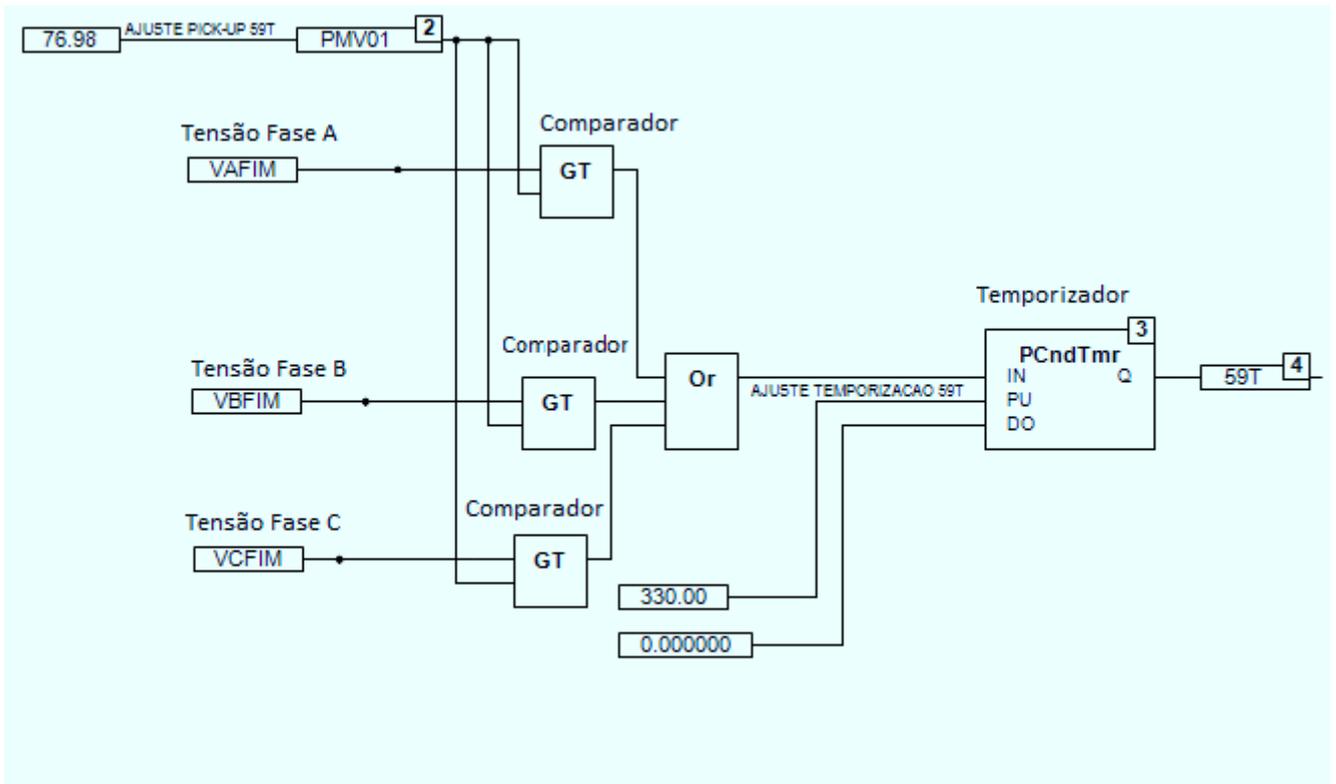


Figura 4.2 – Diagrama lógico da proteção de sobretensão temporizada.

de proteção de distância com zonas temporizadas e esquemas de teleproteção.



Figura 4.3 – Representação do Relé SEL 421.

O SEL-421 é fácil de ser ajustado e usado em linhas típicas, ao mesmo tempo em que os ajustes das lógicas e os elementos de alta velocidade facilitam sua aplicação em linhas críticas e difíceis de serem protegidas. Esses relés serão usados no retrofit de todos os terminais de 500 kV.

Uma visão funcional simplificada do relé é mostrada na Figura 4.4.

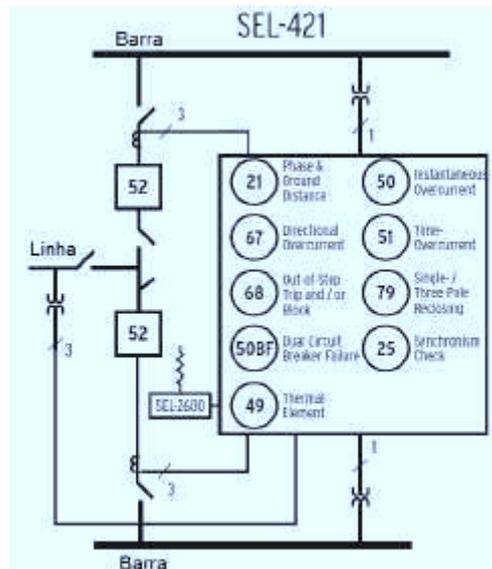


Figura 4.4 – Funcionalidade simplificada do SEL421.

São elas:

- 21 - Proteção de distância
- 67 - Proteção de sobrecorrente direcional
- 68 - Proteção de oscilação de potência
- 50BF - Proteção de falha do disjuntor
- 49 - Elemento Térmico
- 50 - Proteção de sobrecorrente instantânea
- 51 - Proteção de sobrecorrente temporizada
- 79 - Religamento
- 25 - Check sincronismo

## 4.2.1 Software AcSELerator QuickSet

O *software* AcSELerator Quickset é uma ferramenta utilizada para parametrizar os ajustes de todos os relés da SEL. Ele pode ser utilizado para configurar as funções de proteção necessárias, analisar os registros de faltas através das respostas dos elementos do relé, visualizar os níveis de harmônicos e fasores em tempo real, monitorar o sistema de energia em que está instalado, executar comandos através de comunicação serial e desenvolver ajustes on-line. Na Figura 4.5 pode-se ver uma tela de ajustes dos parâmetros do relé no Quickset.

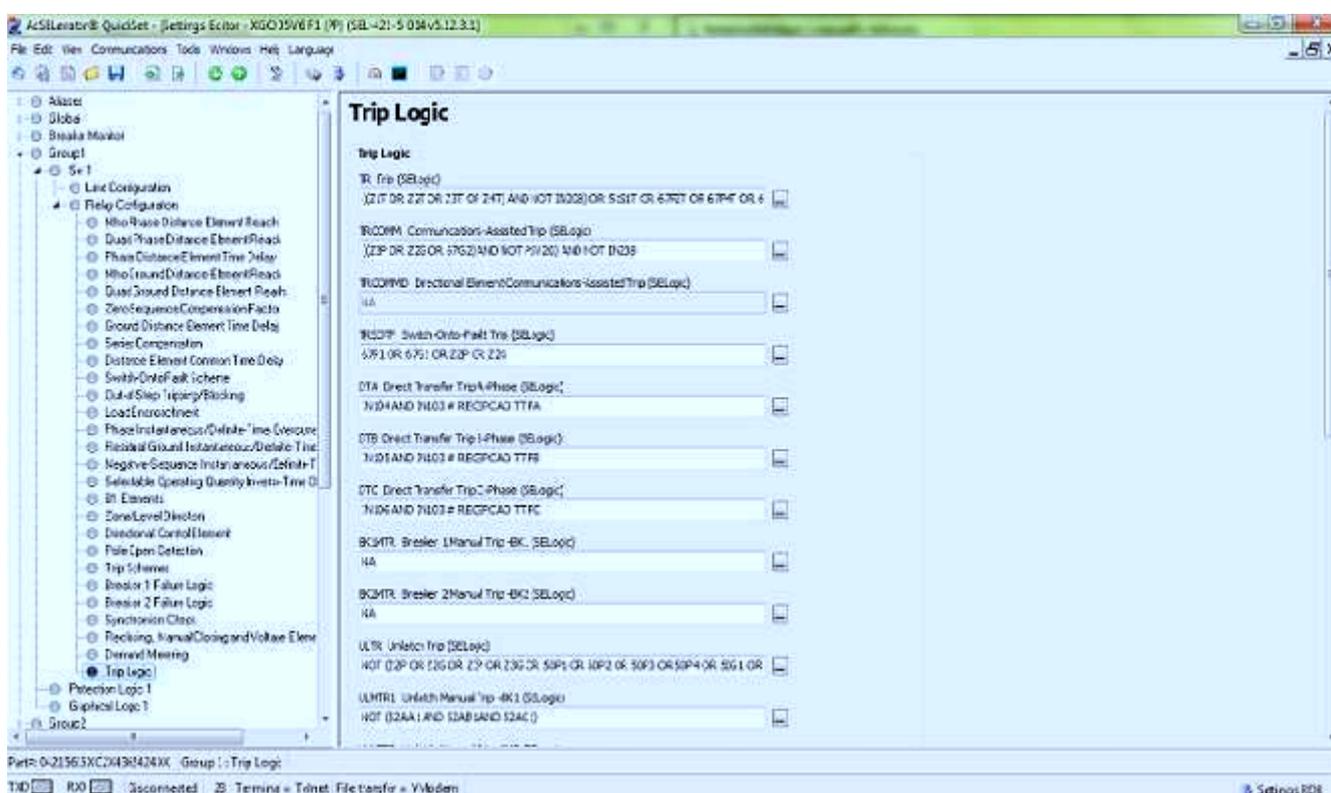


Figura 4.5 – Tela do AcSELerator QuickSet para ajustes da lógica de trip.

As ferramentas básicas para desenvolvimento das equações de controle SELOGIC são os *Relay Word bits*, grandezas digitais cujo valor lógico é 0 ou 1. Os termos habilitar ou habilitado referem-se a um *Relay Word bit* que tem o valor 1 ou está mudando de 0 para 1. Já os termos desabilitar ou desabilitado referem-se a um que tem o valor 0 ou está mudando de 1 para 0. Diversos elementos do relé habilitam ou desabilitam esses elementos, usando-os na lógica interna fixa para tomar decisões, interpretar as

entradas ou para acionar as saídas. Esses mesmos bits são disponibilizados para o usuário, de forma que ele possa ter flexibilidade para definir entradas ou saídas, especificar as variáveis de controle para lógicas internas, ou para criar uma lógica especial personalizada através do uso das equações de controle SELOGIC.

A comunicação com o relé é feita ao clicar em *Communication* na tela inicial. Com isso, é aberta uma janela denominada *Communication Parameters* (Figura 4.6) onde é possível selecionar o tipo de comunicação e vários outros parâmetros, como, por exemplo, a velocidade de envio e recebimento de dados. O meio físico utilizado neste caso, foi um cabo conversor USB-serial.



Figura 4.6 – Tela para ajuste dos parâmetros de comunicação com o relé SEL.

### 4.3 Caixa de Testes Omicron 356

Existem no mercado modernos equipamentos de testes para relés, que permitem testar todas as suas funções sob qualquer condição de curto. Permitem ainda a ve-

rificação dos ajustes parametrizados dos relés, além da identificação de problemas funcionais nos mesmos. Durante o estágio, com o intuito de realizar comissionamentos, foi necessário estudar e aprender a controlar a caixa de testes CMC 356 da Omicron Eletronics (Figura 4.7) e o seu *software*, o Omicron Test Universe.

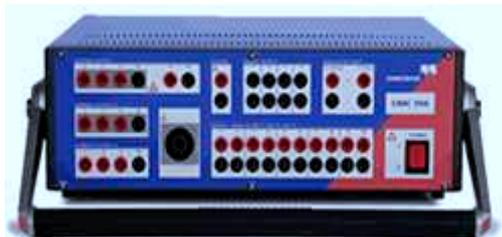


Figura 4.7 – Representação da Omicron CMC 356.

A CMC-356 é ideal para testes de relés de proteção de linhas de transmissão e subestação, especialmente para testes que demandam alta potência. Suas especificações técnicas garantem, também, alto desempenho em testes de dispositivos de proteção de geração e distribuição, operando em altas e médias tensões.

De acordo com o seu fabricante, este equipamento tem como características: [7]

- Sistema de testes para todas as gerações de relés (eletromecânicos, digitais...)
- Operação segura em altas correntes (6 x 32 A, 3 x 64 A, 1 x 128 A)
- Operação segura em altas tensões (6 x 430 VA, 3 x 860 VA, 1 x 1000 VA)
- Software interno que possibilita a realização tanto de testes manuais quanto automáticos
- Alta precisão para grandes potências (erro < 0,025%)

Este equipamento de teste oferece 6 saídas de corrente alternada, 3 saídas de tensão, 10 entradas digitais/analógicas, 5 saídas digitais binárias, 1 saída de tensão contínua e duas entradas de corrente contínua. É realmente uma ferramenta poderosa para testar relés. No entanto, o hardware em si não seria suficiente. Desse modo, a caixa de testes CMC 356 vem acompanhada pelo software que a controla, o Omicron Test Universe.

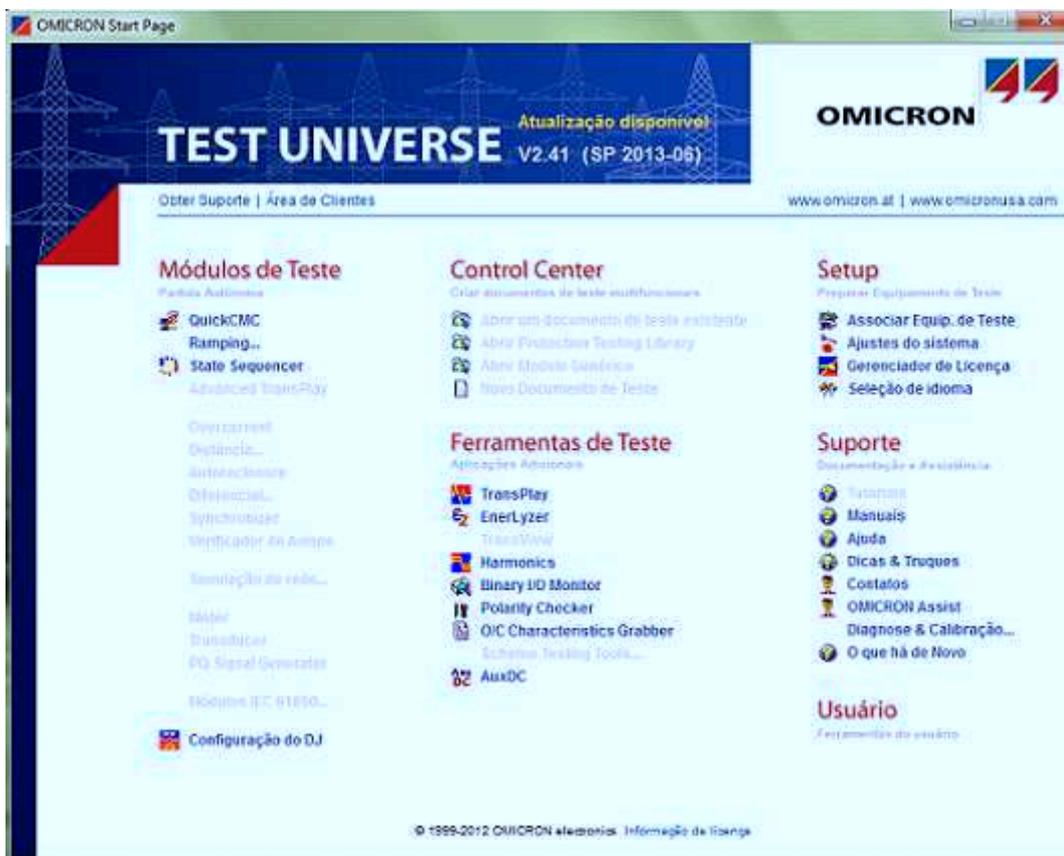


Figura 4.8 – Tela inicial do Omicron Test Universe.

No Omicron Test Universe existem módulos de teste que permitem que os relés sejam operados de modo autônomo para testes simples. Podemos observar a página inicial desse *software* na Figura 4.8.

Como pode-se observar, o *software* dispõe de vários módulos de testes. A escolha do modo adequado depende do tipo de teste que o usuário deseja realizar. Os módulos mais utilizados são o QuickCMC (Figura 4.9) e o State Sequencer.

No módulo QuickCMC o usuário pode definir facilmente os valores de tensão e corrente para a falta que deseja simular. Também é possível verificar a atuação das binárias de entradas que estão sendo utilizadas, inclusive o momento exato que elas atuaram. Além disso, pode-se simular binárias de saída e ainda gerar um relatório com os resultados e condições do teste.

Já no State Sequencer (Figura 4.10), o usuário pode configurar uma sequência de estados que o equipamento de testes deve seguir. É possível informar o tempo de

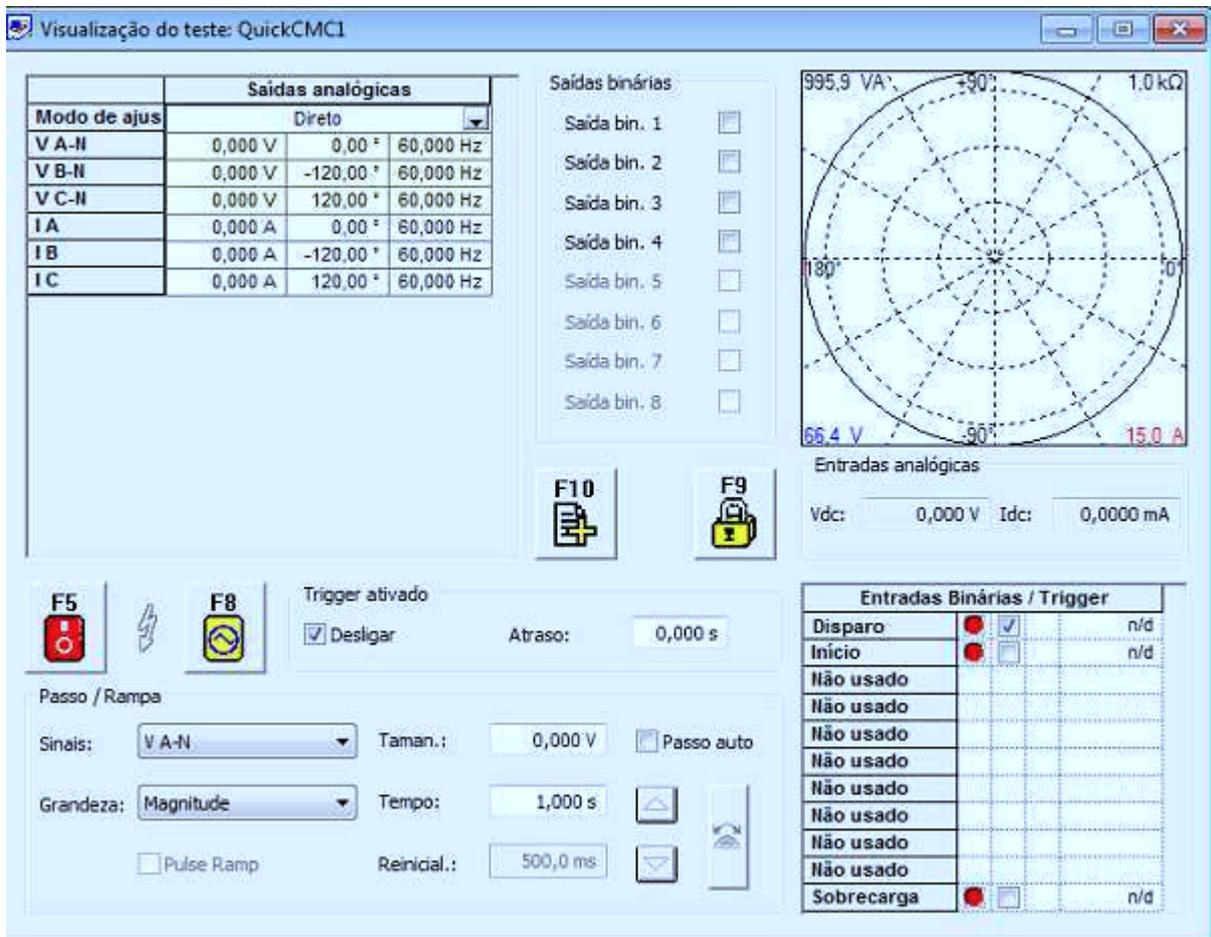


Figura 4.9 – Interface do QuickCMC.

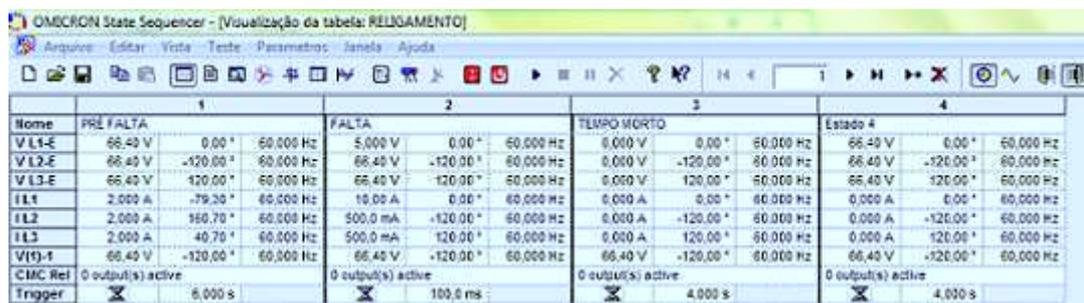


Figura 4.10 – Interface do State Sequencer.

cada estado ou passar de um para o outro através de uma tecla. Este módulo é mais adequado para simular funcionalidades mais complexas do relé, como o religamento automático.

## 4.4 Inspeção Técnica de Painéis

Como mencionado anteriormente neste relatório, um dos trabalhos realizados pela empresa é a construção de painéis de proteção para linhas de transmissão (Figura 4.11). Sendo assim, antes que o painel seja de fato energizado e colocado à prova na sua respectiva subestação, uma inspeção técnica é conduzida pelo cliente. Esta inspeção consiste na realização dos seguintes testes.



Figura 4.11 – Painéis de proteção de linhas de 500kV.

### 4.4.1 Teste de Espessura da Pintura

O objetivo deste teste é verificar se o chassi apresenta uma camada de tinta adequada, a qual previna danos e arranhões. Para realizá-lo, utiliza-se um medidor de espessura análogo ao da (Figura 4.12). Para que o painel seja aprovado, devemos ter como resultado da medição uma camada de tinta de no mínimo  $80\mu\text{m}$ .



Figura 4.12 – Representação do medidor de espessura de camada.

#### 4.4.2 Teste de Aderência da Pintura

Este é um teste básico, no qual se utiliza uma fita de alta aderência para provar que a tinta aplicada ao painel está devidamente fixada. Com este objetivo, uma amostra (pequeno pedaço) do painel é utilizada. Nela, aplica-se uma fita de alta aderência e, após retirá-la, verifica-se a integridade da pintura. O painel é aprovado caso a pintura continue intacta.

#### 4.4.3 Medição da Isolação da Fiação

Este é talvez o teste principal da inspeção técnica. Na verdade o painel é submetido a dois testes para verificar a isolação entre sua fiação e a carcaça: a aplicação de alta tensão e a medição da resistência da fiação. Para tal, são utilizados dois aparelhos, o megômetro (medição da resistência da fiação) e o hi-pot (medição da corrente de fuga ao aplicar-se um alta tensão).

Primeiramente o painel deve ser preparado para os testes. Isto consiste na retirada da fiação de componentes suscetíveis a danos quando submetidos a alta tensão, como diodos, fusíveis, bobinas de relés auxiliares e o próprio relé digital. Além disto, com o intuito de fazer as medições contemplando toda a fiação do painel, um fio de cobre é utilizado para "jumper" todo os bornes de régua do chassi. Feito isto, conecta-se um dos terminais do megômetro nos "jumpers" e o outro terminal na carcaça do painel. Então, aplica-se tensão com o megômetro durante um minuto. Deve-se obter, claro, um valor aceitável de resistência em  $M\Omega$ . Vale salientar que as fiações ligadas à carcaça do painel (ligadas à barra de terra) devem estar desconectadas.

Logo após, aterrando-se o painel, conecta-se o positivo do hi-pot em um ponto de régua e o negativo na barra de terra. Aplica-se então uma tensão de 2,5kV por um

minuto e mede-se a corrente de fuga. Esta não deve ultrapassar, por norma, 2mA. Este teste serve para medir a isolação entre a fiação do painel e a sua carcaça (corrente de fuga para a terra). Na Figura 4.13 pode-se ver a medição do hi-pot durante este teste.



Figura 4.13 – Medição da corrente de fuga com um Hi-pot.

Para finalizar, faz-se novamente o processo de medição da resistência da fiação com o megômetro. O valor da resistência deve ser bem próximo ao medido anteriormente.

#### 4.4.4 Verificação de Potenciais, Entradas e Saídas Digitais do Relé

Finalizadas as etapas de inspeção física do painel, inicia-se os testes de funcionalidades. Estes compreendem as verificações dos potenciais distribuidos por cada disjuntor do painel e das entradas e saídas digitais do relé digital.

Com o auxílio de um multímetro e seguindo os potenciais descritos no desenho funcional, liga-se um disjuntor de cada vez e mede-se tensão nos devidos pontos dos componentes do painel. Depois, testa-se as entradas digitais (IN) do relé. Para isto, com um "jumper", aplica-se potencial positivo nas INs e verifica-se as atuações na IHM do relé digital. Um procedimento análogo é feito para a verificação da funcionalidade das OUTs (saídas). Neste caso, aciona-se as saídas através da IHM do relé digital e verifica-se a atuação dos devidos relés auxiliares.

Com término deste teste, sendo o painel aprovado em todos os quesitos, o inspetor libera-o para o Teste de Aceitação em Fábrica - (TAF).

Todos os testes descritos anteriormente foram conduzidos pelo estagiário diversas

vezes, estando sempre presente, para validar os resultados, o inspetor da empresa cliente, a CHESF.

#### 4.5 Teste de Aceitação em Fábrica - TAF

O Teste de Aceitação em Fábrica (TAF) tem como principal objetivo checar o correto funcionamento do relé de proteção após ter sido programado com a sua lógica e com suas ordens de ajustes. São conferidos todos os potenciais e contatos dos relés auxiliares previstos em projeto e também os sinais de comunicação entre relés e módulos adicionais, caso existam no painel.

Durante o estágio foi possível acompanhar dois destes testes, uma para painéis de proteção de linha e outro para painéis para proteção de link usina-subestação.



Figura 4.14 – Fotografia da GIGA de testes.

Geralmente o teste inicia com a montagem da caixa de testes e de um equipamento chamado GIGA de testes (Figura 4.14). A GIGA nada mais é do que um equipamento que contém chaves, para simular posição de seccionadoras e atuação de binárias de entrada no relé de proteção e relés auxiliares, para simular a posição dos disjuntores da linha. Feito isso, inicia-se a conferência da distribuição de potenciais do relé através do desenho funcional. Em seguida, testa-se as entradas e saídas digitais do relé digital. No caso das saídas, é necessário observar se todos os contatos dos relés auxiliares estão atuando devidamente, medindo continuidade ou tensão nos seus terminais ou pontos de régua. Há ainda uma verificação visual das identificações dos equipamentos do painel e das anilhas da fiação.

Posteriormente, implante-se no relé de proteção a ordem de ajustes (OA) adequada para a linha que ele protegerá. A partir daí iniciam-se de fato os testes de proteção, como a atuação das funções de distância, sobrecorrente, sobretensão, perda de potencial, fechamento sobre falta, entre outras. A cada êxito nos testes, as respectivas páginas do funcional são "amareladas", ou seja, pintadas com um marca texto para comprovar que o circuito foi testado.

Todo este procedimento de testes de proteção segue um roteiro recomendado pelo cliente, a fim de esgotar todos os testes possíveis e minimizar ao máximo problemas no campo.

## 4.6 Comissionamento

No comissionamento, o objetivo é instalar, testar e comprovar que as modificações realizadas no *retrofit* estão funcionando corretamente. Durante o estágio na INTEREST foi possível acompanhar diversos comissionamentos de relés de proteção, a maioria deles na subestação de 500 kV em Xingó.

Devido ao grande número de alterações necessárias para um projeto deste porte, é inviável substituir as proteções antigas pelas proteções novas repentinamente, pois isto iria demandar que a linha fosse desligada por demasiado tempo. Logo, visando evitar a não disponibilidade da linha de transmissão, antes de efetivamente colocar a nova proteção definitiva, instalam-se relés de proteção chamados **CURINGAS** (Figura 4.15). Desse modo, para a instalação do curinga é necessário apenas um dia de desligamento e para a instalação dos relés definitivos, mais um dia.

Os relé curingas, por serem provisórios, não contém todas as funções de proteção para a linha de transmissão, apenas as que são consideradas mais importantes. A sua instalação (cabeação e comissionamento) é feita em aproximadamente uma semana. Depois de colocar o curinga em funcionamento, a equipe inicia os trabalhos para a instalação dos relés definitivos. Este trabalho costuma ser feito em cerca de 25 dias.

Em campo, as alterações a serem feitas são analisadas através de planilhas de interligação e fiação, além claro, dos seus respectivos desenhos e diagramas. A confecção destas planilhas também foi um dos trabalhos desempenhados pelo estagiário, bem como a conferência de desenhos de inteligência e diagramas de fiação.

Durante o comissionamento, tanto os relés curinga quanto os definitivos são novamente testados. No entanto, além de testar o comportamento do relé digital, verifica-se



Figura 4.15 – Fotografia de relés curinga em funcionamento na SE RCD.

se todas as conexões para os demais painéis foram feitas corretamente, observando as atuações de alarmes, oscilografia e disjuntores.

#### **4.7 Projeto do link 05G2 da SE XGO**

Perto do fim do período de estágio, foi dada ao estagiário a oportunidade de desenvolver o projeto executivo de um link usina-subestação da subestação de 500kV de Xingó. Este foi um grande desafio encarado pelo estagiário, devido à grande relevância e responsabilidade que um projeto deste porte carrega.

As etapas para o desenvolvimento do projeto elétrico são:

- Adequação do desenho funcional original fornecido pela CHESF para as alterações referentes ao *retrofit*;
- Elaboração das alterações de interligação e fiação dos painéis envolvidos de acordo com o novo desenho funcional;
- Elaboração das planilhas de interligação e fiação para a execução.

Durante o processo de elaboração do projeto, contamos com o auxílio de profissionais especialista em AutoCAD para acelerar a conclusão dos desenhos, uma vez que o volume de alterações é bastante significativo.

## 5 Conclusão

O sistema elétrico brasileiro está em processo de renovação. É um dos maiores sistemas interligados de energia do mundo, o que faz com que novos problemas sejam encontrados frequentemente. A área de proteção do sistema elétrico em conjunto com a automação das usinas e subestações é uma formação profissional bem específica que é bastante requisitada no mercado de trabalho.

A realização do estágio na empresa Interest Engenharia foi de suma importância para a complementação da formação de engenheiro eletricitista. Atuar como engenheiro de campo na área de automação de subestações e proteções de sistemas elétricos foi desafiador e ao mesmo tempo de imenso aprendizado, pois permitiu conhecer uma nova vertente da profissão e me qualificar para atuar em uma área de grande desenvolvimento no país e com carência de mão de obra especialista. Possuir conhecimento básico sobre conceitos de eletrotécnica e sobre noções de telecomunicações, permitiu uma rápida adaptação e facilidade no entendimento do funcionamento do sistema e na implementação de soluções desenvolvidas ao longo do estágio.

Destacam-se como pontos fortes deste estágio, a oportunidade de trabalhar com profissionais bastante experientes da CHESF, alguns com mais de 30 anos de carreira, bem como a visão bastante prática de vários conhecimentos adquiridos na Universidade. Entre os pontos fracos, pode-se comentar a dificuldade nos processos administrativos da empresa, a qual está passando por um processo de crescimento bastante acelerado. As inúmeras viagens para as obras e a carga horária de trabalho no campo também foram algumas das dificuldades enfrentadas pelo estagiário.

Apesar da formação na área de Controle e Automação, o estagiário, a partir das disciplinas cursadas na UFCG, foi capaz de assimilar mais facilmente os conceitos essenciais do trabalho, que é mais voltado para os Sistemas de Potência. Disciplinas como Circuitos Elétricos, Sistemas Elétricos e Análise de Sistemas Elétricos foram de grande importância na formação do estagiário e no seu desempenho no período de estágio.

## 6 Bibliografia

[1] AGUIAR, H.M.G.; SILVEIRA, H.; CANANÉA, R FARSOON, R.; PEREIRA, V. - Modernização Tecnológica do Sistema de Gerenciamento de Energia da Chesf - XIII SNPTEE, 1995.

[2] CEPEL. Desenvolvimento de uma Nova Geração de Centros de Controle. Especificação Funcional, 1992.

[3] COURY, D. V. Introdução aos Sistemas Elétricos de Potência. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

[4] KINDERMANN, Geraldo. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência- Vol. 1, 2 ed. UFSC, Florianópolis, 2005.

[5] SEL. Instruction Manual, -421-4, -5 Relay Protection and Automation System.

[6] SILVA, Márcio Gabriel Melo. Avaliação do Desempenho de Relés de Proteção Digitais. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

[7] Adimarco. Acesso em 5 de Maio de 2014, disponível em Adimarco - Consultoria e Equipamentos para Testes de Redes Elétricas: <http://www.adimarco.com.br/>