

Proposição de um Simulador para Ensino em Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.

Alanio Ferreira de Lima
Dept. em Engenharia de Computação
Universidade Federal do Ceará, UFC
Sobral, Brasil
allanio007@gmail.com

Anderson Tadeu Soares de Paiva, Carlos Elmano de Alencar e Silva, Vandilberto Pereira Pinto.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Federal do Ceará, UFC.
Sobral, Brasil

andersonnpaiva@hotmail.com, elmano@ufc.br,
vandilberto@ufc.br

Jefferson Jardim Izaías de Souza, Flávio Roberto de Sousa Nunes

Dept. de Ciência da Computação
Universidade Estadual do Piauí, UESPI
Parnaíba, Brasil
jeffersonjardem@gmail.com,
flavio.r.sn@gmail.com

Resumo – Com a proposta de utilização de softwares de simulação como alternativa de ensino e modernização da disciplina de Proteções do Sistema Elétrico de Potência, este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de simulação das proteções de uma subestação de Transmissão da Rede Básica do Sistema Elétrico de Potência (SEP). Este Simulador para Treinamento Presencial e a Distância em Operação e Proteção de Sistemas Elétricos (STOP) surge como um auxiliador aos profissionais da área de sistemas elétricos de potência. A ferramenta apresentada neste trabalho simula uma subestação de Transmissão da Rede Básica do SEP (500-230 kV) permitindo que o usuário configure elementos da subestação como, por exemplo, as Linhas de Transmissão e suas proteções, simule faltas e observe a atuação das proteções. Desenvolvido em JAVA e integrado ao STOP com a denominação de Módulo II, o simulador apresentado utiliza a integração do STOP com o Moodle para oferecer a opção de ser utilizado também no Ensino a Distância (EaD).

Palavras-chave – Sistema de Proteções Elétricas, Procedimento de Rede, Simulador de Ensino.

Abstract – With the proposed use of simulation software as a learning alternative and modernization for the discipline of Protections of Electric Power System, this paper presents the development a computational simulation tool of the protections of a Basic Network Transmission Substation of Electrical Power System (SEP). This

Simulator to Presential Training and the Distance in Operation and Protection of Electric Systems rises as a helper to the professionals of the area of Electric Power Systems. The presented tool in this project simulates a substation of Basic Transmission Network of the SEP (500-230 kV) allowing the user to set up elements of the substation as, for example, the Transmission Lines and their protections, to simulate failures and to observe the act of the protections. Developed in JAVA and integrated to STOP by name “Módulo II”, the simulator presented on this paper uses the STOP integration along with Moodle platform to make e-learning available.

Keywords – Electrical System Protection, Network Procedure, Education Simulator.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento na área de "Tecnologia de Informação e Computação" tem permitido, através de novas formas de treinamento, contribuições de forma direta ou indiretamente para o desenvolvimento de softwares simuladores para ensino a distância e presencial em cursos superiores de ensino.

A utilização de ferramentas computacionais de simulação é uma realidade na prática docente, em especial nas áreas de ciências exatas e tecnologia. O uso destas ferramentas possibilita

uma dinâmica de ensino capaz de promover um aprendizado mais significativo, além de motivar o aluno para a construção de novos conhecimentos [1].

Com o objetivo de reduzir custo com equipamentos de laboratório a Universidade Federal do Ceará (UFC) vem desenvolvendo um Simulador para Treinamento Presencial e a Distância em Operação e Proteção de Sistemas Elétricos (STOP) [2]. Diante deste cenário, o desenvolvimento com implementações do software agregam novas funcionalidades que podem ser inseridas à plataforma de ensino a distância Moodle. Este simulador STOP possui um Módulo para Treinamento em Proteção de Subestação Distribuidora de Energia que pode ser integrado na plataforma Moodle.

Este trabalho apresenta o estágio atual do simulador denominado de Módulo II desenvolvido em linguagem Java e que será agregado ao STOP. Este software é uma modernização continuada que objetiva ser integrado com um ambiente de aprendizagem aplicada à educação tecnológica e/ou profissional para treinamento de estudantes de engenharia elétrica, eletrotécnicos e profissionais da área de sistemas de proteções elétricas. Neste contexto a utilização deste simulador permitirá ao aluno estudar casos mais complexos, interagir com cenários realísticos e compreender conceitos da filosofia da proteção.

II. INTRODUÇÃO À PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Em termos de modelagem de um sistema elétrico de distribuição de energia, a continuidade de disponibilidade de serviço está diretamente relacionada com a qualidade do seu sistema de proteção que é apresentado na Figura 1. Esse sistema de proteção é definido como sendo o conjunto de equipamentos e acessórios destinados a realizar a proteção para curtos circuitos e para outras condições de operação anormais em componentes de um sistema de energia elétrica [3]. Neste contexto, os sistemas de proteção objetiva assegurar o perfeito estado dos equipamentos possuindo assim um sistema manutenível com o fornecimento contínuo de energia elétrica.

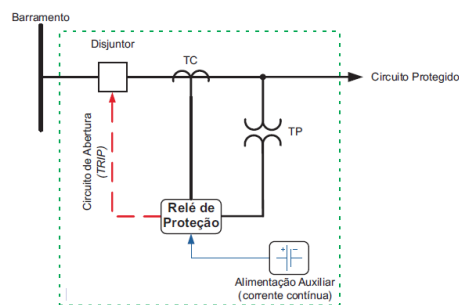


Figura 1. Diagrama esquemático de um sistema de proteção [4].

O princípio de funcionamento de um sistema de proteção típico pode ser descrito da seguinte forma: os transformadores para instrumentos (transformador de corrente – TC e transformador de potencial – TP) reduzem as magnitudes das grandezas necessárias à função de proteção (tensão e/ou corrente) para níveis aceitáveis de leitura e acesso seguro. Em seguida, essas informações são disponibilizadas ao relé, que se encarrega de processá-las. Caso os valores das grandezas excedam valores pré-definidos, os contatos do relé são fechados e neste instante, a bobina de abertura do disjuntor, alimentada por uma fonte auxiliar, é energizada abrindo os contatos principais do disjuntor[5].

O relé é o dispositivo mais importante do Sistema de Proteção, sendo o elemento responsável por detectar condições anormais no sistema e decidir sobre a abertura ou não dos disjuntores, de modo que o processo de retirada de operação da parte faltosa da linha ocorra, mantendo a continuidade do fornecimento de energia e limitando os danos aos equipamentos [6].

Os relés experimentaram uma notável evolução desde que a tecnologia digital foi adotada em sua fabricação, tendo-se transformado em dispositivos eletrônicos inteligentes ou **IED** (*Intelligent Eletronic Device*). Além de agregarem maiores recursos às tarefas de proteção de equipamentos, barras e linhas de transmissão, os IED são capazes de participar de diversas funções de supervisão, controle e automação, normalmente utilizadas em uma subestação ou usina [7].

III. O MÓDULO II DO STOP

Os sistemas de proteção objetiva salvaguardar os equipamentos e manter a

integridade de fornecimento contínuo e econômico da energia elétrica. Também os sistemas de proteções protegem os sistemas elétricos de potência (SEP) dos efeitos anormais provenientes de distúrbios elétricos. Dentre os vários distúrbios possíveis, as faltas são classificadas como um dos mais preocupantes, pois podem causar o desligamento prolongado e degradação do equipamento.

O desempenho de sistema elétrico está basicamente relacionado com o estabelecimento de requisito mínimo que tenha garantia no qual cada instalação possa atuar de forma operante mediante o Operador Nacional do Sistema (ONS). Estes documentos normativos de requisitos definidos por Procedimentos de Rede (PROREDE) em que estabelecem os requisitos mínimos para todos os tipos de instalações do Sistema Interligado Nacional (SIN), dessa forma, a análise destes procedimentos foi direcionada de forma a verificar os critérios necessários a uma subestação de transmissão da rede básica de 500-230 kV, norteando os padrões de configuração adotados no Módulo II do STOP [8].

Em suma, o Módulo II do STOP tem a proposta de ser um Laboratório Virtual para Treinamento das Proteções de uma Subestação de Transmissão, 500-230 kV, padrão da rede básica.

IV. INTERFACES DA FERRAMENTA

A. Tela Principal: Diagrama Unifilar da Subestação.

A tela inicial do simulador é representada pela figura 2 por um Diagrama Unifilar da Subestação. A partir desta tela o usuário interage com o sistema, acessa os menus de opções, acessa as demais telas de configuração e simulação, visualiza as mensagens de alerta do sistema bem como as alterações de estado dos equipamentos conforme as opções selecionadas, as faltas simuladas e a atuação das proteções. Na sua interface gráfica estão presentes os equipamentos de uma subestação básica tais como: disjuntores, chaves Seccionadoras, barramentos, linhas de transmissão (LTs), transformador, Transformadores de Corrente (TCs), para-raios, etc.

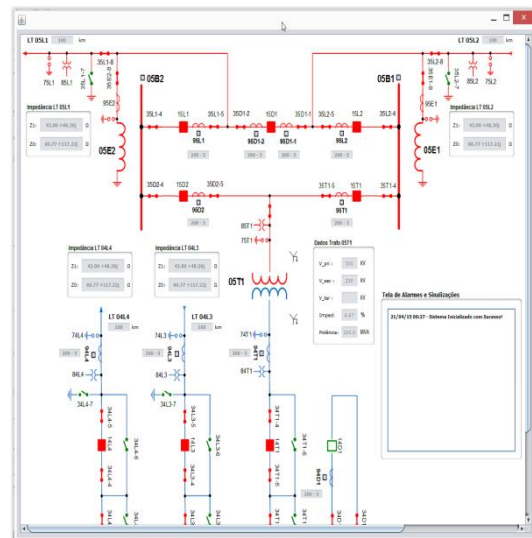


Figura 2: Tela principal do simulador [9]

Além dos equipamentos, estão presentes também painéis informativos tais como:

a) Painéis de Impedância das LTs: Informam os valores de impedância de sequência positiva (Z_1) e de sequência zero (Z_0) da LT. Esta informação é importante caso o usuário queira ajustar as proteções da LT, ou calcular o nível de curto-circuito dos barramentos.

b) Pannel de Dados do Transformador: Assim como o Pannel de Impedância de LT, este pannel fornece informações importantes para ajuste de proteções e cálculo dos níveis de curto circuito. No caso do Transformador as informações são sobre os níveis de tensão dos enrolamentos, a impedância (em PU) e a potência trifásica do Transformador.

c) Tela de Alarmes e Sinalizações: Este pannel tem o propósito de registrar as ações do usuário sobre o sistema possibilitando tanto a confirmação das ações realizadas quanto a análise posterior para uma melhor compreensão das ações tomadas, contribuindo para a assimilação dos conceitos e conteúdos explorados através do uso do simulador.

Na figura 3 é apresentado o Pannel de Impedâncias de uma das Linhas de Transmissão.



Figura 3: Pannel de Impedâncias da LT05L1 [9]

Mensagens de alerta do sistema são exibidas para informar ao usuário sobre ações incorretas ou indevidas. Na Figura 4 é apresentada uma das mensagens de alerta do sistema.

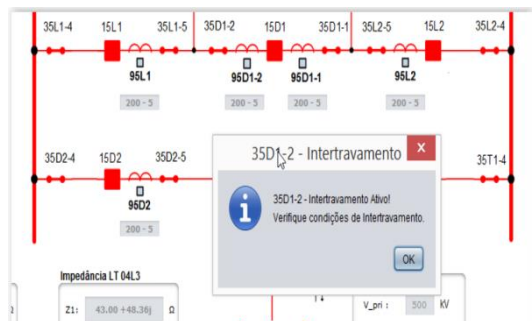


Figura 4: Mensagem de Alerta sobre o Intertravamento da Chave [9].

Ainda na tela principal do diagrama unifilar da subestação, os elementos que permitem algum tipo de interação com o usuário são identificados pela mudança do ponteiro do mouse de “seta” para “mão” ao passar o ponteiro sobre o respectivo elemento, como é mostrado na Figura 4.

A utilização do Diagrama Unifilar da Subestação como base de representação da tela principal possibilita uma abordagem didática de conceitos como: a representação dos sistemas elétricos por meio de diagramas; o uso da simbologia para representar elementos do sistema elétrico (disjuntores, chaves seccionadores, transformadores, etc.), a identificação dos esquemas elétricos da subestação (exemplo: a opção de barramento duplo com disjuntor e meio no setor de 500kV), o uso da codificação operacional nos equipamentos, dentre outras possibilidades.

B. Tela de Configuração do Transformador

A tela de Configuração do Transformador está disponível por meio do menu popup que será exibido ao clicar com o botão direito do mouse sobre o símbolo do transformador, escolhendo a opção “Parâmetros”, como é apresentado na Figura 5.

A tela de Configuração do Transformador é apresentada na Figura 6. Por meio desta tela pode-se explorar a influência das características

do Transformador na análise dos níveis de curto circuito dos barramentos. Detalhes desta influência podem ser visto em [9] na qual foram abordados no Capítulo 3 (3.2- Análise do Curto-circuito nas Barras da Subestação).

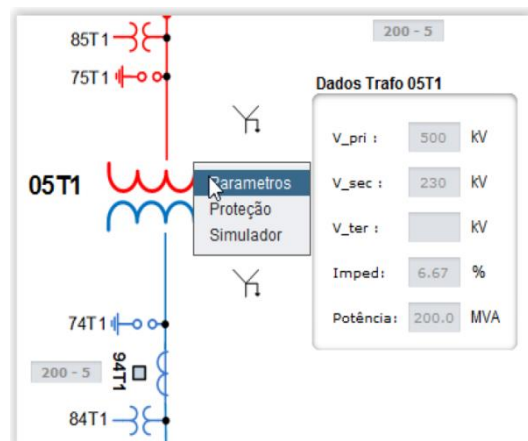


Figura 5: Acessando Parâmetros do Transformador [9].

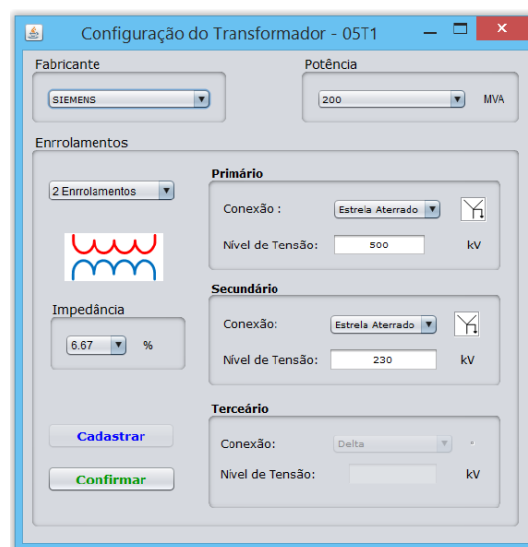


Figura 6: Acessando Parâmetros do Transformador [9].

Nesta tela é possível selecionar a potência, a quantidade de enrolamentos do Transformador e o tipo de conexão utilizada nos enrolamentos, bem como a impedância em PU do Transformador.

C. Tela do Diagrama Unifilar de Proteção da Linha de Transmissão.

Assim como a Tela de Configuração da LT, a tela do Diagrama Unifilar de Proteção da LT também é acessada por meio do menu pop-up da

LT, contudo dever ser selecionada a opção “Proteção”. Ao selecionar esta opção, a Tela do Diagrama Unifilar de Proteção será exibida, como mostra a Figura 7.

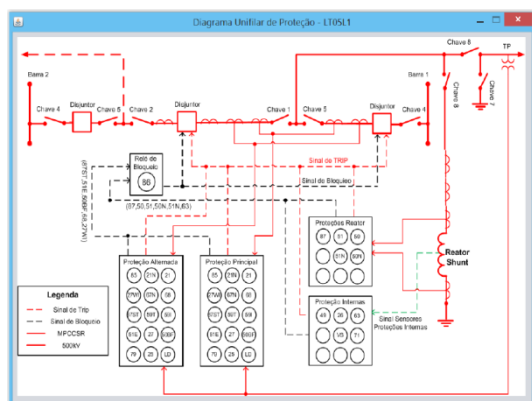


Figura 7 - Tela do Diagrama Unifilar de Proteção da LT05L1 [9].

Esta tela de Proteções tem o propósito de destacar que as proteções existentes na linha de transmissão estão de acordo com as definições do ONS, ilustrar de forma didática a forma como as proteções são implementadas no sistema e as sinalizações necessárias para o funcionamento adequado, bem como os pontos do sistema onde são obtidos os valores de tensão e correntes que são utilizados pelas proteções, facilitando a compreensão de conceitos como o de Zonas de Proteção, Zonas de Sobreposição, etc.

V. CONCLUSÃO

A modernização dos sistemas de controle e proteção tem explorado melhorias na segurança e confiabilidade dos sistemas de potência. Acompanhar as constantes mudanças tecnológicas, garantindo a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos, faz com que as empresas do setor invistam cada vez mais na qualificação profissional de seus profissionais, bem como as instituições de ensino superior intensifiquem este foco para os estudantes de engenharia, eletricitas, eletrotécnicos e profissionais de engenharia do setor de energia elétrica. Instituições de Ensino Superior (IES), como a Universidade Federal do Ceará, tem investido na utilização de simuladores de ensino em disciplinas de sistemas elétricos, como é o caso da ferramenta apresentada neste trabalho.

O estágio atual de desenvolvimento do simulador contempla uma tela principal (Diagrama Unifilar da Subestação) e as telas auxiliares de configuração de equipamentos e de suas proteções. Na tela principal o usuário identifica elementos da subestação como vão de entradas de linha, vão de saída de linha, barramentos, vão de transformação e equipamentos como disjuntores, transformadores de potência, potencial, corrente e reatores, relés etc. Nas telas auxiliares, de parametrização das linhas de transmissão, de parametrização do transformador de potência, de parametrização dos TCs, de ajuste das proteções, e as interfaces de simulação e análise de faltas, o usuário explora as características dos equipamentos e das proteções, analisando sua importância e impactos dentro das situações de falta simuladas. É possível simular faltas por meio das características de tipo da falta (trifásica, bifásica para terra, etc.) e local (distância entre o local da falta e o relé de proteção), ou pelos valores de tensão e correntes nas entradas do relé que irá atuar para a referida falta. Estes recursos reforçam a percepção do usuário sobre as diferentes formas de analisar as faltas, contribuindo na internalização destes conceitos de proteção e de análise dentro do SEP.

Desta forma concluímos que a simulador apresentado cumpre seu propósito de ser uma ferramenta capaz de contribuir com a formação, presencial e/ou a distância, de profissionais e estudantes na área de proteção e operação de sistemas elétricos.

VI. PERSPECTIVAS FUTURAS

Novos recursos estão sendo analisados para o aprimoramento da ferramenta, dentre os quais estão:

- Integração de outras subestações, com topologias diversas;
- Implementar as demais funções de proteção da subestação da rede básica. Como exemplo, tem-se a proteção diferencial do transformador de potência, teleproteção, proteções especiais e sistêmicas;
- Permitir ao aluno alterar a topologia da subestação incluindo e retirando elementos do diagrama unifilar.

- Módulo de serviços auxiliares de subestação;
- Módulo de proteção de plantas eólicas;
- Módulo de proteção de redes de distribuição de energia
- Realizar mini-curso presencial e/ou a distância com os alunos matriculados em disciplinas da vertente de Sistemas Elétricos de Potência com duração de 4 dias, cada dia com 4 horas de aula. Carga horária suficiente para profissionais das áreas poderem obter uma aprendizagem satisfatória. Ao final do último dia do mini-curso, repassar formulários para os alunos responderem as perguntas que avaliaram a eficiência do mini-curso em relação ao seu conhecimento adquirido pelo simulador.

Mestrado. Universidade Federal do Ceará – UFC. Sobral, Ceará, 2015.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] Khalil, R. F.. O uso da tecnologia de simulação na prática docente do ensino superior. *XVI ENDIPE - Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino*. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2012.
- [2] Silva, C. H., Barroso, G. C., Leão, R. P., Sampaio, R. F., & Soares, J. M.. Desenvolvimento de um laboratório virtual para capacitação tecnológica a distância em proteção de sistemas elétricos. *XXXIV - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE*, 2011.
- [3] ONS – *Glossário de Termos Técnicos*, 2008.
- [4] Netto, U. C. Aplicações de controle e supervisão distribuídas em Subestações de energia elétrica através dos relés digitais de proteção. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2008.
- [5] Sá, J. A.; Costa, F. B.; Oliveira, N. L. S.; Brito, N. S. D.; Souza, b. A.; gurgão, e. C. & carmo, U. A. Uso de um simulador em tempo real no ensino de proteção de sistemas elétricos. *Anais: XXXVIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Fortaleza, 2010.
- [6] Coury, D. V. Apostila: introdução aos sistemas elétricos de potência. Disponível em: < <http://www.sel.eesc.sc.usp.br/protecao/apostilasep1.pdf> > Acesso em: 14 jun. 2010.
- [7] Pereira, A. C.; Ordacgi Filho, J. M.; Correia, J. R. G.; Cáceres, D; Pellizzoni, R. Automação de subestações e usinas – estado da arte e tendências utilizando a norma IEC 61850. In: *VII SIMPASE*, Salvador, Brasil, 2007.
- [8] Paiva, A. T. S.. Metodologia para desenvolvimento de um simulador de proteções em uma subestação da rede básica. Monografia. Universidade Federal do Ceará - UFC. Sobral, Ceará, 2013.
- [9] Paiva, A. T. S. Laboratório virtual de proteções de uma subestação da rede básica. 2015. 98 f. Dissertação