

## USO DO SOFTWARE ATPDRAW PARA AUXÍLIO NO ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

**Resumo:** *Esse trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem e desenvolvimento de um sistema de proteção de uma alimentador de distribuição em ATPDraw, utilizando a linguagem MODELS, para uso no ensino de proteção de sistemas elétricos. O proposta desse trabalho é fazer uso de um ambiente virtual que permita a análise de sistema de proteção de uma rede de distribuição real com todas suas particularidades e utilizar essa interface para o ensino da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. O intuito é que o aluno possa, de maneira fácil e estimulante, simular em uma rede de distribuição real os diversos conceitos abordados na disciplina, configuração de relés e a coordenação do sistema de proteção.*

**Palavras-chave:** *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Rede de distribuição. ATPDraw.*

### 1 INTRODUÇÃO

Exigência por profissionais qualificados na área de sistemas elétricos de potência (SEP) está cada vez maior, devidos a mudanças no setor elétrico e a evolução tecnológica (PEREIRA, 2018). O SEP tem como finalidade fornecer energia de forma confiável, segura e com qualidade. Para atender estes requisitos, os profissionais de engenharia devem cada vez mais ter uma formação multidisciplinar para planejar, projetar, operar e manter o SEP dentro dos padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores (MÓDULO 2.6 PROREDE, 2016) (MÓDULO 3 PRODIST, 2017).

Nesse sentido, novas ferramentas computacionais e laboratórios para auxiliar no ensino da engenharia têm sido propostas para facilitar o processo de ensino e aprendizagem dos alunos da engenharia elétrica (PAIVA et al, 2014) (ALVES et al, 2014) (SILVA et al., 2018). Em (PAIVA et al, 2014), os autores apresentam um ferramenta de suporte ao ensino de proteção de sistemas elétricos de potência desenvolvida em JAVA. Em (SILVA et al, 2018) é apresentado a importância do Laboratório de Energias Alternativas para o ensino de graduação e pós-graduação em engenharia elétrica. Em (ALVES et al, 2014) é apresentado um estudo a respeito do uso do ATPDraw e da linguagem MODELS na simulação de sistemas de distribuição, em que tal trabalho proporciona um ambiente interativo de simulações que permite fazer análises de sistemas de proteção de redes de distribuição, como: estudos de coordenação e análises pós falta para utilização na disciplina Proteção de Sistemas Elétricos.

Dentro deste contexto, esse trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem e desenvolvimento de um sistema de proteção de uma alimentador de distribuição em ATPDraw, utilizando a linguagem MODELS, para uso no ensino de proteção de sistemas elétricos, visando formar o engenheiro de proteção com conhecimento em fluxo de carga, curto-circuito e de funções de proteção de relé de sobrecorrente multifunção de um sistema de distribuição real.

Este trabalho diferencia-se do trabalho proposto em Alves (2014) por utilizar o ATP para desenvolvimento de práticas de proteção de sobrecorrente de um alimentador de distribuição real na disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. As práticas propostas abrangem estudo dos ajustes das funções de proteção e simulação curto-circuito e fluxo de

carga para validação da coordenação das proteções, de forma a proporcionar ao aluno um conhecimento multidisciplinar.

Este está dividido da seguinte maneira: No item 2, é feita uma apresentação teórica sobre proteção de sistemas elétricos de potência, sobre a ferramenta computacional ATPDraw e a modelagem dos elementos de proteção, no item 3 é feita a modelagem do alimentador estudado no software ATPDraw, no item 4 é apresentado um exemplo da aplicação desse modelo no ensino de proteção, no item 5, é apresentada as considerações finais sobre a aplicabilidade da ferramenta computacional ATPDraw no ensino de proteção de sistemas elétricos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Proteção de sistemas elétricos de potência

O objetivo fundamental de um sistema de proteção é isolar uma área defeituosa do sistema de potência, para que o resto do sistema sofra um impacto minimizado e, na medida do possível, continue intacto (SANDERS, 2015).

Segundo (NPAG, 2011), sistemas de proteção devem atender aos seguintes aspectos: proteção de materiais e equipamentos contra danos causados por curto-circuitos e sobrecargas; melhoria da confiabilidade dos circuitos de distribuição; racionalização dos custos dos esquemas.

Os cinco objetivos básicos do sistema de proteção são: confiabilidade, seletividade, velocidade de operação, simplicidade e economia (SANDERS, 2015).

Confiabilidade é a garantia de que o sistema vai funcionar corretamente. Em outros termos, é dividido em duas ideias: a habilidade do sistema de atuar corretamente quando requerido e a habilidade de evitar atuações desnecessárias. (SANDERS, 2015)

Seletividade é a característica do sistema de proteção em selecionar os equipamentos que irão operar para uma determinada falta. É importante que a menor parte possível do sistema seja retirada de operação, diminuindo assim os inconvenientes causados pelo desligamento do sistema. (RODRIGUES, 2015)

Velocidade é a habilidade do sistema de proteção de isolar a área com problema o mais rápido possível. A análise de velocidade deve ser feita com cuidado, pois como regra geral, quanto mais rápido um sistema atua, a possibilidade de atuação indevida aumenta, influenciando negativamente na confiabilidade do sistema.

Simplicidade é a utilização do mínimo de equipamentos de proteção e circuito associados para atingir os objetivos de proteção (SANDERS, 2015). Ou seja, para a adição de outros relés ou outras tecnologias deve ser feito um estudo apurado, pois a adição implica em mais pontos de defeito para o sistema. Por fim, economia significa atingir a máxima proteção com menor custo possível, sem que o sistema de proteção tenha os demais requisitos prejudicados.

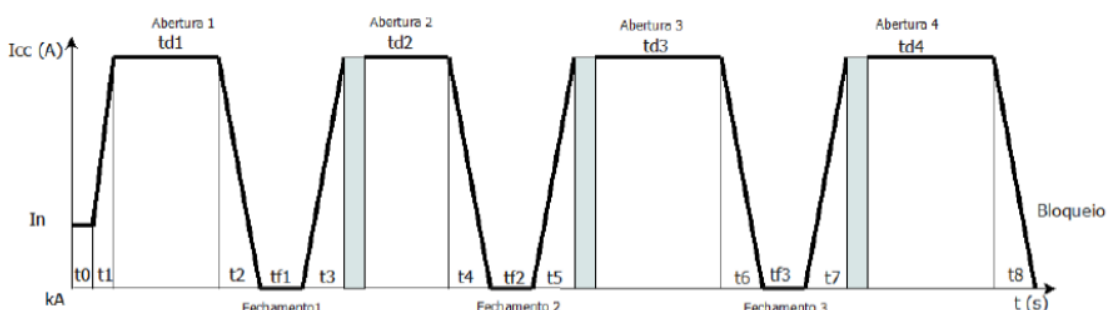
As funções de proteção caracterizam o tipo de proteção utilizada em um determinado sistema. As funções de proteção e sua codificação são padronizadas pela ANSI. Para um alimentador, as proteções mais comuns são as funções de sobrecorrente e a função de religamento. Essas funções são representadas pelos seguintes códigos:

- 50/51P - Sobrecorrente de fase instantânea e temporizada;
- 50/51N – Sobrecorrente de neutro instantânea e temporizada;
- 46 – Sobrecorrente de sequência negativa;
- 50BF – Falha de disjuntor;
- 79 – Religamento automático.

O relé pode ser definido como um dispositivo sensor que comanda a abertura do disjuntor (ALMEIDA, 2000). O sinal enviado pelo relé para o disjuntor é comumente chamado de sinal de “trip”.

A definição de religadores, segundo a norma nacional americana ANSI C37.60, é: “um dispositivo autocontrolado automático que interrompe e religa um circuito de corrente alternada com uma sequência pré-determinada de abertura e fechamento seguido por uma reinicialização, permanecendo fechado ou bloqueado”. Um religador pode, portanto, interromper automaticamente uma corrente elétrica alternada com capacidade de abertura e fechamento do circuito.

O religador é composto por TCs, câmaras de extinção, unidade de controle, relés de sobrecorrente e religamento em uma só unidade. A unidade de religamento é composta pela parametrização das atuações das unidades instantâneas e temporizadas de um relé. Um exemplo de atuação de um relé para uma atuação de 2 disparos instantâneos (rápidos) e 2 disparos 32 temporizados (retardados) é apresentado na Figura 1. Segundo (ALMEIDA,



2000), um religador é geralmente projetado para realizar no máximo 3 religamentos seguidos por 4 disparos, em que o último é associado a uma função de bloqueio.

Figura 1 – Atuação de um religador

Fonte: CONCEIÇÃO, 2012

## 2.2 O ATP e ATPDraw

Neste trabalho foi utilizado para o estudo dos transitórios eletromagnéticos, a ferramenta EMTP (Electro-Magnetic Transients Program)/ATP (Alternative Transients Program) em conjunto com sua interface gráfica ATPdraw para a modelagem da rede de distribuição e dos transformadores de corrente.

O ATP (Alternative Transients Program) é um dos programas mais usados na simulação de fenômenos transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência, desde sistemas mais complexos até sistemas de controle. (IZAGUIRRE, 2016)

O ATP utiliza integração trapezoidal para resolver as equações diferenciais que caracterizam o sistema elétrico no domínio do tempo (MIGUEL, 2011). Esse tipo de abordagem permite ao ATP obter os resultados das equações diferenciais que modelam os componentes da rede elétrica e simular o funcionamento transitório do sistema.

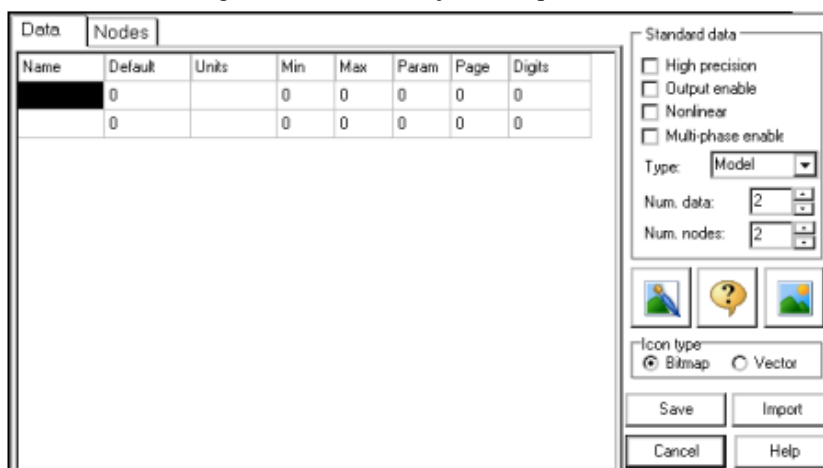
O ATPdraw é uma interface gráfica para a plataforma Microsoft Windows, em que o usuário pode construir o circuito elétrico e selecionar os componentes a partir de menus.

## 2.3 A linguagem MODELS

Além dos componentes previamente definidos no ATP, novos componentes podem ser criados utilizando a linguagem de simulação MODELS (MIGUEL, 2011). O ATPdraw apenas possibilita um uso simplificado da linguagem MODELS, onde o usuário escreve diretamente na interface do ATPdraw e este fica responsável por escrever o arquivo ATP. O componente no ATPdraw é formado por dois tipos de arquivos, um arquivo com extensão .SUP e um

arquivo com extensão .MOD. O arquivo .SUP contém a interface de entrada de dados, as entradas, as saídas e a definição dos ícones, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Tela de criação do arquivo SUP.



Name	Default	Units	Min	Max	Param	Page	Digits
	0		0	0	0	0	0
	0		0	0	0	0	0

## 2.4 Modelagem de funções de proteção

A modelagem dos relés de proteção foi feita em duas etapas. A primeira etapa consiste na modelagem da aquisição de sinais para os relés e a segunda consiste na lógica do relé propriamente dita. As funções de proteção e a lógica de aquisição de sinais serão descritas nos itens a seguir.

### 2.4.1. Aquisição de sinais

Para as funções modeladas, são necessários dois tipos de sinais. Para as funções de sobrecorrente, é necessário apenas o valor RMS (*Root Mean Square*), e para a função de sequência negativa (46) é necessária a aquisição dos valores das componentes de sequência. As duas funções foram determinadas no mesmo arquivo Model.

### 2.4.2. Função de sobrecorrente de fase e neutro (50/51, 50/51N)

Para as funções de sobrecorrente foi utilizado como base um modelo presente na biblioteca ATPdraw e com modificações para que a parametrização fosse o mais próximo possível de um relé comercial.

### 2.4.3. Sobrecorrente de sequência negativa (46(I2) e 46(I2/I1))

Foi definida a função de sobrecorrente de sequência negativa apenas instantânea, já que a atuação temporizada em geral não é utilizada. O funcionamento da função de sequência negativa é semelhante ao funcionamento da função de sobrecorrente, sendo a diferença nas variáveis de entrada.

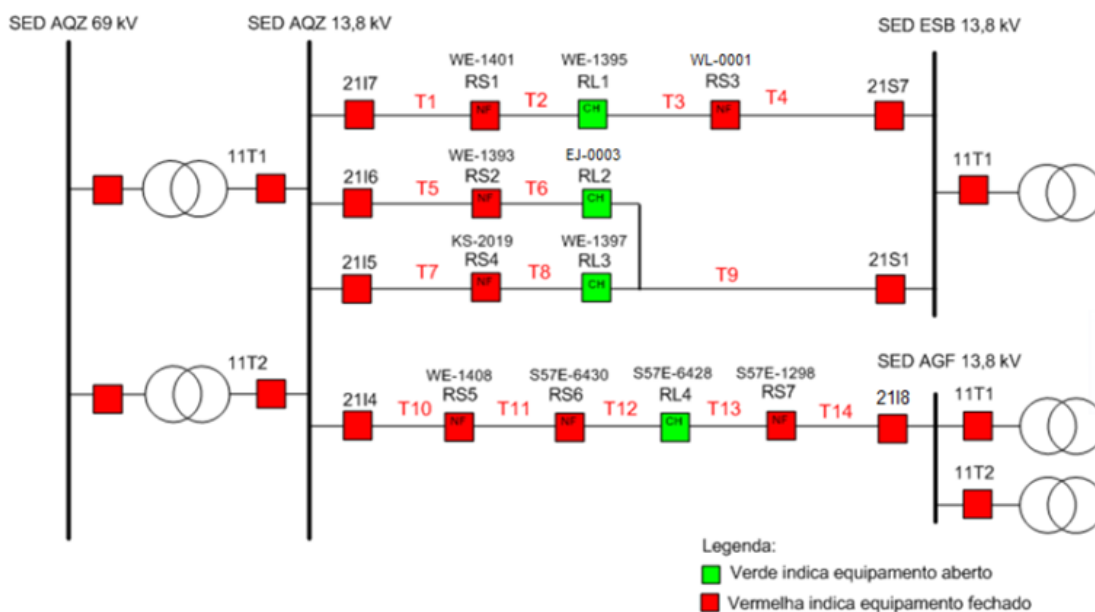
### 2.4.4. Função de religamento (79)

A função de religamento é a mais importante em um sistema de distribuição. Essa rotina tem como função receber a flag de trip vinda das funções de proteção de sobrecorrente (fase, neutro e sequência negativa) e abrir ou gerar um retardo na abertura após a mudança de flag, em seguida realizar uma contagem de tempo, chamada tempo morto para em seguida realizar o religamento.

Para a modelagem do disjuntor, foi utilizada uma chave comandada por um sinal advindo de um Model. A chave é aberta com um sinal de zero e fechada com um valor 1. De tal forma que os sinais de trip são sinais “ativos baixo” para abrir o disjuntor em situação de falta. Foi utilizada a simplificação do disjuntor como chave comandada, sem a modelagem de arco (não é escopo deste trabalho o estudo da abertura do disjuntor e sim a atuação das proteções relacionadas ao sistema).

A rede de distribuição inteligente do Aquiraz, na qual é baseado alimentador utilizado nesse trabalho, pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 - Rede inteligente de Aquiraz.

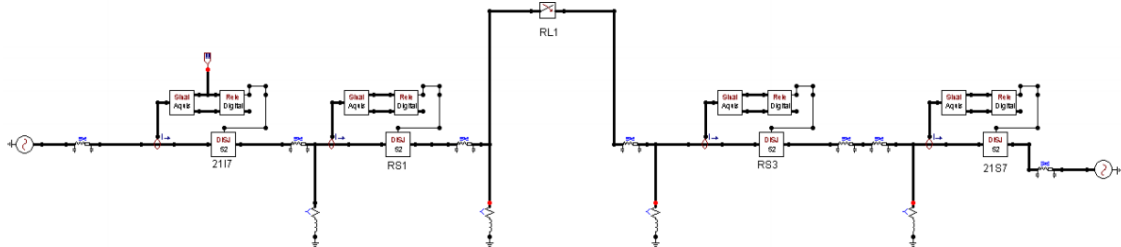


Fonte: VIEIRA, 2015.

Foi modelado no ATPdraw, o alimentador do trecho T1 a T5, com a utilização dos elementos previamente citados, como os relés e a utilização de elementos da biblioteca do próprio ATP. A rede utilizada, na situação normal de operação é apresentada na Figura 4, da forma como foi modelada no ATPdraw.

Dentro do estudo do alimentador, não foi utilizado o modelo da subestação, onde a subestação foi considerada como um ponto em que a tensão é constante e foi definida a partir de um modelo de fonte trifásica do ATPdraw. Para a modelagem da impedância reduzida das barras, foi definida a barra a partir do uso de um modelo de linha do ATPdraw, o modelo pi equivalente trifásico, sem a utilização das capacitâncias em derivação, já que esse é um modelo que permite definir a linha a partir de suas impedâncias de sequência positiva e zero. Assim, foi utilizado esse modelo para a definição tanto das impedâncias reduzidas das barras de 13,8kV quanto de todas as linhas utilizadas na modelagem no ATPdraw, por simplicidade de funcionamento.

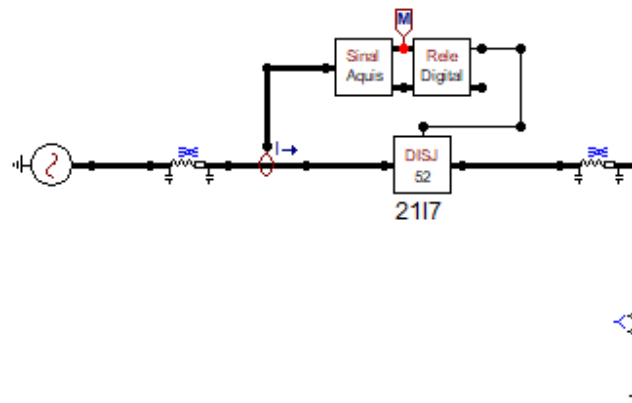
Figura 4 - Modelagem da rede Aquiraz na situação normal.



#### 4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

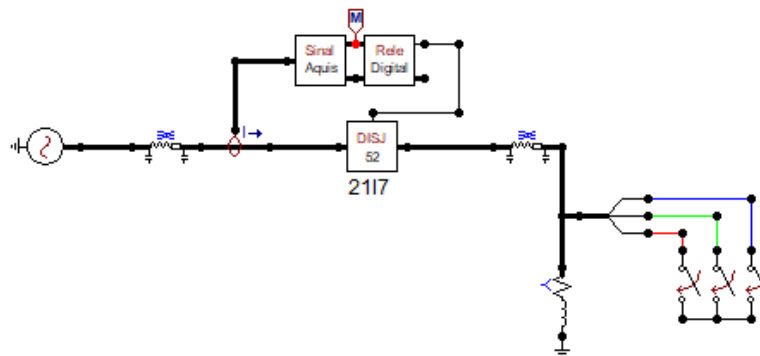
Nesta seção será apresentado um exemplo de aplicação do modelo da rede e dos componentes desenvolvidos nesse trabalho para estudo da função de proteção de sobre corrente de fase temporizada (51). Para as simulações de atuação, será utilizado o trecho T1 da rede Aquiraz, como um exemplo em que os demais trechos estão fora de operação. O diagrama desenhado no ATPdraw é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Modelagem do trecho T1.



Um curto circuito trifásico é simulado próximo à carga alimentada por T1, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Ponto do curto circuito.



O nível de curto circuito trifásico no trecho T1 é apresentado na Tabela 1. Os valores dos ajustes do relé de proteção são apresentados na Tabela 2. Os ajustes foram calculados para que o relé operasse após 0,3 segundos, baseado no valor de corrente de curto circuito teórico.

Tabela 1 - Nível de curto circuito.

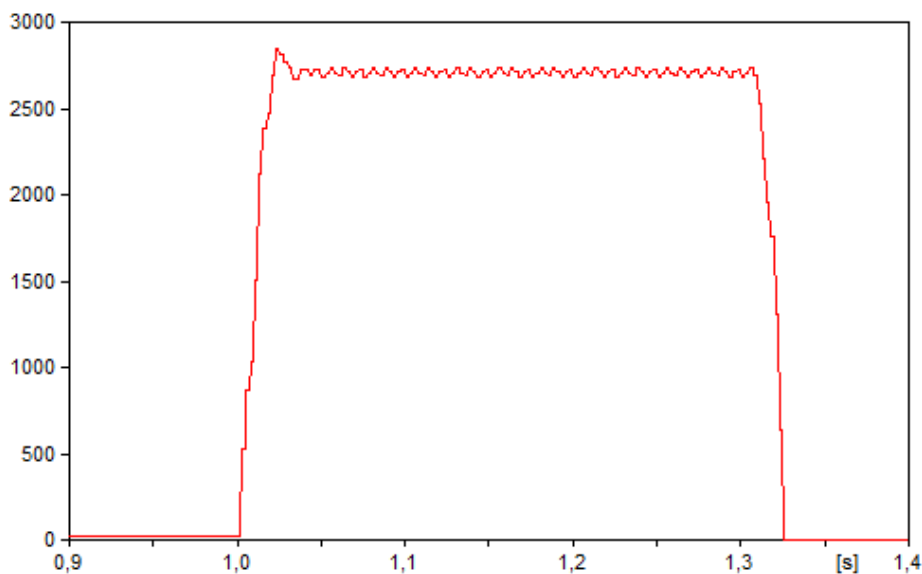
Trecho	Nível de Curto
T1	2719,9

Tabela 2: Parâmetros da função 51.

Elemento	Relação de transformação de corrente	Tap 51	Corrente de pickup	Dial de tempo	Tipo de curva
21I7	100	5	500	0,10	Muito inversa

O curto circuito foi configurado para iniciar em 1,0s. Na Figura 7 é possível perceber que a proteção atuou em um tempo um pouco maior que 1,3s de forma coerente com o tempo de atuação teórico (0,3 segundos) para o qual o relé foi parametrizado.

Figura 7 - Tempo de atuação da função de proteção 51.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software ATPDraw é uma ferramenta que pode ser facilmente empregada no ensino da disciplina de proteção de sistemas elétricos de potência. Com uma confiabilidade de resultados de reconhecimento mundial, uma interface agradável ao usuário e a possibilidade de criação de blocos novos com a linguagem MODELS. O programa permite ao aluno a oportunidade de aplicar, utilizando o modelo de uma rede de distribuição real, os conhecimentos adquiridos em sala de aula, como o estudo de coordenação, o estudo de curto circuito e realizar simulações das atuações dos relés de proteção.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. D. **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000

ALVES, H. N. et al. Helton do Nascimento. O uso do atpdraw e a linguagem models na simulação de sistemas de proteção elétrica aplicados em redes de distribuição. In: XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014, Juiz de Fora.

IZAGUIRRE, J. P. **Modelagem de um relé de proteção direcional de linhas de transmissão no ATP**. Tese de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2016.

MIGUEL, P. M. **Introdução à simulação de relés de proteção usando a linguagem Models do ATP**. 1ª edição, Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011.

NPAG. Protective Relays, Measurement and Control, 2011

PAIVA, A. T. S. et al. **Ferramenta de suporte ao ensino em proteção de sistemas elétricos de potência**. Universidade Federal do Ceará, 2014.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Procedimento de Redes - PROREDE MÓDULO 2.6**: Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST MÓDULO 3**: Acesso ao Sistema de Distribuição, 2017.

RODRIGUES, M. S. DE L. **Teste e Validação das Funções de Proteção baseadas na Norma IEC 61850 Propostas Para Implantação no Projeto Piloto da Rede de Distribuição Inteligente de Aquiraz**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015

SANDERS, M. P. Protective Relaying: Principles and Applications [Book Reviews], **IEEE Power & Energy Magazine**, v.13.

SILVA, F. et al. **A Importância do Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará no Desenvolvimento de Engenheiros**. XLVI Congresso

Brasileiro de Educação em Engenharia e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia, 2018, Fortaleza. **Anais.** Salvador, 2018.

## USE OF THE ATPDRAW SOFTWARE FOR EDUCATIONAL SUPPORT OF THE ELECTRICAL SYSTEM PROTECTION DISCIPLINE

**Abstract:** *This work aims to present the modeling and development of a protection system of a distribution feeder in ATPDraw, using the MODELS language, for use in teaching protection of electrical systems. The proposal of this work is to make use of a virtual environment that allows the analysis of the protection system of a real distribution network with all its peculiarities and to use this interface for the teaching of the discipline of Protection of Electrical Systems of Power. The intention is that the student can, in an easy and stimulating way, to simulate in a real distribution network the different concepts covered in the discipline, configuration of relays and coordination of the protection system.*

**Key-words:** *Protection of Electrical Power Systems, Distribution Network, ATPDraw*