



## PROPOSTA DE ENSAIO PRÁTICO PARA O ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

**João T. A. Vianna** – joaotito.vianna@gmail.com  
Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia  
Rua José Lourenço Kelmer, s/n – Campus Universitário  
36036-900 – Juiz de Fora – MG  
**Leandro R. de Araújo** – leandro.araujo@ufjf.edu.br  
**Armando L. Bordignon** – bordignon.armando@gmail.com  
**Débora R. R. Penido** – debora.rosana@ufjf.edu.br

**Resumo:** *A constante e crescente evolução que testemunhamos em nossas vidas é responsável por uma permanente mudança no perfil dos alunos em geral. Estes, já nascidos em um contexto tecnológico avançado, chegam a ter visões de mundo bastante diferentes e até conflitantes com os docentes, o que põe em discussão o modelo educacional adotado pelas universidades. O modelo tradicional de educação, em que o conhecimento é passado de maneira unilateral para os discentes, pode se tornar desinteressante a esse novo perfil de aluno, desmotivando-o ao longo de sua graduação. Este trabalho propõe a inserção de um ensaio prático dentro da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Acredita-se que o contato do aluno com equipamentos reais (IEDs de proteção) contribui para sua motivação e interesse no curso, além de complementar e solidificar os conhecimentos adquiridos em sala de aula.*

**Palavras-chave:** *Proteção de sistemas elétricos, Ensaio prático, RTDS, IEDs, Hardware in the loop*

### 1. INTRODUÇÃO

A grande evolução tecnológica testemunhada com um crescimento cada vez mais acelerado, coloca em destaque a discussão em torno da educação em engenharia. Diante de tamanhas mudanças vistas a cada dia na vida das pessoas, e cientes do papel da engenharia dentro de grande parte delas, deve-se observar a necessidade de adaptação do ensino de engenharia a essa nova realidade da sociedade, conforme salientado em (LEE *et al.*, 2008) e (SAHLE *et al.*, 2009).

Diversas novas abordagens e metodologias de ensino vem sendo desenvolvidas, discutidas e testadas dentre elas: ensino a distância, abordado em (GUILLERMO *et al.*, 2013) e (ALVES *et al.*, 2013); uso de simulações computacionais; laboratórios com acesso remoto, (TEBERGE *et al.*, 2013) e (FERRAZ *et al.*, 2013); estratégias PBL (*Problem Based Learning*), (TENÓRIO *et al.*, 2013) e (SILVA & VIANA, 2013); entre outros.

Este artigo traz uma proposta de uma prática a ser realizada no Laboratório de Proteção da Universidade Federal de Juiz de Fora com alunos de graduação e pós-graduação. O

objetivo da mesma é colocar o aluno em contato com um equipamento de proteção real e ensiná-lo a programação do mesmo.

Ademais, acredita-se que o contato com equipamentos atuais reais pode ser um elemento muito importante na motivação do aluno frente ao curso como um todo e à matéria em questão, além de contribuir para consolidação e complementação do conteúdo aprendido em sala de aula.

## 2. O LABORATÓRIO DE PROTEÇÃO UFJF

O Laboratório de Proteção da Universidade Federal de Juiz de Fora foi montado com o intuito de proporcionar toda a estrutura necessária para o estudo, pesquisa e teste de relés digitais reais. Foram adquiridos diversos relés (ou IEDs - *intelligent electronic devices*) de diferentes fabricantes para proteção de alimentadores, geradores, transformadores e motores; um simulador digital de tempo real (RTDS<sup>®</sup>); um controlador de automação de IEDs em tempo real e uma caixa amplificadora para condicionamento dos sinais da simulação.

O relé utilizado na prática proposta é o VAMP 230, um relé de proteção de alimentadores ou motores fabricado pela Schneider Electric.

### 2.1. O RTDS

O RTDS (*Real Time Digital Simulator*) - Figura 1 - é um simulador digital de tempo real de sistemas elétricos e seus transitórios eletromagnéticos, usado para realização de testes de equipamentos físicos de proteção e controle em malha fechada (*hardware in the loop*). Segundo o site da própria empresa, o equipamento é adequado para estudos de sistemas analógicos e treinamento de operadores, engenheiros e estudantes.



Figura 1. RTDS

O simulador é uma combinação de hardware (RTDS) e software (RSCAD): um sistema é modelado através do RSCAD em um computador e este modelo é enviado para o RTDS, que realizará a simulação. Dentro do próprio RSCAD, o usuário pode observar em tempo real

grandezas do sistema em estudo, podendo plotar gráficos e acionar componentes ao longo da simulação.

A grande vantagem do RTDS é realizar os cálculos e disponibilizá-los em suas saídas de forma fiel ao sistema modelado no RSCAD. Isso permite a conexão de equipamentos externamente ao RTDS e realizar testes em de *hardware in the loop* com dispositivos.

Entre as aplicações destacadas pelo próprio fabricante estão testes, desenvolvimento e estudos de: esquemas de relés de proteção, sistemas de proteção e controle integrados, controle para transmissão DC em alta tensão e comportamento geral e operação de sistemas AC e DC em geral.

## 2.2. Caixa amplificadora Omicron CMS 156

A caixa amplificadora OMICRON, cuja foto é mostrada na Figura 2, tem sua função e utilização bem simples. A amplitude do sinal de saída das placas analógicas do RTDS se encontra na faixa de  $\pm 10V$ . Entretanto, relés trabalham com valores típicos de corrente em torno de 5A e de tensão na faixa dos 115V. Sendo assim, faz-se necessário um tratamento destes sinais, para que possam ser inseridos nos terminais de um relé. Este é o papel desta caixa amplificadora.



Figura 2. Caixa amplificadora OMICRON CMS156

A relação de ganho da caixa é constante, não sendo necessária qualquer parametrização da mesma. Ela possui entrada para seis sinais analógicos mais um fio de terra e disponibiliza em sua saída três sinais de tensão e três de corrente, ambos com seu ponto de neutro. Suas relações de ganho são de 50 V/V e 5A/V para os sinais de tensão e de corrente, respectivamente.

## 2.3. O relé VAMP 230

Um alimentador pode ser definido, da forma mais simples, como um circuito que transporta a energia desde a fonte geradora até as cargas.

As concessionárias de distribuição de energia elétrica utilizam, na maioria das aplicações para a distribuição urbana ou rural, um circuito aéreo trifásico com cabos nus ou cabos isolados. Nas regiões centrais das grandes cidades são utilizados cabos isolados em instalação subterrânea. Na maioria das indústrias, são utilizados cabos isolados, formando um circuito trifásico, em instalação subterrânea.

O relé VAMP 230 - Figura 3 - é um relé para proteção de alimentador, possuindo as funções adequadas para sua proteção. Na prática proposta, somente as funções de sobre corrente instantânea (50) e temporizada (51) são parametrizadas.



Figura 3. Relé VAMP 230

### 3. O DESENVOLVIMENTO DA PRÁTICA

Esta prática é produto do trabalho de um bolsista do Programa de Formação de Recursos Humanos Petrobras na Universidade Federal de Juiz de Fora (PRH-PB214). Dentro do seu plano de trabalho, o aluno de graduação ficou responsável por desenvolver uma prática para estudo da proteção de alimentadores.

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: estudo das funcionalidades do RSCAD; estudo da exportação de sinais de uma simulação no RTDS; estudo do relé VAMP 230; estudo da caixa amplificadora OMICRON CMS 156; elaboração da prática; e desenvolvimento de uma apostila documentando todas estas etapas. Todo o desenvolvimento do trabalho foi baseado nos manuais dos respectivos equipamentos (RTDS Technologies, 2009), (Schneider Electric, 2012), (Schneider Electric, 2013), (OMICRON, 2010).

É de se ressaltar que a apostila desenvolvida teve como diretriz ensinar a quem nunca teve contato com os equipamentos do Laboratório de Proteção da UFJF a reprodução completa da prática desenvolvida.

Nota-se como importante para este aluno a metodologia PBL adotada. O mesmo foi confrontado com um problema e teve que desenvolver as habilidades necessárias para resolvê-lo, com o auxílio de seu orientador.

Há de se destacar as diversas habilidades desenvolvidas pelo mesmo como a capacidade de resolver problemas, desenvolvimento de autonomia frente a um projeto, desenvolvimento da capacidade de documentação e escrita, além do contato com equipamentos reais e estudo dos mesmos através de seus manuais, situação corriqueira na vida profissional de um engenheiro, mas bastante rara no meio acadêmico.

### 4. A PRÁTICA MONTADA

Após o desenvolvimento do trabalho, chegou-se a uma simulação do tipo *Hardware in the loop*, ilustrada na Figura 4. O sistema elétrico é simulado no RTDS e tem seus sinais exportados através da sua placa de saídas analógicas (GTAO). Conforme explicado no item 2 deste trabalho, estes sinais possuem amplitude de +/- 10V e devem ser amplificados através da caixa OMICRON CMS 156.

Estes sinais amplificados a níveis de operação normais do relé VAMP 230 são ligados ao mesmo, que passa a atuar como se estivesse conectado a um sistema industrial real. Sendo



assim, a aplicação de um curto circuito no sistema simulado faz com que o relé emita um sinal de *trip*, o qual é enviado ao RTDS através de seu painel frontal (placa GTFPI). Este sinal abre o disjuntor na simulação, fechando o *loop* da prática.



Figura 4. Esquema da prática montada

O sistema modelado no RSCAD é apresentado na Figura 5. Uma das diretrizes do desenvolvimento do ensaio foi manter o foco do ensino na parametrização de um relé real. Sendo assim, o sistema elétrico criado foi o mais simples possível: um circuito trifásico radial simples com a fonte em uma extremidade do alimentador e as cargas na outra.

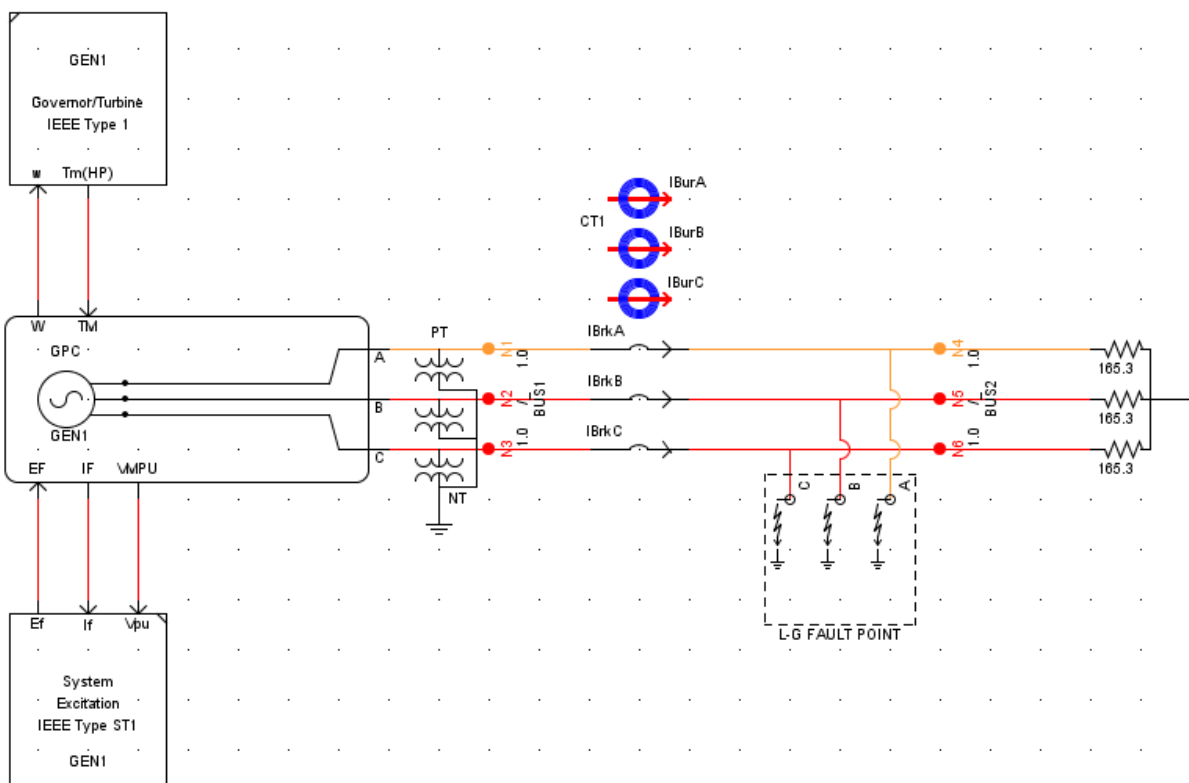


Figura 5. Modelo criado no RSCAD



Além disso, foram parametrizadas apenas as funções de proteção de sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51). Sendo estas as funções de proteção mais elementares, o aluno pode manter o foco em aprender a programar o relé.

## **5. PROPOSTA DE PRÁTICA**

Para proposição de prática a nível de graduação, deve-se observar diversos aspectos do desenvolvimento deste trabalho. Um bolsista do PRH-PB214 deve dedicar vinte horas semanais ao projeto e este trabalho foi desenvolvido ao longo de aproximadamente sete meses de trabalho.

Dado o longo tempo para elaboração desta prática (as diversas etapas foram apresentadas na seção 3 deste artigo), nota-se que é preciso cuidado ao inseri-la no contexto da graduação, para que o aluno não fique sobrecarregado. Julga-se que a contribuição central deste trabalho para um aluno de proteção é o contato com o IED real e parametrização do mesmo.

Sendo assim, a proposta final deste artigo é a inserção apenas desta parte do ensaio como um trabalho extra em uma cadeira de proteção de sistemas elétricos: o professor leva os alunos ao laboratório para fazer a apresentação dos equipamentos e instruir os alunos quanto à prática. Então, o aluno fica responsável por calcular os parâmetros das funções de proteção 50 e 51 para o alimentador em estudo e dirigir-se ao laboratório posteriormente para programá-los em um relé real.

O momento da ida ao laboratório fica a cargo da marcação de um horário do aluno com o técnico responsável pelo mesmo. Desta forma, o discente pode dispor do tempo necessário para conclusão do ensaio proposto e ainda fazê-lo de forma assistida.

No laboratório, todo o sistema já estaria montado: os equipamentos já conectados e a simulação no RSCAD pronta. O aluno ficaria responsável apenas por realizar a parametrização do relé de acordo com os seus cálculos prévios e testar se a proteção calculada por ele está correta.

Acredita-se que a inserção de um conteúdo prático em meio a uma disciplina que muitas vezes é ministrada de maneira exclusivamente teórica, pode trazer motivação ao aluno, além de solidificar e consolidar o conhecimento adquirido em sala de aula.

Há ainda a possibilidade de criação de uma disciplina prática para proteção de sistemas elétricos. Neste caso, esta seria uma das práticas e outras devem ser elaboradas. Dada a estrutura do Laboratório de Proteção da UFJF, esta proposta mostra-se viável, na medida em que relés de diversos equipamentos estão disponíveis, possibilitando um estudo mais profundo de proteções de transformadores, geradores, linhas de transmissão, entre outros.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Baseado em todo o exposto neste artigo, enfatiza-se a proposta de complementação do ensino da proteção de sistemas elétricos através de um ensaio prático realizado no laboratório da Universidade Federal de Juiz de Fora.



Acredita-se que a inserção do contato dos alunos de graduação com dispositivos reais é de elevada importância para despertar o interesse dos mesmos em uma área muito importante da engenharia elétrica e que necessita de profissionais qualificados.

Ressalta-se que o grande produto deste trabalho para a instituição até o presente momento é a apostila elaborada para documentação do mesmo. A mesma foi dividida em diversos ensaios com objetivo ensinar todos os passos para reprodução completa da prática proposta.

Após revisão detalhada, a mesma será disponibilizada no site do grupo PRH-PB214 (<http://www.ufjf.br/prh-pb214/>) e será usada também por novos bolsistas do próprio programa como ponto de partida para trabalhos mais aprofundados.

Há ainda que se observar que o material pode ser utilizado como base para alunos já graduados, mas desta vez com uma metodologia PBL, na qual o aluno de mestrado ou doutorado reproduz a prática de maneira independente, adquirindo uma base de conhecimentos para elaboração de seu próprio trabalho.

Destaca-se, por fim, os diversos conhecimentos adquiridos pelo aluno responsável pelo desenvolvimento do projeto: simulações com o RTDS, programação de IEDs, simulação do tipo *hardware in the loop*, montagem de adaptadores para os diferentes padrões de cabos dos equipamentos, exercício da capacidade de escrita; além de competências conhecidas como transversais: independência na execução de um trabalho e capacidade superar adversidades.

Esse resultado ilustra um resultado da aplicação da metodologia PBL: ao longo do desenvolvimento de um projeto, o aluno adquire muito mais do que o conteúdo técnico, mas também habilidades que se tornaram necessárias para o sucesso na carreira fora do âmbito acadêmico.

### ***Agradecimentos***

Agradecemos ao PRH-PB214 pela oportunidade de aprendizado. Agradecemos também ao técnico da Universidade Federal de Juiz de Fora Guilherme Márcio Soares pela ajuda na elaboração do trabalho.

## **7. REFERÊNCIAS/CITAÇÕES**

ALVES, R. H. F. *et al.*, Ensino a distância nas engenharias: uma complementação do aprendizado por meio de cursos que quebram as barreiras da sala de aula. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

GUILLERMO, O. E. P., Prof. Hidro: Construção de um personagem virtual como estratégia de comunicação didática para EAD na engenharia. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

FERRAZ, A.L.F. *et al.*, Acesso remoto: importância da implementação nos laboratório de ensino de engenharia no CEFET MG – Campus Leopoldina. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

LEE, Y. K. *et al.* Re-engineering the Electrical Engineering Education for an Innovative Diploma Curriculum at Universiti Teknologi MARA. IEEE Frontiers in Education Conference 2008, 2008, Saratoga Springs, NY. Oct 22-25.



RTDS Technologies, RTDS User's Manual Set, 2009.

SALEH, M.; IEEE. Challenges in Engineering Education: A View Towards the Future. In: 3rd IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (Icelie 2009), 2009.

Schneider Electric, VAMPSET User Manual, 2012.

Schneider Electric, VAMP 255/230 User Manual, 2013.

SILVA, M. F. S.; VIANA, D. M., Variáveis operacionais a serem consideradas no planejamento de disciplinas de projeto para aplicação do PBL nos cursos de engenharia. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

OMICRON, CMS 156 Reference Manual, 2010.

TEBERGE, C. R. *et al.*, Instrumentação virtual aplicada a um laboratório de acesso remoto com gerador de funções e osciloscópio. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

TENÓRIO, E. *et al.*, Ensino para nível superior de conceitos "PBL" para automação industrial envolvendo conceitos de física. Anais: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS, 2013.

## **PROPOSAL OF PRACTICAL EXPERIMENT FOR TEACHING PROTECTION OF ELECTRICAL SYSTEMS**

**Abstract:** *The constant and growing evolution which we witness in our lives is responsible for a permanent change in the profile of students in general. These are already born in an technological advanced context and have very different and even conflicting worldviews with their instructors, what brings into discussion the educational model adopted by universities. The traditional model of education, in which the knowledge is passed throw one unilateral way from the teachers to the students, can be really uninteresting to this new student profile, dismotivating the student throughout its undergraduate course. This paper proposes the insertion of a practical experiment in the undergraduate subject of protection of electrical systems of the Federal University of Juiz de Fora. One believes that the contact of the student with real equipment (protection IEDs) contributes for his motivation and interest in the course, and complement and solidify the knowledge acquired in the classroom.*

**Key-words:** *Electrical Systems Protection, Practical Experiment, RTDS, IEDs, Hardware in the loop*