

# 07

## AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

EDISON A. C. ARANHA NETO

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor do Departamento  
Acadêmico de Eletrotécnica, Campus Florianópolis.  
earanha@ifsc.edu.br*

HENRIQUE DANNEBROCK

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante do Curso de Engenharia  
Elétrica, Campus Florianópolis.  
henriquedannebrock@gmail.com*

LUCAS DA SILVA ROSA

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante do Curso de Engenharia  
Elétrica, Campus Florianópolis.  
lucassilvar@hotmail.com*

IASMIN COELHO

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Estudante do Curso de  
Engenharia Elétrica, Campus Florianópolis.  
coelhoiasmin@gmail.com*

### RESUMO

A integração de simuladores para o melhoramento do Sistema Elétrico de Potência é de extrema importância no contexto mundial, uma vez que o uso da energia elétrica é cada vez maior. Aumentando o consumo, o sistema ficará sobrecarregado, complexo, maior e suscetível a panes e falhas. Estudos comprovam que em usinas hidrelétricas (UHE) ou pequenas centrais hidrelétricas (PCH), o operador treinado em simulador age mais rápido e corretamente, pois o tempo de treinamento na simulação o preparou para situações de pressão e que não permitem qualquer tipo de erro. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um simulador, em parceria com a empresa ENEX, que gerencia e comanda remotamente PCHs e UHEs em todo Brasil. A simulação para a empresa parceira é de total importância, uma vez que tem em seu corpo de colaboradores um grande número de operadores. O simulador desenvolvido conta com interface web, podendo ser executado em navegadores comuns de qualquer computador.

### PALAVRAS-CHAVE

Operação, Simulador, Usina Hidrelétrica.

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

## INTRODUÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) estão cada vez mais complexos, e na medida que aumentam sua complexidade, aumenta também a necessidade por operadores capacitados. Uma vez que os SEPs estão sendo utilizados perto dos seus limites máximos e um erro pode custar um valor alto com perdas muito grandes, tanto ambientais quanto de equipamentos.

A operação de sistemas elétricos é uma tarefa muito importante na atualidade. Devido a tamanha importância do sistema elétrico, o treinamento dos operadores deste sistema é algo imprescindível. Para melhorar e evitar que não aconteçam erros e falhas, o treinamento de operadores utilizando simuladores é uma alternativa que atualmente obtém grandes resultados.

Nos dias de hoje a sociedade exige uma grande qualidade no fornecimento de energia elétrica e ações equivocadas dos operadores podem colocar essa atividade em risco. Segundo Castro (2007), a soma destes fatores apresentados produz um cenário em que os operadores do centro de operação possuem grande importância e é deles a função de monitorar o sistema elétrico de potência.

No entanto, de acordo com Aranha Neto et al. (2016), "na conjuntura atual, as empresas se deparam com a falta de mão de obra técnica e com a consequente dificuldade de liberação de pessoal para participar de treinamentos". Sendo assim, tal cenário exige a busca de soluções que possam atender a tais demandas de forma a garantir a qualidade do processo

As melhorias e o desenvolvimento das operações de usinas fazem com que o operador tenha uma tendência a perder essas evoluções da usina. Tomschi e Newald (2006) expõe que, para evitar essa ocasião, os operadores necessitam de treinamentos qualificados para que não percam o controle das ações necessárias para manter tudo funcionando corretamente e para que possam controlar qualquer falha que ocorrer.

○ bom desempenho de um operador de

usina pode representar, além de outros resultados, segurança e lucratividade para as empresas. Por este motivo, Bzuneck e Menegaz (2008) reforçam que é de fundamental importância o desenvolvimento de novos sistemas de treinamento que possam estimular e complementar o aprendizado contínuo destes profissionais.

De acordo com Moreale (2007), é durante o treinamento que o operador de um sistema tem a possibilidade de construir o conhecimento. É também durante este processo que ele tem a possibilidade de experimentar algo que não lhe é permitido, em hipótese alguma, durante a execução de suas tarefas diárias, o erro.

Normalmente o treinamento de novos operadores é feito através de aulas teóricas e a prática obtida operando o sistema real. Assim, os operadores vão trabalhar numa sala de controle somente após muitos anos de experiência de campo. Já com o treinamento via simulador, os operadores aprendem a prática diretamente na sala de controle (MOREALE, 2007).

A simulação é uma maneira, e muitas vezes a única forma eficaz e segura, para provar a competência de um operador em lidar com situações normais e anormais, contingências e operações. A repetição e a consistência que a simulação oferece, pode torná-la uma ferramenta ideal para estabelecer um padrão de competência do operador (ANSI, 1998 apud DUDLEY et al., 2008).

Devido ao fato dos operadores de usinas passarem por situações de risco e situações onde os mesmos precisam tomar atitudes rápidas para não comprometer alguma função ou botar em risco pessoas ao seu redor ou a usina em si, várias empresas criaram, então, simuladores para treinamento dos operadores. Esses simuladores ajudam o operador a tomar as atitudes certas e indicam exatamente o que o operador deve fazer em situações de risco. Além disso, os simuladores trazem uma maior segurança, pois trazem uma resposta rápida para o que fazer e são menos suscetíveis a erros (DUDLEY et al., 2008;

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

MOREALE, 2007; TOMSCHI; JÄCKISCH; NEWALD, 2006).

Aranha Neto et al. (2016) e Moreale (2007) elencam em seus trabalhos alguns benefícios na utilização desses simuladores:

- Economia de tempo em treinamento, pois o treinamento utilizando apenas a experiência do dia a dia é lento e de difícil controle;
- Redução de custos em treinamento, pois os treinamentos são realizados nos locais de trabalho;
- Facilidade em obtenção de respostas que seriam difíceis de obter no sistema real. O simulador responde perguntas do tipo: "e se isso acontecesse como se comportaria o sistema?";
- Maior domínio do funcionamento do sistema que está sendo simulado;
- Muitas vezes um sistema é tão complexo que se comporta como uma verdadeira "caixa preta". O simulador fornece uma melhor compreensão desse tipo de sistema;
- Padronização de ações de controle do sistema em situações normais e de emergência;
- Aumento da autoconfiança do operador no ambiente da sala de controle do sistema de supervisão;
- Reciclagem eficiente do conhecimento dos operadores mais experientes, permitindo apoiar procedimentos operativos; e
- Apoio à decisão de novos procedimentos operativos elaborados a partir de alterações no sistema elétrico, que podem ser periodicamente inseridas na plataforma.

A realização de um pré-treinamento num ambiente de Simulador de Treinamento de Operador (STO) antes da formação prática no ambiente da planta poderia melhorar significativamente a eficiência da aprendizagem dos operadores. Em particular, a compreensão pelos operadores da complexidade do processo e a capacidade para tomar decisões operacionais corretas e aderir às rotinas normais poderiam ser fortemente melhoradas (LEE, 2005 apud GERLACH et al., 2014).

No entanto, pesquisas revelam que muitas vezes ser treinado sozinho em simuladores pode ser inadequado. Estudos demonstraram que muitas vezes as pessoas que foram treinadas em simuladores sem acompanhamento, não vão atrás de possíveis erros. Por outro lado, os que tem acompanhamento de um tutor checam hipóteses para os possíveis erros e problemas, além de eliminá-los com o conhecimento adquirido (VASANDANI; GOVINDARAJ, 1991).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um simulador de Usinas Hidrelétricas (UHE) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com interface web para treinamento de operadores.

O simulador desenvolvido tem seu próprio "tutor" incorporado no sistema. Em cada manobra há uma sequência correta para realizar as etapas que solucionarão a contingência. Assim, cada passo executado pelo operador será analisado no banco de dados do simulador. Caso algum passo seja executado de maneira incorreta ou no momento errado, o sistema avisará o operador, mostrando a maneira correta de realizar essa manobra, podendo vincular a explicação com o procedimento operativo da empresa. Desse modo, ele pode refazer a manobra da forma correta e solicitar, se necessário, auxílio ao seu supervisor, que tem acesso a toda sequência realizada pelo operador em treinamento por meio dos arquivos de logs que ficam armazenados.

Tomschi, Jäckisch e Newald (2006) colocam que a familiarização com detalhes de equipamentos, controle de plantas e sua representação gráfica podem ser feitos apenas quando ele começa a operar a planta. Por isso, um STO tão genérico é aplicável, em especial, para os operadores a serem instruídos nos fundamentos do processo de uma usina de energia e no caso do sistema IHM (Interface Homem Máquina) é o mesmo utilizado na planta real no manuseio do sistema.

Alguns exemplos de empresas internacionais elencados por Moreale (2007) que usam algum tipo de simulador:

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

- China Light & Power Co.;
- New York Power Pool;
- Philadelphia Electric Company;
- Seattle City Light;
- Hokuriku Electric Power Co.;
- Virginia Power Company;
- Metropolitan Edison Company;
- Consolidated Edison Company of New York;
- North Hungarian Electricity Distribution Company.

No Brasil também existem empresas que utilizam simuladores, como (MOREALE, 2007):

- Operador Nacional do Sistema - ONS;
- Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF);
- Light Serviços de Eletricidade;
- Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista.

## DESENVOLVIMENTO

A construção do simulador de operação de uma central hidrelétrica foi realizada por alunos do Instituto Federal de Santa Catarina, com auxílio de um professor orientador e um profissional da área de Ciência da Computação. Os alunos bolsistas obtiveram suas iniciações científicas por meio de bolsas do CNPq pela Chamada MEC/SETEC/CNPq nº 94/2013 e pelo Projeto Universal/IFSC 2014-2015.

A elaboração do projeto foi feita de acordo com as necessidades do sistema e das telas reais, para que o operador em treinamento possa posteriormente resolver o problema o mais rápido possível e sem erros na operação em tempo. Com o sistema pronto, espera-se que o operador se torne capacitado, seguro e eficiente ao realizar seus serviços operacionais, evitando ao máximo falhas humanas.

Para organização das atividades que foram executadas durante todo o projeto, foi utilizado o serviço online Trello (plataforma web para organização de tarefas). Com os mecanismos dessa plataforma foi possível gerenciar os prazos de entrega das tarefas

distribuídas, listar comentários das reuniões, postar dúvidas, criar checklists, adicionar bugs encontrados no desenvolvimento do projeto, evitar que duas pessoas ou mais realizassem a mesma tarefa e assinalar quais tarefas já estavam finalizadas.

O simulador foi elaborado com base em falhas frequentes de uma usina hidrelétrica como, por exemplo, uma parada de emergência de uma unidade geradora devido a atuação de alguma proteção do sistema. Assim, foram programados erros aleatórios através do desenvolvimento de quatro contingências rotineiras da usina hidrelétrica, para treinar o operador a agir diante dessas situações e ter ciência que não pode falhar na operação real do sistema.

Para cada uma das manobras, os estudantes receberam da empresa parceira informações relativas as etapas que devem ser executadas durante a operação da usina. A partir do relatório fornecido foi produzido um fluxograma, onde foi especificado cada passo necessário para a realização da contingência e como seriam programados. Com o fluxograma, foram recriadas as manobras e as telas do supervisor da Usina Hidrelétrica Alzir dos Santos Antunes (rio Passo Fundo, no Rio Grande do Sul), com o auxílio das ferramentas disponíveis no Photoshop CS5.

Com as telas criadas, foi iniciada a etapa de desenvolvimento do ambiente de simulação, onde o código de programação que estava sendo elaborado precisava estar disponível para todos os membros do grupo. Para isso, foi utilizada a plataforma Bitbucket, um sistema de repositórios que armazena as versões do desenvolvimento do código. Assim, através de um programa vinculado a ele (Git), mantém-se o código sempre atualizado para todos, mostrando um histórico das alterações feitas por cada membro da equipe no código principal.

Através de uma workstation utilizando Linux Ubuntu 14.04 LTS foi preparado um servidor para que o simulador pudesse ser utilizado em várias máquinas para testes e construção do código. O código fonte do simulador foi feito com linguagens HTML, JavaScript,

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

PHP e SQL. O sistema desenvolvido pode ser executado em um navegador de internet, como o Mozilla Firefox ou Internet Explorer, por exemplo. A disponibilidade do simulador em interface web torna a seu manuseio mais fácil, uma vez que pode ser acessado em qualquer computador incluso na rede do servidor.

A estrutura do simulador foi toda desenvolvida em HTML, uma linguagem de marcação utilizada para produção de páginas na web (W3SCHOOL, 2015a). Através das suas ferramentas foi possível orientar o posicionamento das imagens, dos textos e criar botões, sendo alocados todos os elementos gráficos no simulador. Em conjunto com o HTML foi utilizado o CSS. Ele é folha de estilos que permite definir a aparência dos objetos do HTML. Assim foi possível definir cores, fontes, tamanhos, gradientes, planos de fundo, e cada detalhe visual do sistema supervisorio da usina piloto pôde ser reproduzido.

Após a finalização da parte visual das telas, foram inseridas as ações do simulador. Para essa função foi utilizado o JavaScript, que apresenta uma linguagem interpretada e é associado ao HTML para a inserção de vários efeitos, tornando a interação do usuário mais dinâmica (W3SCHOOL, 2015b). Com a utilização do JavaScript foi possível criar as contingências a serem simuladas, recriando as mesmas funções que o

operador pode usufruir no sistema supervisorio utilizado pela empresa ENEX. Para facilitar a programação, o framework jQuery foi utilizado, pois ele contém uma biblioteca de funções prontas para o JavaScript.

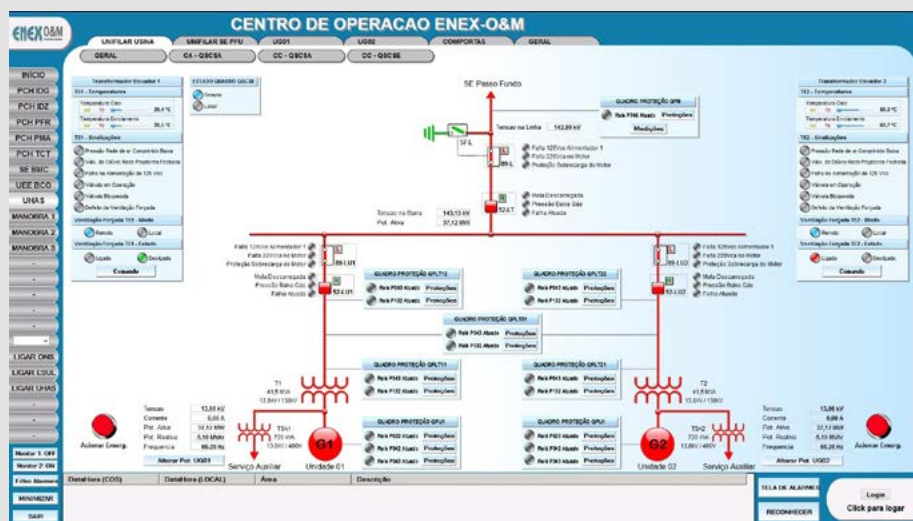
O banco de dados (BD) do servidor foi criado através do MySQL, um sistema de gerenciamento de BD que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada) como interface (MYSQL, 2015), com a função de gerenciar a manipulação e a organização dos dados apresentados no simulador. E para que todo o conteúdo HTML pudesse ser adicionado e atualizado no servidor, e uma resposta desse processo fosse enviada ao usuário, foi necessário recorrer ao PHP, uma linguagem server side utilizada para alterar o código HTML (PHP, 2015). Assim, com o PHP, foi possível conectar o código escrito ao banco de dados.

Com a utilização de todas essas ferramentas e com auxílio da empresa ENEX foi possível concluir a elaboração de um simulador do sistema de operação de uma usina hidrelétrica, para o treinamento e a capacitação de operadores em tempo real.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ambiente de simulação desenvolvido, consiste em quatro contingências, sendo elas relacionadas as falhas e manutenções que podem ocorrer no sistema

Figura 1: Tela Unifilar Usina (UHAS).  
FONTE: Dados da pesquisa.



# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

da usina hidrelétrica. As manobras se referem a:

Manobra 1: Reestabelecer LT (Linha de Transmissão) de 138kV após desligamento automático ocorrido por proteções não impeditivas.

Manobra 2: Reestabelecer UG02 (Unidade Geradora 02), após desligamento automático.

Manobra 3: Reestabelecer abertura das comportas devido sobrecarga na ponte do inversor de alimentação da tomada água.

Manobra 4: Desenergizar e isolar Seccionadora 89L para Manutenção Geral.

Para exemplificar o funcionamento do simulador, será utilizada a Manobra 4. Abaixo observa-se a tela da usina hidrelétrica funcionando corretamente (Fig. 1). A manutenção se dá em 4 etapas, mas em relação ao software são necessárias apenas duas telas.

A primeira etapa é a liberação, onde os seguintes passos devem ser seguidos:

- 1- Informar ao COSE e COSR-S o início da manutenção;
- 2- Parar UG01 e/ou UG02;
- 3- UHAS - Abrir o disjuntor 52L desenergizando a barra de 138kV;
- 4- PFU - Abrir o disjuntor 532 desenergizando a LT;
- 5- PFU - Abrir as seccionadoras 531, 533 e manter

aberta a 535;

6- UHAS - Abrir a seccionadora 89L;

7- UHAS - Fechar seccionadora de terra 57L;

Após essas etapas, podem ser feitas as manutenções necessárias, e para a normalização do sistema são realizadas as seguintes etapas no simulador:

1- Informar ao COSR-S a conclusão da AI (Autorização de Intervenção) e início do religamento;

2- PFU - Confirmar a retirada do aterramento artificial;

3- UHAS - Abrir a seccionadora de terra 57L;

4- PFU - Fechar as seccionadoras 531, 533, e manter aberta a 535;

5- PFU - Fechar o disjuntor 52L energizando a barra 138kV;

6- Sincronizar ao sistema UG01 e/ou UG02;

7- Informar ao COSR-S o término do religamento e a emissão da AI.

Após a realização dessas etapas, a manobra 4 está concluída. Da mesma maneira foram feitas as outras manobras, onde cada uma delas possui uma causa específica.

Para entender melhor as etapas citadas acima, os equipamentos nomeados podem ser vistos na tela PFU (Fig. 2) e na tela de partida e parada da UG01 (Fig. 3).

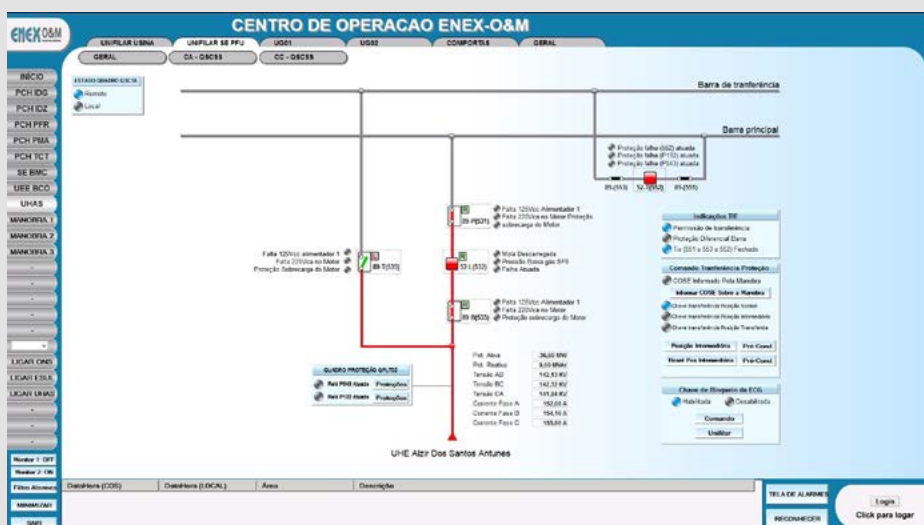


Figura 2: Tela Unifilar SE PFU.  
FONTE: Dados da pesquisa.

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS



Figura 3: Tela UG01 - Partida Parada. FONTE: Dados da pesquisa.

Cada manobra tem sua devida importância e o operador precisa estar preparado para realizar a operação quando algum problema ocorrer. O operador necessita identificar o problema e com a ajuda do simulador poderá solucionar a falha. Caso o operador cometa um erro, a sequência correta de passos é apresentada para a resolução da situação, orientando o operador.

## CONCLUSÕES

A implantação do simulador na empresa ENEX traz ganhos imediatos para a empresa e para os seus colaboradores, que podem aprimorar suas técnicas para resolução dos problemas recorrentes no sistema elétrico de potência.

Com a utilização do simulador existirá um melhor controle sobre o aprendizado dos operadores, pois o simulador é capaz de armazenar os procedimentos adotados durante a simulação para uma análise posterior da equipe, além de existir a possibilidade de retirar dúvidas imediatamente após o erro na execução de manobras, onde o operador em treinamento pode ser auxiliado no último dessa execução, para aperfeiçoar o seu modo de agir diante de uma

atribuição no sistema.

O projeto também proporcionou diversos benefícios para o Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, como o envolvimento de alunos dos cursos de engenharia elétrica e do curso técnico em eletrotécnica com áreas futuras de trabalho e profissionais da área, proporcionando crescimento profissional aos estudantes. Também trouxe melhorias para a infraestrutura do laboratório de pesquisa GESE (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia) e a divulgação do nome da instituição. Além disso, o sistema desenvolvido poderá ser utilizado de forma didática, para exemplificar o funcionamento e a operação de uma UHE nas aulas relacionadas com o tema.

## Agradecimentos

À ENEX pela parceria com o Instituto Federal de Santa Catarina e também aos alunos bolsistas do Projeto "Sistema de Apoio a Operadores de Usinas" (Edital MEC/SETEC/CNPq N° 94/2013) pelo apoio e contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Também agradecemos ao IFSC pelo apoio e fomento a partir do Projeto Universal 2014/2015 (Edital n° 14/PROPII/2014).

# AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

## REFERÊNCIAS

ARANHA NETO, E. A. C.; TAKIGAWA, F. Y. K.; FERNANDES, R. C.; SCHULZE, P. H.; MANICARDI, R. Simulador de subestações de energia para treinamento de operadores. III Congresso de las Americas de Distribución Eléctrica. Córdoba, 2016.

BZUNECK, M.; MENEGAZ, A. A. Desenvolvimento e aplicação de sistema de treinamento para operadores de usinas baseado em simulador elaborado através de um programa em software flash®. X EDAO - Encontro para Debates de Assuntos de Operação. São Paulo, 2008.

CASTRO, H. S. Especificação funcional de simulador para treinamento de operadores de centro de controle de geração e transmissão. Dissertação (Mestrado). UFMG. Belo Horizonte, 2007.

DUDLEY, T.; BOUWER, W.; VILLIERS, P.; WANG, Z. The Thermal-Hydraulic model for the pebble bed modular reactor (PBMR) plant operator training simulator system. Nuclear Engineering and Design. Vol. 238, pp. 3102-3113. 2008.

GERLACH, I.; BRÜNING, S.; GUSTAVSSON, R.; MANDENIUS, C.; HASS, V. Operator training in recombinant protein production using a structured simulator model. Journal of Biotechnology. Vol. 177, pp. 53-59. 2014.

MOREALE, M. S. Técnicas para treinamento de operadores do sistema elétrico utilizando simulador com base na interface de tempo real. Dissertação (Mestrado). UFSC. Florianópolis, 2007.

MYSQL. MySQL. Disponível em: <<http://www.mysql.com/>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

PHP. PHP: Hypertext Preprocessor. Disponível em: <<http://www.php.net/>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TOMSCHI, U.; JÄCKISCH, H.; NEWALD, R. Operator guidance simulator: a new power plant training tool concept. Power Plants and Power Systems Control. Kananaskis-Canadá, 2006.

VASANDANI, V.; GOVINDARAJ, T. Intelligent diagnostic problem solving tutor: an experimental evaluation. IEEE international conference on systems, man, and cybernetics. Atlanta-USA, 1991.

W3SCHOOL. HTML. Disponível em: <[http://www.w3schools.com/html/html\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/html/html_intro.asp)>. Acesso em: 23 abr. 2015a.

W3SCHOOL. JavaScript. Disponível em: <<http://www.w3schools.com/js/jsintro.asp>>. Acesso em: 17 abr. 2015b.