



LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS APLICADO A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE ENERGIA - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS

Kariston D. Alves – kariston.alves@ifro.edu.br

Rudi H. van Els – rudi@unb.br

Departamento de Engenharia Mecânica

Pós graduação em Sistemas Mecatrônicos

Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro – Asa Norte – Brasília - DF

Resumo: *Sistemas hidrelétricos e fontes renováveis são temas atuais e de grande relevância em nosso país. Os estudantes de engenharia de energia, quanto futuros profissionais que atuarão no ramo, devem ser devidamente capacitados para lidar com o que lhes espera. Deste modo, é primordial que ao longo do curso de graduação tenha-se o correto nível de orientação teórica e prática no diz respeito aos equipamentos que compõem um sistema hidrelétrico, bem como, seu funcionamento. Por isso, o presente artigo apresenta a bancada didática de sistemas hidrelétricos da Universidade de Brasília - UnB, campus Gama e aborda a implementação de novos equipamentos ao sistema. Como será apresentado, a bancada tem sido utilizada, com qualidade, no ensino para as turmas do curso de engenharia de energia, porém se faz necessário a implementação de alguns equipamentos para agregar valor ao sistema e expandir a capacidade de utilização da plataforma. Abordaremos as modificações realizadas e o efeito positivo no ensino, bem como, a reformulação da proposta metodológica subdivida em 4 níveis, que, propicia uma flexibilização no uso do equipamento de acordo com a disciplina e o conteúdo abordado.*

Palavras-chave: *Sistemas Hidrelétricos, Bancada Didática, Engenharia de Energia.*

1. INTRODUÇÃO

A energia oriunda de sistemas hidrelétricos é tradicionalmente um setor importante na matriz energética brasileira. Aproximadamente, 65% da geração nacional de eletricidade vem de sistemas hidrelétricos. De acordo com (ANEEL, 2016), temos 4.660 projetos operacionais, de diversas fontes, totalizando 161.905.764 kW de capacidade instalada. Deste montante, temos o total de 1.264 unidades de fontes hidrelétricas, totalizando 106.660.763 kW distribuídos entre CHGs, UHEs e PCHs ¹.

¹CGH - Central Geradora Hidrelétrica, UHE - Usina Hidrelétrica e PCH - Pequena Central Hidrelétrica



Diante de tal cenário, é inegável a importância de se trabalhar os conceitos teóricos e aplicações práticas de geração de energia elétrica, para os cursos de engenharia (SILVA et al., 2013), pois é primordial que tenhamos profissionais bem preparados para lidar com situações reais em um cenário produtivo. Para isso, é necessário um acompanhamento ao longo de todo o curso para garantir a devida integração entre os conteúdos, sendo estes indissociáveis.

De acordo com (SIMÕES; SIPLE; FIGUEIREDO, 2014), quanto a construção de conhecimento ao longo do curso, ele afirma que:

Um currículo de um curso não pode ser definido somente por meio de disciplinas que possuem ementas e pré-requisitos, mas sim definido como uma série de conteúdos programáticos que possuem uma estrita relação ao longo do curso e propiciem, a cada assunto abordado, uma extensão dos assuntos anteriores, transformando esse currículo, não em uma “colcha de retalhos” de conhecimentos, mas sim em uma “teia” de conhecimentos interdependentes.

É evidente que o ensino prático é ferramenta fundamental para a construção desse conhecimento, garantindo assim a indissociabilidade entre os conteúdos vistos ao longo do curso de engenharia. Devem ser corretamente ponderadas as doses de teoria e prática afim de se obter a melhor assimilação do conhecimento por parte dos alunos.

Como visto, a geração de energia por meio de sistemas hidrelétricos é de notória importância para o Brasil como um todo. Visando essa demanda, a bancada de ensaio de turbinas hidráulicas foi desenvolvida no Campus de engenharias da Faculdade UnB do Gama e objetiva promover a consolidação do conhecimento dos estudantes de engenharia de energia (SIQUEIRA; ELS, 2014). Desde sua elaboração e a primeira formulação de propostas metodológicas, *vide* (SILVA et al., 2013), muito se avançou na melhoria da bancada e na metodologia como os conteúdos são trabalhados. Deste modo, o presente trabalho apresenta as melhorias realizadas na plataforma didática e os benefícios que tais modificações apresentam no ensino, em especial, práticas relacionadas a sistemas de geração de energia elétrica e controle de sistemas dinâmicos.

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte forma: A seção 2 apresenta a descrição da bancada didática, bem como, a proposta metodológica; Na seção 3 são apresentadas a subdivisão entre os 4 níveis metodológicos e as atividades que são desenvolvidas com a bancada em cada um destes; E, por fim, a seção 4 conclui o artigo.

2. BANCADA DIDÁTICA DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS & PROPOSTA METODOLÓGICA

De acordo com os dados apresentados, podemos notar que é de extrema importância que os futuros engenheiros de energia conheçam em detalhes os componentes de um sistema hidrelétrico, bem como, o funcionamento de cada um deles. A bancada didática de sistemas hidrelétricos da UnB - Campus Gama teve sua concepção e elaboração por meio de projeto aprovado no edital MCT/CNPq FNDCT N° 05/2010, visando a capacitação Laboratorial e Formação de RH em Fontes Renováveis. A bancada, figura 1(a), pode simular o funcionamento de uma Micro Central Hidrelétrica – MCH, a partir do ensaio com diferentes turbinas hidráulicas, o que possibilita aos alunos a aplicação de conceitos

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção

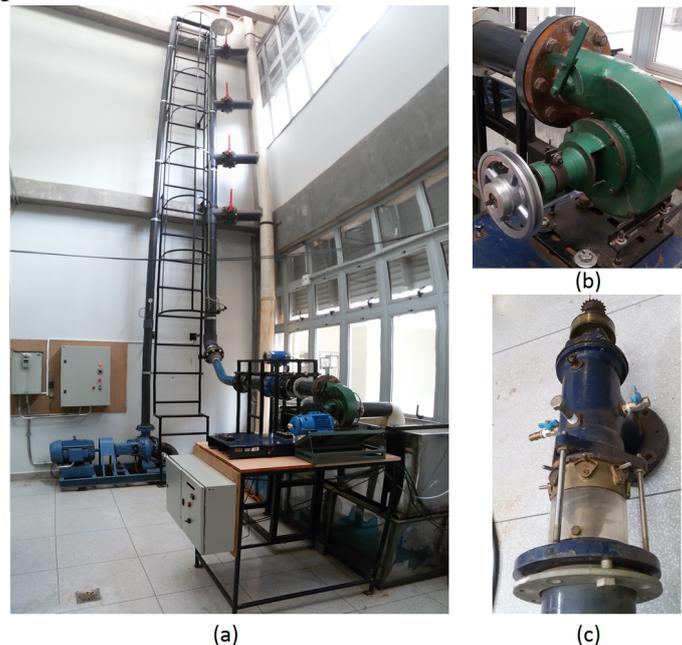


ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia



fundamentais em sua formação. Em sua concepção original a bancada visava a validação experimental com protótipo em escala reduzida, onde seria possível a avaliação técnica de máquinas hidráulicas, a pesquisa de dispositivos e sistemas de proteção e controle de baixo custo, além de, como já dito, servir durante as aulas do curso de engenharia. Atualmente dispõe-se de dois tipos de turbinas: Indalma e Kaplan, figura 1(b) e (c), respectivamente.

Figura 1 – (a)Bancada Didática de sistemas hidrelétricos, (b)Turbina Indalma e (c)Turbina Kaplan.



Em seu trabalho, (SILVA et al., 2013) apresenta uma proposta metodológica que leva em conta níveis de complexidade na utilização dos equipamentos que compõem a bancada, onde a proposta é trabalhar em diferentes níveis, de acordo com a disciplina. Segue-se tal metodologia, que está subdividida em 4 níveis, onde varia-se a proposta de utilização da bancada de acordo com a disciplina e o conteúdo abordado. Dessa forma, abaixo temos uma adaptação da proposta original com o incremento de novas funções devido as melhorias implementadas no equipamento. São estes:

- **1º nível: Operação Manual Demonstrativa com Instrumentação Analógica;**
- **2º nível: Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico da Turbina e Circuito de Bombeamento;**
- **3º nível: Geração de Energia Elétrica e sua Interligação com a Rede de Distribuição - Barramento Infinito;**
- **4º nível: Controle de Processos e Sistemas Dinâmicos.**

Organização



Promoção





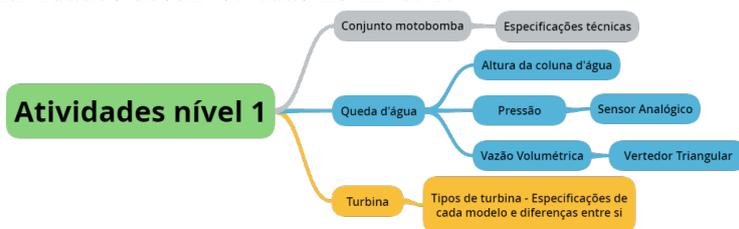
Ao longo dos anos que está em operação, a bancada tem funcionado com eficiência nos dois primeiros níveis. Porém, para a plena utilização nos níveis 3 e 4 se faz necessária a adequação do equipamento. A seção 3 abordará as atividades executadas em cada um dos níveis, as adequações já realizadas na bancada, bem como a proposta de implementação a ser realizada.

3. ATIVIDADES PRÁTICAS DESENVOLVIDAS

3.1. Nível 1. Operação Manual Demonstrativa com Instrumentação Analógica (Disciplinas: introdução a engenharia e disciplinas de física)

Como já abordado na proposta original, neste nível podem ser trabalhados o conhecimento geral dos equipamentos, utilização do vertedouro triangular para o cálculo da vazão, cálculo da perda de carga na tubulação e medição de pressão, utilizando manômetro de coluna d'água. A figura 2 apresenta as atividades desenvolvidas no 1º nível. Desta maneira, propicia-se um contato inicial do aluno com a atividade prática, estimulando-o nas fases iniciais do curso.

Figura 2 – Atividades desenvolvidas no nível 1.

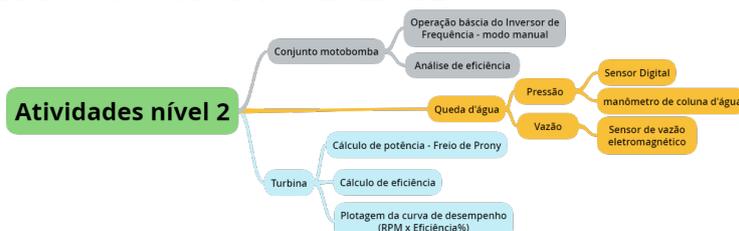


3.2. Nível 2. Avaliação do Comportamento Hidrodinâmico da Turbina e Circuito de Bombeamento

(Disciplinas: fenômenos de transporte, dinâmica dos fluidos, máquinas de fluxo)

No segundo nível temos um enfoque no comportamento hidrodinâmico do conduto e da turbina. Para isso os alunos dispõem de sensores mais adequados para a monitoração em tempo real do processo. As atividades são: Análise do conjunto motobomba, operação do inversor de frequência (relação rotação x vazão), medição da vazão através da utilização da placa de orifício, aferição de pressão com sensores analógico e digital, medição do torque e cálculo da potência da turbina através do freio de Prony e plotagem da curva de desempenho (velocidade x rendimento). A figura 3 apresenta as atividades desenvolvidas.

Figura 3 – Atividades desenvolvidas no nível 2.

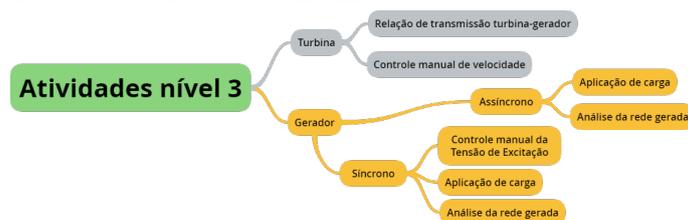


3.3. 3º nível: Geração de Energia Elétrica e sua Interligação com a Rede de Distribuição - Barramento Infinito

(Disciplinas: Circuitos elétricos, conversão eletromecânica de energia, máquinas elétricas, transmissão de energia)

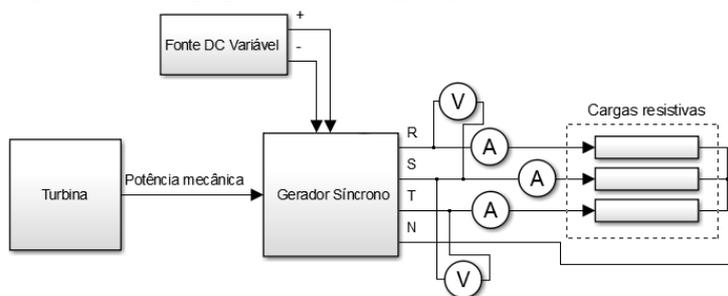
Podem ser abordados conceitos de conversão eletromecânica de energia elétrica, geração por máquina síncrona e assíncrona, uso da eletricidade gerada, correção de fator de potência, métodos de sincronismo, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 – Atividades desenvolvidas no nível 3.



Porém, como dito na seção 2, adequações eram necessárias ao equipamento, para a plena utilização dos níveis 3 e 4. Desta maneira, foram acoplados um gerador síncrono ao equipamento, e colocadas cargas resistivas para dissipação da potência elétrica gerada. Uma fonte de tensão DC variável também foi disposta na bancada servindo de fonte de excitação. A figura 5 mostra um diagrama dos equipamentos de geração e a figura 6 mostra a disposição do sistema de geração.

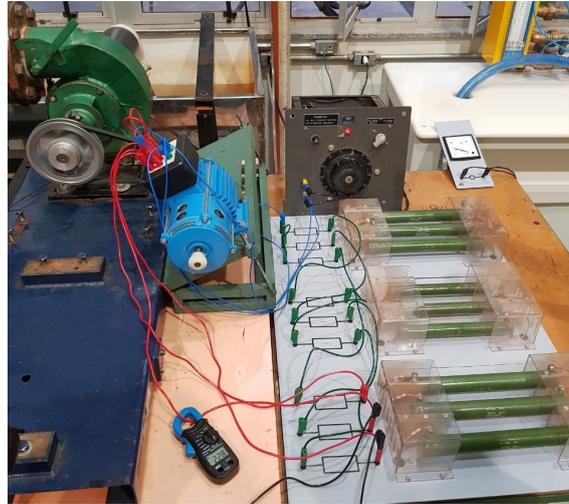
Figura 5 – Diagrama dos equipamentos de geração.



Isto porque verificou-se que os alunos não tinham a exata compreensão do funcionamento de um sistema de geração. Com estes equipamentos adicionais é possível realizar testes onde varia-se os valores de velocidade da turbina e tensão de excitação afim de se verificar a resposta na energia gerada, garantindo o conhecimento básico para se compreender o funcionamento do controle de excitação e controle de velocidade de um sistema hidrelétrico convencional. Os estudantes monitoram a velocidade da turbina-gerador, levando em conta a relação de transmissão; monitoram a excitação do gerador; monitoram a quantidade de carga aplicada em cada fase gerada; bem como, a tensão e a corrente geradas. Ainda é necessário a integração de sincronoscópios ao sistema para a correta abordagem a respeito de sincronismo.



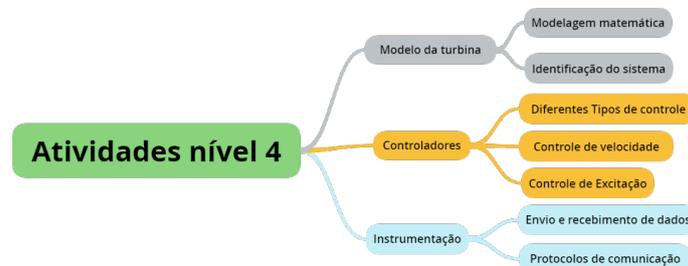
Figura 6 – Sistema de geração da bancada.



3.4. 4º nível: Controle de Processos e Sistemas Dinâmicos (Disciplinas: instrumentação e controle de sistemas dinâmicos)

Conforme figura 7, no nível 4 pode-se trabalhar a modelagem matemática dos componentes da bancada, a identificação do sistema da turbina, tipos de controladores para controle de velocidade e excitação, envio e recebimento de dados da instrumentação e protocolos de comunicação.

Figura 7 – Atividades desenvolvidas no nível 4.



No que diz respeito ao controle de processo e instrumentação, houve uma melhora significativa na aquisição de sinais de instrumentação e comunicação destes valores. Foi implementado junto a bancada um inversor de frequência, figura 8(b), onde tem-se um controle PID, afim de se manter a pressão de água na tubulação constante, variando-se a rotação do sistema de bombeamento de água (SANTOS, 2016). Também foi implementado um sistema supervisor, figura 8(a), visando a integração entre todos os dispositivos da bancada. Tal supervisor foi desenvolvido através do software SCADABR (CALIXTO, 2015).

Por fim, foram implementados sensor de vazão eletromagnético, figura 9(a), para monitoração da vazão através do sinótico e células de carga, figura 9(b). Tais células de carga são utilizadas apenas quando se quer estudar o comportamento da turbina, medindo a potência no eixo e gerando informações dinâmicas de resposta.



Figura 8 – (a) Telas 1 e 2 do Sinótico supervisorio. (b) Inversor de Frequência CFW09.

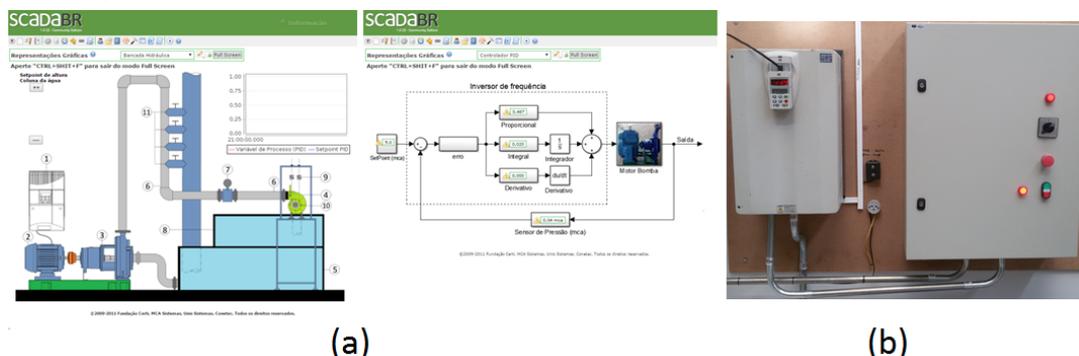
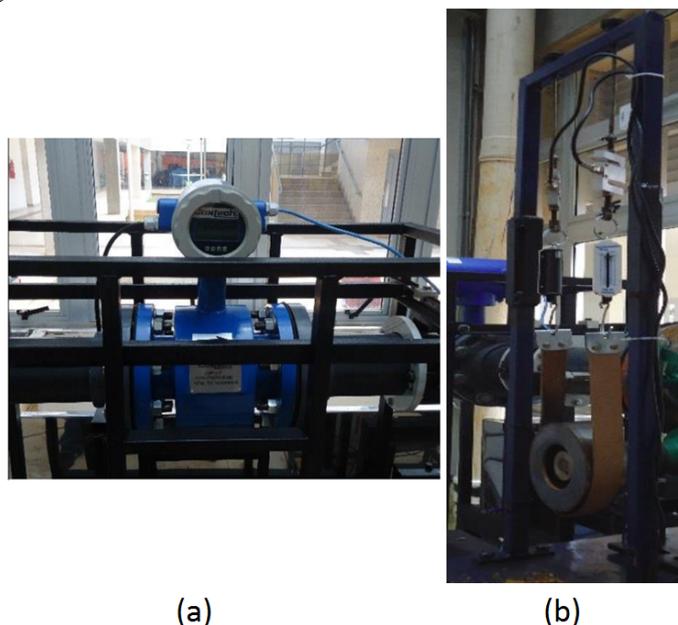


Figura 9 – (a) Sensor de vazão eletromagnético e (b) Freio de Prony com as células de carga.

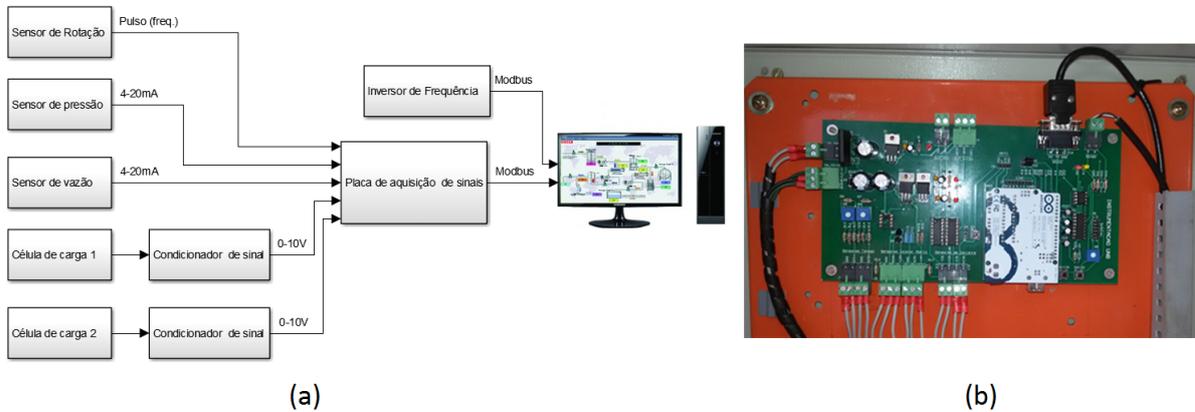


Para garantir a comunicação de todos os equipamentos ao supervisorio, foi implementado um sistema de aquisição de dados e comunicação com o computador por meio de protocolo modbus. A figura 10(a) mostra a representação da ligação dos dispositivos da planta e a figura 10(b) mostra o quadro com a montagem da placa. Esse sistema projetado tem um diferencial por utilizar a plataforma arduino como processador de dados e, por isso, se torna uma solução muito mais barata que as soluções comerciais. Com essa plataforma, podemos ter a aquisição de dados de sensores analógicos (sinal 4-20mA), sensores com sinal de tensão (sinal 0-10V), sensores de pulso (frequência), saída para acionamento discreto 5Vdc e 12Vdc, acionamento através das portas PWM do arduino, bem como, comunicação RS 232 e RS 485.

Por fim, se faz necessária a implementação do sistema de controle automático da abertura/fechada da válvula de entrada de água da turbina Indalma. Para essa implementação

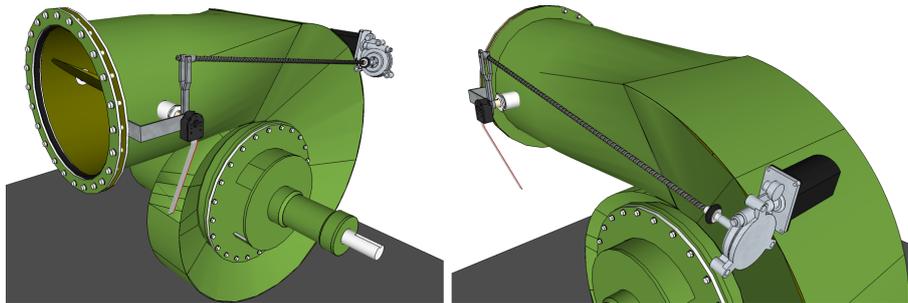


Figura 10 – (a) Diagrama do sistema de aquisição de dados. (b) Quadro com a placa de aquisição dos sinais dos sensores.



foi projetado o sistema apresentado na figura 11, onde temos o sistema de atuação, bem como, a realimentação de posição da válvula, representando assim um controlador de velocidade comumente encontrado nas unidades hidrelétricas atuais.

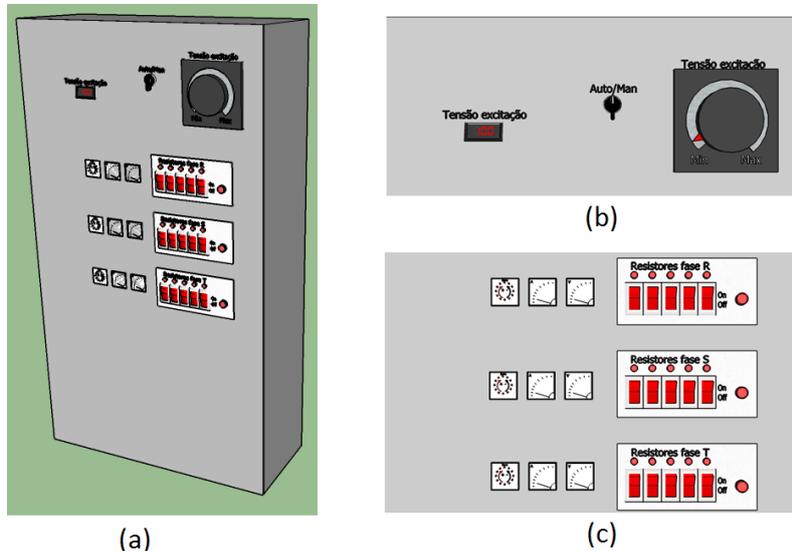
Figura 11 – Proposta do controlador de velocidade.



É esperado também a implementação do controle automático de excitação por meio de um controlador estático SCR, atrelado ao controle manual de excitação e as cargas de dissipação da energia gerada, figura 12. O fato de ter o controle manual e automático do mesmo sistema propicia maior diversidade de maneiras a se trabalhar o mesmo assunto. Uma vez que o aluno continuará tendo a aplicação manual de excitação no gerador, e poderá visualizar a resposta do sistema. Com estas modificações, o sistema será plenamente capaz de representar com fidedignidade uma planta hidrelétrica real.



Figura 12 – (a) Proposta do quadro para controle de excitação e consumo da carga gerada. (b) Controle manual e automático de excitação. (c) comutação de acionamento das cargas nas 3 fases e instrumentação de análise.



4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a implementação de novos equipamentos a bancada didática de sistemas hidrelétricos da Universidade de Brasília - UnB, campus Gama. Como apresentado, a bancada tem sido utilizada, com qualidade, no ensino para as turmas do curso de engenharia da energia, porém se fazia necessário a implementação de alguns equipamentos para agregar valor ao sistema e expandir a capacidade de utilização da plataforma.

Como visto, segue-se a subdivisão de 4 níveis na metodologia de utilização da bancada, porém o controle de velocidade automático da turbina ainda está em fase de implementação, bem como quadro para controle de excitação e consumo da carga gerada. Com estes equipamentos será possível ter um sistema compacto, de fácil entendimento e manuseio, que viabilizará melhor compreensão aos estudantes.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Rondônia - FAPERO, e ao Instituto Federal de Rondônia - IFRO, pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Big - banco de informações de geração (capacidade de geração do Brasil). 2016. Acesso em: 10 de maio de 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.

CALIXTO, R. de O. Sistema supervisor para bancada de ensaio de picoturbina hidráulica indalma. *Biblioteca Digital de monografias - BDM-UnB*, 2015. Acesso em: 2 de maio de 2017. Disponível em: <https://goo.gl/3tvypB>.

Organização



Promoção





SANTOS, M. E. C. M. d. Controle da pressão de operação da bancada de testes para turbinas hidráulicas. *Biblioteca Digital de monografias - BDM-UnB*, 2016. Acesso em: 25 de abril de 2017. Disponível em: <https://goo.gl/ws5qJf>.

SILVA, J. d. et al. Laboratório real de geração hidrelétrica–proposta metodológica de utilização de bancada de ensaio de turbina hidráulica no curso de engenharia de energia. In: *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 36.

SIMÕES, R.; SIPLE, I. Z.; FIGUEIREDO, E. B. de. Aplicação da integral na determinação de características geométricas de seções planas de estruturas em barras. 2014.

SIQUEIRA, M. d.; ELS, R. V. Uso de bancada de ensaio de turbina hidráulica em laboratório na formação do engenheiro de energia a partir da disciplina fontes de energia e tecnologias de conversão. In: *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 36.

LABORATORY OF HYDROELECTRIC SYSTEMS APPLIED IN THE TRAINING OF ENERGY ENGINEER - GENERATION OF ELECTRICITY AND CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS

Abstract: *Hydroelectric systems and renewable sources are current topics of great relevance in our country. The Energy engineering students, as well as future professionals who will work in this field, must be properly trained to deal with what awaits them. In this way, it is essential that they have during their under-graduate course, the correct level of theoretical and practical orientation in respect to the equipment that make up a hydroelectric system, as well as, its operation. Therefore, this article presents the didactic workbench of hydroelectric systems of the University of Brasília - UnB, Campus Gama and addresses the implementation of new equipment into the system. As will be presented, the workbench has been used, with quality, in teaching for the classes of the course of energy engineering, however it is necessary to implement some equipment to add value to the system and expand the using capacity of the platform. We will treat the modifications made and its positive effect on teaching, as well as the reformulation of the methodological proposal subdivided into 4 levels, which allows a flexibilization in the use of the equipment according to the discipline and the subject studied.*

Palavras-chave: *Hydroelectric systems, Didactic Workbench, Energy Engineering.*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção



ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia