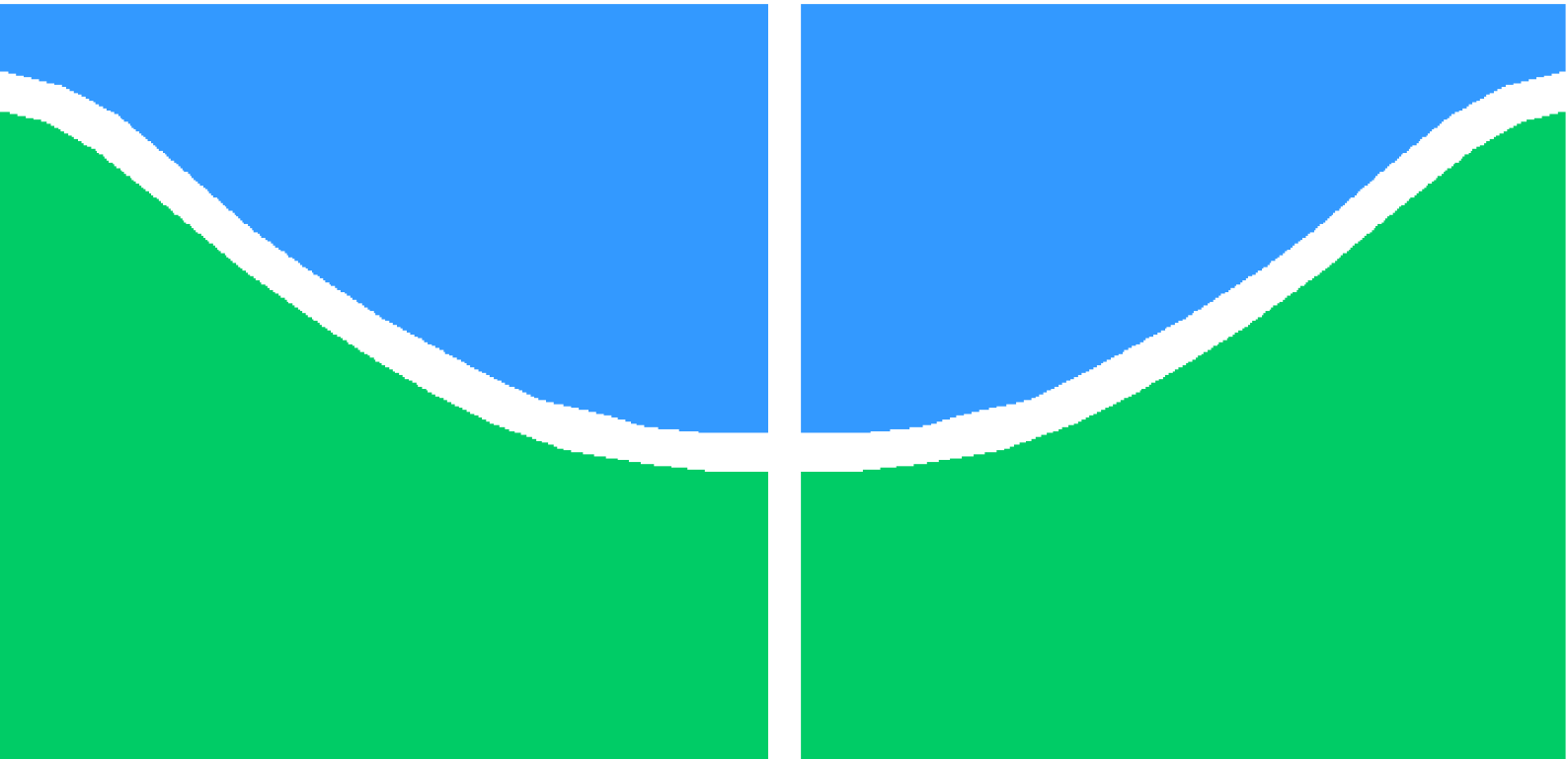




Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

Controle da pressão de operação da Bancada de Testes para Turbinas Hidráulicas

Autor: Maria Eugênia Carvalho Matos dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Rudi Henri van Els

Brasília, DF
2015



Maria Eugênia Carvalho Matos dos Santos

Controle da pressão de operação da Bancada de Testes para Turbinas Hidráulicas

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia de Energia da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
de Energia.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Rudi Henri van Els

Brasília, DF

2015

Maria Eugênia Carvalho Matos dos Santos

Controle da pressão de operação da Bancada de Testes para Turbinas Hidráulicas/ Maria Eugênia Carvalho Matos dos Santos. – Brasília, DF, 2015-46 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rudi Henri van Els

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2015.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. I. Prof. Dr. Rudi Henri van Els. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Controle da pressão de operação da Bancada de Testes para Turbinas Hidráulicas

CDU 02:141:005.6

Maria Eugênia Carvalho Matos dos Santos

Controle da pressão de operação da Bancada de Testes para Turbinas Hidráulicas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 11 de julho de 2015:

Prof. Dr. Rudi Henri van Els
Orientador

Titulação e Nome do Professor
Convidado 01
Convidado 1

Titulação e Nome do Professor
Convidado 02
Convidado 2

Brasília, DF
2015

*Dedico este trabalho a meu irmão, Egídio Carvalho Matos Silva,
como inspiração para retomar seu caminho na jornada do conhecimento.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida. Aos meus pais, por todo o amor, por seu exemplo e pelo papel fundamental que exerceram em minha formação. Ao meu irmão e sua família, por todos os momentos em que se fizeram presentes, mesmo distantes. À minha grande família, pelo exemplo de luta e união. Ao meu namorado e aos meus amigos, por me apoiarem e me incentivarem.

Ao professor Rudi Henri van Els, por sua orientação, paciência e por todos os desafios que me motivaram a seguir em frente. Aos que contribuíram para a realização deste trabalho: Olga Lucia Sanchez Santander, Nigel Sloom, Ramsay MacDonald e Rodrigo de Oliveira Calixto. À Universidade de Brasília e aos demais professores que contribuíram para a minha formação.

Agradeço a todos pelo papel que desempenharam em minha vida, me ajudando a chegar até aqui.

“A persistência é o caminho do êxito.”
(Charles Chaplin)

Resumo

A turbina Indalma é aplicada na geração descentralizada de energia para eletrificação de comunidades isoladas da região Amazônica. A caracterização dessa turbina foi realizada no Laboratório de TermoFluidos da Faculdade UnB Gama. Nesse processo, foram desenvolvidos trabalhos de implementação da estrutura mecânica e da instrumentação da bancada de testes para turbinas hidráulicas, bem como de avaliação experimental da turbina Indalma. Com a finalidade de fornecer maior agilidade aos ensaios experimentais realizados na bancada, esse trabalho propõe o controle da pressão de operação do sistema, empregando o Controlador PID incorporado ao inversor de frequência que compõe a instalação atual. Utilizando o sinal dos transdutores de pressão, será desenvolvido um controlador que ajustará a velocidade de rotação do motor, de forma a atingir a pressão necessária em diferentes etapas de operação da bancada.

Palavras-chaves: Inversor de Frequência. Controlador PID. Ensaio de Turbinas Hidráulicas.

Abstract

The Indalma turbine is used for decentralized power generation in isolated communities in the Amazon region. The experimental evaluation of this turbine was held at TermoFluidos Laboratory of UnB Gama. In this process, studies on the implementation of the mechanical structure and instrumentation of a test bench for hydraulic turbines were developed, as well as the experimental evaluation of Indalma turbine. In order to provide greater flexibility to the experimental tests conducted on the bench, this paper proposes to control system operating pressure by using a PID controller built into the frequency inverter currently installed. Using the the pressure transducers signal, a controller that adjusts engine rotation speed in order to maintain the required pressure will be developed.

Key-words: Frequency Inverter. PID controller. Hydraulic Turbines test.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Laboratório de máquinas hidráulicas proposto pela Voith para a PUC-RJ (MACINTYRE, 1983)	20
Figura 2 – Instalação para ensaio de turbinas hidráulicas (OLIVEIRA, 2014) . . .	22
Figura 3 – Vertedouro triangular (OLIVEIRA, 2014)	24
Figura 4 – Medidor de vazão eletromagnético (OLIVEIRA, 2014)	25
Figura 5 – Medição de rotação por sensor indutivo (CALIXTO, 2014)	25
Figura 6 – Freio de Prony (DONALD; SLOOT, 2014)	26
Figura 7 – Bomba centrífuga com corpo de voluta (MACINTYRE, 1980)	28
Figura 8 – Bomba KSB Etanorm (KSB, 2013)	29
Figura 9 – Motor de indução trifásico (WEG, 2014)	31
Figura 10 – Tipos de ligação do motor (WEG, 2014)	32
Figura 11 – Estágios de um Inversor de Frequência (WEG, 2014)	33
Figura 12 – Diagrama de Blocos do Inversor de Frequência CFW09 (WEG, 2011) .	34
Figura 13 – Diagrama de Blocos do Controlador PID Acadêmico (WEG, 2011) . .	35
Figura 14 – Diagrama de funcionamento da Bancada de Ensaio de Turbinas Hidráulicas (CALIXTO, 2014)	38
Figura 15 – Diagrama de blocos da rede de comunicação (CALIXTO, 2014)	39
Figura 16 – Configuração do Data Source para o inversor	40
Figura 17 – Interligação elétrica do sistema de acionamento da bomba	46

Lista de tabelas

Tabela 1 – Sugestões para ajustes dos ganhos do regulador PID (WEG, 2011)	
[Adaptado]	36
Tabela 2 – Configuração dos parâmetros do inversor	40
Tabela 3 – Configuração de Data Points de monitoramento	41
Tabela 4 – Configuração de Data Points de controle	41

Lista de abreviaturas e siglas

FGA	Faculdade UnB Gama
IHM	Interface Homem-Máquina
Inovatrans	Inovação de micro centrais hidrelétricas: capacitação laboratorial e transferência de tecnologia
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UnB	Universidade de Brasília

Lista de símbolos

Símbolos Latinos

f	Frequência (Hz)
F_1, F_2	Força (N)
h	Altura da lâmina de água no vertedouro (m)
H	Altura manométrica (m)
H_1, H_2	Altura de elevação (m)
n, n_1, n_2	Velocidade de rotação (rpm)
n_s	Velocidade síncrona (rpm)
p	Pares de polos
P_1, P_2	Potência (W)
P_e	Potência de eixo (W)
P_h	Potência hidráulica (W)
Q, Q_1, Q_2	Vazão volumétrica ($m^3 \cdot s^{-1}$)
r	Raio (m)
s	Escorregamento

Símbolos Gregos

α	Medida angular ($^\circ$)
γ	Peso específico ($N \cdot m^{-3}$)
η	Rendimento
θ	Medida angular ($^\circ$)
τ	Torque ($N \cdot m$)
ω	Velocidade angular ($rad \cdot s^{-1}$)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.1.1	Bancada Didática	16
1.2	Problema	17
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivos Gerais	17
1.3.2	Objetivos Específicos	18
I	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2	ENSAIO DE TURBINAS HIDRÁULICAS	20
2.1	Bancadas de ensaio de turbinas	20
2.1.1	Medições	21
2.1.2	Bancada de Ensaio para Turbinas Hidráulicas na FGA	21
3	INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA	23
3.1	Sensores, transdutores e transmissores	23
3.2	Pressão	23
3.3	Vazão	24
3.3.1	Método do Vertedouro Triangular	24
3.3.2	Medidor Eletromagnético	25
3.4	Rotação	25
3.5	Torque	26
4	CONJUNTO MOTO-BOMBA-INVERSOR	27
4.1	Bomba hidráulica	27
4.1.1	Bombas centrífugas radiais	28
4.1.1.1	Bomba KSB Etanorm	28
4.1.2	Acionamento de turbobombas	29
4.2	Motor elétrico	30
4.2.1	Motor de indução trifásico	30
4.2.1.1	Motor de indução trifásico WEG	32
4.2.2	Variação de velocidade em motores de indução	32
4.3	Inversor de frequência	33
4.3.1	Inversor de frequência WEG CFW09	34

5	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	37
5.1	Sistemas SCADA	37
5.1.1	ScadaBR	37
5.1.1.1	Sistema Supervisório da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicos	38
5.1.1.2	Comunicação com o Inversor de Frequência	39
5.1.1.2.1	Configurações do Inversor de Frequência	39
5.1.1.2.2	Configurações de DataSource	40
5.1.1.2.3	Configurações de DataPoint	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6.1	Perspectivas para o TCC2	42
	Referências	43
	APÊNDICES	45
	APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS E DIAGRAMAS	46

1 Introdução

Este capítulo introduz o contexto no qual se insere o trabalho desenvolvido, passando pelos cenários de eletrificação de comunidades isoladas a partir de centrais hidrelétricas e de utilização de uma instalação semelhante como recurso didático. Em seguida, são apresentados a problemática que motivou a realização deste trabalho, bem como seus respectivos objetivos geral e específicos.

1.1 Contextualização

A expansão da rede elétrica para o abastecimento de comunidades isoladas na Região Amazônica encontra empecilhos que tendem a inviabilizar técnica e economicamente sua implantação, como a ausência de infra-estrutura rodoviária, extensa área geográfica e dispersão populacional (ELS, 2008) e (ELS et al., 2010).

Nesse contexto, uma alternativa foi a eletrificação dessas comunidades através da geração descentralizada. Como a aplicação de motores geradores com óleo diesel apresenta elevado custo de aquisição e abastecimento, promoveu-se a geração de energia com a utilização de fontes renováveis localmente disponíveis. (ELS, 2008).

Conforme exposto em Els (2008) e Els et al. (2010), uma das iniciativas que se inseriu nessa abordagem foi a implantação de pico e microcentrais hidrelétricas. A primeira picocentral hidrelétrica, fabricada pela empresa Indalma, foi instalada no município de Santarém e levou à instalação de 44 pico, 12 micro e 6 minicentrais hidrelétricas na Região Amazônica.

Por meio do projeto Inovatrans, um modelo da turbina Indalma utilizada nesses empreendimentos foi trazido para o laboratório de TermoFluidos, localizado no *campus* Gama da Universidade de Brasília. Para possibilitar a caracterização e modelagem da turbina, foi construída uma bancada com a finalidade de reproduzir as condições reais de operação de uma pico central hidrelétrica (SANTANDER, 2014).

Conforme exposto em Santander (2014), a turbina Indalma é fabricada pela empresa Indalma Indústria & Comércio e foi desenvolvida empiricamente a partir de uma turbina Francis, podendo ser classificada como uma turbina de reação centrípeta-axial. Essa turbina possui caixa espiral com seção triangular e não dispõe de pás diretrizes, podendo ser construída com diâmetro de entrada e saída de fluxo de 4 até 25 polegadas.

O trabalho de montagem e instrumentação da bancada para receber a turbina Indalma no laboratório de TermoFluidos foi desenvolvido por Santander (2014). Donald e Soot (2014), além de auxiliar no processo de montagem e instrumentação da bancada,

desenvolveram um trabalho de avaliação experimental e numérica da turbina Indalma. Oliveira (2014) deu continuidade ao trabalho de avaliação experimental da turbina, levantando sua curva característica, assim como Calixto (2014) deu continuidade ao trabalho de instrumentação da bancada, implementando seu sistema supervisor.

1.1.1 Bancada Didática

A Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas se insere como ferramenta de ensino do curso de Engenharia de Energia, trabalhando conceitos desde dinâmica dos fluidos até instrumentação, controle e estabilidade de sistemas. Além disso, a bancada proporciona aos estudantes um contato com aplicações práticas da geração de energia e equipamentos aplicados na indústria (SILVA et al., 2013) e (SANTANDER, 2014).

A instalação da bancada foi baseada em tubulações de 8", 6" e 4", apresentando queda de até 7 metros, e conta com um reservatório com capacidade de 1000 litros e um canal de saída com vertedouro triangular. O conjunto motor-bomba-inversor é responsável pela elevação da água, enquanto válvulas auxiliares são utilizadas no controle da altura de coluna d'água. O inversor de frequência atua no controle da vazão da bomba, permitindo um controle mais preciso da pressão de coluna d'água. A instrumentação utilizada na medição das grandezas físicas é composta por instrumentos analógicos e digitais, que possibilitam o monitoramento de variáveis como altura de coluna d'água, vazão, torque, rotação e pressão (SILVA et al., 2013).

Em Silva et al. (2013), foram propostas metodologias com quatro diferentes níveis de complexidade para aplicação em diferentes disciplinas que compõem o currículo do curso de Engenharia de Energia. Uma visão geral dessas propostas será apresentada a seguir.

O primeiro nível tem como objeto de estudo os conceitos de Fontes de Energia e Fenômenos de Transporte. A operação da bancada é realizada de forma manual e é empregada instrumentação analógica, sendo realizados experimentos de medição de pressão, cálculo da vazão pelo método do vertedouro triangular e cálculo da perda de carga na tubulação.

O segundo nível, por sua vez, consiste na avaliação do comportamento hidrodinâmico da turbina ou do circuito de bombeamento. São empregados conceitos de Fenômenos de Transporte, Dinâmica dos Fluidos e Máquinas de Fluxo em experimentos de obtenção do torque utilizando o freio de Prony, cálculo da potência da turbina e medição de vazão utilizando uma placa de orifício e sensores de pressão.

O terceiro nível envolve conceitos de Circuitos Elétricos, Conversão Eletromecânica de Energia e Eletricidade Aplicada e está relacionado com a geração de energia elétrica e sua interligação com a rede de distribuição. Também podem ser trabalhados conceitos

como correção de fator de potência.

Já o quarto nível trabalha conceitos de Instrumentação e Controle de Sistemas Dinâmicos, podendo ser realizados experimentos de controle de processo e instrumentação, bem como de modelagem matemática do circuito hidráulico e do sistema elétrico.

Dentre essas metodologias propostas por Silva et al. (2013), o primeiro e o segundo nível já se encontram implementados e são empregados em atividades laboratoriais das disciplinas correlatas. Uma proposta de implementação do terceiro nível encontra-se em fase de estudo por alunos da disciplina de Sistemas Hidroelétricos. Já o quarto nível será objeto de estudo deste trabalho.

1.2 Problema

Para a realização de um ensaio na instalação atual, o operador da bancada precisa configurar manualmente o inversor de frequência para fornecer uma velocidade de rotação alta o suficiente para que haja a abertura da válvula e, conseqüentemente, o fluxo de água pelos condutos da instalação. O escoamento deve ser monitorado e a vazão ajustada (através do inversor), de forma a evitar a entrada de ar na tomada d'água.

Após a estabilização do sistema, o operador deve ajustar novamente a velocidade de rotação, com a finalidade de adequar a pressão de operação do sistema ou a altura de coluna d'água aos valores desejados para o ensaio. Como a altura de coluna d'água deve ser mantida constante durante todo o ensaio, esse ajuste deve ser realizado quantas vezes for necessário, pois a tendência é que esse valor diminua com o aumento de carga na turbina.

A realização desses ajustes de forma manual confere ao ensaio um certo grau de imprecisão, principalmente pelo fato de que o operador utiliza instrumentação analógica para monitorar essas variáveis. Uma forma de fornecer robustez e confiabilidade ao sistema é a automatização desse processo, deixando o operador livre para monitorar outras variáveis relevantes para o ensaio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho se insere nas propostas metodológicas da área de Instrumentação e Controle de Sistemas Dinâmicos e tem por objetivo geral implementar um controlador que atuará de forma a manter a pressão de operação da bancada no valor de referência desejado.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos podem ser subdivididos em:

1. Levantamento do modelo do circuito hidráulico;
2. Proposta e implementação do controlador;
3. Proposta de um roteiro experimental na área de controle.

Parte I

Referencial Teórico

2 Ensaio de turbinas hidráulicas

Este capítulo traz uma revisão da literatura sobre ensaios de turbinas hidráulicas, caracterizando um laboratório de ensaios de turbinas conforme retratado na literatura e apresentando a instalação da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas do laboratório de TermoFluidos da Faculdade UnB Gama.

2.1 Bancadas de ensaio de turbinas

Para Macintyre (1983), o ensaio de uma turbina hidráulica consiste na medição e cálculo de certas grandezas durante sua operação, de forma a permitir a avaliação de suas condições de funcionamento e comportamento.

Os ensaios podem ser efetuados de forma direta para turbinas de pequena capacidade, desde que suas características sejam compatíveis com os recursos disponíveis em laboratório. Caso as dimensões e capacidade da turbina não permitam seu ensaio em laboratório, são realizados ensaios com um modelo reduzido (MACINTYRE, 1983).

Conforme representado pela Figura 1, as turbinas devem ser abastecidas por meio de um circuito fechado, alimentado por uma turbo-bomba compatível com a turbina a ser ensaiada, de forma que haja um aproveitamento integral da água. Além disso, o laboratório deve contar com equipamentos para medição de potência, pressão, temperatura, rotação e descarga, bem como reservatórios de nível constante e de pressurização (MACINTYRE, 1983).

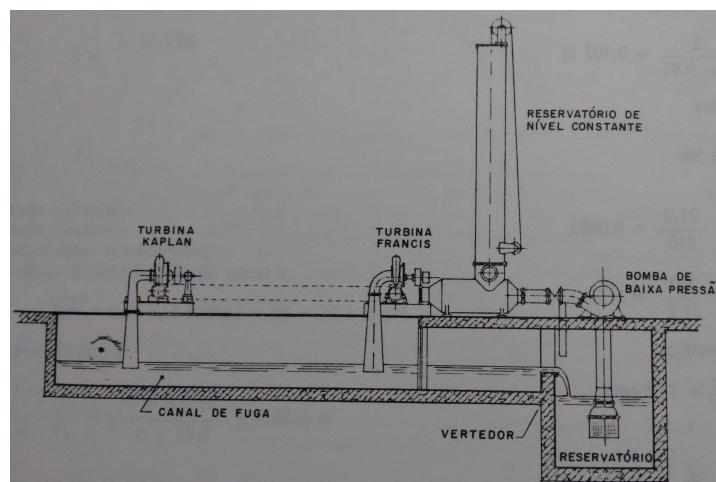


Figura 1 – Laboratório de máquinas hidráulicas proposto pela Voith para a PUC-RJ (MACINTYRE, 1983)

2.1.1 Medições

Segundo Macintyre (1983), as principais medições realizadas nos ensaios visam a determinação das grandezas características.

Medição de nível É necessária para a determinação da queda disponível e deve ser realizada em local de escoamento tranquilo sem perturbações.

Medição de pressão É efetuada com instrumentos adequados ligados ao dispositivo por meio de tomadas de pressão.

Medição de descarga A vazão pode ser medida direta ou indiretamente e por meio da medição de massa ou de volume.

Medição do número de rotações É necessária para o cálculo da potência útil da turbina.

Medição da potência útil da turbina Trata-se da medição da potência fornecida em seu eixo para o acionamento do gerador.

As curvas características da turbina podem ser obtidas a partir dos valores de potência e rendimento dados pelas Equações 2.1 a 2.3, que resultam das grandezas características medidas (MACINTYRE, 1983).

$$P_e = \omega \cdot \tau \quad (2.1)$$

$$P_h = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (2.2)$$

$$\eta = \frac{P_e}{P_h} = \frac{\omega \cdot \tau}{\gamma \cdot Q \cdot H} \quad (2.3)$$

2.1.2 Bancada de Ensaio para Turbinas Hidráulicas na FGA

A bancada instalada no Laboratório de TermoFluídos da Faculdade UnB Gama se assemelha à instalação apresentada anteriormente e segue representada pela Figura 2. Os seguintes equipamentos compõem a instalação:

1. Inversor de frequência WEG CFW09;
2. Motor WEG, trifásico, 1750rpm, 25cv, 60Hz;
3. Bomba KSB ETAN100 – 250, $Q = 184,4m^3/h$, $H = 21,3mca$;

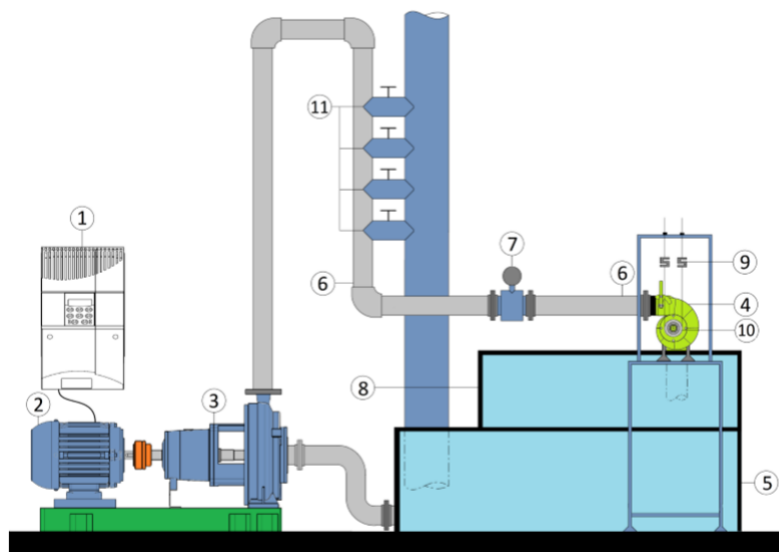


Figura 2 – Instalação para ensaio de turbinas hidráulicas (OLIVEIRA, 2014)

4. Turbina Indalma com diâmetro de entrada e de saída de 4";
5. Reservatório de água com capacidade de 1000l;
6. Medidores de pressão;
7. Medidor de vazão volumétrica *CONTECH* modelo *CTHHD 4"*;
8. Vertedor triangular;
9. Células de carga da marca MK modelo *CSA/ZL – 20*;
10. Sensor indutivo JNG modelo *LM8 – 3002NA*;
11. Válvulas manuais para o sistema de controle de pressão auxiliar.

3 Instrumentação da Bancada

Este capítulo traz uma revisão da literatura sobre instrumentos de medição de pressão, vazão, rotação e torque e os métodos utilizados para monitoramento dessas variáveis na Bancada de Ensaio para Turbinas Hidráulicas.

3.1 Sensores, transdutores e transmissores

Segundo Thomazini e Albuquerque (2012), sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia que relacionam informações sobre a grandeza a ser medida. O sinal de saída de um sensor normalmente é manipulado antes de sua leitura pelo controlador. Existem os sensores analógicos, que podem assumir qualquer valor em seu sinal de saída ao longo do tempo, e os sensores digitais, que pode assumir apenas dois (0 ou 1).

Transdutores, por sua vez, são dispositivos completos que transformam uma grandeza física em um sinal de tensão ou corrente facilmente interpretado por um sistema de controle. Já os transmissores preparam o sinal de saída de um transdutor para utilização a distância. O termo transmissor também é empregado para dispositivos que integram um sensor, transdutor e transmissor (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

3.2 Pressão

Conforme exposto em White (2011), os instrumentos para medição de pressão podem ser divididos em:

Baseados na gravidade Barômetro, manômetro, pistão de peso morto.

Deformação elástica Tubo de Bourdon, diafragma, foles, extensômetro, deslocamento de feixe óptico.

Comportamento de gases Compressão de gás, condutância térmica, impacto molecular, ionização, condutividade térmica, pistão a ar.

Saída elétrica Resistência, extensômetro difuso, capacitivo, piezoelétrico, potenciômetro, indutância magnética, relutância magnética, transformador diferencial variável linear, frequência de ressonância.

Revestimentos luminescentes para superfícies de pressão.

Para a medição de pressão, a bancada conta com manômetros digitais da marca WIKA, manômetros analógicos (tipo Bourdon) da marca IMB e manômetro de coluna

d'água. Os manômetros digitais encontram-se instalados na entrada e na saída da turbina. Os manômetros analógicos são utilizados na tomada de pressão da altura de queda disponível pela bomba e na entrada da turbina. Já o manômetro de coluna é empregado para medição de pressão na saída da turbina (OLIVEIRA, 2014).

3.3 Vazão

Para medição de vazão, podem ser utilizados instrumentos mecânicos, que medem a vazão real do fluido retendo e mensurando uma certa quantidade, e os dispositivos de perda de carga, que obstruem o escoamento e causam uma queda de pressão (WHITE, 2011).

Segundo Macintyre (1983) e White (2011), a vazão pode ser medida direta ou indiretamente e por meio da medição de massa ou de volume. Dentre os métodos diretos, podem ser citados os tanques de pesagem (medição de massa) e os tanques de volume aferido (medição de volume). Dentre os métodos indiretos, existem os medidores de superfície livre (vertedores e calhas), os medidores diferenciais (placas de orifício, bocais, tubos de Venturi e diafragmas) e os métodos baseados em medidas de velocidade (molinetes e tubos de Pitot).

Na bancada, a medição de vazão é realizada por meio de de um medidor eletromagnético e um vertedouro triangular. (OLIVEIRA, 2014)

3.3.1 Método do Vertedouro Triangular

O método do vertedouro triangular (Figura 3) é considerado um método indireto de medição de vazão e a equação de descarga para vertedouros triangulares com ângulo α igual a 90° é dada pela Equação 3.1 (MACINTYRE, 1983).

$$Q = 1,4 \cdot h^{\frac{5}{2}} \quad (3.1)$$

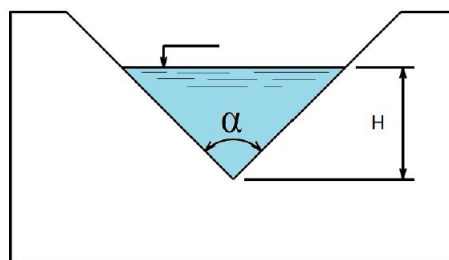


Figura 3 – Vertedouro triangular (OLIVEIRA, 2014)

3.3.2 Medidor Eletromagnético

Segundo Oliveira (2014), a medição eletrônica de vazão é realizada através de um transdutor eletromagnético baseado na lei de Faraday de indução eletromagnética. O equipamento encontra-se representado pela Figura 4.



Figura 4 – Medidor de vazão eletromagnético (OLIVEIRA, 2014)

3.4 Rotação

O número de rotações normalmente é medido com um conta-giros mecânico aplicado à extremidade do eixo da turbina, sendo necessária a utilização de um cronômetro automático ou cronógrafo. Também podem ser utilizados medidores de frequência elétrica acoplados ao gerador, tacômetros elétricos de alta precisão ou geradores elétricos de impulsos com contador elétrico de impulsos e uma base de tempo (MACINTYRE, 1983).

Na Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas foi instalado um sensor indutivo de presença, utilizado na detecção de peças metálicas. A medição de rotação é realizada a partir da contagem de pulsos a cada dente da engrenagem e do tempo entre eles, Figura 5 (CALIXTO, 2014).

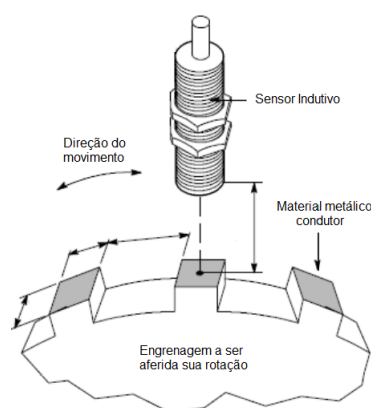


Figura 5 – Medição de rotação por sensor indutivo (CALIXTO, 2014)

3.5 Torque

Segundo Macintyre (1983), a medição do torque fornecido pelo eixo turbina pode ser realizada com a utilização de freios mecânicos (Prony), freios hidrodinâmicos (Froude), freios elétricos e dinamômetros de torção.

O freio de Prony implementado na bancada consiste em uma cinta de material resistente com uma balança fixada em cada uma de suas extremidades, conforme pode ser visualizado na Figura 6 (CALIXTO, 2014).

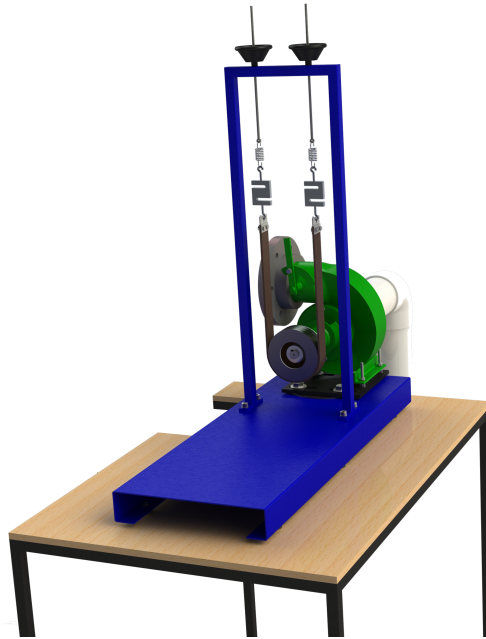


Figura 6 – Freio de Prony (DONALD; SLOOT, 2014)

A medição eletrônica do torque foi realizada através da utilização de células de carga em série com cada balança. Células de carga são projetadas para gerar um sinal de saída compatível com o esforço aplicado quando submetidas a deformação (CALIXTO, 2014) e (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

O torque é definido pelo produto vetorial entre o vetor r com a força F , seu módulo é dado por $|\tau| = |r| \cdot |F| \sin(\theta)$. Como a cinta é tangente à polia utilizada, tem-se que $\theta = 90^\circ$ e o módulo do torque é dado pela Equação 3.2 (OLIVEIRA, 2014).

$$\tau = r (F_1 - F_2) \quad (3.2)$$

Onde τ representa o torque, r o raio da cinta e F_1 e F_2 representam as leituras das balanças ou das células de carga (OLIVEIRA, 2014).

4 Conjunto moto-bomba-inversor

Este capítulo traz uma revisão da literatura sobre os componentes de um conjunto moto-bomba-inversor, passando pelo princípio de funcionamento de cada um deles e pelas especificações e funções empregadas na Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas instalada no laboratório de TermoFluidos da Faculdade UnB Gama.

4.1 Bomba hidráulica

Conforme exposto por Macintyre (1980), as máquinas hidráulicas podem ser classificadas como máquinas motrizes, geratrizes ou mistas. As bombas hidráulicas pertencem à categoria de máquinas geratrizes, que são aquelas que recebem trabalho mecânico e o transformam em energia hidráulica sob as formas de energia potencial de pressão e cinética.

De acordo com a forma de transformação da energia hidráulica, as bombas podem ser classificadas em: bombas de deslocamento positivo, turbobombas e bombas especiais. As bombas de deslocamento positivo provocam o escoamento do fluido através da movimentação de um órgão propulsor (êmbolo, diafragma, pistão rotativo, etc) no interior de sua câmara, enquanto as turbobombas fornecem energia ao fluido por meio do rotor, sob a forma de velocidade (MACINTYRE, 1980) e (TSUTIYA, 2006).

Vale ressaltar que as turbobombas necessitam de um difusor, onde ocorre a transformação da energia cinética com que o líquido sai do rotor em energia de pressão (MACINTYRE, 1980).

Macintyre (1980) classifica, ainda, as turbobombas segundo a trajetória do líquido no rotor, segundo o número de rotores empregados, segundo o número de entradas para a aspiração e segundo o modo de conversão da energia cinética em energia de pressão.

Classificação segundo a trajetória do líquido no rotor

- Bomba centrífuga radial
- Bomba de fluxo misto
 - * Bomba hélico-centrífuga
 - * Bomba helicoidal
- Bomba axial

Classificação segundo o número de rotores empregados

- Bomba de simples estágio
- Bomba de múltiplos estágios

Classificação segundo o número de entradas para a aspiração

- Bomba de aspiração simples
- Bomba de aspiração dupla

Classificação segundo o modo pelo qual a energia cinética é transformada em energia de pressão

- Bomba de difusor com pás diretrizes entre o rotor e o coletor
- Bomba com coletor em caracol ou voluta
- Bomba com difusor axial troncônico

4.1.1 Bombas centrífugas radiais

Nas bombas centrífugas, o giro do rotor acelera a massa líquida através da força centrífuga, cedendo energia cinética ao fluido. Na saída do rotor, a energia cinética é transformada em energia de pressão através da voluta. Nas bombas de fluxo radial, o escoamento se dá no sentido centrífugo radial (TSUTIYA, 2006).

Na Figura 7, segue representada uma bomba centrífuga com caixa em caracol.

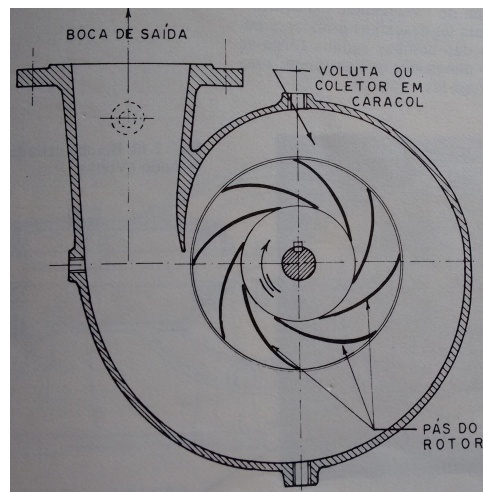


Figura 7 – Bomba centrífuga com corpo de voluta (MACINTYRE, 1980)

4.1.1.1 Bomba KSB Etanorm

A Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas foi equipada com uma bomba KSB ETAN 100-250, com vazão de $184,4 \text{ m}^3/\text{h}$ e elevação de $21,3 \text{ mca}$. Trata-se de uma

bomba hidráulica normalizada com vedação de eixo, projetada para o transporte de líquidos puros ou agressivos que não ataquem os materiais da bomba. A bomba KSB Etanorm é uma bomba centrífuga com corpo de voluta, impulsor radial fechado com pás curvadas, entrada de fluido axial e saída radial (KSB, 2013).

Conforme ilustrado em KSB (2013), o sistema hidráulico é conduzido numa caixa de rolamentos própria e está ligado ao motor através de um acoplamento do eixos. Na Figura 8, observa-se o desenho da bomba KSB Etanorm e seus componentes.

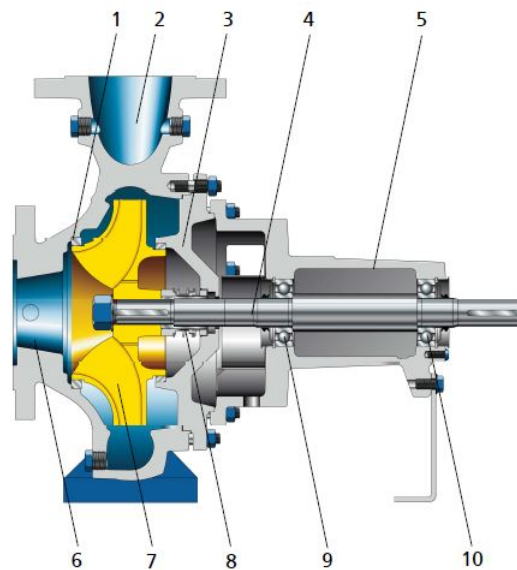


Figura 8 – Bomba KSB Etanorm (KSB, 2013)

O fluido entra na bomba axialmente, através do bocal de aspiração (6) e é acelerado pelo impulsor rotativo (7). Na passagem de fluxo pelo corpo da bomba, a energia cinética do fluido é transformada em energia de pressão e este é conduzido para o bocal de descarga (2), através do qual sai da bomba. O retorno do fluido para o bocal de aspiração é impedido através de uma tolerância (1). O sistema hidráulico está limitado, do lado de trás do impulsor, por uma tampa (3), através da qual o eixo (4) passa. A passagem do eixo pela tampa é vedada ao ambiente por um selo mecânico (8). O eixo está alojado em rolamentos de roletes (9 e 10), que, por sua vez, estão alojados numa caixa de rolamentos (5), ligada ao corpo da bomba e/ou à tampa do mesmo (KSB, 2013).

4.1.2 Acionamento de turbobombas

Conforme exposto em Macintyre (1980), a maioria das turbobombas é diretamente acionada por motores elétricos, geralmente de corrente alternada. Quando se trata de bombas para instalações sujeitas a variações de descarga ou da altura de elevação, pode-se fazer com que a bomba acompanhe as ditas variações, modificando-se sua rotação.

Segundo Rodrigues (2007), as curvas de funcionamento da bomba são alteradas com a variação da rotação. Para uma bomba, com um mesmo rotor, girando a velocidades diferentes são válidas as leis de semelhança dadas pelas Equações 4.1 a 4.3 (TSUTIYA, 2006).

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.1)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (4.2)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (4.3)$$

4.2 Motor elétrico

Os motores elétricos são responsáveis por transformar a energia elétrica em energia mecânica, podendo ser de corrente contínua ou alternada. O uso de motores de corrente contínua é limitado por seu custo elevado, de forma que os motores de corrente alternada são os mais utilizados (WEG, 2014).

Dentre os motores de corrente alternada, existem os motores síncronos e os de indução. Os motores síncronos funcionam sem interferência do escorregamento, enquanto a velocidade dos motores de indução varia de acordo com a carga aplicada ao eixo (WEG, 2014).

4.2.1 Motor de indução trifásico

O motor mais utilizado em instalações de bombeamento é o motor de indução, cujo uso com controle de rotação através de um inversor de frequência tem se tornado comum (TSUTIYA, 2006).

O motor de indução trifásico, representado pela Figura 9, é composto fundamentalmente por um estator e um rotor (WEG, 2014).

Rotor

- (1) Carcaça: estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas.
- (2) Núcleo de chapas: chapas de aço magnético.
- (8) Enrolamento trifásico: três conjuntos iguais de bobinas, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

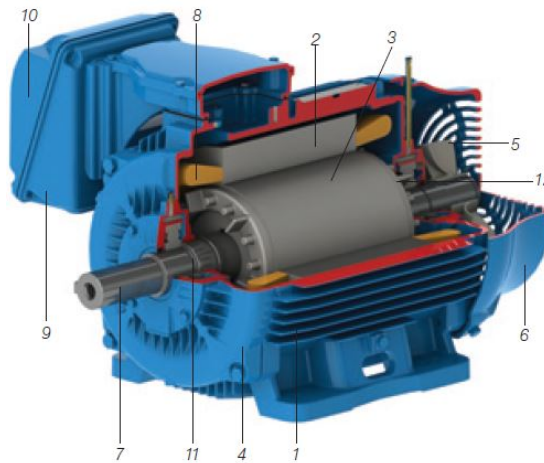


Figura 9 – Motor de indução trifásico (WEG, 2014)

Estator

- (7) Eixo: transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.
- (3) Núcleo de chapas: mesmas características das chapas do estator.
- (12) Barras e anéis de curto-circuito: alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes

- (4) Tampa
- (5) Ventilador
- (6) Tampa defletora
- (9) Caixa de ligação
- (10) Terminais
- (11) Rolamentos

A principal característica do motor de indução é que somente o estator é ligado à rede de alimentação, de forma que as correntes que circulam no rotor são induzidas eletromagneticamente pelo estator. Quando as bobinas do estator são percorridas por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético girante que induz tensões nas barras do rotor, gerando correntes, e, conseqüentemente, um campo magnético de polaridade oposta no rotor. Dessa forma, o rotor tende a acompanhar a rotação do campo magnético girante do estator, desenvolvendo um conjugado motor que faz com que o rotor gire, acionando a carga (WEG, 2014).

A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, que é dada pela Equação 4.4. Se o motor gira a uma velocidade diferente da

velocidade síncrona, a diferença entre a velocidade do motor e a velocidade síncrona chama-se escorregamento e é expressa conforme a Equação 4.5. Dessa forma, a velocidade do motor é dada pela Equação 4.6 (WEG, 2014).

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ (rpm)} \quad (4.4)$$

$$s \text{ (rpm)} = n_s - n ; \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} ; \quad s \text{ (\%)} = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (4.5)$$

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s(\%)}{100}\right) \quad (4.6)$$

4.2.1.1 Motor de indução trifásico WEG

O motor empregado para acionamento da bomba na instalação da bancada é um motor de indução trifásico WEG de 25cv, com rotação de 1750rpm, fornecido com ligação em estrela (Y) ou triângulo (Δ), conforme Figura 10.

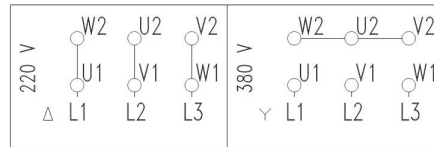


Figura 10 – Tipos de ligação do motor (WEG, 2014)

Segundo Macintyre (1980), a complexidade da instalação elétrica do motor da bomba varia de acordo com a potência do motor e os controles e medições que devem ser atendidos.

O diagrama de interligação elétrica do sistema de acionamento da bomba encontra-se representado no Apêndice A–Figura 17. Vale ressaltar que os terminais do motor foram conectados em estrela, conforme Figura 10.

4.2.2 Variação de velocidade em motores de indução

A partir da relação entre velocidade, frequência, número de polos e escorregamento expressa pela Equação 4.6, verifica-se que a regulação da velocidade de um motor assíncrono pode ser realizada por meio de três parâmetros (WEG, 2014):

Variação do número de polos Pode ser realizada com a utilização de enrolamentos separados no estator, com a utilização de um enrolamento com comutação de polos ou com uma combinação desses dois métodos. A regulação de velocidade se dá de forma discreta, porém é necessária uma carcaça maior.

Variação do escorregamento Pode ser realizada através da variação da resistência rotórica, da variação da tensão do estator e da variação de ambas simultaneamente. A regulação de velocidade se dá a partir do aumento das perdas rotóricas.

Utilização de inversores de frequência Método mais eficiente para o controle de velocidade dos motores de indução, pois possibilita a redução de custos, o controle à distância, a versatilidade, o aumento de qualidade, de produtividade e a melhor utilização da energia.

4.3 Inversor de frequência

Inversores de frequência são equipamentos que transformam a tensão da rede, de amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. A variação da frequência de alimentação resulta na variação da velocidade do campo magnético girante e, conseqüentemente, da velocidade do motor. Dessa forma, o inversor atua como uma fonte de frequência variável para o motor, possibilitando o controle de vazão, no caso de bombas centrífugas (WEG, 2014) e (TSUTIYA, 2006).

Vale ressaltar que, além da frequência, é necessário variar a amplitude da tensão de alimentação, de maneira proporcional à variação de frequência. Os valores de tensão e frequência desejados são obtidos com as três etapas representadas na Figura 11: retificação (CA-CC) da tensão da rede de alimentação, alisamento da tensão retificada (link CC) e inversão (CC-CA) da tensão do link CC por técnicas de modulação de largura de pulso (PWM) (WEG, 2014).

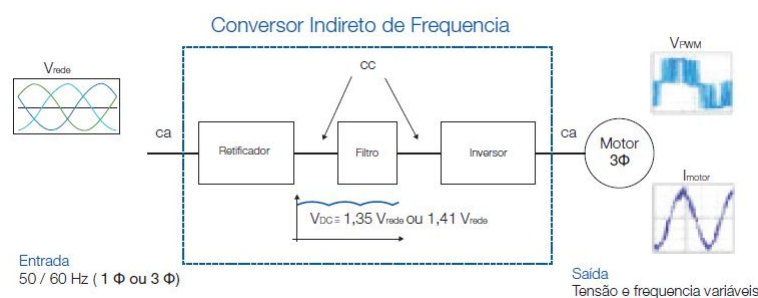


Figura 11 – Estágios de um Inversor de Frequência (WEG, 2014)

Conforme exposto em WEG (2014), esse controle pode ser realizado de duas formas em inversores eletrônicos:

Controle escalar Impõe no motor uma determinada relação tensão/frequência, visando manter o fluxo magnético do motor aproximadamente constante. Aplicável quando não há necessidade de respostas rápidas a comandos de torque e velocidade ou

quando há conexão de múltiplos motores a um único inversor. É o mais utilizado devido à sua simplicidade.

Controle vetorial Possibilita atingir um elevado grau de precisão no controle do torque e velocidade do motor. O controle decompõe a corrente do motor em dois vetores: um que produz o fluxo magnetizante e outro que produz torque, regulando separadamente o torque e o fluxo.

4.3.1 Inversor de frequência WEG CFW09

Na Bancada de Ensaio para Turbinas Hidráulicas, um inversor de frequência WEG CFW09 é responsável pelo controle de velocidade e torque do motor. O diagrama de blocos da Figura 12 proporciona uma visão geral do equipamento (WEG, 2011).

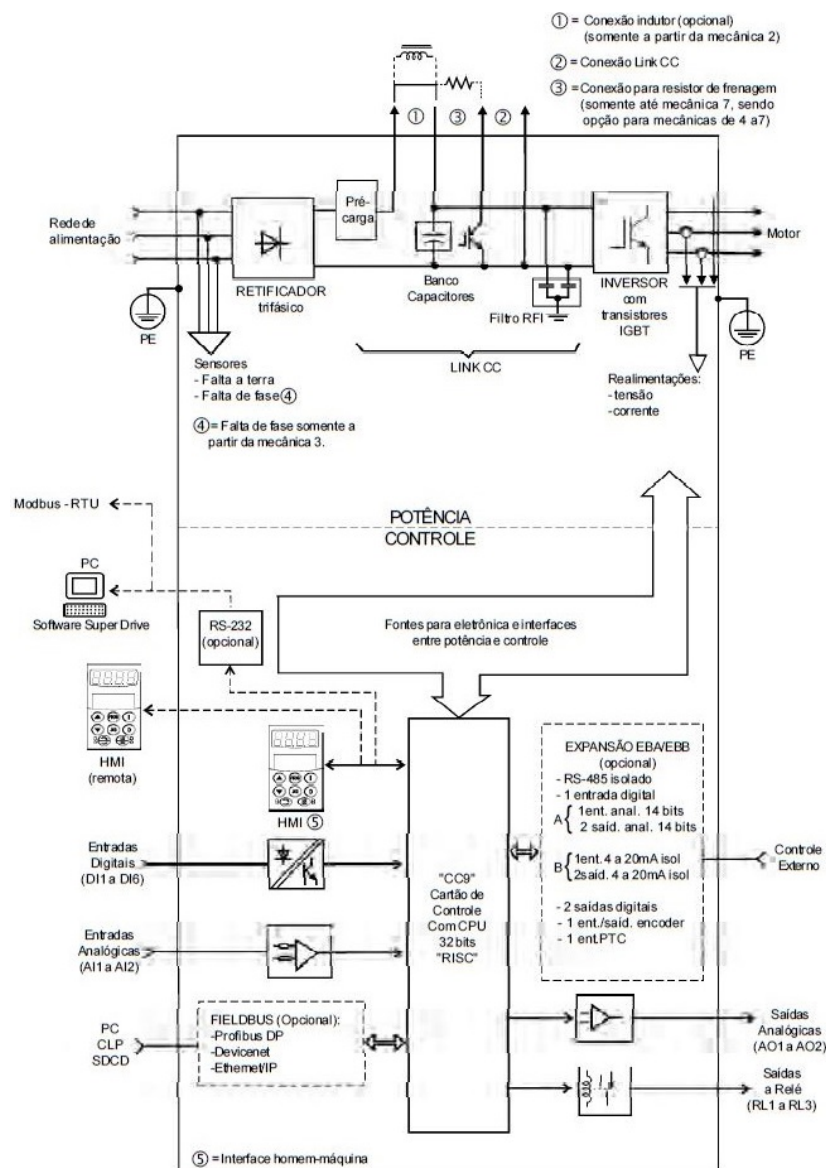


Figura 12 – Diagrama de Blocos do Inversor de Frequência CFW09 (WEG, 2011)

O inversor de frequência CFW09 possibilita a programação das funções de Controle Escalar (V/F), VVW ou Controle Vetorial no mesmo produto. O Controle Escalar é recomendado para acionamento de vários motores com o mesmo inversor ou para aplicações que não exijam resposta dinâmica rápida, precisão na regulação de velocidade ou alto torque de partida. O Modo de Controle VVW (Voltage Vector WEG) segue o mesmo princípio do Controle Escalar V/F, permitindo uma melhora da regulação de velocidade e da capacidade de torque em baixas rotações. Já o Controle Vetorial é recomendado para a maioria das aplicações, permitindo alto torque de partida, resposta dinâmica rápida e precisão no controle da velocidade, mesmo em velocidades muito baixas (WEG, 2011).

Esse modelo de inversor dispõe, ainda, de diversas funções para o controle da velocidade do motor. Uma dessas funções é o regulador PID, que faz o papel de regulador proporcional, integral e derivativo e pode ser aplicada no controle de um processo em malha fechada (WEG, 2011).

A ativação do regulador PID se dá por meio do parâmetro P203 do inversor. O regulador atua variando a velocidade de rotação do motor, de forma a manter a variável controlada no valor de referência ajustado. Para tanto, essa variável deve ser realimentada na entrada analógica AI2 ou AI3 (de acordo com o parâmetro P524) e a referência ajustada em P221 ou P222. O diagrama de blocos que representa o funcionamento desse controlador pode ser observado na Figura 13 (WEG, 2011).

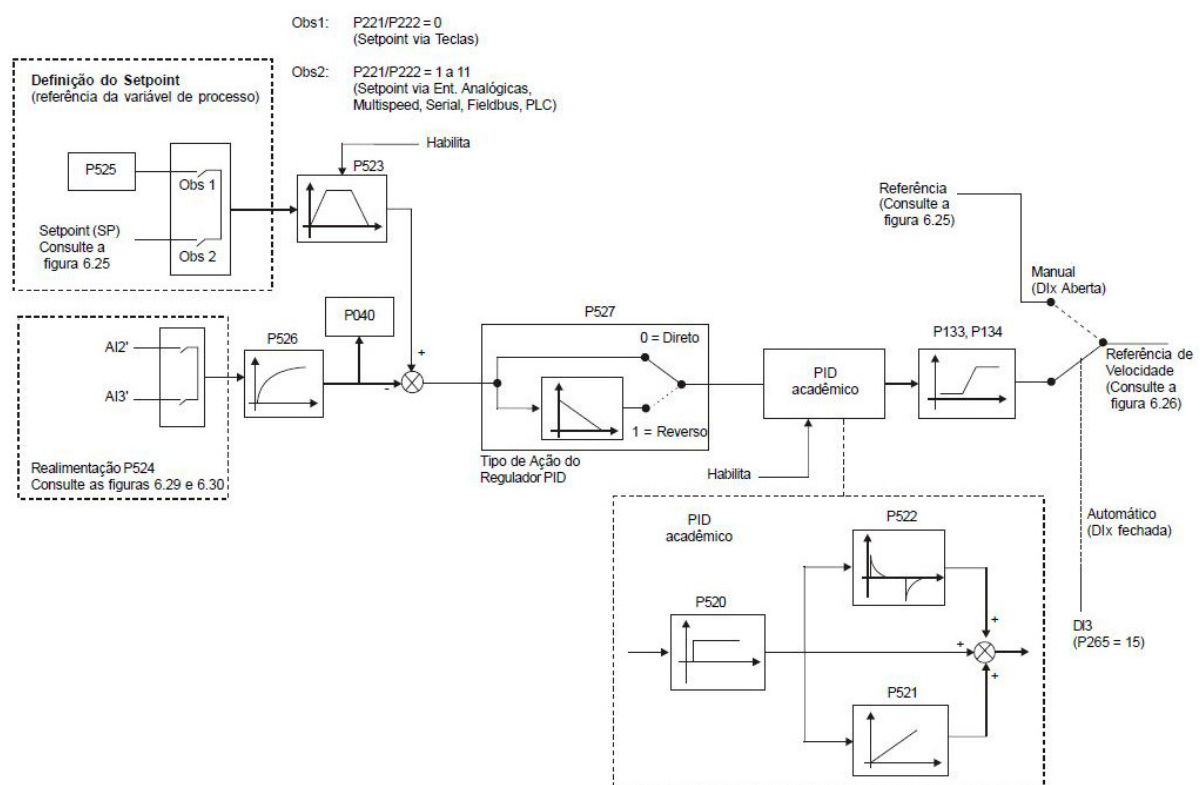


Figura 13 – Diagrama de Blocos do Controlador PID Acadêmico (WEG, 2011)

A função de transferência no domínio da frequência do controlador PID Acadêmico é dada pela Equação 4.7.

$$y(s) = Kp \cdot e(s) \cdot \left[1 + \frac{1}{sTi} + sTd \right] \quad (4.7)$$

No manual do fabricante, são sugeridos alguns ajustes para os ganhos do regulador PID. Na Tabela 1, são apresentados os valores sugeridos para controle de grandezas hidráulicas (WEG, 2011).

Tabela 1 – Sugestões para ajustes dos ganhos do regulador PID (WEG, 2011) [Adaptado]

Grandeza	Ganhos			Tempo	Tipo de
	Proporcional P520	Integral P521	Derivativo P522	Rampa PID P523	Ação P527
Pressão em sistema hidráulico	1	0.043	0.000	3.0	0 = Direta
Vazão em sistema hidráulico	1	0.037	0.000	3.0	0 = Direta

5 Sistema de aquisição de dados

Este capítulo traz uma revisão da literatura sobre sistemas SCADA, abordando sua aplicação no monitoramento e controle de processos em geral e apresentando a estrutura SCADA da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas, principalmente no que diz respeito à interface de comunicação com o inversor de frequência.

5.1 Sistemas SCADA

Sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition* ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados) podem ser definidos como sistemas digitais de monitoramento e operação de uma planta, responsáveis pelo gerenciamento de variáveis do processo que são atualizadas continuamente (MORAES; CASTRUCCI, 2007 apud MESQUITA et al., 2012).

Sistemas SCADA permitem a construção de aplicativos simples de sensoriamento e automação, bem como os famosos "Painéis de Controle" em empresas de geração e distribuição de energia elétrica, centrais de controle de tráfego e assim por diante (CERTI et al., 2010).

Segundo CERTI et al. (2010), um SCADA oferece drivers de comunicação com equipamentos, um sistema para registro contínuo de dados (*datalogger*) e uma interface gráfica para o usuário (*IHM* ou Interface Homem-Máquina). A IHM apresenta elementos gráficos como botões, ícones e displays, que representam o processo monitorado ou controlado.

As funções mais utilizadas em sistemas SCADA são: geração de gráficos e relatórios com o histórico do processo, detecção de alarmes e registro de eventos em sistemas automatizados controle de processos, acionamento e comando de equipamentos, e uso de linguagens de script para desenvolvimento de lógicas de automação (CERTI et al., 2010).

5.1.1 ScadaBR

Para o sistema supervisório da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas, foi adotado o software ScadaBR, de código livre e multiplataforma, que é executado a partir de um servidor de aplicações e acessado a partir de um navegador de Internet.

Segundo CERTI et al. (2010), a operação do ScadaBR baseia-se em:

Tipos de dados São suportados valores binários, valores de estados múltiplos, valores numéricos, valores alfanuméricos e valores em imagens.

Data sources Um data source é um "lugar" de onde os dados são recebidos. Virtualmente, qualquer coisa pode ser um data source, desde que o protocolo de comunicação seja suportado pela aplicação. Valores de dados recebidos ou coletados por um data source são armazenados em data points.

Data point Um data point é uma coleção de valores históricos associados.

Monitoramento O monitoramento de pontos dentro do sistema pode ser feito por meio de uma watch list (lista dinâmica de pontos com seus valores) ou de representações gráficas.

Controle O controle de sistemas externos pode ser obtido para pontos que podem ser "setados".

Eventos Um evento é a ocorrência de uma condição definida no sistema. Existem tanto eventos definidos pelo sistema como definidos pelo usuário.

5.1.1.1 Sistema Supervisório da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas

No laboratório, o sistema foi desenvolvido na plataforma Linux Ubuntu, conectando-se através do servidor de aplicações Apache Tomcat (CERTI et al., 2010) e (CALIXTO, 2014).

Conforme exposto em Calixto (2014), as Figuras 14 e 15 representam as conexões físicas e lógicas dos dispositivos da rede e a estrutura da rede de comunicação, respectivamente.

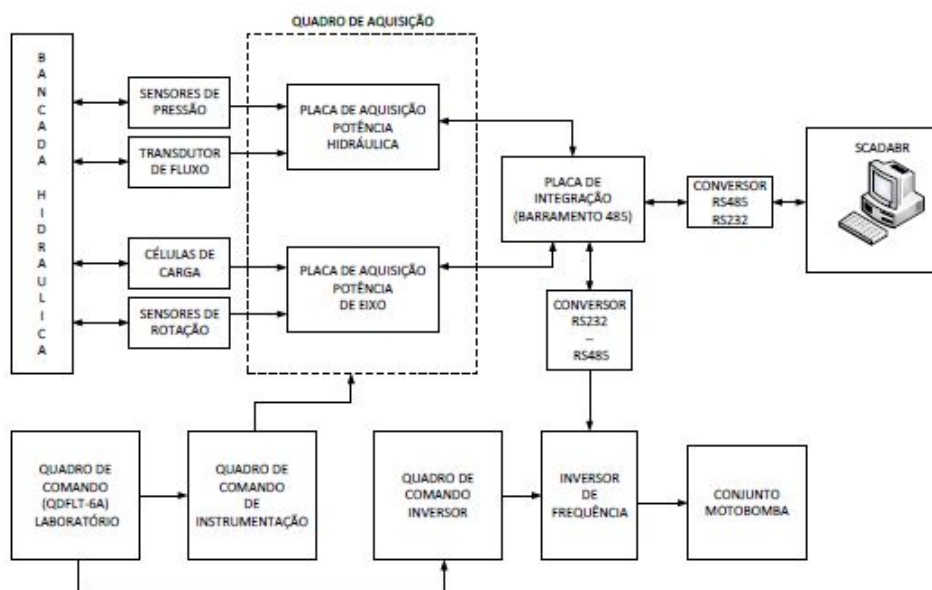


Figura 14 – Diagrama de funcionamento da Bancada de Ensaios de Turbinas Hidráulicas (CALIXTO, 2014)

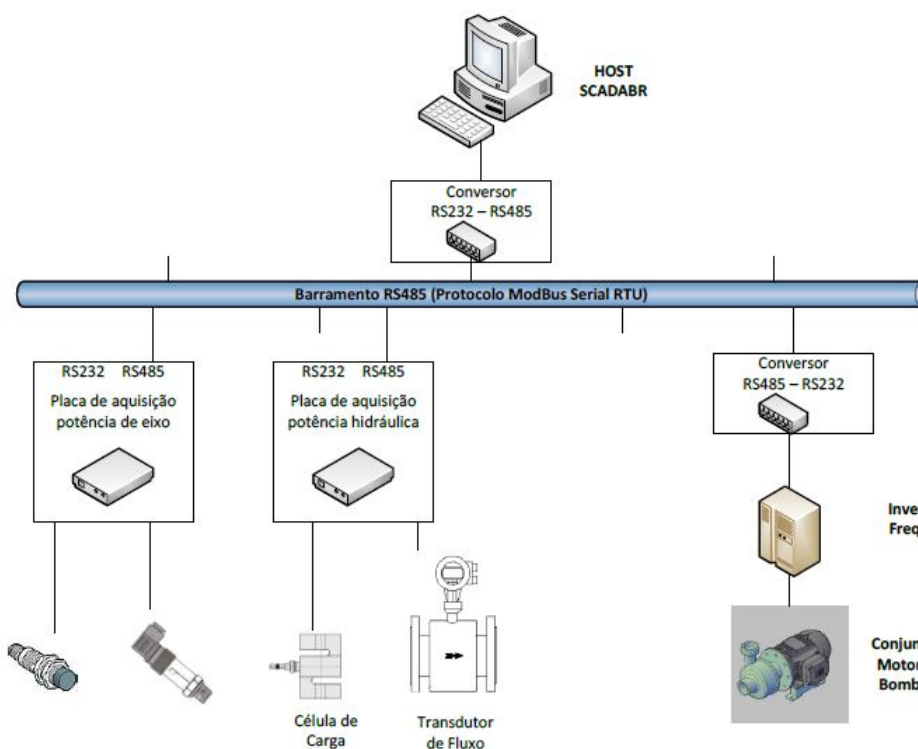


Figura 15 – Diagrama de blocos da rede de comunicação (CALIXTO, 2014)

5.1.1.2 Comunicação com o Inversor de Frequência

O inversor de frequência CFW09 permite a comunicação utilizando o protocolo Modbus-RTU, que é do tipo Mestre-Escravo. Desta forma, o supervisor se comportaria como mestre, enviando telegramas com solicitações ao escravo (inversor), que responde através de um novo telegrama. Cada telegrama é constituído por: endereço do escravo, tipo de função solicitada ao escravo, dados a serem transmitidos e checagem de erros de transmissão.

5.1.1.2.1 Configurações do Inversor de Frequência

Para a utilização do protocolo de comunicação Modbus-RTU no inversor de frequência, é necessário realizar algumas configurações. Na Tabela 2, estão dispostos alguns parâmetros e configurações do inversor de frequência relacionados à comunicação serial. Os parâmetros P308 e P312 devem ser alterados para que o inversor se comunique em Modbus-RTU. Os demais concedem permissões para que certos comandos sejam dados ao inversor através da comunicação serial e devem ser alterados conforme a necessidade do usuário.

Tabela 2 – Configuração dos parâmetros do inversor

Parâmetro	Função	Ajuste Realizado
P000	Senha de Acesso	(Ver Manual do Fabricante)
P312	Tipo de Protocolo Serial	1 = Modbus-RTU, 9600 bps, no parity ^a
P308	Endereço Serial	1 ^b
P220	Seleção Local/Remoto	2 = HMI ^{c,d}
P221	Seleção da Referência Local	0 = HMI ^c
P222	Seleção da Referência Remota	9 = Serial ^d
P223	Seleção do Sentido de Giro Local	2 = HMI (H) ^c
P224	Seleção do Gira/Pára Local	0 = Teclas [I] e [O] ^c
P225	Seleção do JOG Local	1 = HMI ^c
P226	Seleção do Sentido de Giro Remoto	5 = Serial (H) ^d
P227	Seleção do Gira/Pára Remoto	2 = Serial ^d
P228	Seleção do JOG Remoto	3 = Serial ^d

^a As configurações devem ser iguais às da rede a ser implementada

^b O endereço do escravo deve ser único na rede

^c Permissões de Modo Local que devem ser alteradas de acordo com a necessidade do usuário

^d Permissões de Modo Remoto que devem ser alteradas de acordo com a necessidade do usuário

5.1.1.2.2 Configurações de DataSource

A configuração do ScadaBR para se comunicar com o inversor se dá a partir da criação de um Data Source do tipo Modbus Serial e pode ser observada na Figura 16. A configuração da porta a ser utilizada somente pode ser realizada com o Data Source desativado.

The screenshot displays the 'Propriedades do modbus serial' configuration window. Key settings include:

- Nome:** CFW09
- Export ID (XID):** DS_599457
- Período de atualização:** 5 segundos
- Quantificação:** 500
- Tentativas:** 2
- Porta:** (Dropdown menu)
- Baud rate:** 9600
- Controle de fluxo de entrada:** Nenhum
- Controle de fluxo de saída:** Nenhum
- Data bits:** 8
- Stop bits:** 1
- Parity:** Nenhuma
- Codificação:** RTU
- Echo:** Desligado
- Simultaneidade:** Função

 Below these settings are sections for 'Níveis de alarme de eventos' with options for 'Exceção de data source', 'Exceção de leitura de data point', and 'Exceção de escrita em data point'.

 To the right, the 'Pesquisa de nós modbus' window shows a search bar and a list of found nodes. The 'Leitura de dados modbus' window shows settings for reading data from a specific node, including 'Id do escravo', 'Faixa do registro', 'Offset (baseado em 0)', 'Número de registradores', and 'Codificação de caracteres'.

Figura 16 – Configuração do Data Source para o inversor

5.1.1.2.3 Configurações de DataPoint

Após configurar o Data Source do inversor, é necessário especificar quais dados serão monitorados e/ou controlados pelo ScadaBR. Isso se dá a partir da criação de Data Points para os dados que se deseja monitorar. Nas Tabelas 3 e 4 é possível observar as configurações de algumas variáveis sugeridas para monitoramento e controle.

Tabela 3 – Configuração de Data Points de monitoramento

Nome	Faixa do Registro	Tipo de Dados	Offset	Configurável
Status do Inversor	Registrador holding	Numérico	6	Não
Velocidade de Referência	Registrador holding	Numérico	1	Não
Velocidade do Motor	Registrador holding	Numérico	2	Não

Tabela 4 – Configuração de Data Points de controle

Nome	Faixa do Registro	Tipo de Dados	Offset	Configurável
Habilita Geral	Status do coil	Binário	101	Sim
Gira/Para	Status do coil	Binário	100	Sim
JOG	Status do coil	Binário	103	Sim
Local/Remoto	Status do coil	Binário	104	Sim

6 Considerações Finais

Esta trabalho apresentou uma revisão sobre a Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas, abordando sua implementação no Laboratório de TermoFluidos da Faculdade UnB Gama, bem como as principais características da instalação atual.

6.1 Perspectivas para o TCC2

Para o Trabalho de Conclusão de Curso 2, pretende-se apresentar uma proposta de controle da pressão de operação da Bancada de Ensaios para Turbinas Hidráulicas, baseada no monitoramento de um transdutor de pressão por meio de sua realimentação em uma porta analógica do inversor de frequência.

Com a finalidade de alcançar o objetivo proposto, será realizada a modelagem do circuito hidráulico que compõe a bancada e, posteriormente, a parametrização do controlador PID incorporado ao inversor de frequência de acordo com o modelo obtido.

Referências

- CALIXTO, R. d. O. *Sistema Supervisório para Bancada de Ensaio de Picoturbina Hidráulica Indalma*. Monografia de Graduação em Engenharia Eletrônica — Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 9, 16, 25, 26, 38 e 39.
- DONALD, R. M.; SLOOT, N. *Experimental Assessment and Numerical Analysis of an Indalma Hydraulic Turbine*. Bachelor of science in Mechanical Engineering Thesis — Anton de Kom University of Suriname, Paramaribo, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 9, 15 e 26.
- ELS, R. H. v. *Sustentabilidade de projetos de implementação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: Casos no Suriname e Amapá*. Tese de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável — Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Citado na página 15.
- ELS, R. H. v. et al. Eletrificação rural em Santarém: Contribuição das microcentrais hidrelétricas. In: *Revista Brasileira de Energia*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 16, n. 2, p. 35–46. Citado na página 15.
- FUNDAÇÃO CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS et al. *ScadaBR*: Manual do software. Rio de Janeiro, 2010. 70 p. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- KSB. *Instruções de serviço/montagem Etanorm*. Frankenthal, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 29.
- MACINTYRE, A. J. *Bombas e Instalações de Bombeamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. Citado 5 vezes nas páginas 9, 27, 28, 29 e 32.
- MACINTYRE, A. J. *Máquinas Motrizes Hidráulicas*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. Citado 6 vezes nas páginas 9, 20, 21, 24, 25 e 26.
- MESQUITA, B. D. R. d. et al. Desenvolvimento de um sistema supervisório para uma planta didática de nível. In: *IV Seminário de Iniciação Científica e Inovação das Instituições de Ensino Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará*. Marabá: [s.n.], 2012. p. 565–574. Citado na página 37.
- MORAES, C. C. d.; CASTRUCCI, P. d. L. *Engenharia de Automação Industrial*. Rio de Janeiro: LTC, 2007. Citado na página 37.
- OLIVEIRA, D. d. S. *Avaliação experimental em modelo reduzido da turbina hidráulica Indalma*. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 9, 16, 22, 24, 25 e 26.
- RODRIGUES, W. *Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Citado na página 30.

SANTANDER, O. L. S. *Montagem e Instrumentação de uma bancada para Turbina Hidráulica*. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos — Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

SILVA, J. M. 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: *XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. Gramado: [s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. *Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações*. [S.l.]: Érica, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 26.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. 3. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 27, 28, 30 e 33.

WEG. *Manual do Inversor de Frequência*: Série: CFW-09. Software: versão 4.4x. [S.l.], 2011. Idioma: Português. Documento: 0899.5298/13. Citado 5 vezes nas páginas 9, 10, 34, 35 e 36.

WEG. *Guia de especificação de motores elétricos*. Jaraguá do Sul, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 9, 30, 31, 32 e 33.

WHITE, F. M. *Mecânica dos Fluidos*. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

Apêndices

