

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ESTUDOS ENERGÉTICOS DA CENTRAL
HIDRÁULICA DE GERAÇÃO ARMANDO BARBOSA**

Márcio Pioli

Itajubá, dezembro de 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Márcio Pioli

**ESTUDOS ENERGÉTICOS DA CENTRAL
HIDRÁULICA DE GERAÇÃO ARMANDO BARBOSA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia e Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana

**Dezembro de 2012
Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Márcio Pioli

**ESTUDOS ENERGÉTICOS DA CENTRAL
HIDRÁULICA DE GERAÇÃO ARMANDO BARBOSA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 07 de dezembro de 2012, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana
(Orientador)

Prof. Dr. Arthur Benedicto Ottoni

Prof. Dr. Roberto de Mattos

**Itajubá
2012**

Dedico está dissertação a minha esposa Ana Lúcia e as minhas filhas, Danielle e Cristiane, que sempre estiveram ao meu lado contribuindo como puderam para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem Ele não teria conseguido nada.

Ao Professor. Doutor. Augusto Nelson Carvalho Viana pela oportunidade e diretrizes seguras durante o processo de definição e orientação.

Aos professores do curso de especialização em “Uso Racional de Energia – CEURE” pelas valiosas informações transmitidas em suas aulas.

Ao meu pai William Pioli, que dedicou 39 anos de trabalho na construção desta Escola e a minha mãe Guiomar pelo incentivo aos estudos.

Aos meus irmãos William, Nilton e Lúcia pela força para a conclusão deste curso.

Ao Reitor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), professor Sérgio Pedini pelo apoio.

Ao Diretor-Geral do IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, professor Luiz Carlos Machado Rodrigues pela confiança em mim depositada.

Aos colegas servidores do IFSULDEMINAS, que auxiliaram no levantamento de dados.

As empresas Voith Hydro Ltda e Furnas Centrais Elétricas por proporcionarem visitas técnicas.

Aos empresários José Ribeiro Bueno e José Carlos Monteiro proprietários das usinas em reconstrução, Santa Nair na cidade de Muzambinho e Santa Rita na cidade de Nova Resende pelo estágio realizado.

Aos colegas Artino Quintino da Silva Filho, Gustavo Lima Meirelles, Rodrigo Júlio Cerqueira e Keila Oliveira, pela participação nos resultados dos ensaios utilizados nesse trabalho.

Ao servidor aposentado Armando Barbosa pelas informações prestadas.

Aos eternos: Tia Diva Pioli, Amynthas de Souza Inacarato e Marcos Jair Ribeiro que passaram para o outro lado mostrando o caminho para conquistar aquilo que existe de mais importante na vida.

Aos professores Samuel e Naíma da Universidade Federal de Alfenas, que me auxiliaram com suas sugestões para melhoria desta Dissertação.

Ao Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas da UNIFEI e ao DME Energética S.A em Poços de Caldas pelo apoio.

Ao Engenheiro Cleber Malta de Sá e ao primo Arquiteto Américo Carnevali pelo incentivo.

Aos técnicos Patrick Rodrigues Batista da Construtora Remo Ltda e Luiz Antônio Renni Tribst da empresa EMPROL Engenharia e Projetos Ltda pelas informações prestadas.

Aos amigos conquistados nestes anos de convivência na Universidade, compartilhando conhecimentos, no qual destaco o amigo Prof. Maurício Minchillo.

A todos meus amigos.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da Central Hidráulica de Geração (CGH) Armando Barbosa, localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho. A CGH gera parte da energia para escola e a CEMIG complementa o restante. O trabalho realiza levantamentos hidráulicos, elétricos e topográficos para estudar os rendimentos do sistema de adução (tomada d'água, canal, câmara de carga e conduto forçado) e dos dois grupos geradores. No trabalho é apresentado um estudo hidrológico do Rio Muzambinho que alimenta a central, para uma análise da potência instalada. Compara-se a geração isolada e a compra de energia elétrica da empresa Companhia Energética de Minas Gerais. A energia gerada é levantada para determinar o custo evitado da CGH, que possui uma potência instalada de 360 kW.

Palavras-chave: energia; análise energética; CGH.

ABSTRACT

This work presents a study of Central Hydraulic Generation (CGH) Armando Barbosa, located in Federal Office for Education, Science and Technology of the South of Minas Gerais - Campus Muzambinho. The CGH generates part of the energy for school and CEMIG complements the rest. The work does surveys hydraulic, electric and topographical for studying the income of the system of adduction (socket of water, canal and loading chamber and forced canal) and the two generators. In the work and submitted a hydrological study of Muzambinho River that feeds the central, for an analysis of installed power. Compare the generation isolated and the purchase of electric energy company Energetic of Minas Gerais. The energy generated and raised to determine the avoided cost of CGH, which has an installed power of 360 kW.

Keywords: energy; energy analysis; CGH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Autoridades na inauguração da Escola	20
Figura 2.2 - Inauguração da usina	21
Figura 2.3 - Localização da cidade de Muzambinho na bacia do Rio Grande	23
Figura 2.4 - Localização de Muzambinho em Minas Gerais.....	23
Figura 2.5 - CGH Armando Barbosa em Muzambinho.....	24
Figura 2.6 - Arranjo da central	25
Figura 2.7 - Reservatório da Central	26
Figura 2.8 – Vertedouro/Barragem.....	26
Figura 2.9 - Tomada d'água	27
Figura 2.10 - Canal de adução	27
Figura 2.11 - Câmara de carga.....	28
Figura 2.12 - Conduto forçado	28
Figura 2.13 - Blocos de apoio e ancoragem	29
Figura 2.14 - Casa de máquinas.....	29
Figura 2.15 - Turbinas Francis	30
Figura 2.16 - Regulador de velocidade.....	30
Figura 2.17 - Geradores	31
Figura 2.18 - Transformador elevador.....	31
Figura 2.19 - Quadro de comando e proteção	32
Figura 2.20 - Canal de fuga	33
Figura 2.21 - Linha de transmissão	33
Figura 2.22 - Conexão CEMIG	34
Figura 3.1 – Instalação do medidor de grandezas elétricas para monitoramento da geração.....	37
Figura 3.2 – Potência elétrica gerada pela central no período de 27/10 a 04/11 de 2010	38
Figura 3.3 – Variações de demanda ao longo do ano.....	40
Figura 3.4 – Variações do consumo de energia no horário de ponta ao longo do ano.....	40
Figura 4.1- Medições Topográficas para determinação da queda bruta.....	44
Figura 4.2 – Central Hidrelétrica de desvio com canal e conduto forçado.	45
Figura 4.3 - Medidas de vazão por ultrassom.....	47
Figura 4.4 – Turbina Francis, posições de medidas	48
Figura 4.5 – Instalação de medidores de pressão na entrada das Turbinas	48
Figura 4.6 - Instalação do medidor de grandezas elétricas.....	50

Figura 4.7 - Tela do software LabVie.....	50
Figura 5.1- Curva de Permanência de Vazões.....	60
Figura 5.2- Curva de Permanência de Potência.....	62
Figura 5.3 – Potência instalada ótima.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Variações de demanda e consumo de energia pelo fornecimento da concessionária.....	39
Tabela 3.2 – Tarifas de energia e demanda praticadas pela concessionária em 2011	41
Tabela 3.3 – Demanda evitada e energia economizada pela central	41
Tabela 3.4 – Gastos, economia e benefícios da central.	42
Tabela 4.1 – Cotas da Central.....	54
Tabela 4.2 – Valores lidos	55
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios nas turbinas	55
Tabela 4.4 – Resultados da altura geométrica de sucção na rotação de 900 rpm.....	55
Tabela 5.1 – Valores de rendimento da turbina e gerador para cada potência da central	61
Tabela 5.2 – Valores de Rendimento do sistema de adução segundo o comprimento.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CGH	Central de Geração Hidráulica
CPP	Curva de Permanência de Potência
CPV	Curva de Permanência de Vazão
DGPS	Sistema de Posicionamento Global Diferencial
DOU	Diário Oficial da União
EAFMUz	Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras
GEN	Grupo de Energia
HFP	Horário Fora de Ponta
HP	Horário de Ponta
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSULDEMINAS	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais.
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
UHE	Usina Hidrelétrica
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Energia elétrica liberada
t_0	Instante inicial
t_f	Instante final
P_{el}	Potência elétrica gerada
Ad_1	Área de drenagem do local de estudo
Ad_2	Área de drenagem da estação semelhante
Q_1	Vazão no local de estudo
Q_2	Vazão na estação semelhante
Q_o	Vazão ótima
N	Número de classes
N_D	Quantidade total de dados de vazões disponíveis
A	Amplitude
$Q_{máx}$	Vazão máxima entre as vazões médias mensais
$Q_{mín}$	Vazão mínima entre as vazões mensais
N_0	Quantidade de dados compreendidos entre as vazões, máxima e mínima de cada classe.
ρ	Massa específica da água
g	Aceleração da gravidade
H_b	Altura de queda bruta

η_t	Rendimento da turbina
η_G	Rendimento do gerador
η_{SA}	Rendimento do sistema de adução
$P_{inst.}$	Potência instalada
$E_{méd.}$	Energia média
Q_{op}	Vazão ótima de projeto
FC	Fator de capacidade
H_t	Altura total em uma posição do escoamento
P	Pressão estática ou manométrica
v	Velocidade média de escoamento na seção considerada
z	Altura de posição da seção considerada
H	Altura de queda líquida
v_1	Velocidade média de escoamento na entrada da turbina
v_3	Velocidade média de escoamento na saída do tubo de sucção
z_1	Cota na entrada da turbina em relação a uma referência fixa
z_3	Cota no nível de jusante em relação a uma referência fixa
D_1	Diâmetro interno na entrada da turbina
D_3	Diâmetro interno na saída do tubo de sucção
P_h	Potência hidráulica da turbina
P_b	Potência bruta

z_0'	Nível de montante
z_0	Nível d'água na câmara de carga
H_{PSA}	Perda de carga no sistema de adução
η_{gg}	Rendimento do grupo gerador
η_{el}	Rendimento elétrico ou do gerador
n	Rotação da turbina
f	Frequência
z_p	Número de pares de polos do gerador
nq_A	Rotação específica da turbina
$Hs_{máx}$	Altura geométrica de sucção máxima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivo	18
1.1.1 Objetivos Específicos	18
1.3 Estrutura do trabalho	19
2 CGH ARMANDO BARBOSA	20
2.1 - Breve Histórico	20
2.2 Descrição da CGH Armando Barbosa.....	22
2.2.1 Localização.....	22
2.2.2 Central de Geração Hidrelétrica Armando Barbosa.....	24
3 LEVANTAMENTO DA GERAÇÃO DA CENTRAL E CONSUMO DO IFSULDEMINAS – CAMPUS MUZAMBINHO	37
3.1 Geração da Central	37
3.2 Levantamento da demanda	39
4 ENSAIOS DE CAMPO DOS COMPONENTES DA USINA	44
4.1 Introdução.....	44
4.2 Metodologia de ensaios da CGH.....	44
4.2.1 Alturas de quedas	44
4.2.3 – Roteiro de cálculo.....	47
4.2.4 – Avaliação da altura geométrica de sucção.....	53
4.2.5 – Resultados obtidos.....	54
5 ESTUDOS DO POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DO RIO MUZAMBINHO NA SEÇÃO DA CGH ARMANDO BARBOSA	57
5.1 Estudos Hidrológicos.....	57
5.1.1 Determinação da área de drenagem do aproveitamento.....	57
5.1.2 Obtenção da série histórica de vazão.....	57
5.1.3 Curva de Permanência de Vazões (CPV).....	59
5.1.4 Curva de Permanência de Potência (CPP).....	60
5.2 Análise dos resultados do estudo hidrológico	63
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
6.1 Conclusões.....	65
6.2 Recomendações	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO A	69
ANEXO B	79

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o estudo da Central de Geração Hidráulica (CGH) Armando Barbosa, situada no município de Muzambinho, Estado de Minas Gerais, instalada nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho (IFSULDEMINAS). A Central foi construída na década de 40 com o propósito de atender ao Colégio Agrícola de Muzambinho. Porém, devido ao aumento da demanda, nos dias de hoje a Central é capaz de atender somente o Instituto, ainda assim, dependendo de fornecimento por parte da concessionária de energia, Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo estudar a CGH Armando Barbosa, localizada no IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, com a finalidade de avaliar sua eficiência global e sua produção de energia para o Campus de Muzambinho.

O trabalho pretende avaliar a situação atual da CGH realizando visitas técnicas ao local, levantamentos de sua eficiência, estudos do potencial do Rio Muzambinho através de levantamentos hidrológicos e topográficos no local, com o propósito final de estudar as vantagens do custo evitado no pagamento do consumo de energia do Campus de Muzambinho.

1.1.1 Objetivos Específicos

Realizar estudos hidráulicos e elétricos no grupo gerador, topográficos na Central, e hidrológicos no Rio Muzambinho que alimenta a Central.

Para atingir os objetivos serão realizadas as seguintes etapas:

- Visita técnica à central para se conhecer o seu estado atual;
- Levantamento do rendimento global da central através de medidas elétricas, hidráulicas e topográficas.
- Levantamento da geração de energia através de medidas aquisitadas durante 30 dias;
- Levantamento do custo de operação e manutenção da central.

1.2 Justificativa

A Central de Geração Hidráulica Armando Barbosa possui uma potência instalada de 360 kW através de dois grupos geradores de 180 kW. Entretanto, a Central não possui

medições hidráulicas e elétricas do gerador, além de não ter um programa efetivo de operação e manutenção.

Os operadores da central são funcionários efetivos do quadro da Escola que realizam manutenções corretivas, quando necessárias.

O sistema de geração é isolado, alimentando parcialmente a carga da Escola.

Por essa razão, o presente estudo pretende monitorar a Central e realizar uma avaliação geral de suas vantagens na geração de energia, com vista a importância da Central.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho se subdividiu em seis capítulos. No Primeiro fazemos uma Apresentação da Dissertação. No Segundo foi contextualizada a história da CGH Armando Barbosa através de documentos e informações relevantes acerca da área de estudo, além da descrição da Central; sua localização; principais componentes hidráulicos, hidromecânicos e eletromecânicos; informações sobre a conexão com a CEMIG; análise da situação atual e do regime de operação.

No Terceiro Capítulo é descrito o levantamento da geração da Central; as demandas do consumo interno, suprimentos da usina e da CEMIG, aspectos comerciais da relação entre a Escola e a CEMIG; características da Usina quanto a produção e receitas; e levantamento dos custos de operação e manutenção.

No Quarto Capítulo foram realizados ensaios na Central para levantamento dos rendimentos do sistema de adução, do grupo gerador e do sistema de sucção através de medidas hidráulicas, elétricas e topográficas no local.

No Quinto Capítulo realizou-se estudos hidrológicos no Rio Muzambinho com vista o longo período de instalação da Central.

No Sexto Capítulo são apresentadas as Conclusões e Recomendações do trabalho.

2 CGH ARMANDO BARBOSA

2.1 - Breve Histórico

No final da década de 40 o país necessitava melhorar sua produção agrícola e produzir pessoal com conhecimento no setor através de criação de Escolas Agrícolas.

No dia 22 de outubro de 1948 foi assinado o primeiro termo de acordo entre o Governo Federal e do Estado de Minas Gerais, com validade de um ano, para instalar no Município de Muzambinho a Escola Agrotécnica, vinculada ao Ministério da Agricultura.

A Prefeitura de Muzambinho, através do prefeito da época, Sr. Messias Gomes de Melo, pressionado pelo Governo Federal, adquiriu as terras para a futura construção da escola e em 31 de dezembro de 1948 passou a gleba de terras ao Ministério da Agricultura.

No dia 1 de julho de 1949 inicia-se oficialmente a construção do Colégio Agrícola de Muzambinho, vinculado ao Ministério da Agricultura, decreto n 60.731, que em 19.05.1967, é transferido para o Ministério da Educação e Cultura, com todo o seu pessoal e material. Abaixo segue foto, Figura 2.1, de algumas autoridades presentes na inauguração da Escola.



Figura 2.1 - Autoridades na inauguração da Escola

As obras são paralisadas em outubro de 1950 devido à falta de verbas para o pagamento de pessoal, mas em 1951 são reiniciadas.

Como as terras possuíam uma queda d'água, o então Deputado Federal muzambinhense, Dr. Lycurgo Leite Filho, consegue em dezembro de 1952, verba do Governo Federal para a construção de uma usina hidrelétrica.

São realizados levantamentos da bacia hidrográfica e estudos da Central, iniciando uma concorrência pública para a construção da mesma, vencida pela empresa Siemens Schuckert S.A. O fornecimento do Grupo Gerador e acessórios foram fabricados na Alemanha especialmente para atender a Central Hidrelétrica em questão.

De acordo com relatos de pessoas da Cidade que participaram da construção da usina, os materiais como areia, pedras e ferragens foram trazidos do Rio de Janeiro, então Capital Federal.

O mestre de obras, responsável pela supervisão da construção da central era o Sr. Francisco Leonardo Cerávolo. A duração da obra foi de três anos.

Em 22 de novembro de 1953 chega a cidade para a inauguração do Colégio Agrícola de Muzambinho o Presidente da República Getúlio Vargas acompanhado pela sua comitiva e do Governador de Minas Gerais Juscelino Kubitscheck. Vale a pena destacar a presença do Ministro da Justiça Tancredo Neves.

Em agosto de 1954 começa a funcionar a Usina Hidrelétrica, que opera até os dias atuais.

A Usina possuía na época 180 kW em 50 Hz e gerava energia para a Escola. Na década de 60 a Central forneceu energia para a Cidade de Muzambinho devido a interrupção no favorecimento da mesma, pela Companhia Bragantina, que na ocasião estava ampliando sua linha de transmissão.

Em 1995, a Central recebeu o nome de Usina Hidrelétrica Armando Barbosa em homenagem ao Servidor da Escola, que dedicou 36 anos de sua vida à operação e manutenção da mesma. Ha Figura 2.2 mostra a inauguração da Usina.



Figura 2.2 - Inauguração da usina

Diretores desde a fundação:

- Dr. Hercílio Vater Faria - 31/12/1948 a 20/04/1956.
- Dr. Marcelo Diógenes Maia - 20/04/1956 a 28/03/1957.
- Dr. Paulo de Azevedo Berutti - 28/03/1957 a 09/08/1961.
- Dr. Darcy Rodrigues da Silva - 09/08/1961 a 06/04/1967.
- Prof. José Rossi - 06/04/1967 a 03/07/1988 e 09/05/1990 a 03/05/1994.
- Prof. Ivan Antônio de Freitas - 04/07/1988 a 08/05/1990 e 04/05/1994 a 05/05/1998.
- Prof. Luiz Ribeiro Dias Filho – 06/05/1998 a 05/05/2002 - conforme portaria 269 do Ministro da Educação e do Desporto, DOU 30/03/98.
- Prof. Rômulo Eduardo Bernardes da Silva, conforme portaria 1487 de 15/05/2002 com início do exercício em 17/05/2002 sendo nomeado Reitor Pro Tempore do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas conforme portaria 1086 do Ministro da Educação Fernando Haddad publicada em 29 de maio de 2006 com início do exercício em 08/01/2009 sendo substituído pelo Prof. Luiz Carlos Machado Rodrigues pela portaria número 1 de 30 de janeiro de 2009 com início do exercício em 4 de fevereiro de 2009.
- Prof. Luiz Carlos Machado Rodrigues foi eleito para o cargo de Diretor Geral em 24 de março de 2010 com mandato previsto até 2014.

Esse breve histórico foi baseado nos documentos levantados na Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, hoje denominado Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho, Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008 e encontra-se no final da dissertação, Anexo A.

2.2 Descrição da CGH Armando Barbosa

2.2.1 Localização

Muzambinho é uma cidade localizada em Minas Gerais. O município faz divisas com os municípios mineiros de Cabo Verde, Monte Belo, Juruáia e Guaxupé além dos municípios paulistas de Caconde e Tapiratiba, com Latitude de 21° 37' S e Longitude de 46° 52' W e está inserida dentro da Bacia do Rio Paraná na sub Bacia do Rio Grande, conforme as Figuras 2.3 e 2.4.



Figura 2.3 - Localização da cidade de Muzambinho na bacia do Rio Grande
Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, 2011.

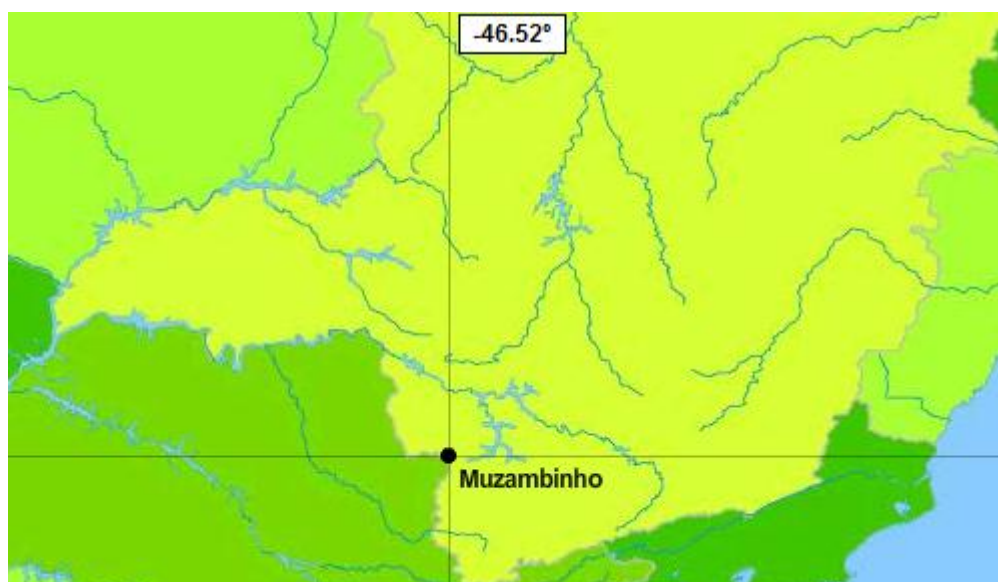


Figura 2.4 - Localização de Muzambinho em Minas Gerais
Fonte: IBGE, 2011

O município está localizado na região sudeste de Minas Gerais, no Planalto de Poços de Caldas, com uma altitude média de 1048 metros, com uma população de 20.280 habitantes, segundo Censo 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011). Possui clima temperado e seu Bioma é de Mata Atlântica, substituída em parte por áreas de pastagem e agricultura, sendo o café e milho suas maiores lavouras, enquanto que a criação de gado é dirigida para a produção de leite. Seus rios mais importantes são o Rio Grande e Sapucaí, que juntamente com outros cursos d'água vêm a formar o Lago da UHE de Furnas.

A minicentral Armando Barbosa está localizada na Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, hoje, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, a cerca de 5 quilômetros do

centro da cidade de Muzambinho - MG, próximo a divisa com o Estado de São Paulo. O Instituto possui uma área de 263,01 hectares, sendo estes divididos entre as cidades de Muzambinho e Guaxupé, com 183 hectares e 80,01 hectares, respectivamente.

A Figura 2.5 mostra a região da Minicentral Armando Barbosa

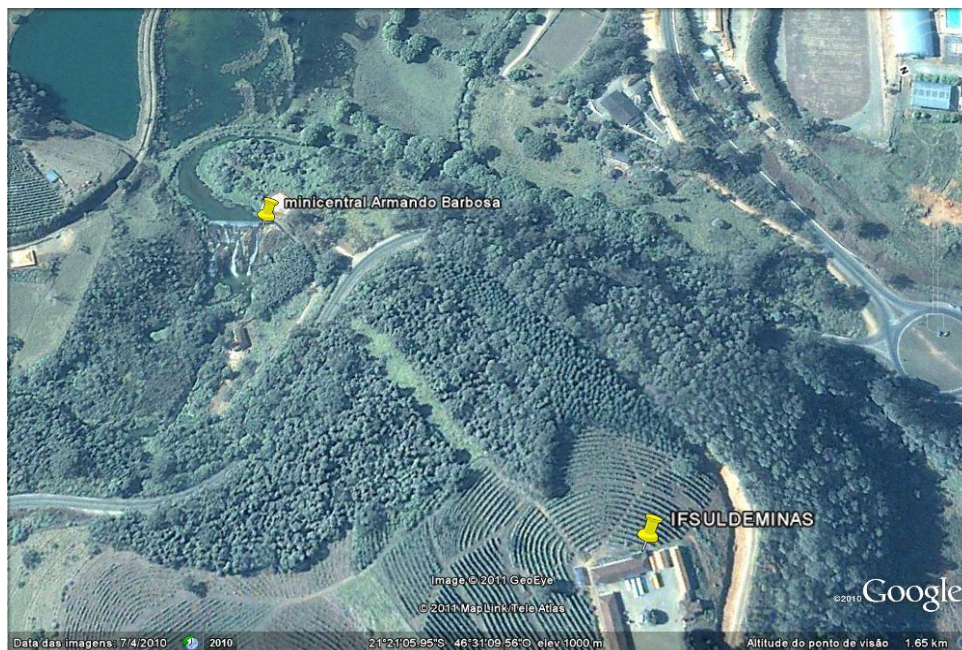


Figura 2.5 - CGH Armando Barbosa em Muzambinho
Fonte Google Earth, 2011.

2.2.2 Central de Geração Hidrelétrica Armando Barbosa

2.2.2.1 – Descrição da Central Geradora Hidrelétrica

A CGH Armando Barbosa é uma central de desvio que possui uma Barragem, Tomada D'água, Canal de Adução, Câmara de Carga, Conduto Forçado, Casa de Máquinas e Canal de Fuga. A denominação atual da Minicentral está de acordo com a Resolução Normativa nº 343, de 9 de dezembro de 2008 da ANNEL, que hoje, pela resolução, é denominada de Central de Geração Hidráulica, que são centrais com potências abaixo de 1000 kW.

A Figura 2.6 ilustra o Arranjo da Central, denominada de Desvio.

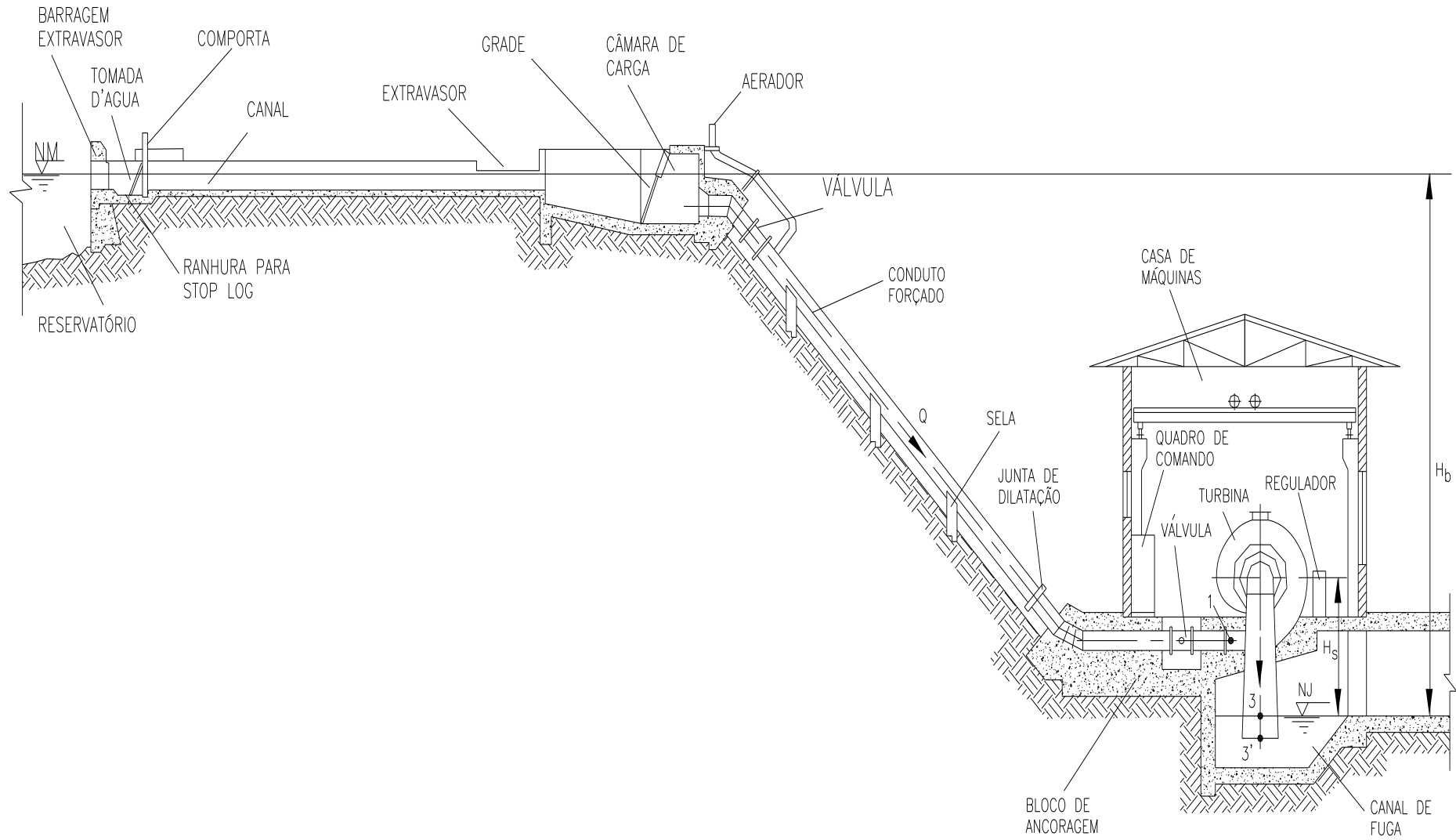


Figura 2.6 - Arranjo da central

2.2.2.2 Partes principais da CGH

- **Reservatório**

A central opera a fio d`água e tem seu reservatório em uma área alagada de 3200,38 m², perímetro molhado 265,89 m, profundidade média do reservatório 2,5 m.

A Figura 2.7 ilustra o reservatório da central.



Figura 2.7 - Reservatório da Central

- **Barragem**

A barragem é de gravidade sendo construída de pedras argamassadas.

Faz parte do grupo da barragem um vertedouro cuja crista está na latitude: 21°21'1,4" sul , longitude: 46° 31' 2,8" oeste, altitude: 956 metros.

A Figura 2.8 ilustra o Vertedouro e a Barragem.



Figura 2.8 – Vertedouro/Barragem

- **Tomada d'água**

A Tomada D'água possui três comportas, sendo uma que alimenta o Canal de Adução e as outras duas são desarenadoras.

A Figura 2.9 ilustra a tomada d'água.



Figura 2.9 - Tomada d'água

- **Canal de adução**

O canal de adução é de alvenaria e possui 1,53 m de largura, com paredes de 0,3 m, com 1,8 m de altura e comprimento 76 m.

A Figura 2.10 ilustra o canal de adução.



Figura 2.10 - Canal de adução

- **Câmara de carga**

A câmara de carga é composta por uma grade e sua limpeza é manual. As dimensões da Câmara de Carga são: 2,50 m de largura, 2,50 m de comprimento e 1,30 m de altura, tendo capacidade de 8,12 m³, conforme ilustra a Figura 2.11.



Figura 2.11 - Câmara de carga

- **Conduto forçado**

O conduto forçado é de aço soldado, diâmetro 0,45 m e 71,10 m de comprimento. Na chegada da casa de máquinas o conduto divide-se em dois para alimentar as duas turbinas.

A Figura 2.12 ilustra o conduto forçado.



Figura 2.12 - Conduto forçado

- **Blocos de apoio e ancoragem**

A CGH Armando Barbosa possui 22 blocos de apoio, sendo as suas dimensões 1m de altura, 0,70m de comprimento e 0,70m de largura..

A Figura 2.13 ilustra os blocos de apoio e o bloco de ancoragem.



Figura 2.13 - Blocos de apoio e ancoragem

- **Casa de máquinas**

A casa de máquinas é de alvenaria, aloja dois grupos geradores, a Figura 2.14 ilustra.



Figura 2.14 - Casa de máquinas

- **Turbinas**

As turbinas são de eixo horizontal, operam com 750 rpm e hoje opera com 900 rpm e as turbinas possuem os seguintes dados de placa:

- Marca J.M.Voith
- Tipo: Francis horizontal
- Ano de fabricação: 1951
- Rotor com acoplamento cônico de 11 pás

Conforme ilustra a figura 2.15.

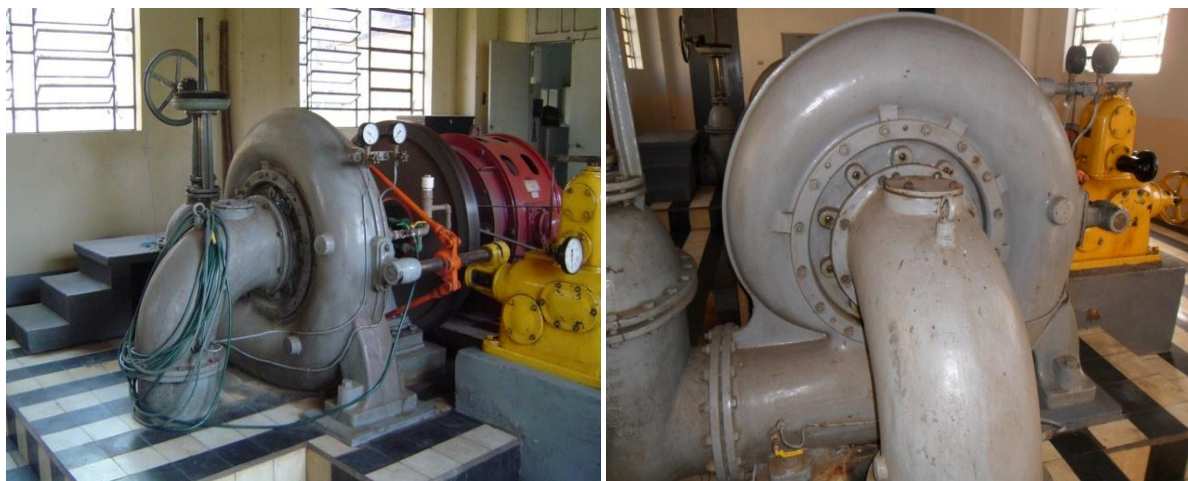


Figura 2.15 - Turbinas Francis

- **Regulador de velocidade**

Os reguladores de velocidade são do tipo mecânico e hidráulico, sendo adaptados para operarem em 60 Hz, demonstrados na Figura 2.16.

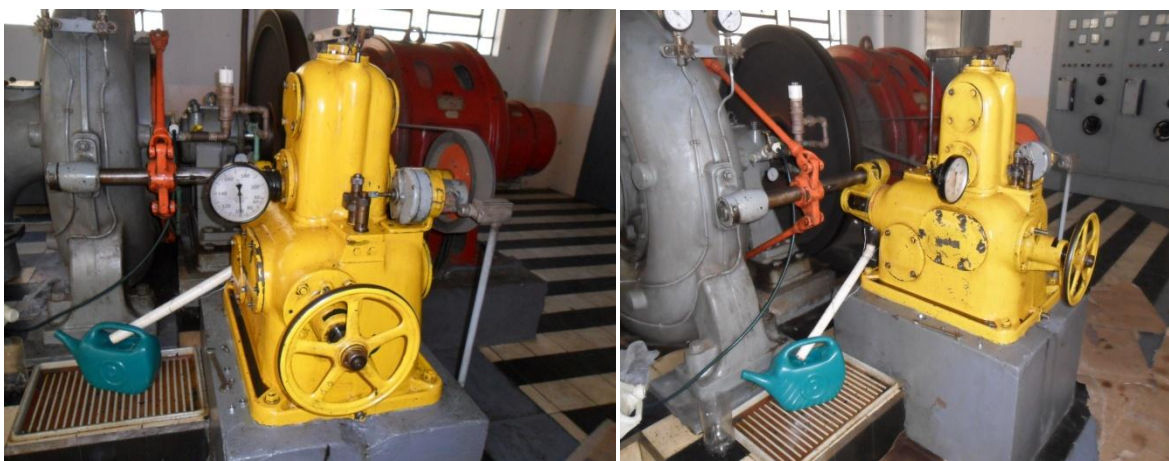


Figura 2.16 - Regulador de velocidade

- **Geradores**

Os geradores trifásicos estão acoplados diretamente nas turbinas, atualmente operam a 900 rpm na frequência de 60 Hz e seus dados de placa estão a seguir e a Figura 2.17 ilustra o gerador.

- Siemens Schuckert
- Tipo: F304G-8 B2
- Número de pólos: 4 pares
- Ligação: Estrela com neutro isolado
- Tensão: 400 Vca.
- Corrente: 260 A
- Potência: 180 kW

- Fator de potência: 0.88
- **Excitatrizes Siemens Schuckert**
 - Tipo: CC GenGVE 140 Auto excitada
 - Tensão: 95 A 110 V
 - Corrente Permanente: 3,6 kW
 - Potência Temporária por 2 min: 4,8 kW



Figura 2.17 - Geradores

- **Transformador**

A figura 2.18 – ilustra o transformador elevador



Figura 2.18 - Transformador elevador

O transformador é elevador e está alojado no interior da casa de máquinas, e possui os seguintes dados de placa:

Transformador elevador Siemens

- Tipo: KOU 553 W/10 N.T 28644

- Tensão primária: 400V / 231V
- Corrente primária: 455 A (Estrela)
- Tensão secundária: 7300 V / 6950 V / 6600 V
- Corrente secundária: 26,2 A (Triângulo)

- **Quadro de comando e proteção**

O quadro de comando e proteção, tem os seguintes dados:

Disjuntor de saída Service Restorer:

- Tipo: A P 40 B N.10231
- Classe de tensão: 15 kV
- Corrente de ruptura: 2000 A

Reguladores de tensão Hagenuk Kiel:

- Tipo: E 5N.9041 e N.9042
- Tensão: 50 V a 400 V
- Motor marca: Siemens Schuckert
- Modelo: O R 9.92
- Tensão: 220V / 380 V 50 Hz 1350 RPM
- Potência: 0,185 kW
- Fator de potência: 0,71

A Figura 2.19 ilustra o quadro de comando e proteção.



Figura 2.19 - Quadro de comando e proteção

- **Canal de fuga**

O canal de fuga é de alvenaria com 2,0 m de largura e 2,6 m de altura, apresentado na Figura 2.20.



Figura 2.20 - Canal de fuga

- **Linha de transmissão**

A linha de transmissão é trifásica, opera com 13,8 kV e esta distribuída por todo o Campus. Na época da seca, durante os meses de julho até outubro, somente os setores da mecanização agrícola, laboratório de bromatologia, beneficiadora de café, oficinas, pavilhão café, agroindústria, residências de funcionários, Zootecnia II, prédio do ensino a distância, guarita, agricultura, biblioteca e iluminação externa da escola são abastecidos com a geração da minicentral.

A Figura 2.21 ilustra a linha de transmissão.



Figura 2.21 - Linha de transmissão

Características da linha de transmissão: 01 transformador de baixa para alta; 19 transformadores de alta para baixa; postes de concreto; para-raios de linha instalados a cada

100 m; comprimento da linha de transmissão é 3 km; cabos de alumínio, alma de aço, 8AWG.

2.2.2.3 Conexão CEMIG

Com a crescente demanda de energia elétrica que o IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho vem sofrendo, tem-se hoje em dia a necessidade de comprar energia elétrica da CEMIG.

A subestação CEMIG de Muzambinho fica a 10 km do IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, conduzida por cabo 1/0 cabo de alumínio com alma. A cabine de força fica na área central da escola com fácil acesso para equipes de manutenção e operação, local onde são realizadas as manobras de ligar e desligar a rede elétrica, através da chave fusível instalado no poste de 12/300.

A rede é moderna, possui cabo protegido na entrada da cabine de força. A energia é de 13,8 kV e possui um regulador de tensão.

Na cabine de força possui três chaves faca, um disjuntor de proteção da partida de alta, um medidor por campo magnético para a leitura. Conforme ilustra a Figura 2.22.



Figura 2.22 - Conexão CEMIG

As operações de ligar ou desligar a linha de alta tensão ficam a cargo da CEMIG, tendo atendimento prioritário, pois, está classificada como consumidor primário.

Durante os meses de julho a outubro, época das secas, a escola necessita de comprar cerca de 70% de energia da CEMIG para atender sua demanda, isto ocorre devido à diminuição na geração da CGH Armando Barbosa.

2.2.2.4 Situação atual da CGH

A CGH Armando Barbosa passou por uma reforma no ano de 1986, a escola contratou uma empresa especializada, sendo encontrados várias anormalidades e defeitos nos equipamentos elétricos antes e durante a desmontagem das unidades geradoras 1 e 2, entre elas destacando: Excesso de pó em todo o estator e rotor das duas máquinas; isolação dos estatores e rotores ressecada; várias cunhas dos estatores faltantes e frouxas; isolação de algumas bobinas dos estatores das máquinas 1 e 2 com isolação perfurada e sinal de corte no cobre das bobinas de 2 mm de profundidade. Cabos de saída dos estatores com a isolação ressecada; mau contato nas conexões dos cabos de saída do estator da máquina 1 nas duas fases da extremidades; anéis de campo das duas máquinas riscadas, faiscamento no coletor da excitatriz da máquina 2; folga nos alojamentos das escovas de carvão dos anéis de campo e excitatrizes; escovas de carvão com granulações inadequadas, placa de ligações da excitatriz da máquina 2 quebrada, anéis coletores das excitatrizes riscadas, com quinas vivas nas lâmpadas e mica alta; cabos de interligação das máquinas 1 e 2 e quadro de comando e proteção com a isolação deteriorada; falta de bandejamento na canaleta de cabos, vazamento de óleo nas buchas e tampa do transformador, nível de óleo baixo no transformador, barramento de baixa e alta tensão muito expostos comprometendo a segurança do pessoal; contatos fixos e móveis do disjuntor de saída desgastados, baixa isolação e muita impureza no óleo do disjuntor de saída; motor de recarregamento da mola do disjuntor desligado.

Atualmente o reservatório da CGH Armando Barbosa esta limpo devido a manutenção feita ano de 2010, sendo utilizado uma máquina retro escavadeira para seu desassoreamento.

A barragem encontra-se em boas condições.

A comporta da tomada d'água possui avarias em sua estrutura de madeira.

O canal de adução necessita de limpeza, pois está com 50% de sua capacidade obstruída.

A câmara de carga possui pontos de vazamentos.

O conduto forçado está com vazamento de água na curva instalada no bloco de ancoragem.

A tubulação forçada está apoiada sobre 22 blocos de apoio, que apresentam rachaduras em sua estrutura. Os dois blocos de ancoragem que foram construídos de concreto armado, sendo o primeiro conjugado com a câmara de carga e o segundo localiza-se na curvatura que indica mudança de direção do conduto forçado, também apresentam rachaduras em sua estrutura.

As grades localizadas no começo da tomada d'água estão em perfeitas condições de uso.

As escadas de serviços estão em boas condições de uso.

A casa de máquinas foi reformada e ampliada no ano de 2011, possuindo 207,37 m de área.

As duas turbinas Francis estão com vazamentos de água nos pinos das palhetas e com os manômetros estragados.

O regulador de velocidade nº 01 está com vazamento de óleo no mancal e a nº 02 esta com vazamento de óleo no eixo.

Os geradores Siemens Schuckert tiveram suas escovas trocadas durante o mês de abril de 2012 e estão em perfeito estado de conservação.

Os registros estão funcionando.

O transformador elevador esta com vazamento de óleo em seu depósito, sendo necessário repor 1 litro de óleo mensalmente.

O quadro de comando e proteção nº 01 está com o automático desativado.

O canal de fuga está em bom estado de conservação permitindo que a vazão turbinada seja restituída ao rio Muzambinho.

2.2.2.5 Regime de operação

A CGH Armando Barbosa possui seu regime de operação de 24 horas por dia durante 365 dias no ano.

Total de cinco operadores, dos quais, dois ocupantes do cargo de Operador de Estação de Tratamento de Água, dois Operadores de Central Hidrelétrica e um auxiliar em agropecuária, que desenvolvem suas atividades na CGH Armando Barbosa. Os cinco servidores trabalham em regime de revezamento com turno de 24 horas de trabalho e 54 horas de descanso.

A usina não possui controle da geração produzida, devido a isso, no próximo capítulo está descrito um levantamento do grupo gerador.

3 LEVANTAMENTO DA GERAÇÃO DA CENTRAL E CONSUMO DO IFSULDEMINAS – CAMPUS MUZAMBINHO

3.1 Geração da Central

Para verificar os benefícios econômicos gerados pela CGH Armando Barbosa foi necessário levantar seus dados de geração. Como a Central não possui nenhum sistema de medição, utilizou-se os medidores de grandezas elétricas ELO e Embrasul, Figura 3.1, para monitorar o perfil de geração, instalados pelo Grupo de Energia da UNIFEI (GEN-UNIFEI).



Figura 3.1 – Instalação do medidor de grandezas elétricas para monitoramento da geração

O valor de demanda foi calculado através da média da potência elétrica gerada por 15 minutos consecutivos, obtendo-se um valor de 163 kW.

A energia fornecida pela usina para a escola é calculada integrando a potência elétrica gerada no tempo, conforme equação 3.1.

$$E = \int_{t_0}^{t_f} P_{el}.dt \quad (3.1)$$

Onde:

$E[kWh]$ - energia elétrica fornecida;

$t_0[h]$ - instante inicial;

$t_f[h]$ - instante final;

$P_{el}[kW]$ - potência elétrica gerada.

Neste cálculo foi feita a distinção da geração no horário de ponta e fora de ponta, obtendo-se 246 kWh fornecidos no horário de ponta e 1.472 kWh no horário fora de ponta, para o período de um dia. Estes valores foram extrapolados, obtendo-se os valores de

referência do mês de outubro, de 7.616 kWh no horário de ponta e 45.626 kWh no horário fora de ponta.

A Figura 3.2 apresenta o perfil de geração levantado entre os dias 27/10 a 04/11 de 2010. Deste gráfico foram retirados os valores de demanda e energia consumidos durante um mês. Neste caso, foi considerado outubro como mês base.

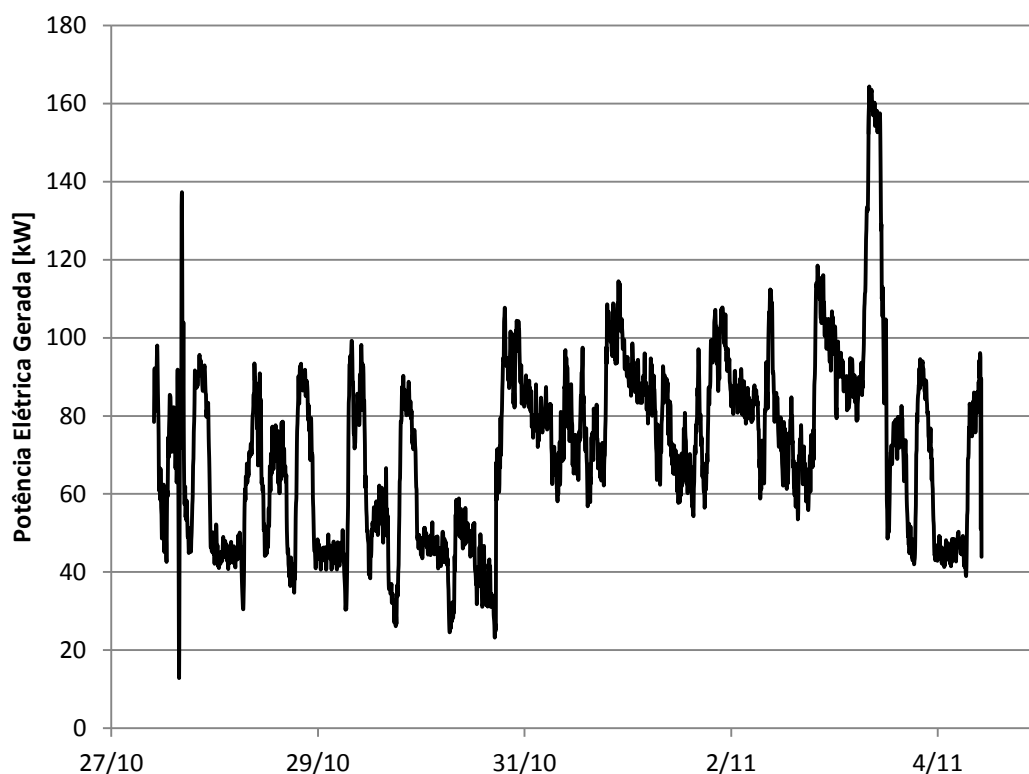


Figura 3.2 – Potência elétrica gerada pela central no período de 27/10 a 04/11 de 2010

Entretanto, o consumo de energia da escola varia ao longo do ano, seja por questões climáticas ou pelo calendário escolar. Assim, é necessário estabelecer como é o comportamento do consumo de energia da escola ao longo do ano. Para isto foram utilizadas as contas de energia da escola, conforme mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Variações de demanda e consumo de energia pelo fornecimento da concessionária

Mês	Demanda kW (Contas CEMIG)	Demanda/Demanda média [1]	Energia HP[kWh]	Energia HP/Energia HP média [1]	Energia HFP [kWh]	Energia HFP/Energia HFP média [1]
Janeiro	158	1,0940	5760	1,2549	48600	1,4311
Fevereiro	140	0,9694	4320	0,9412	38520	1,1343
Março	115	0,7963	3600	0,7843	24480	0,7208
Abril	122	0,8447	4680	1,0196	30600	0,9011
Mai	90	0,6231	2520	0,5490	19440	0,5724
Junho	97	0,6716	3240	0,7059	19440	0,5724
Julho	187	1,2948	4320	0,9412	28800	0,8481
Agosto	72	0,4985	1800	0,3922	14040	0,4134
Setembro	187	1,2948	4680	1,0196	34560	1,0177
Outubro	162	1,1217	5040	1,0980	39600	1,1661
Novembro	223	1,5441	7560	1,6471	53280	1,5689
Dezembro	180	1,2463	7560	1,6471	56160	1,6537
<i>Média</i>	<i>144,42</i>					

Fonte: CEMIG (Contas 01/01/11 à 31/12/11)

3.2 Levantamento da demanda

Com estes dados foram levantadas as curvas referentes às variações de demanda, consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta, conforme mostram as Figuras 3.3 a 3.5.

Desta forma, considerou-se que as mesmas oscilações observadas no consumo de energia comprada seriam iguais às oscilações do fornecimento de energia da central.

Desta forma foi possível determinar a energia economizada e a demanda evitada para o ano de 2011.

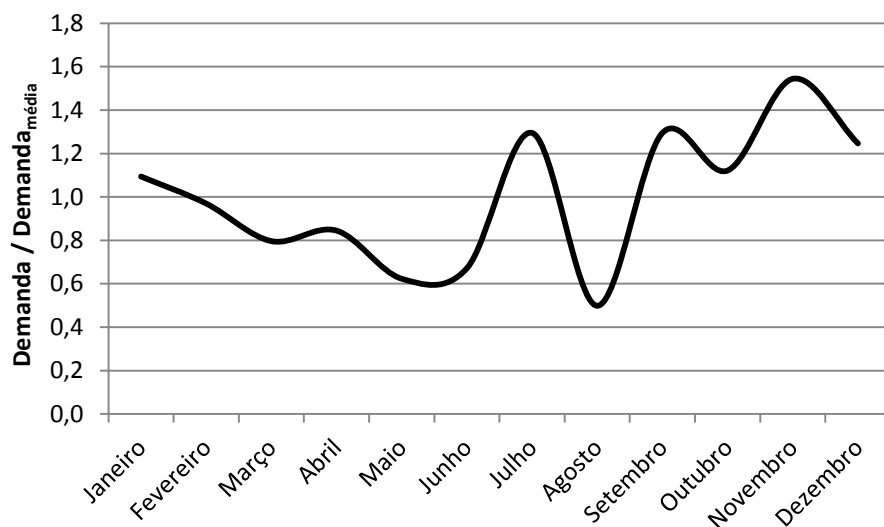


Figura 3.3 – Variações de demanda ao longo do ano

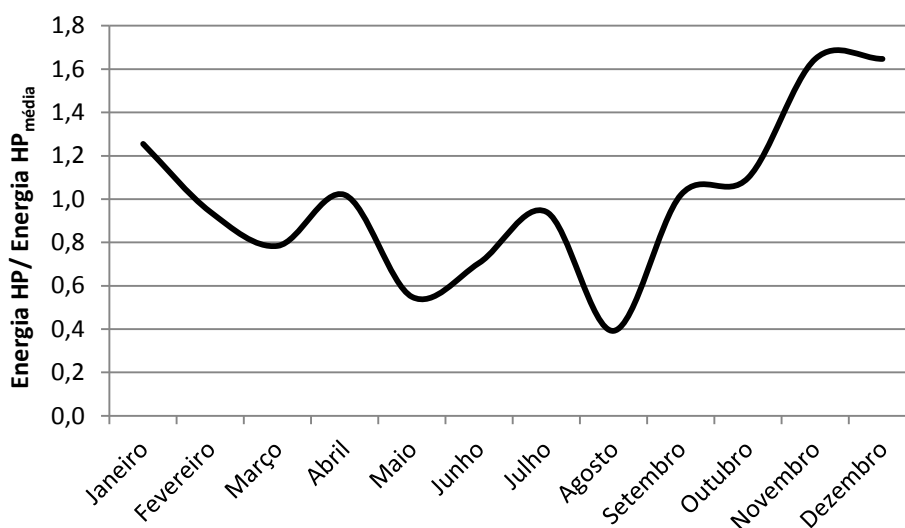


Figura 3.4 – Variações do consumo de energia no horário de ponta ao longo do ano

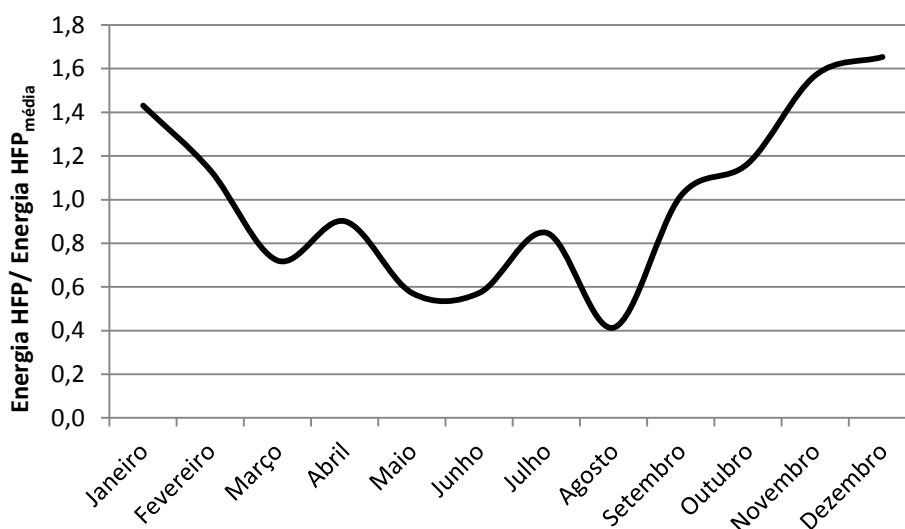


Figura 3.5 – Variações do consumo de energia no horário fora de ponta ao longo do ano

Considerando as tarifas de demanda e de energia consumida no horário de ponta e fora de ponta praticadas pela concessionária no ano de 2011, conforme Tabela 3.2, calculou-se o custo evitado da energia.

Tabela 3.2 – Tarifas de energia e demanda praticadas pela concessionária em 2011

Mês	Tarifa Demanda [R\$/kW]	Tarifa HP [R\$/kWh]	Tarifa HFP [R\$/kWh]
Janeiro	15,6008	1,5975	0,1675
Fevereiro	15,6594	1,6035	0,1681
Março	15,6028	1,5977	0,1675
Abril	15,5447	1,5917	0,1669
Mai	16,2723	1,6813	0,2060
Junho	16,6733	1,7198	0,2148
Julho	16,5895	1,7112	0,2137
Agosto	16,5632	1,7084	0,2134
Setembro	16,5435	1,7064	0,2131
Outubro	16,5961	1,7118	0,2138
Novembro	16,5130	1,7033	0,2127
Dezembro	16,6225	1,6828	0,1957

Tabela 3.3 – Demanda evitada e energia economizada pela central

Mês	Demanda [kW]	Custo evitado com demanda [R\$]	Energia HP [kWh]	Custo evitado com Energia HP [R\$]	Energia HFP [kWh]	Custo evitado com Energia HP [R\$]
Janeiro	159	2.485	8.704	13.905	55.995	9.379
Fevereiro	141	2.210	6.528	10.468	44.382	7.462
Março	116	1.809	5.440	8.691	28.205	4.725
Abril	123	1.912	7.072	11.257	35.256	5.884
Mai	91	1.476	3.808	6.402	22.398	4.615
Junho	98	1.630	4.896	8.420	22.398	4.811
Julho	189	3.128	6.528	11.171	33.182	7.092
Agosto	73	1.202	2.720	4.647	16.176	3.452
Setembro	189	3.119	7.072	12.068	39.819	8.486
Outubro	163	2.710	7.616	13.037	45.626	9.755
Novembro	225	3.712	11.424	19.458	61.388	13.059
Dezembro	181	3.016	11.424	19.225	64.706	12.666

3.3 Levantamento do valor gerado e economizado

A soma dos custos evitados com energia e demanda (colunas 3, 5 e 7 da Tabela 3.3) representa a economia com energia para a escola devido à geração da Central, conforme mostra a segunda coluna Tabela 3.4. Entretanto, para verificar o real benefício da utilização da Central, é necessário fazer o balanço com os gastos com mão de obra e manutenção, primeira coluna Tabela 3.4. Neste caso, consideraram-se apenas os gastos com mão de obra, que são os mais relevantes para a operação da central. A Tabela 3.4 e a Figura 3.6 apresentam os resultados obtidos. É possível observar que nos meses onde o consumo de energia foi baixo, houve prejuízo, enquanto que nos meses de maior consumo houve benefício. Isto ocorre pois os custos da central são praticamente constantes, ou seja, independentemente da produção realizada os gastos serão os mesmos, fazendo com que a “tarifa” da usina oscile de acordo com sua produção. No período de um ano a central gerou um benefício de R\$ 22.098,00/ano para a escola. Também foi avaliado o cenário de terceirização dos funcionários. Neste caso será necessária a contratação de quatro funcionários, com um custo médio mensal de R\$ 10.095,00, anexo C. Neste caso o benefício gerado pela central aumentará para R\$ 137.411,00 no ano. A Tabela 3.4 demonstra os gastos, economia e benefícios da Central.

Tabela 3.4 – Gastos, economia e benefícios da central.

Mês	Gastos da Central [R\$] (Mão de obra atual)	Gasto da central [R\$] (Mão de obra terceirizada)	Economia [R\$]	Benefício [R\$] (atual)	Benefício [R\$] (mão de obra terceirizada)
Janeiro	17.204	10.095	25.769	8.564	15.674
Fevereiro	17.409	10.095	20.139	2.731	10.045
Março	17.349	10.095	15.225	-2.124	5.131
Abril	17.414	10.095	19.053	1.639	8.958
Mai	17.804	10.095	12.494	-5.310	2.399
Junho	22.884	10.095	14.862	-8.022	4.767
Julho	18.448	10.095	21.390	2.942	11.295
Agosto	17.609	10.095	9.301	-8.308	-794
Setembro	17.574	10.095	23.673	6.099	13.579
Outubro	17.596	10.095	25.503	7.907	15.408
Novembro	31.796	10.095	36.230	4.434	26.135
Dezembro	23.362	10.095	34.907	11.545	24.813
<i>Total</i>	<i>236.448</i>	<i>121.135</i>	<i>258.546</i>	<i>22.098</i>	<i>137.411</i>

Fonte: RH IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho

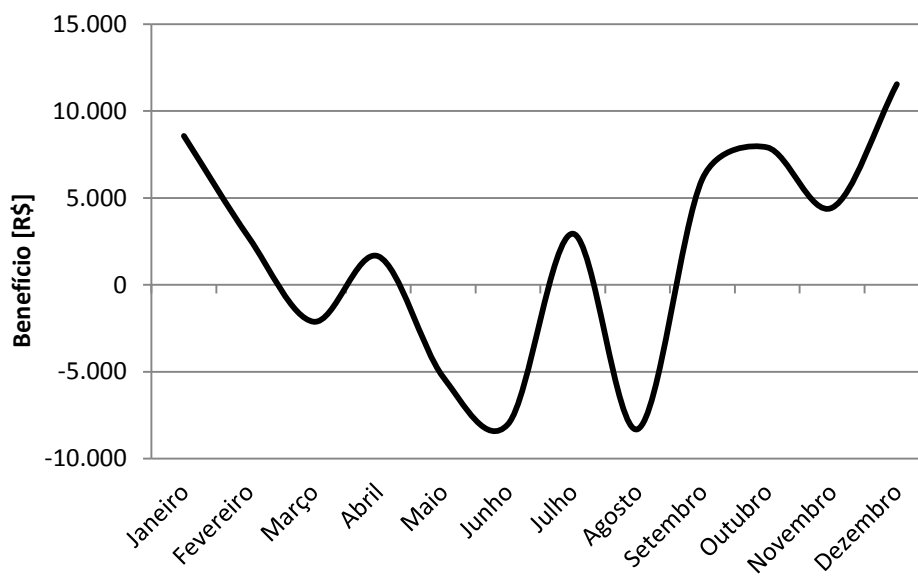


Figura 3.6 – Benefícios gerados pela central ao longo do ano

4 ENSAIOS DE CAMPO DOS COMPONENTES DA USINA

4.1 Introdução

Como a CGH Armando Barbosa, não possui instrumentação de geração e os grupos geradores não se tem a informação das suas eficiências houve necessidade de levantamento de campo para determinação de alguns parâmetros importantes.

Os levantamentos foram realizados pelo Grupo de Energia da UNIFEI, base do equacionamento utilizado para o levantamento desses parâmetros foi o de Justino (2006), onde apresenta-se metodologias de ensaios em grupos geradores de PCHs, incluindo procedimentos e normas atuais sobre o assunto.

4.2 Metodologia de ensaios da CGH

4.2.1 Alturas de quedas

4.2.1.1 Altura de queda bruta

A altura de queda bruta H_b , por definição, é a diferença entre os limites dos níveis de montante e jusante da instalação quando a vazão da turbina é nula, NBR 11.374/NB 228 (1990). A medida de altura de queda bruta foi realizada com uma estação total, que realiza a medida de ângulos e distâncias, além de armazenar as mesmas. O uso da Estação Total é relativamente simples, bastando posicioná-la em ponto conhecido, e mirando a luneta em direção ao prisma, que estará posicionado no ponto de interesse. No caso estudado, utilizou-se de dados próprios para determinação da altitude, sendo assim, o valor encontrado não representa a realidade. A diferença de cotas entre o nível d'água de montante e de jusante (queda bruta) é de 30,218 m. conforme ilustra a Figura 4.1.



Figura 4.1- Medições Topográficas para determinação da queda bruta
A Figura 4.2 ilustra uma central de desvio apresentando suas alturas de quedas.

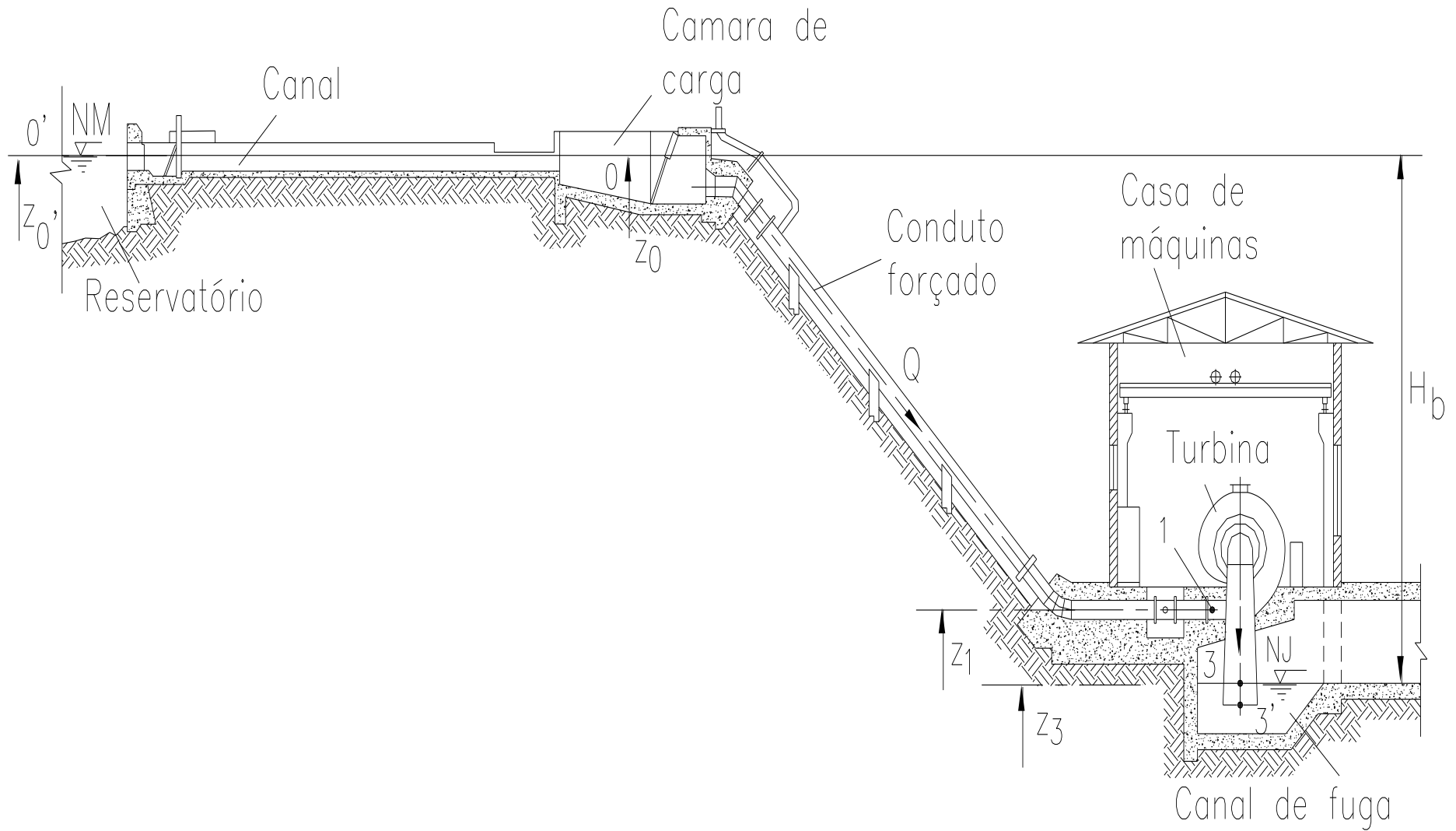


Figura 4.2 – Central Hidrelétrica de desvio com canal e conduto forçado.

4.2.1.2 – Altura de queda líquida

A altura de queda líquida H é a diferença entre a altura total na entrada da turbina (posição 1) e saída da turbina (posição 3).

A altura total em uma posição qualquer do escoamento é dada pelo somatório das alturas de pressão, velocidade e posição, equação 4.1. O trabalho de Ayres (2010) apresenta os equacionamentos de instalações hidráulicas em CGHs.

$$H_t = H_{\text{pressão}} + H_{\text{velocidade}} + H_{\text{posição}} = \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z \quad (4.1)$$

Onde:

$H_t [m]$ - Altura total em uma posição do escoamento;

$p [N/m^2]$ - Pressão estática ou manométrica;

$\rho [Kg/m^3]$ - Massa específica da água;

$g [m/s^2]$ - Aceleração da gravidade;

$v [m/s]$ - Velocidade média de escoamento na seção considerada;

$z [m]$ - Altura de posição da seção considerada.

Desta forma, pode-se apresentar a equação da altura de queda líquida em relação a instalação, equação 4.2, e em relação a turbina, equação 4.3, norma CEI 41 (1991).

$$H = H_b - H_{p_{0 \rightarrow 1}} - H_{p_{2 \rightarrow 3}} \quad (4.2)$$

Onde:

$H [m]$ - Altura de queda líquida;

$H_b [m]$ - Altura de queda bruta;

$H_{p_{0 \rightarrow 1}}$ - Altura referente a perda de carga no sistema de adução (de 0 até 1).

$H_{p_{2 \rightarrow 3}}$ - Altura referente a perda de carga no tubo de adução (de 2 à 3).

$$H = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g} + (z - z_3) \quad (4.3)$$

Onde:

$\frac{p_1}{\rho \cdot g} [m]$ - Altura referente a pressão manométrica na entrada da turbina;

$v_1 [m/s]$ - Velocidade média de escoamento na entrada da turbina;

$v_3 [m/s]$ - Velocidade média de escoamento na saída do tubo de sucção;

$z_1 [m]$ - Cota na entrada da turbina em relação a uma referência fixa;

$z_3 [m]$ - Cota no nível de jusante em relação a uma referência fixa.

Para o caso da central estudada, a altura de queda líquida será medida através da equação 4.3. Para isso, há necessidade de instrumentar a entrada e saída da turbina.

A altura geométrica de sucção H_s é definida como sendo do nível do centro do eixo da turbina até o nível de jusante no canal de fuga.

4.2.3 – Roteiro de cálculo

4.2.3.1 – Vazão: Q

Para realizar a medida de vazão foram utilizados dois medidores ultrassom, um da marca ThermoPolysonics, e outro da marca GE. Como para a máquina 1 não existe um trecho reto adequado, optou-se por medir a vazão total do sistema e a vazão da máquina 2, obtendo a vazão da máquina 1 através da diferença dos valores lidos como mostra a Figura 4.3.



Figura 4.3 - Medidas de vazão por ultrassom.

Este tipo de medidor é utilizado na medição de líquidos limpos em tubulações fechadas. A medição de vazão é baseada no tempo de trânsito de pulsos de ultrassom emitidos e recebidos por dois sensores acoplados na parede externa da tubulação. O equipamento deve ser configurado de acordo com o material, espessura e diâmetro da tubulação.

4.2.3.2 – Pressões na entrada e saída da turbina

A Figura 4.4 ilustra a turbina na sua entrada (1) e saída (3), bem como as potências de entrada da turbina (P_h), de saída da turbina (P_e) e de saída do grupo gerador (P_{el})

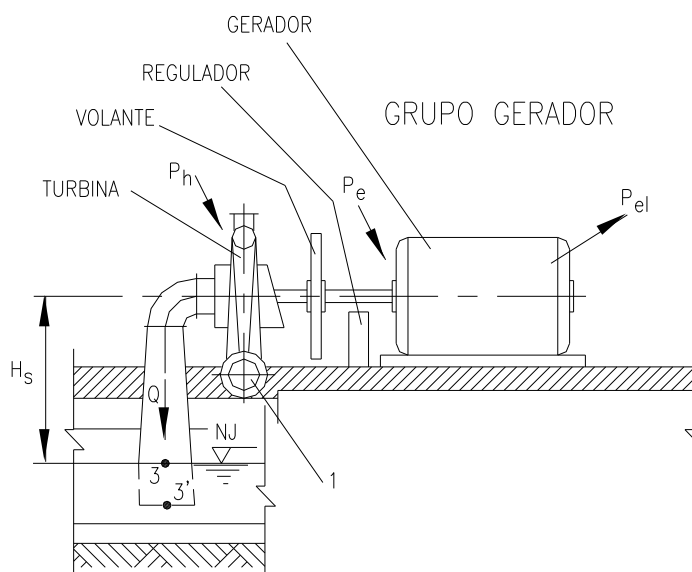


Figura 4.4 – Turbina Francis, posições de medidas.

Foram instalados manômetros de Bourdon e transdutores de pressão na entrada (1) das duas turbinas para realizar as medidas de pressão. Também foram instalados manifolds para proteger o equipamento e também para retirar o ar. Como não foi possível realizar a medida de pressão na saída do tubo de sucção, a pressão de saída foi considerada a mesma do canal de fuga, ou seja, nula, em termos manométricos. A Figura 4.5 ilustra a instalação dos manifolds e transdutor de pressão..

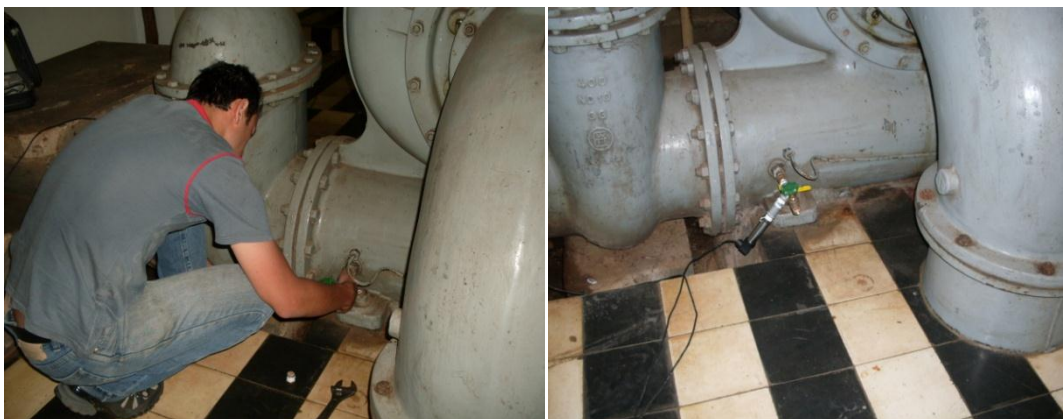


Figura 4.5 – Instalação de medidores de pressão na entrada das Turbinas

A diferença de cota corresponde à diferença entre a tomada de pressão na entrada da turbina e o nível do canal de fuga. Utilizando a estação total referenciou-se a cota do

transdutor de pressão da entrada e do medidor de nível do canal de fuga, determinando a cota da lâmina d'água para cada ponto.

4.2.3.3 – Altura de queda líquida da turbina

Pela equação da continuidade tem-se a equação 4.4 e 4.5.

$$v_1 = \frac{4.Q}{\pi.D_1^2} \quad (4.4)$$

$$v_3 = \frac{4.Q}{\pi.D_3^2} \quad (4.5)$$

Onde:

$v_1 [m/s]$ - velocidade média de escoamento na entrada da turbina;

$v_3 [m/s]$ - velocidade de saída do tubo de sucção;

$D_1 [m]$ - diâmetro interno na entrada da turbina, $D_1 = 0,45[m]$;

$D_3 [m]$ - diâmetro interno na saída do tubo de sucção; $D_3 = 0,66[m]$;

$Q [m^3/s]$ - vazão medida no ultrassom.

Assim substituindo nas equações 4.4 e 4.5, tem-se a equação 4.6.

$$H = \frac{P_1}{\rho.g} + 1,5795.Q^2 + (z_1 - z_3) \quad (4.6)$$

Na equação 4.6, considerou-se a aceleração da gravidade igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.

4.2.3.4 – Potência hidráulica

A potência hidráulica da turbina é determinada pela equação 4.7.

$$P_h = \rho.g.Q.H.10^{-3} \quad (4.7)$$

Onde:

$P_h [kW]$ - potência hidráulica da turbina;

$\rho [kg/m^3]$ - massa específica da água;

$g [m/s^2]$ - aceleração da gravidade;

$H [m]$ - altura da queda líquida;

$Q [m^3/s]$ - vazão.

Considerando a aceleração da gravidade $g = 9,81 \text{ m/s}$ e a massa específica da água $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ tem-se a equação 4.8.

$$P_h = 9,81.Q.H \quad (4.8)$$

4.2.3.5 – Potência elétrica

Para a medida da potência elétrica foi instalado o medidor de grandezas elétricas Yokogawa CW140 no quadro de comando e proteção nos TPs e TCs, como ilustra a Figura 4.6.

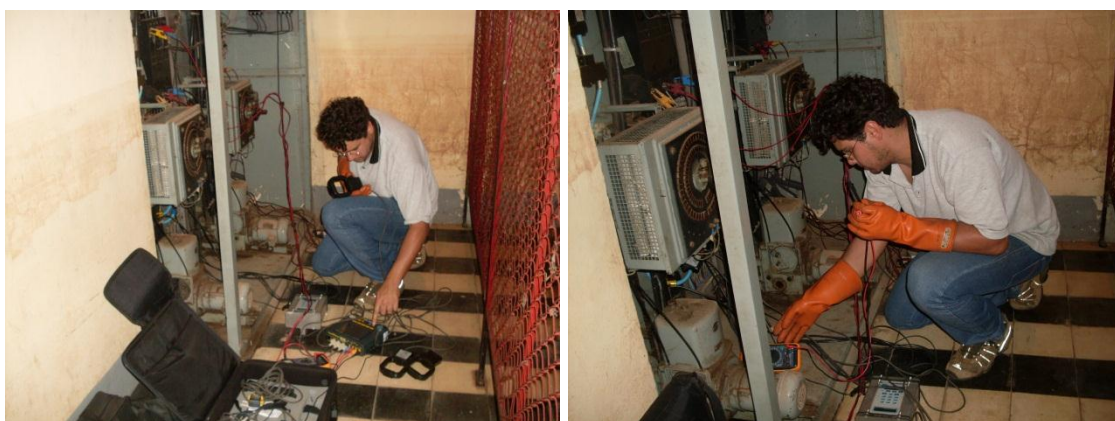


Figura 4.6 - Instalação do medidor de grandezas elétricas

- **Sistemas de aquisição de dados**

O software utilizado foi o LabView e a tela do mesmo está apresentada na Figura 4.7.



Figura 4.7 - Tela do software LabView

As medições realizadas foram na forma analógica em cada medidor e na forma adquirida utilizando um módulo desenvolvido no Laboratório Móvel de hidráulica mostrado nos trabalhos de Viana e Ricardo (2008).

4.2.3.6 – Potência bruta

A potência bruta é determinada pela equação 4.9.

$$P_b = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_b \cdot 10^{-3} = 9,81 \cdot Q \cdot H_b \quad (4.9)$$

Onde:

$P_b [kW]$ - potência bruta da CGH;

$Q [m^3 / s]$ - vazão;

$H_b [m]$ - altura da queda bruta.

4.2.3.7 – Rendimentos

- **Rendimento do sistema de adução**

O rendimento do sistema de adução representa a energia perdida na tomada d'água, no canal de adução, na câmara de carga e conduto forçado.

Utilizando-se a Figura 4.1, pode-se aplicar Bernoulli entre o nível de montante $\mathbf{0'}$ e o nível d'água na câmara de carga $\mathbf{0}$, para a determinação da perda de carga da tomada d'água até a câmara de carga, equação 4.10.

$$H_{P_{0' \rightarrow 0}} = z_{0'} - z_0 \quad (4.10)$$

Onde:

$H_{P_{0' \rightarrow 0}} [m]$ - perda de carga na tomada d'água;

$z_{0'} [m]$ - nível de montante (barragem);

$z_0 [m]$ - nível d'água na câmara de carga.

A perda de carga no conduto forçado está representada na equação 4.11, onde se aplicou Bernoulli entre 0 e 1 (entrada da turbina).

$$H_{P_{0 \rightarrow 1}} = (z_0 - z_1) - \frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_1^4 \cdot g} \quad (4.11)$$

Onde:

$H_{P_{0 \rightarrow 1}} [m]$ - perda de carga no conduto forçado;

$\frac{P_1}{\rho \cdot g} [m]$ - pressão na entrada da turbina (manômetro instalado);

$Q [m^3 / s]$ - vazão (medidor ultrassom);

$D_1 [m]$ - diâmetro da tubulação na entrada da turbina;

$g [m / s^2]$ - aceleração da gravidade.

A perda de carga no sistema de adução está mostrada na equação 4.12.

$$H_{PSA} = H_{P0' \rightarrow 0} + H_{P0 \rightarrow 1} \quad (4.12)$$

O rendimento do sistema de adução pode ser determinado pela equação 4.13.

$$\eta_{SA} = \frac{(z_{0'} - z_1) - H_{PSA}}{(z_{0'} - z_1)} \quad (4.13)$$

Onde:

$\eta_{SA} [1]$ - rendimento do sistema de adução;

$(z_{0'} - z_1) [m]$ - diferença de cotas entre o nível de montante e a entrada da turbina (medido com a estação total);

$H_{PSA} [m]$ - perda de carga no sistema de adução.

O rendimento do grupo gerador (turbina e gerador) está determinado na equação 4.14.

$$\eta_{gg} = \frac{Pel}{P_h} \quad (4.14)$$

Onde:

$\eta_{gg} [1]$ - rendimento do grupo gerador;

$Pel [kW]$ - potência elétrica (medida);

$P_h [kW]$ - potência hidráulica.

O rendimento da turbina pode ser avaliado pelo rendimento do gerador, equação 4.15.

$$\eta_t = \frac{Pel}{\eta_{el} \cdot P_h} \quad (4.15)$$

Onde:

$\eta_t [1]$ - rendimento da turbina;

$\eta_{el} [1]$ - rendimento elétrico ou do gerador.

O rendimento elétrico pode ser estimado para se poder fazer uma avaliação na turbina.

O rendimento da central é determinado pela equação 4.16.

$$\eta_{central} = \frac{P_b}{Pel} = \eta_{SA} \cdot \eta_{gg} \quad (4.16)$$

É importante destacar que com os ensaios de campo serão determinados os parâmetros apresentados neste capítulo.

4.2.4 – Avaliação da altura geométrica de sucção

A CGH Armando Barbosa foi projetada para operar na condição de frequência de 50Hz.

Assim, a partir do final da década de 60, o Brasil passou a operar no sistema interligado na frequência de 60 Hz.

Com a mudança da frequência a rotação do grupo gerador modifica, alterando a rotação específica e consequentemente a altura geométrica de sucção.

Desta forma, a sequência de cálculos apresentada a seguir foi baseada em Souza, Santos e Bortoni (1999).

A sequência de cálculo é:

- **Rotação**

$$n = \frac{60f}{z_p} \quad (4.17)$$

Onde:

$n[rpm]$ - rotação da turbina;

$f[Hz]$ - frequência;

$z_p[1]$ - número de pares de polos do gerador.

- **Rotação específica**

$$nq_A = \frac{10^3 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{(H \cdot g)^{3/4}} \quad (4.18)$$

Onde:

$nq_A[1]$ - rotação específica da turbina;

$n[rps]$ - rotação da turbina;

$Q[m^3 / s]$ - vazão da turbina;

$H[m]$ - altura de queda líquida;

$g[m / s^2]$ - aceleração da gravidade.

- **Coefficiente de cavitação**

Para turbina Francis tem-se:

$$\sigma = 0,025 \cdot (1 + 10^{-4} \cdot nq_A^2) \quad (4.19)$$

Onde:

$\sigma[1]$ - coeficiente de cavitação da turbina (experimental);

$nq_A[1]$ - rotação específica.

- **Altura geométrica de sucção**

$$Hs_{m\acute{a}x} = 10 - 0,00122 \cdot A - \sigma \cdot H \quad (4.20)$$

Onde:

$Hs_{m\acute{a}x}[m]$ - altura geométrica de sucção máxima;

$A[m]$ - altitude no nível da água no canal de fuga;

$\sigma[1]$ - coeficiente de cavitação;

$H[m]$ - altura de queda líquida da turbina.

4.2.5 – Resultados obtidos

4.2.5.1 – Cotas obtidas com a estação total

A tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos utilizando a estação total. Os valores das cotas z estão conforme Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Cotas da Central

z_0 [m]	z_0 [m]	z_1 [m]	z_3 [m]
101,202	100,113	73,725	70,984

4.2.5.2 – Valores lidos e calculados no grupo gerador

Estabeleceu com o operador da central que o ensaio do grupo gerador seria realizado com as máquinas 1 e 2 operando isoladamente e as duas operando conjuntamente. Além disso, a operação se limitaria na condição única de uma abertura das pás do distribuidor da turbina, conforme ilustra Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores lidos

Ensaio	$\frac{p_1}{\rho \cdot g} [m]$	$Q [m^3 / s]$	$Pel [kW]$	$H_b [m]$	$n [rpm]$	$n [rps]$
Máq. 1 isolada	24,29	0,500	77,238	30,218	900	15
Máq. 2 isolada	24,19	0,570	89,358	30,218	900	15
Máq. 1 operando em conjunto com máq.2	25,09	0,410	66,162	30,218	900	15
Máq. 2 operando em Conjunto com máq.1	24,47	0,460	76,544	30,218	900	15

A tabela 4.3 ilustra os resultados dos ensaios nas turbinas.

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios nas turbinas

Ensaio	$H [m]$	$P_h [kW]$	$P_b [kW]$	$H_{p_0 \rightarrow 0} [m]$	$H_{0 \rightarrow 1} [m]$	$H_{p_{SA}} [m]$	$\eta_{SA} [1]$	$\eta_{gg} [1]$	$\eta_{central} [1]$
Máq. 1 isolada	28,90	141,755	148,219	1,089	1,594	2,683	0,902	0,545	0,521
Máq. 2 isolada	28,92	161,712	168,970	1,089	1,543	2,632	0,904	0,553	0,523
Máq. 1 paralelo	29,58	118,956	121,540	1,089	0,959	2,048	0,926	0,556	0,544
Máq. 2 paralelo	29,02	130,975	136,362	1,089	1,492	2,581	0,906	0,584	0,561

As equações 4.17 a 4.20 determinam a altura geométrica de sucção H_s .

Considerando a rotação atual do grupo gerador de 900 rpm a tabela 4.4 ilustra os resultados utilizando os valores lidos calculados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.4 – Resultados da altura geométrica de sucção na rotação de 900 rpm.

$\eta_{qA} [1]$	$\sigma [1]$	$H_{s_{máx}} [m]$
153,5	0,084	6,447
163,8	0,092	6,209
136,6	0,072	6,752
146,8	0,079	6,583

4.2.5.3 – Comentários dos resultados obtidos

A altura de queda bruta durante os testes não variou, pois os níveis de montante e jusante não variaram durante o ensaio. A altura de queda líquida variou de 0,56m no caso da

máquina 1 para a máquina 2, operando em conjunto, o que parece bastante coerente, devido a influência da perda de carga no conduto que alimenta as duas turbinas..

Na operação das duas máquinas isoladas, a máquina 1 opera uma vazão menor que a máquina 2, mostrando que a de menor vazão está em condição pior, mostrada na potência elétrica gerada, ou seja, de 77,238 kW.

Quando na operação em conjunto, ocorre uma queda de vazão e de potência elétrica, se comparada com a operação isolada, que é normal em função do arranjo da central, ou seja, as perdas de carga diferentes é devida a alimentação de cada turbina..

O rendimento do sistema de adução em média ficou com 91%, mostrando que o mesmo encontra-se abaixo dos valores médios de uma central desse porte, que é de 95%, Souza, Santos e Bortoni (1999). Esse valor abaixo é devido a Central, no seu sistema de adução, estar necessitando de uma manutenção.

O rendimento do grupo gerador teve um valor médio de 56% e está muito abaixo dos valores sugeridos por Souza, Santos e Bortoni (1999) que varia de 70% a 98%. Esta questão está ligada a manutenção do grupo gerador (turbina e gerador) e principalmente a mudança de frequência de 50 Hz para 60 Hz no final dos anos 60 ocorrida no Brasil. Haverá maior desgaste mecânico (mancal e vedações) devido ao aumento de rotação.

O intuito da determinação da altura geométrica de sucção para rotação 900 rpm foi verificar se a altura geométrica atual era menor do que a original determinada pela rotação de 750 rpm na frequência de 50 Hz. Pelos resultados na tabela 4.4, a altura geométrica de sucção média foi de 6,5 m. Esse valor comparado a altura geométrica de sucção medida no dia do ensaio foi de $H_s = 3,731m$. Portanto o valor H_s utilizado na central é bem menor que o valor calculado para 900 rpm, que foi de $H_{s_{máx}} = 6,5m$. Assim sendo, a turbina não tem esse desgaste, ou seja, por cavitação.

5 ESTUDOS DO POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DO RIO MUZAMBINHO NA SEÇÃO DA CGH ARMANDO BARBOSA

5.1 Estudos Hidrológicos

Ao se levantar a hipótese de implantação de uma usina hidrelétrica é necessária a realização de estudos básicos, com intuito de definir a capacidade a ser instalada, a energia a ser produzida e os demais custos. Assim, os estudos hidrológicos são fundamentais, pois estes revelarão qual a vazão disponível e a potência a ser aproveitada, uma vez que permitem estimar o comportamento característico do curso d'água em questão.

No caso da CGH Armando Barbosa, este estudo permitirá avaliar se está aproveitando-se a vazão realmente é disponível, em consequência desta, a potência disponível. O levantamento hidrológico foi realizado no trabalho de Cintra (2011).

5.1.1 Determinação da área de drenagem do aproveitamento

Foi realizada uma busca de série histórica de vazões do rio Muzambinho no site da Hidroweb (ANA), sendo encontrada uma estação na minicentral, no entanto já desativada. Contudo a ANA mantém os dados referentes a área de contribuição, que neste caso é de 32 km².

5.1.2 Obtenção da série histórica de vazão

Uma série histórica de vazões, juntamente com estudos da topografia local, são as ferramentas para determinar o potencial para a instalação de um aproveitamento hidrelétrico e, posteriormente, dimensionar os componentes e estruturas do mesmo.

Ao se utilizar uma série histórica de vazões, segundo Centrais Elétricas Brasileiras ELETROBRAS (2003) é necessário que esta seja grande o suficiente, com no mínimo 25 anos de dados, para representar fielmente o regime hidrológico do rio, e assim obter resultados confiáveis no projeto.

Neste trabalho utilizou-se da série histórica de vazões obtida no servidor Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) para a cidade de Guaxupé, pois a Central que havia na usina e era operada pela ANA, foi desativada, fornecendo dados para a minicentral no período de 01/06/1948 a 01/05/1952, realizando, então a transposição de vazões do posto com séries disponíveis para o local desejado, estabelecendo para o local do aproveitamento uma série de vazões médias mensais listadas com uma série histórica de um posto localizado no mesmo rio ou na mesma bacia. Para isto utiliza-se da relação direta entre áreas de

drenagem, através do conceito de vazões específicas, que corresponde à vazão média de longo termo dividida pela área de drenagem no ponto do rio considerado, dado pela equação 5.1.

$$Q_1 = \frac{Ad_1}{Ad_2} \cdot Q_s \quad (5.1)$$

Onde:

$Ad_1 [km^2]$ - área de drenagem do local de estudo;

$Ad_2 [km^2]$ - área de drenagem da estação semelhante;

$Q_1 [m^3 / s]$ - vazão no local de estudo;

$Q_2 [m^3 / s]$ - vazão na estação semelhante.

- Ao se escolher a estação alguns requisitos foram observados, segundo o proposto por Ricardo (2005), que são:
- Área de drenagem com dimensões semelhantes; com diferença sempre inferior a 5 vezes
- Possuir série longa e com poucas falhas;
- Proximidade geográfica, estando as estações preferencialmente localizadas no mesmo rio, quando não, na mesma bacia;
- Características topográficas, geológicas e de ocupação semelhantes, bem como regime pluviométrico parecido, requisitos geralmente garantidos pelo item anterior (proximidade geográfica).

Assim, para os aspectos citados acima, das estações próximas ao município de Muzambinho, selecionou-se a estação de Guaxupé, (número 61815000), pois:

- A diferença entre as áreas de drenagem é inferior a 5 vezes:
 - Área de drenagem do aproveitamento: 32 km²
 - Área de drenagem da estação Guaxupé: 76 km²
- A estação está a aproximadamente 30 km do aproveitamento;
- Apresenta série longa o suficiente (40 anos) e com poucas falhas;
- Estão localizadas na mesma bacia Hidrográfica (Rio Paraná) e na mesma sub-bacia (sub-bacia do Rio Grande);

O método de transposição direta de vazões tem por base a proposição de se terem vazões específicas iguais em bacias próximas e com mesmo comportamento hidrológico.

Sendo a área da estação de Guaxupé de 76,0 km² e a do aproveitamento de 32 km², obtém-se um fator de transposição de 0,421. Portanto a série histórica de vazões da estação de Guaxupé foi multiplicada pelo fator de transposição calculado, tendo-se uma série histórica de vazões médias mensais transpostas para o aproveitamento, com histórico de 40 anos (1966 a 2006). A série transposta para o aproveitamento encontra-se no ANEXO B.

5.1.3 Curva de Permanência de Vazões (CPV)

Para avaliar as condições para exploração do aproveitamento hidrelétrico, faz-se necessário o estudo de algumas condicionantes, como a vazão. Para tanto, utiliza-se de uma ferramenta para melhor interpretação desta, a curva de permanência de vazões, que segundo Tiago Filho (2008) é um gráfico de frequências percentuais acumuladas, que representa de forma simples todos os dados históricos de vazão de um determinado local. Utiliza-se para o traçado da CPV os dados médios mensais, sendo os cálculos da CPV fundamentados nos passos citados a seguir:

- Organização das vazões em ordem crescente;
- Cálculo do número de classes (N) pela equação 5.2.

$$N = 1 + 3,3 \cdot \ln(N_D) \quad (5,2)$$

Onde:

N - número de classes (deve ser arredondado para cima);

N_D - quantidade total de dados de vazões disponíveis.

- Cálculo da amplitude das vazões, a partir da vazão máxima e da vazão mínima entre as vazões médias mensais, pela equação 5.3.

$$A = \frac{Q_{máx} - Q_{mín}}{N - 1} \quad (5,3)$$

Onde:

$A [m^3 / s]$ - amplitude;

$Q_{máx} [m^3 / s]$ - vazão máxima entre as vazões médias mensais;

$Q_{mín} [m^3 / s]$ - vazão mínima entre as vazões médias mensais.

- Cálculo da frequência simples (F), pela equação 5.4.

$$F = \frac{N_0}{N_D} \quad (5,4)$$

Onde:

N_0 - quantidade de dados compreendidos entre as vazões, máxima e mínima de cada classe;

N_D - quantidade total de dados de vazões disponíveis.

Para realizar o cálculo para traçado da CPV utilizou-se da função “percentil”, do aplicativo Microsoft Excel. A CPV da série histórica de vazões para a minicentral Armando Barbosa é apresentada a seguir na Figura 5.1.

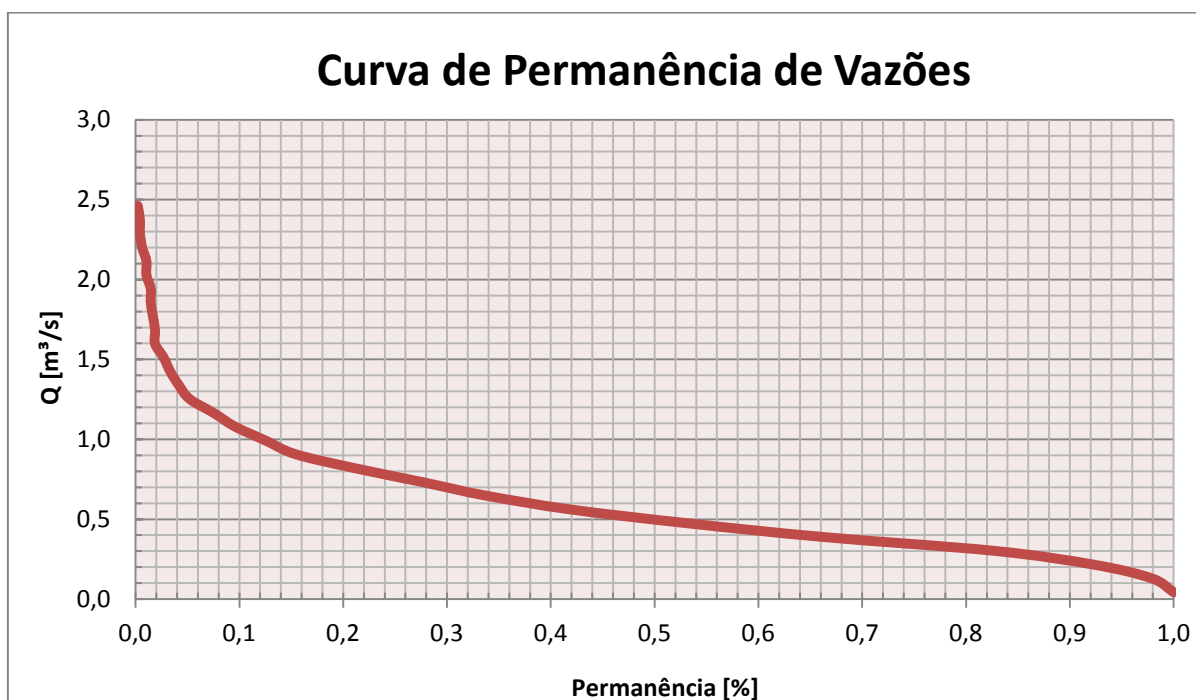


Figura 5.1- Curva de Permanência de Vazões

Obtêm-se alguns valores característicos de vazão através da CPV, sendo estes, aproximadamente:

$$Q_{50\%} = 0,50[m^3 / s]$$

$$Q_{95\%} = 0,25[m^3 / s]$$

5.1.4 Curva de Permanência de Potência (CPP)

A potência instalada de uma central hidrelétrica é dada pela equação 5.5.

$$P_{inst} = \rho \cdot g \cdot Q_{proj} \cdot H_b \cdot \eta_t \cdot \eta_G \cdot \eta_{SA} \quad (5.4)$$

Onde:

$\rho[kg / m^3]$ - massa específica da água (adotada em $10^3 kg/m^3$)

$g[m / s^2]$ - aceleração da gravidade (adotada em $9,81m/s^2$);

$H_b[m]$ - altura de queda bruta;

η_t [%] - rendimento da turbina;

η_G [%] - rendimento do gerador;

η_{SA} [%] - rendimento do sistema de adução.

Para analisar a potência disponível para o empreendimento utilizou-se de valores teóricos, e não dos que o grupo gerador apresentou nos ensaios realizados em campo, com a justificativa de avaliar o potencial do aproveitamento, não o relacionando com as máquinas já instaladas. Para escolha dos valores de rendimentos utilizou-se a Tabela 5.1, demonstrativa dos valores de rendimento da turbina e gerador segundo a potência da central, e a Tabela 5.2, referente a valores de rendimento do sistema de adução segundo o comprimento:

Tabela 5.1 – Valores de rendimento da turbina e gerador para cada potência da central

Potência da central [kW]	η da turbina [%]	η do gerador [%]
Até 10	70 a 80	90
10 a 50	80 a 83	90
50 a 100	83 a 86	92
100 a 500	86 a 88	92
500 a 1000	88 a 92	94

Fonte: TIAGO FILHO *et al*, 2008

Tabela 5.2 – Valores de Rendimento do sistema de adução segundo o comprimento

Comprimento do sistema de adução [m]	Rendimento percentual [%]
$L < 80$	99
$80 < L < 320$	98
$L > 320$	97

Fonte: TIAGO FILHO *et al*, 2008

Considerando que a minicentral Armando Barbosa terá potência inferior a 200 kW e comprimento do sistema de adução próximo de 150m, adotam-se os valores para os rendimentos, retirados das Tabelas 5.1 e 5.2, $\eta_G = 92\%$, $\eta_t = 86\%$ e $\eta_{SA} = 98\%$.

Com a equação 5.4, utilizando os valores adotados dos rendimentos e a altura de queda bruta determinada nos estudos topográficos de $H_b = 30,218m$ e das vazões retiradas da Figura 5.1, tem-se a curva de permanência da potência, Figura 5.2.

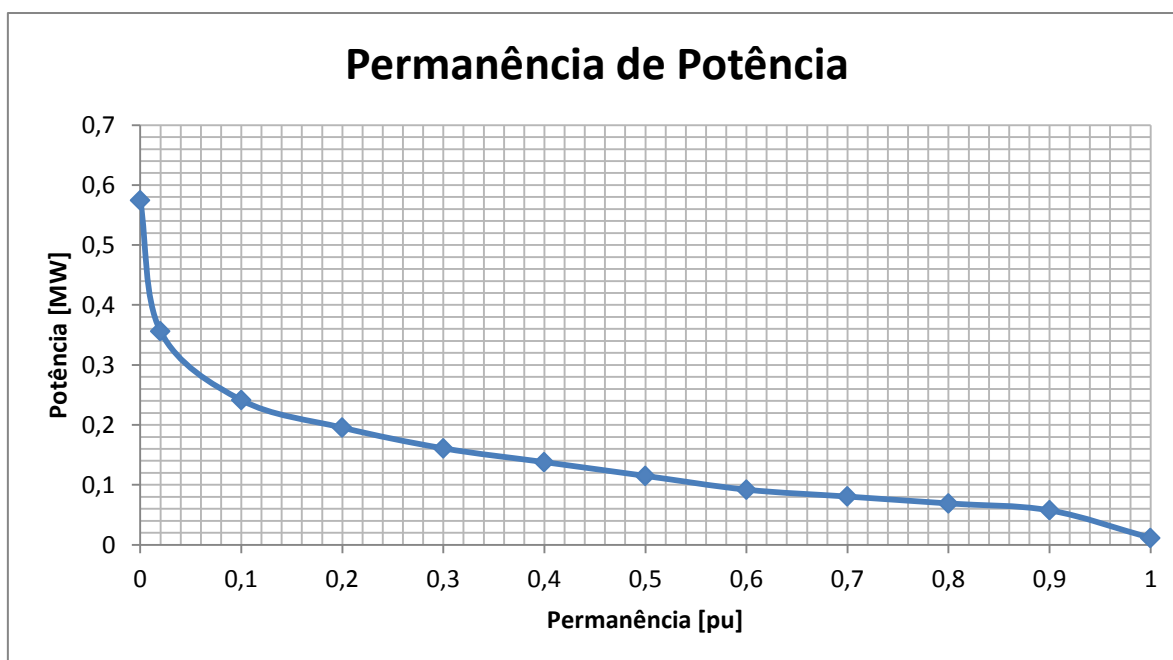


Figura 5.2- Curva de Permanência de Potência

Buscando-se determinar a potência instalada ótima, utilizou-se do método da curva de energia, sugerido por Souza (2009), que trata-se de um gráfico da potência Instalada [MW] *versus* Energia média Gerada [MWmédio h/h]. Assim, a partir desta curva, calcula-se o ponto de máximo benefício que é dado pela intercessão da curva Potência instalada = Energia média e da assíntota da curva de energia, que fornecerá o valor ótimo.

Segundo Tiago Filho (2008) a curva de energia é obtida através do cálculo da área compreendida entre a cada potência instalada simulada, a CPP e o eixo das abscissas (no caso, duração).

Para a Central em estudo obteve-se a curva da Figura 5.3 e a potência instalada ótima no valor de $P_{inst} = 140[kW]$.

A vazão ótima é determinada da seguinte forma:

$$Q_o = \frac{P_{inst}}{g \cdot H_b \cdot \eta_t \cdot \eta_{gg} \cdot \eta_{SA}} \quad (5.5)$$

$$Q_o = \frac{140}{9,81 \cdot 30,218 \cdot 0,86 \cdot 0,92 \cdot 0,98} = 0,609 m^3 / s$$

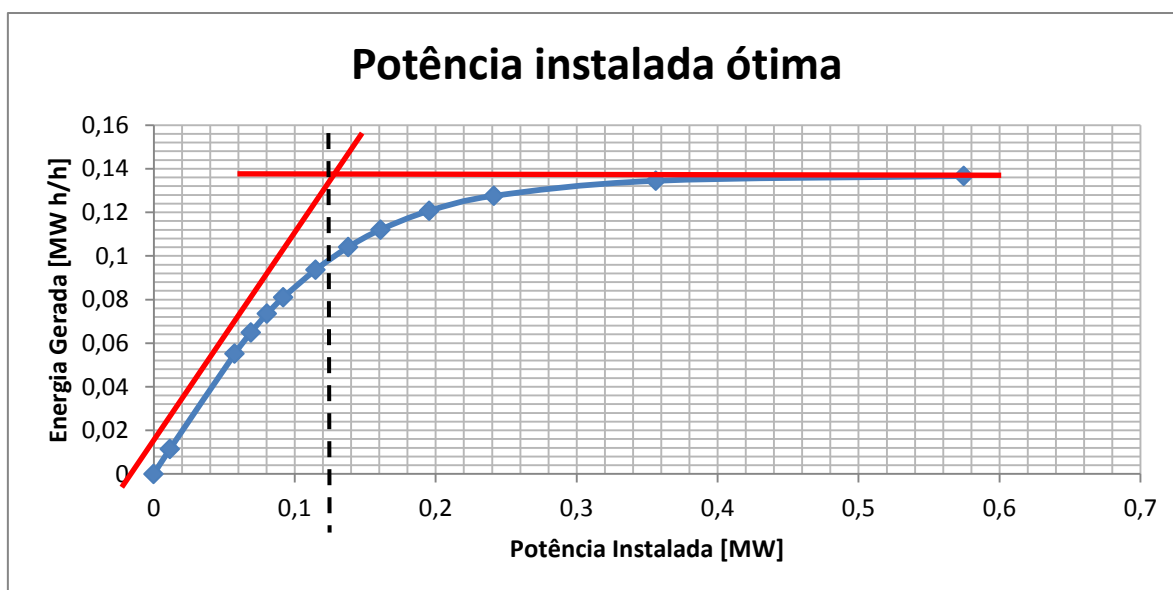


Figura 5.3 – Potência instalada ótima

5.2 Análise dos resultados do estudo hidrológico

A partir da curva da energia, figura 5.3, obteve-se o valor de uma Potência instalada $P_{inst} = 0,18MW$

E, por conseguinte a Energia média é $E_{méd} = 0,165MWh$.

Tabela 5.3 – Comparação dos resultados

Estudos hidrológicos		Ensaio		Placa
$Q_o [m^3 / s]$	$P_{inst} [kW]$	$Q [m^3 / s]$	$P_{inst} [kW]$	$P_{inst} [kW]$
0,609	140	0,870	142,706	360

A Tabela 5.3 apresenta uma comparação da vazão e potência instalada obtida no estudo hidrológico com a vazão e potência instalada nas duas máquinas operando em conjunto, medidas no dia 27/10/2010, além da potência instalada obtida da placa de cada gerador, ou seja, de 180 kW.

A potência instalada ótima obtida de 140 kW, ficou bem próxima da potência instalada medida de 142,706 kW, porém a vazão ótima de 0,609 m³/s ficou abaixo da vazão obtida no ensaio, de 0,870 m³/s.

Atualmente a central, que possui duas máquinas instaladas com potência de 360 kW, opera apenas com 142,706 kW. Isso mostra que houve uma redução da vazão do Rio Muzambinho que alimenta a Central. Não podendo mais atingir o valor próximo da potência das duas máquinas.

Houve também uma queda de rendimento da Central, que acarretou uma geração bem menor que a instalada.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Os estudos apresentados neste trabalho mostram que a CGH Armando Barbosa opera muito aquém da potência instalada de 360 kW nos dois grupos geradores.

Isso ocorreu devido uma queda de rendimento na Central, que envolve os rendimentos do sistema de adução, grupo gerador (turbina e gerador). No caso do rendimento do sistema de adução existem vazamentos no canal, na câmara de carga e conduto forçado, além de possíveis incrustações na tubulação, provocando aumento das perdas de carga.

No caso do grupo gerador constata-se que houve queda de rendimento provocada pela mudança da rotação original de 750 rpm, para 900 rpm, devido a frequência no Brasil ter sido mudada, no início dos anos 60, de 50 Hz para 60 Hz. O aumento da rotação provoca desgastes nos mancais, nas vedações da turbina, além de vibrações, e aquecimento nos mancais do grupo gerador.

O estudo hidrológico e as vazões medidas durante os ensaios mostram que houve redução na vazão de engolimento das turbinas, mostrando que essa Central não deve ser repotenciada. Houve, portanto, uma redução na potência gerada em relação a potência original instalada.

Mesmo com a condição atual de operação os estudos obtidos na aquisição de dados da geração mostram que a escola tem um benefício de R\$ 22.098,00 por ano, quando se utiliza os funcionários do quadro permanente e se houvesse a contratação de serviços de terceiros, haveria um benefício de R\$ 137.411,00 por ano.

Como conclusão final, a CGH Armando Barbosa pode obter uma geração melhor se realizar uma manutenção na tomada d'água, no canal de adução, câmara de carga e conduto forçado. Também deverá ser realizada uma modernização no grupo gerador, máquinas projetadas com a nova rotação, portanto, rendimentos maiores. No caso do quadro de comando e proteção deverá ser modernizado, com a automação de todo o controle, onde a central poderá ser desassistida.

6.2 Recomendações

As recomendações são:

- Realizar um estudo de recuperação na estrutura da central;

- Realizar um estudo de modernização no grupo gerador, automatizando a mesma, e levantando dados de custo/benefício com essa etapa;
- Deverá ser realizado um estudo no sistema de interligação com a concessionária conforme a Resolução Normativa da ANEEL nº 493, de 05 de junho de 2012, que estabelece os procedimentos de troca de energia entre cliente e concessionária.
- Estudos de alternativas para melhoria das disponibilidades hídricas da bacia do rio Muzambinho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, **Resolução n° 343**, Brasília, DF, BR, 09/12/2008.

ANEEL, **Resolução n° 493**, Brasília, DF, BR, 05/06/2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 228 – Turbinas Hidráulicas, ensaios de campo**, RJ, BR, 1990.

BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO (BIG). **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acessado em 10/03/2011.

BERMANN C., ROCHA G.S. e VEIGA J.R.C.. **A Repotenciação de Usinas Hidrelétricas como Alternativa para o Aumento da Oferta de Energia no Brasil com Proteção Ambiental**. WWF Brasil. São Paulo/SP, 2004.

BORTONI, E.C., SOUZA, Z; SANTOS, A. H. M., **Centrais Hidrelétricas – Estudos para Implantação**, ELETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ, BR, 1999.

CEI 41, **Norme Internationale**, Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes, em vue de la détermination de leurs performances hydrauliques, troisième édition, third edition 1991-11.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRÁS) – disponível em www.eletrobras.gov.br. Acessado em 12/03/2011.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS (CERPCH) – disponível em www.cerpch.gov.br. Acessado em 18/03/2011.

CINTRA, S. D., **Estudo de Mini Central Hidrelétrica: Caso Armando Barbosa**. Trabalho Final de Graduação da Engenharia Hídrica. Instituto de Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, BR, 2011.

ELETROBRÁS, CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Rio de Janeiro, RJ). Grupo de trabalho de revisão do Manual de pequenas Centrais Hidrelétricas. **Diretrizes para estudos**

e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas: catálogo. Centro de memória da Eletricidade no Brasil - Memória da Eletricidade (Rio de Janeiro), Janeiro 2003. 458p.

FERRARI, J. T., **Análise do Panorama regulatório nacional visando a inserção das mini e micro centrais hidrelétricas no mercado de energia.** Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia de Energia – UNIFEI. Itajubá, MG, BR, 2006.

IBGE cidades – disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em 15/08/2011.

JUSTINO, L., **Estudos de procedimentos de ensaios de campo em turbinas hidráulicas para PCH.** Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia de Energia – UNIFEI. Itajubá, MG, BR, 2006.

PINTO, L. L. **Determinação dos critérios indicativos para análise da viabilidade de serviços de modernização de grupos geradores de Centrais Hidrelétricas.** 2009. 153f. Tese (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, **Lei nº 11.892**, Brasília, DF, BR, 29/12/2008.

RICARDO, M. e VIANA A. N. C., **Análise e aplicação de perfilhadores acústicos doppler para medição de vazão em centrais hidrelétricas**, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, Z., SANTOS, A. H. M. e BORTONI, E. C., **Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento**, Editora Interciências, 2ª ed., 484 p., Brasil, Rio de Janeiro/RJ, 2009.

TIAGO FILHO, G. L... [et al]. **Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos Soluções Energéticas para a Amazônia.** Brasília : Ministério de Minas e Energia, 2008. 216p.

VILANOVA, M. R. N. **Estudos para o projeto de reabilitação da PCH REPI.** Projeto final de graduação. Itajubá, 2005.

ANEXO A

DOCUMENTOS LEVANTADOS NO IFSULDEMINAS - CAMPUS MUZAMBINHO

Ato legal de criação

A Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho foi criada de acordo com o § 3º do Art. 18 da Constituição Federal de 1946, as disposições do Decreto-lei nº 9.613, de 20.08.46 e os artigos 2º e 4º do Decreto Federal nº 22.470, de 20.01.47 : Termo de acordo celebrado entre os governos da União e o Estado de Minas Gerais, em 22.10.48, publicado no D.O.U. de 23.10.48, Decreto nº 28.665, de 21.09.50, publicado no D.O.U. de 23.09.50, que autorizou a aceitação do terreno da parte do Governo Federal para a construção da Escola, o qual foi registrado no Serviço de Patrimônio da União, em Belo Horizonte, conforme Processo nº 36.218/49-MG-49.

Pelo Decreto nº 53.558, de 23.02.64, passou a denominar-se Colégio Agrícola de Muzambinho e pelo Decreto nº 60.731, de 19.05.67, publicado no D.O.U. de 22.05.67, foi transferido do Ministério da Agricultura para o Ministério da Educação e Cultura.

Conforme o Art. 4º do Decreto nº 72.434, de 09.07.73, passou a integrar a rede federal de ensino do 2º grau subordinado à Coordenação Nacional do Ensino Agropecuário-COAGRI, do Ministério da Educação e Cultura, sediada em Brasília, Distrito Federal.

Pelo Decreto nº 83.935, de 04.09.79, passou a denominar-se Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho-MG, onde hoje é ministrado o Curso Técnico em Agropecuária. *e o Curso Técnico em Indústrias Rurais*

Através da Portaria nº 072, de 29.08.80, publicada no D.O.U. de 10.09.80, foi dada a regularidade de estudos levados a efeito nesta Escola.

Esta Escola foi transformada em Autarquia pela Lei nº 8.731, de 16.11.93, D.O.U. de 17.11.93.

Com 22/11/53 - inauguração da Escola.

(Aniversário conta a partir desta data)

Dados resumidos passados ao Arquivo/ME em 02/08/96 OF/EA/PM/DA/Nº 57/96

fundadores:

- ① Sr. Lacyrugo Leite Filho - Insp. Geral
- ② Sr. Herculio Walter Garcia - Executor do Acordo
- e 1º Diretor.

HISTÓRICO

DA

ESCOLA

AGROTÉCNICA

FEDERAL

DE

M U Z A M B I N H O = M G =

Procurou-se dar um registro resumido dos principais fatos, a fim de que, após o passar dos anos, as gerações futuras tomem conhecimento da maneira como foi construído este Colégio.

1 9 4 8 -

OUTUBRO - a cidade recebe com satisfação a notícia da criação da ESCOLA AGROTÉCNICA, trabalho do então Deputado Federal Dr. Lycurgo Leite Filho.

ATO LEGAL DE CRIAÇÃO - § 3º do art. 18 da Constituição Federal de 1946, as disposições do Decreto - Lei nº 9.613, de 20-08-1946 e os artigos 2º e 4º do Decreto Federal nº 22.470, de 20-01-47.

Devo esclarecer que não existe nenhum ato específico criando a Escola Agrotécnica de Muzambinho e sim ela é fruto das disposições acima descritas e do trabalho do citado Deputado que, após as demarches levadas a efeito, no dia 22-10-1948, na cidade do Rio de Janeiro, então Capital da República, assinava, juntamente com o Exmo. Sr. Dr. Daniel Serapião de Carvalho, Ministro da Agricultura, o 1º Termo de "ACORDO" celebrado entre os Governos da União e do Estado de Minas Gerais, com a validade de um ano, para instalação no município de Muzambinho, de uma Escola

- 2 -

DEZEMBRO - No dia 31 de Dezembro de mil novecentos e quarenta e oito, foi a Administração da cidade e o próprio povo surpreendido com a chegada, inesperada, de um funcionário do Ministério da Agricultura, credenciado a receber a gleba de terra que seria doada pela Prefeitura, conforme estipulava a Cláusula Primeira do "ACORDO" em questão. Este funcionário, Dr. Hercílio Vater Faria, Engenheiro Agrônomo, exibiu a Portaria da SEAV que o autorizava a receber as terras e comunicava ao Prefeito, Sr. Messias Gomes de Melo, que a doação deveria ser efetivada, impreterivelmente, naquele dia, isto é, 31-12-48, caso contrário, o município perderia o direito da instalação da Escola.

Desnecessário dizer que na época as facções políticas se digladiavam e as paixões pela posse do poder tumultuavam todos os acontecimentos então verificados. No presente caso, os proprietários das terras, já anteriormente escolhidas por uma Comissão composta dos Agrônomos Luiz Mendes de Carvalho, Bolivar Miranda Lima e o médico Dr. Americano Dalto de Almeida, coagidos pelos adversários do Dr. Lycurgo, tudo fizeram para impedir a realização do negócio.

Após uma série de reuniões, marchas e contra-marchas, inclusive com a ameaça da Prefeitura de desapropriar os terrenos, os proprietários resolveram ceder, tendo o Banco Nacional de Minas Gerais S.A., pelo seu Gerente Sr. Pedro Primeiro Gouveia do Prado, se prontificado a pagar a importância em dinheiro, na boca do cofre, conforme exigência dos respectivos donos, tendo um grupo de cidadãos do município endoçado um título emitido pela Prefeitura Municipal, no valor de Cr\$ 720.000,00 (setecentos e vinte contos de reis), antigos. Naquela mesma noite de 31 de Dezembro a Câmara Municipal de Vereadores, em sessão extraordinária, se reunia para votar a Lei que autorizava a Prefeitura a doar ao Governo da União a gleba de terra demarcada pela Comissão.

1949 -

JANEIRO - A Prefeitura Municipal de Mazambinho, por procuração, outorgava poderes ao Dr. Manoel Taveira de Souza, Deputado Estadual, para,

- 3 -

O Dr. Hercílio Vater Faria toma as primeiras providências para os trabalhos de instalação do canteiro de obras. Arregimenta pessoal; entra em contato com firmas fornecedoras de materiais, olarias, cerâmicas, fábricas, etc. pois as verbas iniciais, referentes ao exercício de 1948, de Cr\$ 1.800.000,00 e Cr\$ 1.200.000,00, estando incluídas nestas importâncias a parte da cota estadual, de Cr\$ 600.000,00 e Cr\$ 300.000,00, que correspondiam as dotações para instalação da Escola Agrotécnica de Muzambinho e para instalação da Escola de Iniciação Agrícola de Machado, deveriam ser aplicadas integralmente em materiais, máquinas, aparelhos e veículos pelo Executor do "ACORDO" credenciado, Dr. Hercílio Vater Faria.

MAIO -

Novo Termo de "ACORDO" é assinado, tendo em vista o elaborado em 1948 ter validade apenas para um ano.

Como a aquisição de materiais já vinha sendo efetivada e o preparo e limpeza do terreno onde situariam os pavilhões também estava em adiantada fase de preparação, montou-se: um barracão de madeira, onde funcionaria escritórios, almoxarifado e oficinas de carpintaria; uma casa de alvenaria, provisória, para oficina de serraria e para abrigar um gerador a óleo diesel, para fornecimento de energia elétrica; como medida preliminar e considerada a de maior importância, foi atacada a construção da casa da bomba d'água, com a respectiva captação, distante do local das futuras obras 900 metros e com um desnível de 90 metros.

Já com as plantas fornecidas pela Divisão de Obras do Ministério da Agricultura, pessoal e material disponíveis a primeiro de Julho de 1949, iniciou-se oficialmente a construção da Escola Agrotécnica de Muzambinho.

1950 -

JANEIRO - O ritmo das obras era extraordinário. O Executor do "ACORDO", Dr. Hercílio Vater Faria, com dinamismo e amor à "sua Escola", imprimira um sistema de trabalho, concorrendo para que todos os serviços, dia a dia, progredissem conforme os cronogramas estabelecidos.

Pelo Decreto nº 28.665, de 21-09-50, o Governo da União aceita a doação do imóvel, conforme as Leis Municipais nºs. 37, 38 e 39.

* Deve-se destacar as dificuldades em receber as dotações previstas, principalmente as cotas que cabiam ao Estado de Minas Gerais, o que motivou, em Outubro de 1950, a paralisação total das obras, pois não existia numerário para pagamento de pessoal já em atraso, além dos compromissos com fornecedores.

A coincidência da paralisação das obras com as eleições presidenciais, que seriam realizadas naquele final de ano, não deixou de trazer desagradáveis consequências. Foi o Executor do "ACORDO" convocado ao Rio de Janeiro, lá permanecendo até a realização das eleições.

1951 -

Em janeiro, normalizada a vida do País, e parte das verbas liberadas, reiniciou-se as obras, obedecendo o ritmo anterior.

1952 -DEZEMBRO -

Como existia excelente queda d'água dentro dos terrenos da Escola, o Dr. Lycurgo Leite Filho conseguiu do Ministério da Agricultura verba suplementar para a construção de uma usina hidrelétrica.

Após o levantamento da bacia hidrográfica e dos estudos concernentes ao assunto, constituiu-se a Comissão, processou-se a Concorrência Pública, cabendo à firma SIEMENS SCHUCKERT S.A. o fornecimento das turbinas que, complementando os trabalhos técnicos, foi todo o material fabricado na Alemanha, especialmente para a finalidade indicada.

Até o final do ano de 1952, já antevendo o início das atividades escolares para 1953, imprimiu-se um trabalho mais acelerado tanto nas obras da Escola como as da Usina Elétrica.

1 9 5 3 -

FEVEREIRO - Na 1ª quinzena foi feita a inscrição para os exames vestibulares à 1ª série do Curso de Iniciação Agrícola, comparecendo 453 candidatos e classificados 146, com o início das aulas previsto para princípios do mês de Março.

Na 2ª quinzena deste mês, recebeu a Escola a visita do Exmo Sr. Dr. João Cleophas, Ministro da Agricultura que, juntamente com o Deputado Lycurgo Leite Filho e Membros do Gabinete Ministerial, realizaram uma inspeção visando promover a vinda do Exmo Sr. Presidente da República, para inauguração oficial do Estabelecimento.

MARÇO - Início das aulas e início das atividades escolares, com a Direção do Estabelecimento ainda concluindo algumas obras, que prosseguiam, inclusive as da usina hidrelétrica.

NOVEMBRO - A 22, recebia a Escola a visita do Exmo Sr. Presidente da República, Dr. Getúlio Dornelles Vargas, Governador do Estado de Minas Gerais, Dr. Jucelino Kubstcheck de Oliveira, Dr. João Cleophas, Ministro da Agricultura, Dr. Tancredo Neves, Ministro da Justiça, Senador Assis Chateaubriand, Deputado Lycurgo Leite Filho, Dr. Renato Costa Lima, Representando o Governo do Estado de São Paulo, Oficiais de Gabinete da Presidência da República, Ajudante de Ordens, Parlamentares, Prefeitos, Vereadores e Autoridades e Povo de toda a região sul mineira. Para efeito de registro, também foram hospedes da Escola a Guarda Pessoal do Sr. Presidente da República, comandada pelo "Tenente Gregório Fortuna to". O Presidente e Comitativa pernçitaram na Escola, dela levando as melhores das impressões.

- 6 -

Dado ao sistema como foi criada a Escola, a -
través de um "ACORDO", não havendo, especificamente, nenhum ato de
reconhecimento ou autorização, simplesmente a Direção, sentindo -
que os pavilhões já concluídos e grande parte do equipamento adquiri-
do, davam condições para que se matriculasse uma turma e, natu-
ralmente, oávida a SEAV, isto foi feito sem qualquer delonga.

1 9 5 4 -

AGOSTO - A Escola que, desde 1949, vinha sendo suprida
de energia elétrica por um gerador a óleo -
diesel, cuja máquina prestou relevantes servi-
ços no período das construções, colocou em -
funcionamento sua usina hidrelétrica, maquiná-
ria adquirida em 1952 e construção da barra -
gem, castelo das comportas, canal, tubulação,
casa das máquinas e canal de sucção, tudo fei-
to por administração e sob a supervisão do -
construtor Sr. Francisco Leonardo Cerávolo, -
obra a que se deu grande empenho, com sua rea-
lização conseguida com enormes sacrifícios, -
pelas dificuldades naturais da época e com -
verbas exíguas. Entretanto, apesar de todas-
as lutas, vem ela prestando inestimáveis ser-
viços e com um equipamento, nos dias atuais, -
caríssimo, pelas condições difíceis de importa-
ção de materiais dessa natureza.

1 9 5 6 -

MAIO - Em virtude das modificações na alta adminis-
tração do país, assumiu a Direção da Escola o
Dr. Marcelo Diógenes Maia, de acordo com a -
Portaria Ministerial nº 434, de 20-04-56, que
substituiu o Dr. Hercílio Vater Faria, execu-
tor do "ACORDO" e Diretor da Escola Agrotécni-
ca de Muzambinho, sendo ele o seu construtor.

1 9 5 7 -FEVEREIRO -

Exame vestibular para a 1ª série do Curso Téc-
nico Agrícola.

- 7 -

OUTUBRO - Pela Portaria Ministerial nº 260, de 11-10-57, assumiu a Direção da Escola, o Dr. Paulo de Azevedo Berutti, em substituição ao Dr. Marcelo Diógenes Maia, que foi designado para dirigir a Escola de Iniciação Agrícola de Machado.

1958 -

DEZEMBRO - O Diretor da Escola, por razões até hoje ignoradas, suprimiu o Curso Técnico Agrícola, colocando, na época, 57 alunos em sérias dificuldades e eles, com esforços próprios conseguiram, alguns, a se matricular em Barbacena, Pinheiral e Santa Tereza.

1961 -

AGOSTO - Assume a Direção da Escola o Dr. Darcy Rodrigues da Silva, que substituiu o Dr. Paulo de Azevedo Berutti.

1964 -FEVEREIRO -

Voltou a funcionar o Curso Colegial Agrícola (Técnico Agrícola), com 42 alunos na 1ª série.

Pelo Decreto nº 53.558, de 14-02-64, a Escola passou a denominar-se "COLÉGIO AGRÍCOLA DE MUZAMBINHO".

Em virtude do Estado de Minas Gerais deixar de depositar suas cotas conforme a Cláusula Nonã do respectivo Termo de "ACORDO", foi o mesmo rescindido, por inadimplimento.

1966 -

DEZEMBRO - Formatura da 1ª Turma de Técnicos Agrícolas em número de 40.

1967 -

ABRIL - Assume a Direção do Colégio o Professor José Rossi que substitui o Dr. Darcy Rodrigues da Silva.

MAIO - Pelo Decreto nº 60.731, de 19-05-67, o Colégio é transferido do Ministério da Agricultura para o Ministério da Educação e Cultura, com todo o seu pessoal e material.

1969 -

DEZEMBRO -

Extinção do Curso Ginásial, passando a funcionar somente o Colegial Agrícola.

1976 -

Preparação para os trabalhos de ampliação do Colégio.

Formatura da 1ª Turma de Técnicos em Agropecuária.

1977 -

Início das obras de ampliação do Colégio, tendo como 1ª etapa:- construção de um pavilhão para administração, reforma de dois alojamentos, e construção de um reservatório para 30.000 litros d'água, conforme Projeto/Atividade 1.337.

O último decênio, foi altamente decisivo não para a Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho mas para todo o ensino agrícola Federal de 2º grau com a criação da COAGRI; COORDENAÇÃO NACIONAL DO ENSINO AGROPECUÁRIO que tendo à sua frente o dinâmico e entusiasta educador Professor Dr. Lamounier Godofredo Júnior, remodelou e equipou todas as 33 Escolas Agrotécnicas não só em sua estrutura física mas também em sua parte pedagógica.

Hoje a Escola possui a Cooperativa que além de oferecer as condições para aprendizagem da doutrina dos mecanismos cooperativistas propicia condições para comercialização do excedente de produção cuja renda é revertida para a manutenção dos projetos agropecuários.

Todos os projetos da Escola, são elaborados e executados com efetiva participação dos alunos que assim aprendem fazendo. Através do sistema de monitoria, os alunos do 3º ano tem a oportunidade de desenvolver suas aptidões e habilidades de liderança e administração, habilidades estas que ao lado de outras são imprescindíveis para sua atuação na vida prática futura. Hoje a Escola contando com recursos financeiros suficientes para sua manutenção, seus recursos físicos e sobretudo seus recursos humanos, que incluem não somente funcionários e corpo docente altamente capacitado, mas, também seus alunos que são a verdadeira força viva, se projeta no cenário nacional como estabelecimento modelar.

ANEXO B

SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES

Ano	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1967	2,505	1,730	1,167	0,935	0,829	0,769	0,644	0,510	0,603	0,678	0,640	0,723
1968	1,073	0,843	0,745	0,643	0,521	0,501	0,464	0,489	0,364	0,386	0,330	0,505
1969	0,507	0,464	0,581	0,485	0,364	0,314	0,245	0,214	0,170	0,328	0,656	0,712
1970	0,752	0,987	0,625	0,629	0,480	0,481	0,325	0,309	0,300	0,308	0,353	0,303
1971	0,285	0,292	0,336	0,302	0,163	0,254	0,144	0,104	0,159	0,206	0,282	1,251
1972	1,511	2,335	0,913	0,671	0,591	0,509	0,530	0,461	0,455	0,593	1,014	0,790
1973	0,790	0,693	0,701	0,728	0,541	0,475	0,430	0,367	0,286	0,387	0,345	1,227
1974	1,363	0,758	0,781	0,655	0,554	0,566	0,467	0,419	0,265	0,386	0,370	1,143
1975	0,938	1,358	0,941	0,837	0,701	0,683	0,685	0,567	0,522	0,486	0,858	0,747
1976	0,693	1,120	1,227	0,955	0,975	0,850	0,955	0,843	1,001	0,808	0,789	1,106
1977	1,666	0,704	0,722	0,690	0,475	0,448	0,329	0,272	0,412	0,346	0,613	0,610
1978	0,570	0,383	0,332	0,299	0,301	0,219	0,188	0,140	0,150	0,134	0,397	0,678
1979	0,422	0,817	0,582	0,370	0,427	0,282	0,275	0,195	0,274	0,202	0,206	0,476
1980	0,827	0,517	0,388	0,502	0,317	0,315	0,210	0,169	0,136	0,175	0,527	1,256
1981	1,103	0,960	0,921	0,804	0,678	0,639	0,568	0,546	0,449	0,849	1,131	1,491
1982	1,357	1,141	1,919	1,082	1,053	1,048	0,853	0,799	0,659	1,114	1,463	2,183
1983	2,138	2,117	1,937	1,390	1,311	1,195	0,848	0,674	0,959	0,963	0,937	1,395
1984	0,838	0,796	0,590	0,452	0,430	0,303	0,322	0,332	0,338	0,252	0,263	0,550
1985	0,832	0,661	0,914	0,636	0,484	0,377	0,328	0,273	0,252	0,195	0,396	0,392
1986	0,487	0,592	0,757	0,393	0,364	0,307	0,270	0,242	0,201	0,223	0,171	0,000
1987	0,756	0,641	0,527	0,459	0,392	0,400	0,407	0,699	0,591	0,000	0,000	0,000
1988	0,568	0,879	0,676	0,540	0,474	0,486	0,359	0,307	0,276	0,374	0,347	0,739
1989	1,027	0,737	0,842	0,540	0,437	0,402	0,360	0,300	0,326	0,246	0,303	0,328
1990	0,497	0,336	0,540	0,347	0,356	0,263	0,266	0,393	0,353	0,367	0,228	0,323
1991	0,631	1,013	1,190	0,797	0,515	0,407	0,387	0,295	0,284	0,356	0,250	0,712
1992	0,988	0,936	0,743	0,734	0,644	0,496	0,397	0,345	0,536	0,881	0,581	0,449
1993	0,415	0,786	0,831	0,570	0,467	0,383	0,328	0,326	0,306	0,281	0,462	0,405
1994	0,755	0,468	0,603	0,460	0,539	0,343	0,318	0,271	0,221	0,250	0,335	0,355
1995	0,323	1,539	1,002	0,716	0,555	0,420	0,359	0,280	0,294	0,483	0,437	0,668
1996	1,132	0,889	0,839	0,546	0,483	0,370	0,333	0,337	0,396	0,336	0,510	0,771
1997	1,502	0,878	0,733	0,512	0,481	0,480	0,331	0,256	0,227	0,223	0,421	0,497
1998	0,725	1,196	0,563	0,426	0,391	0,330	0,268	0,232	0,185	0,303	0,208	0,441
1999	1,099	0,538	0,612	0,436	0,364	0,328	0,275	0,191	0,193	0,143	0,135	0,296
2000	1,157	0,765	0,554	0,369	0,288	0,242	0,201	0,199	0,272	0,139	0,193	0,449
2001	0,411	0,306	0,327	0,216	0,157	0,128	0,113	0,086	0,097	0,105	0,226	0,469
2002	0,409	0,753	0,378	0,204	0,185	0,129	0,114	0,075	0,099	0,054	0,225	0,367
2003	1,153	1,044	0,585	0,535	0,362	0,262	0,218	0,175	0,119	0,123	0,303	0,536
2004	1,022	1,139	0,692	0,548	0,474	0,442	0,338	0,240	0,166	0,264	0,425	1,245
2005	0,937	0,624	0,643	0,453	0,781	0,414	0,346	0,246	0,252	0,198	0,376	0,505
2006	0,675	0,764	0,919	0,465	0,339	0,285	0,225	0,164	0,172	0,000	0,000	0,000
Qmed	0,921	0,887	0,772	0,583	0,506	0,439	0,376	0,334	0,333	0,354	0,443	0,677

ANEXO C

CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS TERCEIRIZADOS

Trabalho - 12x36 Noite			
Cargo:	<i>Operador Usina Hidreletrica</i>	Vagas:	1
Salário Normativo:	R\$ 921,86	Dias Trab.	25
Carga Horária Semanal:	44,00	Domingos	5
Carga Horária Mensal:	220,00		

2.0 - MÃO DE OBRA / REMUNERAÇÃO

Discriminação	%	R\$
01 - Salário do trabalhador		R\$ 921,86
02 - Hora extra Noturna <input type="text" value="17,10"/> 80%+20%		R\$ 201,20
02.1 - D.S.R (Reflexo Hora Extra)		R\$ 62,03
03 - Adicional Noturno <input type="text" value="100"/>	20,00%	R\$ 108,95
04 - Adicional de Periculosidade	30,00%	R\$ 276,56
05 - Adicional de Insalubridade	0,00%	R\$ -
06 - Outros (especificar)	0,00%	R\$ -
2.1.1 - VALOR DA REMUNERAÇÃO	50,00%	R\$ 1.570,60
SUB-TOTAL	50,00%	R\$ 1.570,60

2.2 - ENCARGOS SOCIAIS

ENCARGOS - GRUPO "A"	%	R\$
01 - INSS	20,00%	R\$ 314,12
02 - SESI ou SENAC	1,50%	R\$ 23,56
03 - SENAI ou SENAC	1,00%	R\$ 15,71
04 - INCRA	0,20%	R\$ 3,14
05 - Salário Educação	2,50%	R\$ 39,26
06 - FGTS	8,00%	R\$ 125,65
07 - Seguro Acidente do Trabalho/ SAT/INSS	2,00%	R\$ 31,41
08 - SEBRAE	0,60%	R\$ 9,42
SUB - TOTAL	35,80%	R\$ 562,27
ENCARGOS - GRUPO "B"	%	R\$
09 - Férias	11,11%	R\$ 174,49
10 - Auxílio Doença	0,00%	R\$ -
11 - Licença Paternidade/Maternidade	0,00%	R\$ -
12 - Faltas Legais	0,00%	R\$ -
13 - Acidente de Trabalho	1,00%	R\$ 15,71
14 - Aviso Prévio	0,00%	R\$ -
15 - 13º Salário	8,33%	R\$ 130,88
SUB - TOTAL	20,44%	R\$ 321,08

2.3 - INSUMOS

2.3.1 - Discriminação dos Insumos:	%	R\$
01 - Equipamentos	14,50%	R\$ 18,98
02 - Vale Alimentação	0,00%	R\$ -
03 - Vale Transporte	0,00%	R\$ -
04 - Manutenção e Depreciação de Equipamentos	0,00%	R\$ -
05 - Treinamento e/ou Reciclagem de Pessoal	0,00%	R\$ -
06 - Seguro de Vida em Grupo	0,00%	R\$ -
07 - Perfil Profissiográfico Previdenciário - PPP	5,50%	R\$ 50,70
08 - Outros (especificar)	0,00%	R\$ -
2.3.2 - VALOR DOS INSUMOS	20,00%	R\$ 69,68

PREÇO MENSAL DA MÃO DE OBRA	R\$ 2.523,64
------------------------------------	---------------------

Fonte: <http://www.sindieletromg.org.br/>

CLT/ Previdência Social

