

## RESSALVA

Alertamos para ausência dos capítulos 4 (Material e Métodos) e 5 (Resultados e Discussão), corrompidos no arquivo eletrônico original.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO TÉCNICA PARA REATIVAÇÃO DE UMA PCH NA  
FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO, BOTUCATU-SP.**

**MARCIO MASSASHIKO HASEGAWA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Novembro – 1999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO TÉCNICA PARA REATIVAÇÃO DE UMA PCH NA  
FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO, BOTUCATU-SP.**

**MARCIO MASSASHIKO HASEGAWA**

Orientador: Prof. Dr. Nelson Miguel Teixeira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Novembro – 1999

*Aos meus queridos pais Massao e Shizuko Hassegawa; meus eternos agradecimentos pelo sacrifício, esforço, carinho, dedicação, compreensão, ensinamentos e exemplos de vida.*

*À minha querida esposa Selma, pelo sacrifício, compreensão, carinho e amor.*

*À minha querida filha Maria Eduarda, por transmitir a alegria de viver.*

*Aos meus queridos irmãos, pelos incentivos e colaborações.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

*A DEUS, pela presença em todos os momentos;*

*Ao Prof. Dr. Nelson Miguel Teixeira, pela amizade, orientação, cooperação, apoio e incentivo, o qual tem minha grande admiração e respeito;*

*Ao Prof. Dr. José Odivaldo Seraphim, pela amizade, orientação, apoio e incentivo;*

*Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao Prof. Dr. Sérgio Campos; pela amizade e colaboração;*

*Aos funcionários e estagiários do Departamento de Engenharia Rural, em especial aos funcionários, Ronaldo, Rita e Rosângela; e ao estagiário Wesley; pela amizade e colaboração;*

*À FCA-Unesp e ao curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa;*

*À Prof. e Historiadora Isaura Bretan, pelo auxílio no levantamento de dados históricos, amizade, entusiasmo e incentivo.*

*À Fundação Faculdade de Agronomia “Luiz Meneghel” (FFALM), pela oportunidade em fornecer condições para a realização deste trabalho; e aos amigos do Departamento de Engenharia e Economia Rural (FFALM), pela inestimável colaboração;*

*Aos amigos do curso de Pós-Graduação em Agronomia, pela amizade e incentivo;*

*À CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudo;*

*A todos que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento desta pesquisa.*

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE EQUAÇÕES .....	X
1 RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
2 INTRODUÇÃO.....	5
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
3.1 Considerações sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas .....	8
3.1.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas no Meio Rural.....	8
3.1.2 Classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas .....	9
3.1.3 Evolução no Conceito de Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	11
3.1.4 Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas .....	12
3.1.4.1 Objetivos.....	12
3.1.4.2 Justificativas .....	12
3.1.4.3 Abrangências do Programa.....	13
3.2 Equipamentos Hidromecânicos .....	14
3.2.1 Tomada D'água .....	14
3.2.2 Barragem .....	15
3.2.2.1 Vertedouro.....	17
3.2.3 Sistema de Adução .....	17
3.2.3.1 Canal de Adução.....	18
3.2.4 Câmara de Carga .....	18
3.2.5 Tubulação .....	19

3.2.5.1 Tubulação de Adução .....	20
3.2.5.2 Tubulação Forçada .....	20
3.2.5.3 Blocos de Apoio (Sela) e de Ancoragem .....	21
3.2.6 Unidade Geradora.....	21
3.2.6.1 Turbinas Hidráulicas .....	21
3.2.6.2 Sistema de Regulação.....	23
3.2.6.2.1 Reguladores de Velocidade .....	23
3.2.6.2.2 Volantes de Inércia .....	23
3.2.6.2.3 Geradores Síncronos.....	24
3.2.6.2.4 Quadros de Comando .....	24
3.2.6.2.5 Dispositivos de Proteção .....	25
3.2.7 Casa de Máquinas.....	25
3.3 Estudos Hidrológicos, Topográficos e Geológicos .....	26
3.3.1 Estudos Hidrológicos.....	26
3.3.2 Estudos Topográficos .....	26
3.3.3 Estudos Geológicos .....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Material.....	30
4.1.1 Medição de Queda.....	30
4.1.2 Medição de Vazão .....	30
4.1.3 Local .....	31
4.2 Métodos .....	32
4.2.1 Levantamento Topográfico .....	32
4.2.2 Medição de Vazão pelo Método do Vertedouro Retangular .....	34
4.2.3 Equações para Dimensionamento de Turbina Hidráulica Francis .....	36
4.2.4 Equações para Dimensionamento de Turbina Hidráulica Michell-Banki .....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
5.1 Considerações sobre o Programa Computacional Visual Basic 5.0.....	44
5.2 Considerações sobre o Levantamento Histórico .....	47

5.3 Considerações sobre as Características Locais.....	49
5.3.1 Hidrologia.....	49
5.3.2 Topografia .....	51
5.4 Considerações sobre a Turbina Hidráulica.....	53
5.4.1 Rotação Específica .....	55
5.5 Considerações sobre o Potencial Hídrico Avaliado e a Necessidade de Novas Pesquisas.....	58
6 CONCLUSÃO.....	64
6.1 Quanto a Turbina Hidráulica e o Potencial Hidrelétrico .....	64
6.2 Aspectos Gerais .....	65
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
APÊNDICE .....	70

**LISTA DE QUADROS**

Quadro	Página
1 – Características e Limites das PCHs – ELETROBRÁS/DNAEE.....	10
2 – Classificação relativa à PCHs.....	11
3 – Valores do intervalo útil de vazão, potência, rotação específica e altura de sucção .....	60
4 – Equações de regressão da potência versus queda nas faixas de vazões que compreendem a vazão de 460 litros por segundo.....	62
5 – Valores de potência em kVA para turbina hidráulica Michell-Banki em função da vazão e queda.....	63
6 – Valores relativos à Antiga e a Nova PCH .....	91
7 – Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas Francis, para queda de 20 metros .....	91
7 – Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas Francis, para queda de 20 metros (continuação) .....	92
8 – Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas Michell-Banki, para queda de 10m.....	93
9 – Dados relativos ao levantamento topográfico .....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 – Vista à montante do Rio Lavapés, Botucatu - SP .....	31
2 – Vista à jusante do Rio Lavapés, Botucatu – SP .....	32
3 – Vista frontal à montante e superior da antiga barragem no Rio Lavapés, Botucatu – SP .....	36
4 – Apresentação do programa para dimensionamento de turbina hidráulica Francis .....	45
5 – Apresentação do programa para dimensionamento de turbina hidráulica Michell-Banki ..	46
6 – Projeto da casa de máquinas da antiga PCH na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu – SP .....	47
7 – Conjunto eletrohidromecânico da antiga PCH na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu – SP .....	48
8 – Vista à montante da barragem .....	49
9 – Vista à jusante da barragem.....	50
10 – Desnível do terreno para determinação da queda total desde a barragem até a casa de máquinas.....	52
11 – Gráfico para determinação preliminar do tipo de turbina hidráulica para PCH – ELETROBRÁS .....	54
12 – Gráfico rotação específica em função da vazão para turbina hidráulica Francis .....	55
13 – Gráfico altura de sucção em função da vazão para turbina hidráulica Francis .....	57
14 – Gráfico potência em função da vazão para turbina hidráulica Francis.....	59
15 – Gráfico potência em função da vazão para turbina hidráulica Michell-Banki .....	62

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação	Página
1 – Distância horizontal (DH) de um alinhamento.....	33
2 – Diferença entre o retículo superior e inferior .....	33
3 – Diferença de nível (DN) para visada ascendente.....	33
4 – Diferença de nível (DN) para visada descendente.....	33
5 – Vazão para vertedores retangulares.....	34
6 – Potência máxima do aproveitamento em kW .....	36
7 – Rotação específica do rotor da turbina hidráulica em relação à vazão no Sistema Internacional de Unidades .....	36
8 – Altura máxima de sucção em metros.....	36
9 – Coeficiente de cavitação.....	36
10 – Intervalos de modelos de máximo rendimento.....	36
11 – Intervalos de modelos de máximo rendimento.....	36
12 – Intervalos de modelos de máximo rendimento.....	36
13 – Trabalho específico em J/kg.....	37
14 – Rotação da turbina partindo de uma provisória em rps .....	37
15 – Rotação no eixo do alternador em rps .....	37
16 – Número de pares de pólo.....	37
17 – Rendimento total do conjunto mecânico e hidráulico .....	37
18 – Intervalo do rendimento mecânico .....	37
19 – Rendimento hidráulico em % .....	37
20 – Potência hidráulica em kW.....	37
21 – Potência no eixo da turbina em kW.....	37
22 – Vazão para projeto do rotor em m <sup>3</sup> /s.....	37
23 – Rotação específica para projeto do rotor .....	38
24 – Velocidade tangencial externo na entrada do rotor em m/s.....	38
25 – Diâmetro externo na entrada do rotor em metros .....	38
26 – Diâmetro na entrada do tubo de sucção em metros .....	38
27 – Diâmetro interno na entrada do rotor em metros.....	38

28 – Altura externa do rotor em metros.....	38
29 – Altura interna do rotor em metros .....	38
30 – Altura do distribuidor em metros .....	38
31 – Diâmetro da caixa espiral em metros .....	39
32 – Diâmetro na entrada da espiral em metros .....	39
33 – Dimensões do tubo de sucção em metros.....	39
34 – Comprimento do tubo de sucção em metros .....	39
35 – Altura do tubo de sucção na saída em metros .....	39
36 – Largura do tubo de sucção em metros .....	39
37 – Potência na saída do gerador em kW.....	40
38 – Diâmetro do rotor em cm .....	41
39 – Rotação da turbina em rpm.....	41
40 – Largura do injetor em cm .....	41
41 – Espessura do disco em cm.....	41
42 – Largura do rotor em cm.....	41
43 – Diâmetro do eixo do rotor em cm.....	41
44 – Diâmetro máximo em cm .....	41
45 – Diâmetro interno em cm.....	41
46 – Diâmetro primitivo em cm .....	41
47 – Raio da pá em cm .....	42

## **1 RESUMO**

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) representam uma das mais importantes alternativas de produção e uso localizado de energia renovável em relação aos sistemas energéticos centralizados, promovendo a ampliação da oferta de energia elétrica em áreas isoladas, pequenos centros agrícolas e industriais.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do potencial hidráulico do Rio Lavapés, localizado na Fazenda Experimental Lageado em Botucatu - SP e o dimensionamento de turbinas hidráulicas através dos valores de saída do programa computacional Visual Basic versão 5.0.

Para o dimensionamento da usina, foram coletados dados, relacionados ao levantamento topográfico e vazão do rio, que forneceram diversas possibilidades para o potencial apresentado, de acordo com as variações da vazão turbinável e da queda útil.

Dos valores obtidos através dos dimensionamentos, realizados pelo programa computacional, verificou-se o potencial hidrenergético favorável à instalação de uma PCH, apresentando potência necessária para acionamento de equipamentos e motores elétricos que possam suprir parte da demanda de consumo de energia elétrica da fazenda considerada, aliando um bom rendimento na geração, conforme padrões técnicos recomendados pela ELETROBRÁS.

A cidade de Botucatu apresentou um crescimento populacional significativo nestes últimos 60 anos e conseqüentemente, teve um crescimento no consumo da

água para diversos fins. Este fato ocasionou a necessidade de captar água do Rio Pardo para o abastecimento local, provocando um aumento da descarga diária de esgoto da cidade, no Rio Lavapés, conseqüentemente alterando sua vazão.

Estudou-se o dimensionamento das turbinas hidráulicas Francis e Michell-Banki para uma faixa de vazão de 200 litros por segundo a 700 litros por segundo (L/s) e queda de 20 metros, que permitiram concluir que:

- a turbina hidráulica Francis apresenta facilidade construtiva e de manutenção e permite instalação com eixo horizontal com acoplamento no mesmo eixo do gerador elétrico;
- a turbina hidráulica Francis pode ser utilizada na faixa de 360 litros por segundo a 460 litros por segundo, fornecendo potência de aproximadamente 55 kW a 70 kW;
- a turbina hidráulica Francis dimensionada para 460 litros por segundo fornece potência no eixo da turbina de 70,4 kW, tendo um rendimento hidromecânico de 78% e nos terminais do gerador uma potência de 66,9 kW e, portanto rendimento global de 74%;
- a turbina hidráulica Michell-Banki, para uma queda de 20 m e vazão de 460 litros por segundo, fornece potência no eixo da turbina de 52,1 kW, tendo um rendimento hidromecânico de 57,7% e nos terminais do gerador uma potência de 46,7 kW e, portanto rendimento global de 50%.

TECHNICAL EVALUATION TO REACTIVATION OF SMALL CENTRAL HYDRELECTRIC ON LAGEADO EXPERIMENTAL STATION, IN BOTUCATU - SP. Botucatu, 1999. 95p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCIO MASSASHIKO HASEGAWA

Adviser: NELSON MIGUEL TEIXEIRA

## **SUMMARY**

The Small Central Hydroelectric (PCHs) represent the most important world production alternative and located use of renewable energy in relation to the centralized energy systems, promoting the amplification of electric energy offer in isolated areas, small agricultural and industrial centers.

This work had as objective the studying of Lavapés River hydraulic potential, located on Lageado Experimental Station, in Botucatu-SP and the of calculation hydraulic turbines through the exit values of the computer program: Visual Basic version 5.0.

Data have been collected, for the plant calculation, associated to the topographical value data and to the river discharge, therefore several possibilities are facilitate for the presented potential, according to the turbinable out flow variations and of the useful waterfall.

From obtained values through the calculation, performed by computer program, the favorable hydro-energy potential to a PCH installation, has been checked presenting the needed potency for equipment setting motion and electric motors which can supply part of the consumption demand of electric energy on the considered farm, allying a good efficiency of generation, accordingly to recommended technical patterns by ELETROBRÁS.

Botucatu city has presented a significant increasing population last 60 years, and consequently, it has an increasing on the water consumption for several purposes. This fact has caused the necessity to impound water from the Pardo River for local

provisioning, producing a daily discharge increasing city server in the Lavapés River and so changing its out flow.

The calculation has been studied both Francis hydraulic turbines and Michell-Banki for a flowing out strip from 200 to 700 liters per second (L/s) and 20 m fall, which allowed to infer that:

- Francis hydraulic turbine shows easy and maintenance, it allows installation with horizontal axis joining in the same axis of the electric generator;
- Francis hydraulic turbine can be used in the strip from 360 L/s to 460 L/s, supplying potency about 55 kW to 70 kW;
- Francis turbine hydraulic calculation for 460 L/s, supplies potency in the turbine axis of 70,4 kW, tends a hydromecanic revenue of 78% and in the generator terminals a potency of 66,9 kW, therefore a global revenue of 74%;
- Michell-Banki hydraulic turbine, to 20 m fall and flow of 460 L/s, supplies potency in the turbine axis of 52,1 kW, tends a hydromecanic revenue of 57,7% and in the generator terminals a potency of 46,7 kW, therefore global revenue of 52%.

---

Keywords: hydro-electricity, small central hydroelectric, hydraulic turbines

## 2 INTRODUÇÃO

A utilização da energia hidráulica para fins de geração de energia elétrica de potenciais localizados em áreas distantes dos centros de consumo só foi possível devido ao desenvolvimento alcançado na área tecnológica ligada à alta tensão e aos materiais utilizados na isolação da energia elétrica.

O motor elétrico, devido à sua simplicidade no manuseio e de custo relativamente baixo, incentivou a eletrificação de grande parte das fábricas e por conseqüência, a necessidade da geração própria. Mas por questões de custo, a energia elétrica era gerada em centrais termelétricas situadas o mais perto possível dos pontos de consumo. Isto fez com que, até metade do século XX, no Brasil, proliferassem as usinas térmicas de pequeno e médio porte na maior parte do País, salvo São Paulo e Rio de Janeiro.

Entre os anos 1910 e 1920, a eletricidade já se tornava uma forma importante de energia. Em 1920, observou-se um aumento constante no consumo de eletricidade devido ao desenvolvimento das centrais hidrelétricas e a utilização da eletricidade nas indústrias.

Como apenas cerca de 25% do potencial hidrelétrico correspondem a usinas em operação e em construção, estima-se que as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica, pelo menos ao longo das duas próximas décadas. A fonte hídrica com fins energéticos é

responsável por 96,8% da energia elétrica consumida no país. E considerando-se o mundo, a fonte hídrica seria responsável apenas por 19% do total da geração de energia elétrica.

O marco da ação governamental no sentido de iniciar um movimento nacional para investimento em pequenas centrais hidrelétricas foi a elaboração, entre 1981 e 1982, do Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, através do Convênio entre ELETROBRÁS e DNAEE, sob a coordenação da primeira. O manual consolidou a tecnologia nacional nesta área e possibilitou meios para a promoção de estudos, projeto, construção e operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) a baixos custos, em curto espaço de tempo.

O passo seguinte foi a elaboração, sob a coordenação da ELETROBRÁS, de uma proposta de Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, aprovada pelo Ministério das Minas e Energia em maio de 1984 e consolidada em meados de 1985.

Segundo o Plano Decenal de Expansão (1998), as Pequenas Centrais Hidrelétricas representam a mais importante alternativa mundial de produção e uso localizado de energia renovável em relação aos sistemas energéticos centralizados, promovendo a ampliação da oferta de energia elétrica em áreas isoladas, pequenos centros agrícolas e industriais.

O Brasil que chegou a contar com mais de mil e oitocentas PCHs gerando em torno de 1.110 MW, passou por um processo de desativação da geração descentralizada, resultando, até a década de 80, no abandono de mais de mil e quatrocentas centrais de pequeno porte. Nessa época, devido às conjunções política, social e econômica, deu-se ênfase aos grandes empreendimentos, como a construção das grandes centrais hidrelétricas, coincidindo com o fechamento de um grande número de pequenas centrais hidrelétricas sob a alegação de serem anti-econômicas. No momento, encontram-se em operação apenas 331 unidades, com potência instalada de 605 MW, ou seja, menos de 1% de toda capacidade instalada no país, cita Tiago Filho (1998).

Pretende-se com o presente trabalho verificar a potencialidade do Rio Lavapés, especificamente na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à UNESP em Botucatu - SP; para instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e também observar os fatores limitantes do dimensionamento da turbina e do potencial hídrico de um rio.

Na citada fazenda verificou-se a existência de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) que ora se encontra desativada, apresentando equipamentos eletrohidromecânicos em precárias condições de conservação.

Da antiga PCH, obtiveram-se algumas informações através de levantamentos históricos, de documentos manuscritos, desde a época de sua construção até a conclusão final.

Neste levantamento histórico não foram encontrados documentos relacionados à memória de cálculo de dimensionamento do projeto da citada usina.

Para o novo dimensionamento da usina foram coletados dados, principalmente relacionados ao levantamento topográfico e a medida de vazão do rio, possibilitando diversos dimensionamentos para o potencial apresentado, de acordo com a vazão turbinável e a queda escolhida.

No estudo da nova instalação da PCH, serão utilizados o mesmo trajeto e a mesma declividade do antigo projeto.

A determinação de valores através de novos cálculos não terá como objetivo verificar a ocorrência de erros de cálculos em seu antigo dimensionamento, mas sim apresentar nova possibilidade de instalação de uma PCH, de acordo com as novas situações apresentadas.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Considerações sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)**

##### **3.1.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas no Meio Rural**

Conforme Santos e Bajay (1986), as primeiras Centrais Hidrelétricas no Brasil foram instaladas no início do século, devido à industrialização no interior do país, principalmente através das indústrias têxteis. Até a década de 50, o Brasil apoiou a sua eletrificação nas pequenas e médias centrais, sendo estas pertencentes à iniciativa privada ou ao município. Foram criadas verdadeiras malhas com a interligação de pequenos sistemas municipais, visando o aumento da confiabilidade e melhor operação.

O autor também cita que a política tarifária da época e uma inflação significativa passaram a inibir novos investimentos no setor elétrico. Tal fato, associado a outros de natureza política, fez com que o Estado começasse a ter maior participação no setor, garantindo a expansão do parque gerador.

Segundo Viana (1997), desta forma, o Brasil construiu Furnas no final da década de 50, sendo a primeira central brasileira a ter potência acima de 1.000 MW. Toda a filosofia de suprimento de energia elétrica estava sendo mudada, com o surgimento dos grandes sistemas elétricos de natureza estatal, ao invés dos pequenos sistemas com características regionais e pertencentes à iniciativa privada ou municipal.

Cita também outro fato que ocorreu na década de 50, foi o programa de eletrificação rural, normalmente baseado no padrão monofásico, conforme era utilizado nos EUA. Este programa, suportado por financiamento externo, era subsidiado. Aliado a isto, o fato da energia do grande sistema ter boas características técnicas, fez com que o meio rural abandonasse os suprimentos usuais de energia. Assim, o motor elétrico substituiu muitas rodas d'água e as pequenas gerações hidrelétricas foram abandonadas.

A crise do petróleo de 1973, com o aumento acelerado do preço do mesmo, fez com que se despertasse para as novas fontes de energia, principalmente as renováveis. Diante desse contexto, o governo brasileiro, no início dos anos 80, estabeleceu diretrizes no sentido de acelerar o aproveitamento das fontes energéticas, com destaque para as PCHs. Desta maneira, ressurgia a discussão sobre PCHs, que estavam quase no esquecimento, conclui Viana (1997).

### **3.1.2 Classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)**

A portaria número 136 de 06/10/87 do DNAEE, estabelece e define a PCH como segue:

- Estabelece que, para fins de análise pelo DNAEE do projeto relativo a PCH, serão observados os Manuais elaborados pela ELETROBRÁS;
- Define que, para efeito do disposto no item anterior, será considerada PCH o aproveitamento que tenha potência instalada total de no máximo 10 MW e potência máxima por gerador de 5 MW;
- Permite a aceitação de soluções de engenharia e planejamento não contempladas nos referidos manuais, desde que torne mais conveniente o projeto e conduza a um custo final da energia gerada inferior a qualquer outra alternativa de suprimento, para o mercado a ser atendido.

Os manuais referidos nesta portaria são três:

- Manual de Microcentrais Hidrelétricas;
- Manual de Minicentrais Hidrelétricas;
- Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

O Quadro 1 a seguir fornece as características e os limites das Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas contidos nos referidos manuais.

Quadro 1 - Características e Limites das PCHs

CARACTERÍSTICAS	MICRO	MINI	PEQUENAS
Potência Máxima (kW)	100	1.000	10.000
Altura Máxima da Barragem (m)	3	5	10
Vazão Máxima da Central (m <sup>3</sup> /s)	2	15	20
Número Mínimo de Grupos Geradores para a Vazão Máxima	1	2	2
Potência Máxima do Grupo Gerador (kW)	100	1.000	5.000
Período de Recorrência para Obras de Desvio - Vazão de Cheias (anos)	-	5 a 10	10
Período de Recorrência para Obras Permanentes - Extravassores - Cheia Máxima (anos)	-	500 - 1.000	500 - 1.000
Período Máximo para Implantação (meses)	6	12 a 24	18 a 36
Regularização	Q <sub>95</sub> ou no máximo regularização diária		

Fonte: ELETROBRÁS/DNAEE (1982)

Viana (1997) cita que no caso das microcentrais, cuja limitação de potência é de 100 kW, pode-se considerar tal potência como limite superior para centrais hidrelétricas no meio rural. Obviamente existem exceções a este limite, principalmente em propriedades agro-industriais.

O Quadro 2, apresenta a classificação relativa a PCHs em termos de queda de projeto.

Quadro 2 – Classificação relativa à PCHs, conforme potência instalada e queda de projeto.

DENOMINAÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA (kW)	QUEDA DE PROJETO (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Microcentrais Hidrelétricas	até 100	Menos de 15	15 - 50	mais de 50
Minicentrais Hidrelétricas	100 a 1.000	20	20 - 100	mais de 100
Pequenas Centrais Hidrelétricas	1.000 a 10.000	25	25 - 130	mais de 130

Fonte: ELETROBRÁS/DNAEE (1982)

### 3.1.3 Evolução no conceito de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

O Manual de PCH está atualmente em processo de revisão pela ELETROBRÁS, visando uma atualização geral que incorporará, dentre outros, os seguintes aspectos:

- Os reflexos da informática na prática da engenharia, após o advento dos microcomputadores;
- Às exigências da legislação ambiental em vigor no país.

Além disso, está se propondo que o conceito de PCH seja atualizado visando incorporar a experiência adquirida em projetos dessa natureza, bem como às diversas mudanças na legislação; cita Pereira (1998).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no uso de suas atribuições, através de resoluções estabelece novos conceitos em relação a PCHs, como segue:

- Resolução n ° 393 de 04 de dezembro de 1998.

Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas.

- Resolução n ° 394 de 04 de dezembro de 1998.

Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.

- Resolução n ° 395 de 04 de dezembro de 1998.

Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétrica, assim como da autorização para exploração de centrais hidrelétricas até 30 MW e dá outras providências.

- Resolução n ° 396 de 04 de dezembro de 1998.

Estabelece as condições para implantação, manutenção e operação de estações fluviométricas e pluviométricas associadas a empreendimentos hidrelétricos.

### **3.1.4 Programa Nacional de Pequenas Centrais Elétricas (PNCE)**

O referido programa foi elaborado pela ELETROBRÁS/DNAEE (1984) e aprovado pelo governo nacional através do Ministério das Minas e Energia (MME), objetivando principalmente reduzir o consumo de derivados de petróleo, formação básica de infra-estrutura para a expansão de fronteiras agrícolas, alternativa para a eletrificação rural, utilização da mão-de-obra local não especializada e utilização de equipamentos nacionais dentre outros.

#### **3.1.4.1 Objetivos**

Dinamizar a implantação de PCEs para expansão da oferta de energia elétrica a mercados atendidos ou não por Concessionária:

- Promover a recuperação/recapacitação de PCHs existentes, modernizando suas instalações de forma a tornar a produção de energia mais eficiente e competitiva;
- Captar a poupança privada, em forma de investimentos em autoprodução ou produção independente de energia elétrica.

#### **3.1.4.2 Justificativas**

As PCEs terão importante papel social na complementação da infra-estrutura agrícola (irrigação e beneficiamento), urbana (pequenos centros) e industrial (áreas isoladas), contribuindo para a geração de emprego e fixação da população local.

Também podem ser identificados benefícios para o Setor Elétrico tais como:

- A complementação local de geração, contribuindo para o suprimento das pontas de carga, regulação de tensão e melhoria da garantia do abastecimento;
- Suprimento aos centros isolados;
- Alternativas à eletrificação rural tradicional;
- Contribuição para redução ou substituição do consumo de derivados de petróleo empregados para geração elétrica;
- Adiamento de investimentos em transmissão.

Ademais é válido lembrar que a energia elétrica é um dos principais insumos indispensáveis ao processo de desenvolvimento econômico do país.

### **3.1.4.3 Abrangência do Programa**

- Tipos de Empreendimentos

O Programa Nacional de Pequenas Centrais Elétricas abrange os pequenos aproveitamentos elétricos com potência até 10 MW, incluindo:

- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs;
- Pequenas Centrais Térmicas - PCTs (incluindo consumidores que geram vapor do processo);
- Tecnologias Não Convencionais (fontes alternativas).

- Prioridades

No escopo do PNCE são prioritários os projetos de PCEs que contemplem:

- Menor custo de geração com a qualidade requerida da energia elétrica para os consumidores;
- Reduzir ou mesmo substituir o consumo de derivados de petróleo empregados para geração elétrica em sistemas isolados, onde exista viabilidade de geração empregando energéticos primários;

- Transformar em autoprodutores, aqueles consumidores industriais que empregam combustíveis exclusivamente para geração de processo;
  - Ampliar o fornecimento de energia elétrica para o meio rural (atendimento aos sistemas isolados);
  - Implementar aproveitamentos que sinalizem maiores custos evitados.
- Público Alvo

O universo dos possíveis interessados em PCEs pode ser assim agrupado:

- Empresa Concessionária
  - federal;
  - estadual;
  - municipal;
  - privada.
- Produtor Independente;
- Autoprodutor;
- Consórcio; e
- Cooperativas.

## **3.2 Equipamentos Hidromecânicos**

### **3.2.1 Tomada d'água**

Segundo ELETROBRÁS (1985), a captação de água no rio, necessária à movimentação da turbina é efetuada por uma estrutura denominada tomada d'água.

A tomada pode ser ligada diretamente à tubulação forçada que leva a água à máquina ou, dependendo da topografia do local, pode descarregar a água captada em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão que transportará a água até o local mais adequado para a implantação da tubulação forçada. No caso de se optar por um canal de adução, no final deste, na entrada da tubulação forçada, será instalada uma outra estrutura, semelhante à tomada d'água, que recebe a denominação de câmara de carga.

A tomada d'água tem as duas seguintes funções:

- Controle da adução das vazões pela tubulação forçada, canal de adução ou tubulação de baixa pressão, permitindo o seu ensecamento para manutenção e eventuais reparos;
- Retenção de corpos flutuantes e de material sólido (sedimentos) transportados pelo escoamento.

Balarim (1996) cita que o dimensionamento da tomada d'água deve prover a captação da vazão requerida pela motorização completa da usina funcionando a plena carga.

Conforme ELETROBRÁS (1985), para o dimensionamento da boca da tomada d'água deve-se em primeiro lugar consultar o item relacionado a comportas, onde buscar-se-á informação sobre qual delas, a ser utilizada para o fechamento.

A tomada d'água deve ser localizada, sempre que possível, junto à margem do reservatório formado pela barragem, ao longo de trechos retos ou do lado côncavo dos trechos em curvatura, pois os sedimentos transportados pelo escoamento são, na sua maior parte, carregados para a parte convexa, onde se depositam conforme ELETROBRÁS (1985).

### **3.2.2 Barragem**

A construção de uma barragem ligada a uma usina hidrelétrica pode ter três finalidades:

- A concentração do desnível de um rio para produzir uma queda,
- A criação de um grande reservatório capaz de regularizar o deflúvio ou
- Simplesmente o levantamento do nível d'água para possibilitar a entrada da água num canal, num túnel ou numa tubulação que a aduza para a casa de força.

Conforme Schreiber (1977), uma barragem pode ser construída para mais de uma finalidade, simultaneamente. Além disso, as barragens podem servir para outros fins, como por exemplo, para navegação, para controle de cheias, irrigação e piscicultura.

Segundo ELETROBRÁS (1985), a barragem é a estrutura componente do aproveitamento destinada a criar um desnível hidráulico localizado. Assim, sendo, a barragem deve elevar o nível das águas do rio, permitindo o afogamento da tomada d'água. No caso de microcentrais, a altura da barragem prevista é da ordem de 3 metros.

A barragem tem altura reduzida e geralmente é construída em trechos encachoeirados do rio, onde já existe uma variação de cotas de fundo entre o início e o final do trecho, que permita o aproveitamento da queda natural para produzir a energia desejada. O tipo de barragem deve ser escolhido em função das características dos materiais disponíveis e levando-se em conta o balanceamento dos mesmos no aproveitamento integrado de todas as obras.

Linsley (1978), cita que em uma mesma barragem pode-se ter mais de um tipo de estrutura. As barragens em curva podem associar a ação da gravidade e a do arco para assegurar sua estabilidade.

Segundo Schreiber (1977), podem-se caracterizar os modos de se criar o desnível em uma usina hidrelétrica da seguinte forma:

- A barragem represa o rio efetuando a concentração do desnível e a casa de força se encontra diretamente ao pé da barragem: usina de represamento;
- Da barragem sai um canal aberto, ou um túnel adutor ou uma tubulação, que conduz a água à chaminé de equilíbrio e desta às turbinas, na casa de força, por tubulações forçadas ou por túnel forçado: usina de desvio;
- A barragem represa um rio e a água é conduzida por um canal ou túnel para a encosta do vale de outro rio, onde são construídas a chaminé de equilíbrio, a tubulação forçada e a casa de força: usina de derivação.

Conforme Mauad (1997), em uma Microcentral, a barragem tem a função de criar um pequeno reservatório que irá permitir a instalação da tomada d'água. No caso das microcentrais a barragem poderá ser feita de madeira, sacos de terra ou aterro de material que estiver ao alcance no momento.

As barragens mais comumente utilizadas em PCHs são conforme ELETROBRAS (1985): barragem de terra, barragem de alvenaria e pedra argamassada, barragem de ambursen e barragem de concreto.

### **3.2.2.1 Vertedouro (Sangradouro)**

Souza (1983), cita que em toda barragem deve haver descarregadores das vazões excedentes decorrentes das cheias dos rios depois que sua capacidade de armazenamento foi completada, evitando seu transbordamento em locais impróprios.

Segundo a ELETROBRÁS (1985), de forma geral, dependendo do porte da obra, podem ser definidos dois tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água afluente ao local do aproveitamento:

- Extravasamento por um canal lateral, com o fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio;
- Extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a crista ou parte dela.

### **3.2.3 Sistema de Adução**

Chamam-se de órgãos adutores, ou adutoras, todas as construções que ligam a tomada d'água às turbinas. Essa ligação pode ser efetuada por:

- Canais ou túneis com lâmina d'água livre;
- Tubulações;
- Túneis sob pressão;
- Poços forçados, verticais ou inclinados.

A escolha do tipo da adutora depende do tipo da usina e das condições topográficas. Nas usinas de represamento, a ligação entre a tomada d'água e a turbina é muito curta, de modo que, às vezes, praticamente desaparece. Os canais ou túneis com lâmina d'água livre, os túneis sob pressão e às vezes as tubulações são aplicados nas usinas de desvio e de derivação e conduzem a água quase horizontalmente até o ponto onde se aproveita o desnível concentrado e daí, por uma tubulação forçada ou um poço forçado, vertical ou inclinado, à turbina, conforme Schreiber (1977).

Cita também que entre a adutora horizontal e a tubulação ou o poço forçado, deve ser intercalado um órgão que compense a mudança da descarga turbinada, nos casos de mudança da carga das turbinas, até que a massa d'água na adutora se adapte às novas

condições de operação. Nos casos em que a adutora é um canal ou um túnel com lâmina d'água livre, projeta-se uma pequena bacia em frente da entrada para às tubulações. Entre as tubulações ou túneis adutores e as tubulações ou poços sob pressão, deve ser previsto uma chaminé de equilíbrio.

A ELETROBRÁS (1985), recomenda que nos casos dos aproveitamentos por derivação, quando é aproveitada a conformação topográfica de uma queda natural e a barragem tem por objetivo apenas garantir o afogamento da boca da estrutura de captação, torna-se geralmente necessária a utilização de um canal de adução ou de uma tubulação ligando a tomada d'água de captação até à câmara de carga, a qual por sua vez acopla-se à tubulação forçada.

### **3.2.3.1 Canal de Adução**

De acordo com Mauad (1997), deve ser o mais simples possível. Por motivo de economia, deve-se preferir executá-los sem revestimento. Para isso, faz-se necessário um estudo, mesmo que superficial do terreno de maneira a avaliar se as condições geológicas permitem a construção do canal. Escavações em rocha devem ser evitadas visto o seu alto custo.

Dependendo da geologia do local, o canal de adução pode ser construído em solo natural ou rocha, se for o caso ou revestido com enrocamento, pedra argamassada, concreto ou outro material, sendo que a escolha da solução mais adequada deve basear-se na comparação do custos entre as alternativas a serem fixadas, segundo ELETROBRÁS (1985).

### **3.2.4 Câmara de Carga (Castelo D'água)**

Quando o sistema de adução utilizado é o canal a céu aberto, faz-se necessário a construção da câmara de carga, ou castelo d'água, que tem a função de fazer a transição da água do canal para a tubulação de alta pressão. A câmara de carga também tem a função de absorver as manobras bruscas que porventura possam ocorrer na central, conforme Mauad (1997).

Segundo Souza (1983), suas dimensões dependem do volume de água aduzido e do comprimento do canal adutor, pois devem possuir um volume de água suficiente para, numa abertura brusca da admissão das turbinas, atender a sua demanda mais rapidamente do que seria possível se fosse necessário fazê-lo através do canal, cujo tempo de resposta será tanto maior quanto mais longo for.

Suas funções, podem ser resumidas nas seguintes:

- Proporcionar um espelho d'água para a reflexão das ondas do golpe de aríete, reduzindo sua intensidade;
- Proporcionar um volume de água de reserva capaz de atender rapidamente ao aumento da vazão requerido pelas turbinas em casos de aumentos bruscos de carga elétrica nos geradores;
- Receber o excesso de água rejeitado pelas turbinas em caso de fechamento brusco e também do canal adutor até que este reaja, reduzindo a velocidade de escoamento sob influência do aumento do nível de água a jusante na câmara.

Às vezes, por questões econômicas, as câmaras cumprem essa função apenas parcialmente, sendo equipadas com vertedouros para escoar o excesso de água.

E conforme recomendações da ELETROBRÁS (1985), as paredes laterais, em planta, devem abrir-se em ângulos de  $45^\circ$ , e a transição entre o fundo do canal e o fundo da câmara de carga deve ser efetuada em rampa não superior a  $1V : 2H$ .

Após a comporta, o conduto deve receber uma transição em concreto, de modo a se adaptar ao diâmetro fixado para a tubulação forçada.

O topo da estrutura da câmara de carga deve ser construído a um nível aproximado de 30 cm acima do nível da água do reservatório.

### **3.2.5 Tubulação**

Para Schreiber (1977), nas usinas hidrelétricas, as tubulações que ligam a tomada d'água às turbinas, na casa de força, podem ser subdivididas em tubulações adutoras propriamente ditas e em tubulações forçadas.

### **3.2.5.1 Tubulação de Adução**

Segundo Mauad (1997), pode também ser chamada de tubulação de baixa pressão, a tubulação de adução é a alternativa para substituição do canal. O seu uso só se justifica quando as condições topográficas e geológicas não permitem o uso de canal, tais como: margens muito íngremes, exigindo grandes volumes de escavações ou solos rochosos, onde se faz necessário o uso de explosivos.

E o autor comenta que a tubulação de adução tem a função de conduzir a água com um mínimo de perdas, que é de no máximo 1% da altura da queda total, até ao castelo d'água, que neste caso recebe o nome de chaminé de equilíbrio.

Para a ELETROBRÁS (1983), sempre que for possível, por motivo de economia, deve ser utilizado um canal a céu aberto para conduzir a água desde as tomada d'água junto ao rio até à câmara de carga.

Conforme Souza (1983), seu dimensionamento obedece ao critério de que, para cada situação, existe uma velocidade econômica de água. Esta é determinada procurando-se comparar o custo anual das perdas de energia com o custo anual do investimento necessário a sua execução.

### **3.2.5.2 Tubulação Forçada**

Segundo Mauad (1997), tem a função de conduzir a água do castelo d'água (câmara de carga ou chaminé de equilíbrio) até a turbina, normalmente é feita de aço, mas também pode ser feita por tubos de PVC.

São condutos fechados, em que o escoamento se dá a pressões crescentes de montante para jusante, estando sua parte inferior submetida à pressão máxima do aproveitamento. Podem ser executados tanto em galerias como a céu aberto, cita Souza (1983).

O comprimento das tubulações forçadas depende da queda e pode variar de algumas dezenas a várias centenas de metros, segundo Schreiber (1977).

### **3.2.5.3 Blocos de Apoio (Sela) e de Ancoragem**

De acordo com as normas da ELETROBRÁS (1985), a tubulação que conduz a água desde a tomada d'água até às máquinas, quando fabricada em aço, deve ser instalada sobre blocos de apoio e de ancoragem.

Com base no autor Souza (1983), os condutos a céu aberto devem ser ancorados ao terreno por meio de blocos de ancoragem. Estes são obrigatórios em todos os pontos de mudança de direção e também nos pontos das reduções de diâmetro. Por meio dos blocos, os esforços devidos a esses fatores são transferidos ao terreno. Entre dois blocos há a necessidade de se instalarem as juntas de dilatação em geral próximas ao bloco de montante. A fim de reduzir os esforços de flexão da tubulação no vão entre dois blocos, empregam-se a intervalos regulares as selas de apoio, sobre as quais as tubulações podem deslizar, evitando-se esforços de flambagem ou de tração em consequência da dilatação ou da redução de comprimento devidas às variações de temperaturas.

E para o autor Schreiber (1983), os esforços atuantes na ancoragem podem ser classificados em esforços permanentes, ocasionais e excepcionais.

### **3.2.6 Unidade Geradora**

Em conformidade com as recomendações da ELETROBRÁS (1985), a unidade geradora é o equipamento eletromecânico mais importante de um central hidrelétrica. É composta, basicamente, de turbina hidráulica e do gerador e, como equipamentos complementares principais, do regulador, válvula, quadro de comando e volante.

#### **3.2.6.1 Turbinas Hidráulicas**

De acordo com Schreiber (1977), atualmente são usadas, nas usinas hidrelétricas, dois tipos de turbinas hidráulicas, as de reação e as de ação.

Pode-se definir turbina hidráulica como sendo uma máquina com a finalidade de transformar a maior parte da energia de escoamento contínuo da água que a atravessa em trabalho mecânico. Consiste, basicamente, de um sistema fixo hidráulico e de um

sistema rotativo hidromecânico destinados, respectivamente, à orientação da água em escoamento e à transformação em trabalho mecânico.

As turbinas hidráulicas são; segundo Souza (1983):

- De reação - aquela em que o trabalho mecânico é obtido pela transformação das energias cinética e de pressão da água em escoamento, através do elemento do sistema rotativo hidromecânico (rotor). As turbinas hidráulicas de reação são do tipo Francis e hélice (Kaplan), podendo ser: de eixo horizontal, vertical ou inclinado; com um ou mais rotores; em caixa aberta ou fechada; com tudo de sucção cônico reto ou cônico em cotovelo;
- De ação - aquela em que o trabalho mecânico é obtido pela transformação da energia cinética da água em escoamento, através do elemento do sistema rotativo hidromecânico (rotor). As turbinas hidráulicas de ação são do tipo Pelton; podendo ser: de eixo vertical ou horizontal; com um ou mais rotores; com um ou mais injetores.

Ainda segundo o autor Schreiber (1983), as normas NEMA descrevem os tipos um pouco mais substancialmente, dizendo que as turbinas de reação dispõem de uma caixa d'água de um mecanismo para regular a admissão da água e distribuí-la igualmente por todas as entradas do rotor e ainda de um tubo de sucção. A turbina de ação contém um ou mais jatos descarregando em direção às conchas do rotor, sob condições de pressão atmosférica, e dispõem de dispositivos para regular a descarga, de uma caixa e de uma passagem de descarga.

As turbinas de reação são do tipo Francis e de hélices. As turbinas de hélices podem ser de pás fixas ou de pás ajustáveis, e, nesse caso, são chamadas de turbinas Kaplan, nome de seu inventor. As turbinas de ação são do tipo Pelton e Michell-Banki.

Para Roma (1993), as turbinas de reação ainda podem ser definidas em dois tipos de máquinas:

- Máquinas Mistas: a água entra radialmente no rotor e é liberada axialmente. Pertencem a este tipo as turbinas Francis, introduzidas em 1849;
- Máquinas Axiais; a água entra e sai do rotor axialmente, e a entrada e saída geralmente tem a mesma área. Pertencem a este tipo as turbinas Hélice e Kaplan, introduzidas a partir de 1912.

### **3.2.6.2 Sistema de Regulação**

O sistema de regulação tem por finalidade manter a rotação e, portanto, a frequência da unidade geradora dentro dos limites considerados aceitáveis, em função da variação da demanda da rede elétrica. Nas microcentrais hidrelétricas esta função é desempenhada pelos reguladores de velocidade, conforme manual da ELETROBRÁS (1985).

#### **3.2.6.2.1 Reguladores de Velocidade**

Os reguladores automáticos de velocidade geralmente empregados nas microcentrais hidrelétricas são do tipo mecânico, constituído por um servo-mecanismo acionado por óleo pressurizado, comandado por um pêndulo centrífugo. O pêndulo detecta qualquer variação da velocidade (rotação) da unidade geradora, causada por variação da carga na rede, pondo em funcionamento o servo-mecanismo de acionamento do distribuidor da turbina. O distribuidor regula o fluxo de água através da turbina, controlando deste modo a variação da potência da mesma, de acordo com a variação da carga na unidade geradora, segundo a ELETROBRÁS (1985).

#### **3.2.6.2.2 Volantes de Inércia**

Conforme manual da ELETROBRÁS (1977), nas unidades geradoras de pequena capacidade ocorre freqüentemente que o momento de inércia ( $GD^2$ ) das massas girantes é insuficiente para garantir uma regulação estável, ou seja, o regulador não tem capacidade de atender às variações de carga na unidade geradora, dentro de certas condições de regulação previamente impostas, considerando-se apenas o  $GD^2$  do gerador e da turbina. Torna-se necessário então recorrer ao emprego de volantes de inércia, que poderão ser fabricados em ferro fundido ou aço fundido. Estes volantes são normalmente colocados na extensão do eixo do gerador, sendo sua massa e seu diâmetro determinados pelo fabricante da turbina, em função das características da máquina oferecida.

### 3.2.6.3 Geradores Síncronos

De acordo com o autor Kosow (1977), a primeira indicação da possibilidade de intercâmbio entre energia elétrica e mecânica foi apresentada por Michel Faraday em 1831. Esta descoberta é considerada por alguns como o maior avanço individual no progresso da ciência para atingir o aperfeiçoamento final da humanidade.

Máquinas síncronas são conversores rotativos que transformam energia mecânica de rotação em energia elétrica, ou, no sentido inverso, energia elétrica em energia mecânica de rotação. No primeiro caso constituem os geradores elétricos e no segundo os motores, cita Mauad (1997).

Comenta também que os geradores elétricos utilizados em centrais produtoras de eletricidade são máquinas que produzem energia elétrica de corrente alternada com a frequência definida pela rotação a que são submetidas. Como a energia elétrica consumida no Brasil foi adotada no padrão de frequência de 60 Hz, as máquinas devem girar a uma rotação determinada para gerar a energia em exata sincronia com aquela frequência.

Fisicamente o gerador é composto da parte fixa, o estator, e da parte rotativa, o rotor. A carcaça do estator, em fabricação soldada, apoia em seu interior o ferro ativo, composto de pacote de lâminas que levam as ranhuras para as bobinas, segundo Schreiber (1977).

### 3.2.6.4 Quadros de Comando

A ELETROBRÁS (1985), recomenda que os instrumentos de medição e os dispositivos de controle necessários para a operação do gerador devem ser montados no quadro de comando do gerador.

Para Mauad (1997), as condições de funcionamento do sistema gerador devem ser continuamente fornecidas, permitindo ao operador o conhecimento de funcionamento do sistema. Nas microcentrais hidrelétricas, funcionando de forma independente, o módulo de comando é bastante simples e os instrumentos de medida que o compõe são os seguintes:

- Amperímetros,

- Freqüencímetros,
- Voltímetro,
- Wattímetro.

### **3.2.6.5 Dispositivo de Proteção**

Os sistemas de proteção são compostos por dispositivos sensíveis à condições anormais de funcionamento, com ação automática para evitar ou limitar efeitos danosos, segundo Mauad (1997).

Também a proteção de um sistema elétrico tem os seguintes objetivos:

- Evitar danos às pessoas ou aos animais;
- Evitar ou minimizar danos aos equipamentos e propriedades;
- Minimizar as interrupções no fornecimento de energia elétrica; e
- Limitar os efeitos de uma perturbação em outras partes do sistema e no sistema de geração.

### **3.2.7 Casa de Máquinas (Casa de Força)**

A orientação da ELETROBRÁS (1985), esclarece que a casa de máquinas é a edificação que abriga os grupos geradores destinados à produção de energia elétrica, bem como os equipamentos auxiliares necessários ao funcionamento da central hidrelétrica.

As casas de força têm a finalidade de alojar as máquinas e os equipamentos, possibilitar sua montagem ou eventual desmontagem e sua operação e manutenção, segundo Schreiber (1977).

Conforme Mauad (1997), os materiais de construção podem ser quaisquer, dependendo das disponibilidades locais. Usualmente são utilizadas madeira ou alvenaria de tijolo, materiais bastante difundidos e de custo baixo.

### **3.3 Estudos Hidrológicos, Topográficos e Geológicos**

#### **3.3.1 Estudos Hidrológicos**

Segundo Souza (1983), hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza. É a parte da Geografia física e abrange, em especial, propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície e no subsolo.

A ELETROBRÁS (1985) recomenda que os estudos hidrológicos a serem realizados nos projetos de microcentrais hidrelétricas visam basicamente à definição, em caráter estimativo de :

- Vazão de projeto da(s) turbina(s), para a determinação da potência a ser instalada;
- Nível d'água de desvio do rio, para a programação da ensecagem no local a ser construída a barragem, quando for o caso;
- Vazão de cheia máxima e nível d'água correspondente, para a determinação da capacidade máxima necessária do vertedouro (sangradouro), durante os períodos de enchentes do rio e orientação de posição do piso da casa de máquinas.

Para o autor Schreiber (1977), todos os estudos hidrológicos devem abranger, pelo menos, 20 anos consecutivos, caso existam dados. Omissões de observações dentro desse período podem ser reconstituídos por meio da correlação entre o local pesquisado e os postos fluviométricos do mesmo rio, ou num rio vizinho. Porém, de qualquer modo, deverá ser estabelecida a curva-chave para o local da barragem e também para o local da casa de força, caso esta seja afastada daquela.

#### **3.3.2 Estudos Topográficos**

Para o planejamento geral do aproveitamento de um rio, precisa-se de estudos topográficos especiais, porque no Brasil existem apenas mapas topográficos em escalas pequenas, que não mostram os detalhes necessários, cita o autor Schreiber (1977).

A orientação da ELETROBRÁS (1985), para projeto de uma minicentral hidrelétrica vários serviços de topografia serão necessários:

- Determinação da queda natural no local do aproveitamento;

- Perfis de seções transversais diversas;
- Perfis de seções longitudinais diversas;
- Áreas para implantação das diversas obras civis necessárias;
- Áreas de drenagem.

### **3.3.3 Estudos Geológicos**

Os locais dos diversos elementos do aproveitamento devem ser estudados mais detalhadamente, conforme Schreiber (1983), e para isso serão executados furos de sondagem com a finalidade de se verificar a estratigrafia das camadas rochosas, sua permeabilidade, a existência eventual de falhas geológicas e outras zonas fracas, conclui.

A Geologia e a Geotecnia tratam, basicamente, de dois aspectos:

- Do local da barragem e obras anexas, de modo a garantir uma escolha adequada e segura quanto às fundações, ombreiras e encostas naturais nas vizinhanças das obras;
- Dos materiais naturais de construção necessárias à construção das obras que constituem o aproveitamento, recomenda ELETROBRÁS (1985).

## 6 CONCLUSÃO

Em função das análises dos resultados obtidos sobre o levantamento do potencial hídrico com fins energéticos do Rio Lavapés, chegaram-se às conclusões a seguir.

### 6.1 Quanto à turbina hidráulica e o potencial hidrelétrico

Em relação à turbina hidráulica, a escolha recaiu sobre a turbina hidráulica de reação, tipo Francis em caixa espiral fechada em chapa de aço soldada ou ferro fundido, pelos seguintes aspectos:

- a) a mesma apresentar maior rotação de operação e rotação específica, conseqüentemente ser acoplada a geradores menores e mais baratos e, instalação em uma casa de máquinas menor;
- b) apresentar maior rendimento se comparada com outras turbinas, se levada em consideração as mesmas condições de queda e vazão;
- c) possibilitar a sua instalação com eixo horizontal com acoplamento direto em um só eixo com o gerador elétrico e apresentar facilidades construtivas e de manutenção;
- d) apresentar maior rotação específica que outros tipos de turbinas disponíveis, favorecendo um custo inicial reduzido, apesar da perda de rendimento devido a este aspecto;
- e) facilidade operacional, manutenção simples e facilidade na aquisição de peças de reposição, podendo ser adquiridas em modelos padronizados;

- f) apresentar possibilidades maiores no controle da cavitação através do correto dimensionamento da distância vertical entre o rotor e o canal de restituição, ou altura de sucção; pois o mesmo acrescenta o desnível à carga da turbina, aumentando o rendimento global do aproveitamento hidroenergético.

Por estas considerações, os valores tecnicamente favoráveis são a partir de 360 litros por segundo até 460 litros por segundo; fornecendo valores de potência no eixo da turbina de 55,09 kW até 70,40 kW, rotação específica de 343,36 até 388,13 e altura de sucção de 2,64 m até 1,00 m. A potência bruta calculada pela fórmula da ELETROBRÁS (1985) com vazão de 460 litros por segundo e queda de 20 metros é igual a 90,25 kW.

A turbina hidráulica Francis dimensionada para 460 litros por segundo, fornece potência no eixo da turbina de 70,4 kW, tendo um rendimento hidromecânico de 78 % e os terminais do gerador uma potência de 66,9 kW, portanto rendimento global ( $\eta_G$ ) de 74 %; que é um valor considerado dentro dos limites tecnológicos sugeridos pela ELETROBRÁS, considerando rendimento global igual ao produto dos rendimentos do sistema de adução ( $\eta_{as}$ ), da turbina ( $\eta_t$ ) e do gerador ( $\eta_g$ ), iguais a  $\eta_{as} = 95\%$ ,  $\eta_t = 82\%$  e  $\eta_g = 95\%$ , respectivamente.

Analisou-se também a possibilidade de instalação de outras configurações, tais como a turbina Michell-Banki que tem uma concepção simples, de fabricação fácil com poucos recursos técnicos, simples na instalação e operação e também apresenta uma curva de carga adequada em sistemas de regime altamente variável.

## 6.2 Quanto aos aspectos gerais

De todas as fontes energéticas hoje exploradas, a hidreletricidade se destaca por ser obtida da água, um recurso renovável, não poluente, sem resíduos e que permite sua reutilização à jusante, para o mesmo fim; além das vantagens intrínsecas como a atenuação dos eventuais efeitos negativos sócio-ambientais, que propiciam a não interferência no regime hidrológico do curso d'água.

A pequena central hidrelétrica representa uma das mais importante alternativa de produção e uso localizado de energia renovável em relação aos sistemas

energéticos centralizados, promovendo a ampliação da oferta de energia elétrica em áreas isoladas, pequenos centros agrícolas e industriais.

As PCHs são alternativas viáveis, devido ao custo acessível, ao menor prazo de implementação e maturação do investimento, às facilidades oferecidas pela legislação e à disposição das concessionárias de energia elétrica de comprarem o excedente de energia gerada por autoprodutores.

A regulamentação da produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor em conjunto com a nova resolução da ANEEL em relação ao conceito de Pequenas Centrais Hidrelétricas deverá incentivar a construção de centenas de novas PCHs em potenciais já identificados.

A existência imediata da necessidade da viabilização operacional de potenciais identificados, como a do Rio Lavapés, objetivando disponibilizar ao consumidor local, energia confiável, de excelente qualidade.

No estudo realizado, verifica-se a grande viabilidade devido aos valores favoráveis para implantação, sem apresentar aspectos negativos nesse âmbito.

Possibilitando também novos avanços tecnológicos através de pesquisas em energia alternativa em Pequenas Centrais Hidrelétricas, na Área de Energia na Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônômicas na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) em Botucatu-SP.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BALARIM, C. R. *Avaliação expedita do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas*. Botucatu, 1996. 158p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BURD, D. *Microsoft Visual Basic 5 – Dicas e Soluções de Problemas*. São Paulo: Makron Books, 1998, 96p.
- CONTE, M. L. *Espécies químicas dissolvidas no Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP*. 1992. 123p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CORAINI, A. L. S., NOLLA, I. M. *Autocad 12 Curso Básico e Prático*. São Paulo: Editora MacGraw-Hill Ltda., 1994, 608p.
- ELETROBRÁS. *Plano Decenal de Expansão 1998/2007*.
- ELETROBRÁS. *Programa nacional de pequenas centrais elétricas (PNCE)*. 1998.
- ELETROBRÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. *Manual de pequenas centrais hidrelétricas*. Rio de Janeiro, 1982, 700p.
- ELETROBRÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. *Manual de mini centrais hidrelétricas*. Rio de Janeiro, 1985, 530p.
- ELETROBRÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. *Manual de micro centrais hidrelétricas*. Rio de Janeiro, 1985, 344p.

- HALVORSON, M. *Microsoft Visual Basic 5: passo a passo*. São Paulo: Makron Books, 1997, 379p.
- KOSOW, I. L. Máquinas elétricas e transformadores. v.1, Porto Alegre: Editora Globo, 4ed, 1982.
- KOSOW, I. L. Máquinas elétricas e transformadores. v.2, Porto Alegre: Editora Globo, 4ed, 1982.
- LEITE, A. D. *A energia do Brasil*. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997. 528p.
- LINSLEY, R. K. *Engenharia de recursos hídricos*. São Paulo: USP, 1978. 774p.
- LEOPOLDO, P. R. *Aspectos hidrológicos da região de Botucatu*. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1, 1989, Botucatu: Núcleo de Extensão de Serviços à Comunidade, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1989, p.57-70.
- MACIEL, F. A. A., FABRIZY, M. P. Estudo da temática do planejamento energético municipal por pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Brasil. In: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Guia de investimentos em pequenos aproveitamentos hidrelétricos no Brasil*. n.3. Rio de Janeiro: CD-ROM, 1998.
- MANZANO, J. A. N. G. *Estudo dirigido de Visual Basic 5.0*. São Paulo: Érica, 1998, 175p.
- MARTINEZ, C. B. *Microcentral Hidrelétrica Rural "MCHR"*. Itajubá: EFEI, 1983, 80p.
- MAUAD, F. F. et al (Eds) *Curso sobre micro centrais hidrelétricas: procedimentos práticos*. Apostila Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1997, 130p.
- MONITION, L., LE NIR, M., ROUX, J. *Micro hydroelectric power station*. Sulfok: John Wiley & Sons Ltd., 1984, 185p.
- PAULA, E. *um modelo de integração energética para a América Latina*. São Paulo: Gráfica Editora Bartira Ltda., 1997, 194p.
- OMURA, G., *Dominando o Autocad Versão 12*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1993, 964p.
- PEREIRA, G. M., HORA, A. F., ALBUQUERQUE, F. C. C. *Classificação de pequenas centrais hidrelétricas – PCH*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 1, 1998, Poços de Caldas.

- ROMA, W. N. L., MAUAD, F. F. Introdução às turbinas hidráulicas. Apostila USP/São Carlos, São Carlos, 3ed. 1993.
- SANTOS, A. H. M., BAJAY, S. V. *O desenvolvimento nacional e as pequenas centrais hidrelétricas – uma visão histórica*. In: SEMINÁRIO SOBRE HISTÓRIA DA ENERGIA, 1986, São Paulo.
- SCHEREIBER, G. P. *Usinas hidrelétricas*. São Paulo; Edgard Blücher, 1977, 238p.
- SOUZA, Z. *Centrais hidrelétricas / dimensionamento de componentes*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1992, 197p.
- SOUZA, Z., FUCHS, R. D., SANTOS, A. H. M. *Centrais Hidro e Termelétricas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1983, 241p.
- TIAGO FILHO, G. L., ALENCAR, H. S. Panorama elétrico das PCHs. In: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Guia de investimentos em pequenos aproveitamentos hidrelétricos no Brasil*. n.3. Rio de Janeiro: CD-ROM, 1998.
- TIAGO FILHO, G. L., SANTOS, A. H. M., MONACO, M. A. G. Uma síntese do novo contexto institucional brasileiro referente ao aproveitamento hidrelétrico de pequeno porte. In: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Guia de investimentos em pequenos aproveitamentos hidrelétricos no Brasil*. n.3. Rio de Janeiro: CD-ROM, 1998.
- VARELA, J. R. *Curso Prático de Visual Basic 5.0*. São Paulo: Érica, 1998, 280p.
- VIANA, A. N. C. *Pequenas centrais hidrelétricas no meio rural*. In: SIMPÓSIO “TECNOLOGIA E APLICAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA E DE FONTES RENOVÁVEIS NA AGRICULTURA”. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande: UFPB.

## APÊNDICE

### 1 CONSUMO DE ENERGIA NO MUNDO

No Brasil, cita Paula (1997), o abastecimento elétrico está configurado em cinco regiões: Sudeste, Nordeste, Sul, Centro Oeste e Norte. Cita também que, o Brasil é o país com maior potência hidrelétrica do Mercosul, com 77 % do total e 91 % do parque nacional. As centrais térmicas de base (óleo, carvão e nuclear) atingem 5 %.

A questão energética assume caráter de desafio para os países em desenvolvimento, quando se constata que os 850 milhões de habitantes das nações desenvolvidas de economia de mercado consomem mais da metade da energia do mundo e o consumo por habitante das nações desenvolvidas é cerca de oito vezes o das nações em desenvolvimento ou subdesenvolvidas, relata Leite (1997).

Pela origem predominantemente hídrica da energia elétrica no Brasil, não podemos esquecer que o indicador ambiental, sempre lembrando quando se fala em produção de energia – emissão de dióxido de carbono, em toneladas por milhar de US\$ de PIB, no Brasil é um dos menores do mundo (cerca de 0,1 ton./10<sup>3</sup> US\$).

No ano de 1997, segundo a ELETROBRAS (1998), o consumo de energia elétrica foi de 293 TWh (inclui autoprodução e consumo relativo a energias interruptíveis), para uma população na ordem de 161 milhões de brasileiros. Só a zona rural

apresenta apenas um consumo igual a 9,7 TWh de um total de 274,3 TWh (não incluso a autoprodução nem o consumo de energias interruptíveis).

## **2 DÉFICIT DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

Por não ter acesso a energia elétrica, cerca de 20 milhões de brasileiros no meio rural estão relegados à escuridão e ao subdesenvolvimento. O déficit na energização rural, de acordo com o Ministério das Minas e Energia, é resultado de uma política energética baseada essencialmente em oferecer suporte ao desenvolvimento das cidades.

Segundo Eugênio Mancini, diretor do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE), apenas um terço da população rural tem acesso à eletricidade. E conforme pesquisa do próprio ministério, existem cerca de 100 mil comunidades remotas, com uma população média de 150 habitantes por povoado, e 3 milhões de propriedades rurais vivendo e produzindo luz de lamparinas a querosene, como faziam seus antepassados no século passado.

Atualmente, todo o sistema elétrico opera com uma margem de oferta inferior aos parâmetros internacionais de segurança que é de 10% na oferta de energia em relação ao consumo. No Brasil esse índice é de 5% nos momentos de pico, quando se atinge 42 GW. Analisando o Plano Decenal de Expansão 1998/2007 - ELETROBRAS (1998), verifica-se que o Brasil tem capacidade para gerar 59,3 GW de energia elétrica. A oferta real é de 44 GW (descontando sistemas isolados, usinas em manutenção, sistemas de autoprodução, entre outros). Segundo esse mesmo Plano, se prevê a necessidade de aumento da capacidade geradora dos atuais 59,3 GW para 95,7 GW; ou seja crescer cerca de 3,64 GW/ano; caso sejam investidos cerca de R\$ 8 bilhões (valor de janeiro/98) a cada ano.

## **3 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHs)**

A época da república nascente no Brasil, tem como caracterizante, uma dualidade de modelo cultural da sociedade composta pela emergência do imperialismo norte-americano, em troca ao paradigma vigente do ideário ibérico europeu, e pela formação de uma conceituação de modernidade à brasileira, observável pelo fornecimento do modernismo. Essa

formação ideológica “empurrou”, de ambos os lados, a fixação da opção tecnológica de formação de uma matriz de geração elétrica por centrais hidrelétricas, e pela desorganização do estado político transitório, em vez de empreendimentos locais (descentralizados) de pequeno porte, relata Maciel et al (1997).

Os últimos 50 anos foram marcados pela construção de grandes usinas, tendo em vista os recursos hidrológicos existentes e demais benefícios técnico-econômicos. Atualmente, tais recursos encontram-se escassos e a oferta de energia elétrica, com a perspectiva de crescimento do mercado, torna-se um produto de grande preocupação.

#### **4 LEGISLAÇÃO PERTINENTE**

O conjunto de leis considerado de grande importância no panorama do Setor Elétrico de hoje, pode ser relacionado conforme a seguir:

- Decreto-Lei n.º 1.872 de 21/05/81 – Dispõe sobre a aquisição, pelo concessionário, de energia elétrica excedente gerada por autoprodutores.
- Portaria n.º 136 de 06/10/87 DNAEE – Estabelece e define PCHs e aceita soluções de engenharia e planejamento não contemplados nos manuais, que favoreçam um custo final de energia gerada inferior a qualquer outra alternativa.
- Decreto-Lei n.º 915 de 06/09/93 – Autoriza a formação de consórcios para geração de energia elétrica para autoprodução.
- Decreto n.º 1.348 de 28/12/94 – Regula a participação de concessionários de serviço público de energia elétrica em aproveitamento hidrelétrico de outro concessionário (arrendamento).
- Lei n.º 8.987 de 13/02/95 – Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, liberando o mercado de energia elétrica do monopólio estatal.
- Lei n.º 9.074 de 07/07/95 – Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de Serviços Públicos. Em seu capítulo II trata especificamente dos serviços de energia elétrica.
- Decreto n.º 1.717 de 24/11/95 – Estabelece procedimentos para prorrogações das concessionárias dos serviços públicos de energia elétrica de que trata a Lei n.º 9.074 de 07/07/95.

- Decreto n.º 2.003 de 10/09/96 – Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.
- Lei n.º 9.427 de 26/12/96 – Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), disciplina o regime de concessões de serviços públicos de energia elétrica.
- Lei n.º 9.468 de 27/05/98 – Altera dispositivos das Leis n.º 8.987 de 13/02/95, 9.074 de 07/07/95 e 9.427 de 26/12/96.
- Resolução n.º 393 de 04/12/98 ANEEL – Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas.
- Resolução n.º 394 de 04/12/98 ANEEL – Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.
- Resolução n.º 395 de 04/12/98 ANEEL – Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétrica, assim como da autorização para exploração de centrais hidrelétricas até 30 MW e dá outras providências.
- Resolução n.º 396 de 04/12/98 ANEEL – Estabelece as condições para implantação, manutenção e operação de estações fluviométricas e pluviométricas associadas a empreendimentos hidrelétricos.

## **5 LEVANTAMENTO HISTÓRICO**

### **5.1 Histórico da Usina Hidrelétrica**

Estação Experimental Central do Café

Botucatu - SP

- 1935

Projeto de usina hidrelétrica de 43 HP para a Estação Experimental de Café em Lageado – Botucatu-SP, elaborado pela empresa HERM STOLTZ & COMP. - São Paulo - Secção Técnica – Janeiro de 1935

- 1935

Construção (conclusão) do prédio no mês de julho.

- 1935

Instalação da turbina hidráulica Francis com quadro completo, excitador e reostato.

- 1936

Elaboração do esquema da rede de distribuição elétrica pelo Sr. Affonso Poyart, em 06 de Janeiro.

- 1936

Instalação do Volante de aço, castelo d'água em alvenaria cimentado com comportas e a instalação do Regulador hidráulico.

- 1937

Instalação da Caixa de decantação de areia, com comporta e grades.

- 1938

Instalação do Regulador de Voltagem.

- 1940

Estudo para modificação das posições do mancal externo e do volante em 01 de Fevereiro.

## **5.2 Detalhes construtivos da Casa de Máquinas e Equipamentos Hidroeletromecânicos**

- Casa n° 76

- Localização Séde

- Usina hidrelétrica

- Área - 24,15 m<sup>2</sup>

- Comprimento - 5,55 m

- Largura - 4,35 m

- Pé direito - 3,00 m
- Altura até a laje de concreto - 3,30 m
- Alicerces de pedra rejuntada
- Paredes externas de 1 tijolo
- Cobertura em laje de cimento armado
- Porta frente - 2,00x1,00 m (lado)  
1,20x1,20 m (fundo)
- Pavimentação - ladrilhado sobre laje de concreto
- Instalações existente - luz elétrica com globo no interior e 1 braço no exterior, pára-raio de haste.
- Valor estimado 10.000\$000

### **5.2.1 Turbina**

- Marca STOLTZ 40 HP com:
- 01 válvula borboleta;
- 01 regulador manual;
- 01 tacômetro;
- 01 luva elástica;
- 01 mancal.

### **5.2.2 Gerador**

Marca ASEA 36 kVA, trifásico 50 ciclos por segundo a 1000 rpm, 230 V, 90,5 A,  $\cos \varphi = 0,8$  acoplado a um excitador no mesmo eixo, magneto em tensão 110 V.

### **5.2.3 Quadro de Comando**

Composto por:

01 voltímetro;

- 01 amperímetro;
- 01 chave trifásica com fusíveis;
- 01 arandela para iluminação.

#### **5.2.4 Sistema de Tubulação de Adução**

Composto por um encanamento adutor de 80,70 m, dividido em:

- 38,70 m de comp. por 0,38 m de diâmetro interno inclusive 2 curvas soldado, novo, remetido do Superior Tribunal de Contas, sem guia remessa acompanhando a turbina em 10 de abril de 1935;
- 42,00 m de comprimento por 0,45 m de diâmetro interno reto, rebitado, usado, existente no ato da aquisição da Fazenda, - custo englobado na aquisição das terras.

#### **5.2.5 Volante de aço**

Composto por:

- 18 mm de espessura;
- 1 m de diâmetro.
- Adquirido em Jundiaí em 1936.

#### **5.2.6 Regulador Automático**

- Marca BOWING VKA no. 1829, para pressão de 30 kg - CM 2.
- Adquirido pelo Superior Tribunal de Contas através da Guia Remessa no. 128 de 15 de Outubro de 1935.

#### **5.2.7 Regulador automático de voltagem**

- Marca YRVE - ASEA - Vasteras - Suécia no. 604.4395
- Adquirido pelo STC em 1937, através da Guia Remessa no. 145

## **6 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DO CONSUMO DE ÁGUA NA FAZENDA LAGEADO**

Neste levantamento, o consumo de água na época foi realizado através da elaboração de uma questão de ordem prática, como segue:

“Canal de derivação para alimentação da Usina Hidrelétrica e das turbinas hidráulicas da Estação Experimental Central de Café.

Dados da questão:

Tem-se uma turbina espiral, acoplada a um gerador trifásico funcionando sob 20 m de queda útil, consumindo de 200 a 230 litros d'água por segundo.

Tem-se uma turbina vertical de impulsão axial, acionando uma bomba alternativa de duplo efeito, para elevação da água potável, um desintegrador de milho, um picador de cana, um cortador de palha e um moinho de fubá, funcionando sob um queda útil de 10 metros, consumindo de 100 a 120 litros por segundo.

Tem-se um outra turbina vertical de impulsão radial, que acionará uma serraria, com uma serra vertical para desdobro (francesa), uma serra circular para vigotas, outra circular com furador, esmeril, furador, torno etc. para ferro, a qual irá funcionar sob um queda útil de 10 m consumindo de 120 a 150 litros por segundo.

Os dados sobre o consumo de água dessas turbinas são referentes ao seu máximo de capacidade, quando trabalharem com carga total. Nas condições normais de funcionamento elas trabalham carregadas com 75% da carga máxima, especialmente as duas últimas que nunca trabalharão com sobrecarga.

A primeira funcionará dia e noite na produção de energia elétrica, pegando a carga máxima de dia (Benefício de café 20 HP, eletro-bomba 15 HP, outros motores 5 HP) e trabalhando com metade da carga (40 a 50%) da normal a noite para iluminação. (O benefício ocupa 10 horas por dia).

A segunda trabalha durante dois períodos cada dia. No 1º período, 7 às 9 horas da manhã, funcionam as maquinas de forragem, desenvolvendo o máximo de capacidade normal. No 2º período, das 17 às 21 horas da noite funciona a bomba elevatória, que exige apenas 50% da carga normal das 12 às 15 horas, água potável. A terceira trabalhará diariamente em um período ininterrupto das 6 horas e 30 minutos às 17 horas movendo as

maquinas da serraria em condições normais, havendo possibilidade de trabalhar em marcha econômica, cerca de 70% a normal.

Nestas condições as horas de maior consumo são das 7 horas às 9 horas, quando as turbinas exigem 350 litros p/ seg. em conjunto.”

## **7 PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZANDO VISUAL BASIC 5.0 PARA DIMENSIONAMENTO DA TURBINA HIDRÁULICA FRANCIS.**

Const PI = 3.1428

Dim Y As Currency

Dim N1 As Currency

Dim ZP1 As Integer

Dim N As Integer

Dim NQA As Currency

Dim RENDIMENTO\_HIDRAULICO As Currency

Dim PH As Currency

Dim PE As Currency

Dim COEFICIENTE As Currency

Dim HSMAX As Currency

Dim QN As Currency

Dim NQAN As Currency

Dim VELOCIDADE As Currency

Dim DIAMETRO\_EXTERNO As Currency

Dim DIAMETRO\_ENTRADA As Currency

Dim DIAMETRO\_INTERNO As Currency

Dim DIAMETRO\_IESPIRAL As Currency

Dim DIAMETRO\_EESPIRAL As Currency

Dim ALTURA\_EXTERNA As Currency

Dim ALTURA\_INTERNA As Currency

Dim ALTURA\_DISTRIBUIDOR As Currency

Dim LS As Currency

Dim LL As Currency

Dim LH As Currency

Dim LB As Currency

Private Sub Command1\_Click()

$$Y = (9.81) * (\text{Val}(\text{Text1.Text}))$$

$$N1 = (5.58) * (Y ^ 0.265) * (\text{Val}(\text{Text2.Text}) ^ (-0.5))$$

$$ZP1 = (60 / N1)$$

$$N = (60 / ZP1)$$

$$NQA = ((10 ^ 3) * (N) * (\text{Val}(\text{Text2.Text}) ^ 0.5)) / (Y ^ 0.75)$$

$$\text{RENDIMENTO\_HIDRAULICO} = \text{Val}(\text{Text3.Text}) / \text{Val}(\text{Text4.Text})$$

$$PH = \text{Val}(\text{Text2.Text}) * Y$$

$$PE = PH * \text{Val}(\text{Text3.Text})$$

$$\text{COEFICIENTE} = 25 * (10 ^ -3) * (1 + ((10 ^ -4) * (NQA ^ 2)))$$

$$\text{HSMAX} = 10 - (0.00122 * \text{Val}(\text{Text5.Text})) - (\text{COEFICIENTE} * \text{Val}(\text{Text1.Text}))$$

If NQA <= 150 Or NQA >= 60 Then

$$QN = 0.8 * \text{Val}(\text{Text2.Text})$$

End If

If NQA <= 350 Or NQA >= 150 Then

$$QN = \text{Val}(\text{Text2.Text}) / (1.415 - (0.11 * (10^{-2}) * NQA))$$

End If

$$NQAN = 10^3 * N * ((QN^{0.5}) / (Y^{(3/4)}))$$

$$\text{VELOCIDADE} = ((2 * Y) / (((0.06 * (10^{-4}) * (NQAN^2)) - ((0.762 * (10^{-2})) * NQAN) + 2.68)))^{0.5}$$

$$\text{DIAMETRO\_EXTERNO} = \text{VELOCIDADE} / (\text{PI} * 30)$$

If NQAN <= 100 Or NQAN >= 60 Then

$$\text{DIAMETRO\_ENTRADA} = \text{DIAMETRO\_EXTERNO} / ((3.32) - 0.975 * (10^{-2}) * NQAN)$$

End If

End If

If NQAN <= 250 Or NQAN >= 100 Then

$$\text{DIAMETRO\_ENTRADA} = \text{DIAMETRO\_EXTERNO} / ((0.165 * (10^{-4}) * (NQAN^2)) - (0.835 * 10^{-2} * NQAN) + (2.017))$$

End If

If NQAN <= 350 Or NQAN >= 250 Then

$$\text{DIAMETRO\_ENTRADA} = \text{DIAMETRO\_EXTERNO} / (1.025 - (0.03 * (10^{-2}) * NQAN)$$

End If

End If

$$\text{DIAMETRO\_INTERNO} = 30 * \text{DIAMETRO\_ENTRADA} * (NQAN^{-0.667})$$

$$\text{ALTURA\_INTERNA} = ((0.4 + ((0.168 * 10^{-2}) * NQAN) - (0.0177 * 10^{-4}) * (NQAN^2))) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

$$\text{ALTURA\_DISTRIBUIDOR} = (((0.165 * (10^{-2}) * \text{NQA}) - (0.018 * (10^{-4}) * (\text{NQA}^2))) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

$$\text{DIAMETRO\_IESPIRAL} = (((0.16 * 10^{-4}) * (\text{NQA}^2)) - ((0.98 * 10^{-2}) * \text{NQA}) + 2.9) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

$$\text{ALTURA\_EXTERNA} = 0.25 * \text{DIAMETRO\_IESPIRAL}$$

$$\text{DIAMETRO\_EESPIRAL} = (0.16 + ((0.708 * 10^{-2}) * \text{NQA}) - ((0.122 * 10^{-4}) * (\text{NQA}^2))) * \text{DIAMETRO\_EXTERNO}$$

If NQA <= 115 Or NQA > 60 Then

$$\text{LS} = ((5.7 - ((1.91 * 10^{-2}) * \text{NQA})) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA})$$

End If

If NQA <= 200 Or NQA > 115 Then

$$\text{LS} = ((1.258 * (10^{-4}) * (\text{NQA}^2)) - (4.76 * (10^{-2}) * \text{NQA}) + 7.313) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

End If

If NQA <= 350 Or NQA > 200 Then

$$\text{LS} = (2.95 - (6.67 * (10^{-4}) * \text{NQA})) * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

End If

$$\text{LL} = 4.7 * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

$$\text{LH} = 1.15 * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

$$\text{LB} = 3.2 * \text{DIAMETRO\_ENTRADA}$$

Text6.Text = Y

Text7.Text = ZP1

Text8.Text = NQA

Text9.Text = N

Text10.Text = RENDIMENTO\_HIDRAULICO

Text11.Text = PH

Text12.Text = PE

Text13.Text = COEFICIENTE

Text14.Text = HS MAX

Text15.Text = QN

Text16.Text = NQAN

Text17.Text = VELOCIDADE

Text18.Text = DIAMETRO\_EXTERNO

Text19.Text = DIAMETRO\_ENTRADA

Text20.Text = DIAMETRO\_INTERNO

Text21.Text = ALTURA\_EXTERNA

Text22.Text = ALTURA\_INTERNA

Text23.Text = ALTURA\_DISTRIBUIDOR

Text24.Text = DIAMETRO\_IESPIRAL

Text25.Text = DIAMETRO\_EESPIRAL

Text26.Text = LS

Text27.Text = LL

Text28.Text = LH

Text29.Text = LB

Text30.Text = N1

End Sub

## **8 PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZANDO VISUAL BASIC 5.0 PARA DIMENSIONAMENTO DA TURBINA HIDRÁULICA MICHELL-BANKI**

Dim PE As Currency

Dim ROTACAO\_TURBINA As Currency

Dim LARGURA\_INJETOR As Currency

Dim ESPESSURA\_DISCO As Currency

Dim LARGURA\_ROTOR As Currency

Dim DIAMETRO\_EIXO\_ROTOR As Currency

Dim DIAMETRO\_MAXIMO As Currency

Dim DIAMETRO\_INTERNO As Currency

Dim DIAMETRO\_PRIMITIVO As Currency

Dim RAIIO\_PA As Currency

Private Sub Command1\_Click()

PE = (4,65) \* (Val(Text1.Text)) \* (Val(Text2.Text))

ROTACAO\_TURBINA = (4000) \* ((Val(Text1.Text) ^ 0.5)) / (Val(Text3.Text))

LARGURA\_INJETOR = 18100 \* (Val(Text2.Text)) / (((Val(Text3.Text)) \*  
((Val(Text1.Text) ^ 0.5)))

ESPESSURA\_DISCO = (Val(Text3.Text)) / 23.6

LARGURA\_ROTOR = (LARGURA\_INJETOR) + (ESPESSURA\_DISCO)

DIAMETRO\_EIXO\_ROTOR = 12.7 \* (PE / ROTACAO\_TURBINA) ^ 0.25

DIAMETRO\_MAXIMO = (0.4) \* (Val(Text3.Text))

DIAMETRO\_INTERNO = 0.66 \* (Val(Text3.Text))

DIAMETRO\_PRIMITIVO = 0.734 \* (Val(Text3.Text))

RAIO\_PA = 0.16 \* (Val(Text3.Text))

Text4.Text = PE

Text5.Text = ROTACAO\_TURBINA

Text6.Text = LARGURA\_INJETOR

Text7.Text = ESPESSURA\_DISCO

Text8.Text = LARGURA\_ROTOR

Text9.Text = DIAMETRO\_EIXO\_ROTOR

Text10.Text = DIAMETRO\_MAXIMO

Text11.Text = DIAMETRO\_INTERNO

Text12.Text = DIAMETRO\_PRIMITIVO

Text13.Text = RAIIO\_PA

End Sub

## **9 PROGRAMA NACIONAL DE PEQUENAS CENTRAIS ELÉTRICAS (PNCE)**

O referido programa foi elaborado pela ELETROBRÁS/DNAEE e aprovado pelo governo nacional através do Ministério das Minas e Energia (MME) em 1984, objetivando principalmente reduzir o consumo de derivados de petróleo, formação básica de infra-estrutura para a expansão de fronteiras agrícolas, alternativa para a eletrificação rural, utilização da mão-de-obra local não especializada e utilização de equipamentos nacionais dentre outros.

## 9.2 Antecedentes

O marco da ação governamental no sentido de iniciar um movimento nacional para investimento em pequenas centrais elétricas foi a elaboração, entre 1981/1982, do Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, através do Convênio entre ELETROBRÁS e DNAEE, sob a coordenação da primeira. O manual consolidou a tecnologia nacional nesta área e possibilitou meios para a promoção de estudos, projeto, construção e operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) a baixos custos, em curto espaço de tempo.

O passo seguinte foi a elaboração, sob a coordenação da ELETROBRÁS, de uma proposta de Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, aprovada pelo MME em maio de 1984 e consolidada em meados de 1985.

Desde então, foram introduzidos aperfeiçoamentos na legislação que beneficiaram as Pequenas Centrais Elétricas (PCE), destacando-se os seguintes:

- Conceito de produtor independente;
- Dispensa de concessão, permissão ou autorização para aproveitamentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1 MW;
- Dispensa de concessão, permissão ou autorização para projetos de centrais térmicas com potência igual ou inferior a 5 MW;
- Dispensa de concessão precedida por licitação para autoprodutores e produtores independentes que, no caso de geração hidrelétrica com potência igual ou inferior a 25 MW, só necessitam de uma autorização do poder concedente;
- Possibilidade de formação de consórcios para exploração de novos aproveitamentos hidrelétricos.

O Brasil, apesar de produzir equipamentos para pequenas centrais hidrelétricas, priorizou o aproveitamento de potenciais hídricos de maior porte, tendo em vista a necessidade de grandes blocos de energia para atendimento aos principais centros de carga do sistema interligado.

Ao contrário, em alguns países verificou-se o emprego em larga escala dessas centrais, o que ensejou um aprimoramento na produção e comercialização de equipamentos empregados para tal finalidade, ao mesmo tempo em que foram criadas

facilidades para o desenvolvimento desses projetos, em todas as fases, principalmente na viabilização financeira do empreendimento.

Mais recentemente, em decorrência do acordo bilateral Brasil-China, identificou-se a oportunidade de cooperação técnica entre a ELETROBRÁS e o Ministério de Recursos Hídricos da República Popular da China, no que diz respeito à experiência acumulada por aquele país na produção e disseminação do emprego de pequenas centrais hidrelétricas, cuja participação é significativa na capacidade total instalada em hidreletricidade.

A "Avaliação da Oportunidade e das Condições para Lançamento de um Novo Programa de Implantação e Recuperação de PCHs", foi objeto de um grupo de trabalho criado pela Portaria DNAEE 77614 cuja principal recomendação ("É inquestionavelmente oportuno o lançamento de um novo Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas") impôs que se considerasse prioritária a criação de bases para a instituição do citado Programa Nacional.

Face ao exposto, em 28.05.96, foi instituído o Programa Nacional de Pequenas Centrais Elétricas - PNCE. O Programa é implementado e operacionalizado pela ELETROBRÁS e visa facilitar e incentivar a implantação de Pequenas Centrais Elétricas no País.

Além das hidrelétricas, deve ser destacada também a utilização de pequenas centrais térmicas, quer pelas inovações tecnológicas, onde verificou-se expressiva melhoria de seu rendimento com impacto direto nos custos de operação, quer pelos resultados rápidos e confiáveis, propiciando maior atratividade para o investidor privado.

Ressalte-se ainda que outras tecnologias de geração elétrica não convencional têm-se mostrado promissoras com o aumento de sua competitividade. Em função da tendência declinante dos seus custos, decorrentes do avanço tecnológico e da escala de produção e de utilização, e em face da quase total utilização da potencial energético, principalmente nas regiões onde o mercado de energia elétrica é o mais denso, bem como face às crescentes limitações de controle ecológico para o aproveitamento do potencial remanescente, elas também devem ser consideradas.

### 9.3 Objetivos

Dinamizar a implantação de PCEs para expansão da oferta de energia elétrica a mercados atendidos ou não por Concessionária;

Promover a recuperação/recapacitação de PCHs existentes, modernizando suas instalações de forma a tornar a produção de energia mais eficiente e competitiva;

Captar a poupança privada, em forma de investimentos em autoprodução ou produção independente de energia elétrica.

### 9.4 Justificativas

As PCEs terão importante papel social na complementação da infraestrutura agrícola (irrigação e beneficiamento), urbana (pequenos centros) e industrial (áreas isoladas), contribuindo para a geração de emprego e fixação da população local.

Também podem ser identificados benefícios para o Setor Elétrico tais como:

- A complementação local de geração, contribuindo para o suprimento das pontas de carga, regulação de tensão e melhoria da garantia do abastecimento;
- Suprimento aos centros isolados;
- Alternativas à eletrificação rural tradicional;
- Contribuição para redução ou substituição do consumo de derivados de petróleo empregados para geração elétrica;
- Adiamento de investimentos em transmissão.

Outro fator que pode tornar atrativo a presença da PCE diz respeito às contingências financeiras atuais, justificando, em determinados casos, a adoção de projetos menores, de investimento mais baixo e pequeno prazo de maturação, o que possibilita uma melhor distribuição dos investimentos ao longo do tempo, ampliando as oportunidades de participação do setor privado.

Os projetos de PCEs também ensejam eventualmente o aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas para a complementação de geração elétrica, ao mesmo tempo que reduzem os impactos ambientais.

A dificuldade de equacionamento financeiro para fazer frente à demanda de investimentos necessários à expansão do Setor de Energia Elétrica, requerendo recursos da ordem de 6 bilhões de dólares/ano, em média, conforme o Plano 2015, enseja à ELETROBRÁS o papel importante de agente de desenvolvimento econômico.

A implantação de PCEs surge como medida de segurança para o atendimento da demanda nos próximos anos, passando a se constituir num programa complementar da geração do Setor Elétrico.

Ademais é válido lembrar que a energia elétrica é um dos principais insumos indispensáveis ao processo de desenvolvimento econômico do país.

#### **9.4 Abrangência do Programa**

##### - Tipos de Empreendimentos

O Programa Nacional de Pequenas Centrais Elétricas abrange os pequenos aproveitamentos elétricos com potência até 10 MW, incluindo:

- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs;
- Pequenas Centrais Térmicas - PCTs (incluindo consumidores que geram vapor do processo);
- Tecnologias Não Convencionais (fontes alternativas).

##### - Prioridades

No escopo do PNCE são prioritários os projetos de PCE'S que contemplem:

- Menor custo de geração com a qualidade requerida da energia elétrica para os consumidores;
- Reduzir ou mesmo substituir o consumo de derivados de petróleo empregados para geração elétrica em sistemas isolados, onde exista viabilidade de geração empregando energéticos primários;
- Transformar em autoprodutores, aqueles consumidores industriais que empregam combustíveis exclusivamente para geração de processo;

- Ampliar o fornecimento de energia elétrica para o meio rural (atendimento aos sistemas isolados);
- Implementar aproveitamentos que sinalizem maiores custos evitados.

- Público Alvo

O universo dos possíveis interessados em PCE'S pode ser assim agrupado:

- Empresa Concessionária
- federal;
- estadual;
- municipal;
- privada.
- Produtor Independente;
- Autoprodutor;
- Consórcio; e
- Cooperativas.

Os projetos de PCEs podem se beneficiar com a realização de engenharia financeira adequada. Iniciativas no campo da geração de energia elétrica por investidores privados certamente resultarão em muitos arranjos de engenharia financeira, envolvendo investidores e órgãos de financiamento.

Um fator importante na ponderação da oportunidade de uma PCE é o “custo evitado”, em face ao emprego de geração elétrica próxima ao centro de carga, em detrimento da solução convencional que envolve normalmente além dos dispêndios incorridos na geração, gastos com extensos sistemas de transmissão e distribuição, bem como com as perdas associadas.

Para fins do Programa de PCEs, entende-se por oportunidade de negócios a um conjunto de um ou mais aproveitamentos para geração elétrica vinculados a centros de carga interligados ou isolados cuja viabilidade técnico-econômica venha a ser demonstrada.

## 10 QUADROS

Quadro 6 – Valores relativos à Antiga e a Nova PCH.

	Antiga PCH		Nova PCH	
	Francis	Francis	Francis	Michell-Banki
Queda (m)	20	20	20	10
Vazão (l/s)	230	460	460	460
Pot. Hidráulica (kW)	45,1	90,2	2x45,1=90,2	
Pot. Hidráulica Líquida (kW)	42,9	85,7	2x42,9=85,8	
Pot. Turbina (kW)	35,1	70,4	2x22,3=44,6	
Pot. Terminais do Gerador (kW)	33,3	66,9	2x21,0=42,0	
Rend. Turbina (%)	82	82	52	
Rend. Sist. Adução (%)	95	95	95	
Rend. Gerador (%)	95	95	95	
Rend. Global (%)	74	74	47	
Comparação entre a Antiga e Nova PCH				
Potência (kW)	-	+33,6	+8,7	
Variação (%)	-	+100	+26	

Quadro 7 – Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas hidráulicas Francis, para queda de 20 metros.

Vazão (l/s)	Pot. Turbinável (kW)	Rot. Específica	Alt. Sucção (m)
200,00	30,61	511,85	-4,56
210,00	32,14	524,49	-5,21
220,00	33,67	536,83	-5,87
230,00	35,20	548,90	-6,52
240,00	36,73	560,70	-7,18
250,00	38,26	572,26	-7,83
260,00	39,79	583,60	-8,49
270,00	41,32	594,71	-9,14
280,00	42,85	605,63	-9,80
290,00	44,38	616,35	-10,45
300,00	45,91	626,88	-11,11

Quadro 7 – Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas hidráulicas Francis, para queda de 20 metros (continuação).

Vazão (l/s)	Pot.Turbinável (kW)	Rot. Específica	Alt. Sucção (m)
310,00	47,44	637,25	-11,76
320,00	48,97	323,72	3,30
330,00	50,50	328,74	3,14
340,00	52,03	333,68	2,97
350,00	53,56	338,56	2,81
360,00	55,09	343,36	2,65
370,00	56,62	348,09	2,48
380,00	58,15	352,77	2,32
390,00	59,68	357,38	2,16
400,00	61,21	361,93	1,99
410,00	62,74	366,43	1,83
420,00	64,27	370,87	1,66
430,00	65,81	375,26	1,50
440,00	67,34	379,60	1,34
450,00	68,87	383,89	1,17
460,00	70,40	388,13	1,01
470,00	71,93	392,32	0,85
480,00	73,46	396,48	0,68
490,00	74,99	400,58	0,52
500,00	76,52	404,65	0,35
510,00	78,05	408,68	0,19
520,00	79,58	412,67	0,03
530,00	81,11	416,62	-0,14
540,00	82,64	420,53	-0,30
550,00	84,17	424,40	-0,46
560,00	85,70	428,24	-0,63
570,00	87,23	432,05	-0,79
580,00	88,76	435,82	-0,96
590,00	90,29	439,56	-1,12
600,00	91,82	443,27	-1,28
610,00	93,35	446,95	-1,45
620,00	94,88	450,60	-1,61
630,00	96,41	454,22	-1,77
640,00	97,94	457,81	-1,94
650,00	99,47	461,37	-2,10
660,00	101,00	464,91	-2,27
670,00	102,53	468,42	-2,43
680,00	104,06	471,90	-2,59
690,00	105,59	475,36	-2,76
700,00	107,12	478,79	-2,92

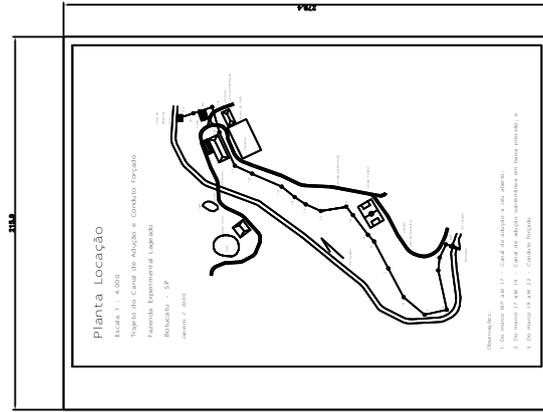
Quadro 8 - Valores obtidos através do programa computacional Visual Basic versão 5.0, para turbinas hidráulicas Michell-Banki, para queda de 10 metros.

Vazão (l/s)	Pot. Turbinável (kW)
200	9,30
210	9,76
220	10,23
230	10,70
240	11,16
250	11,62
260	12,09
270	12,55
280	13,02
290	13,48
300	13,95
310	14,41
320	14,88
330	15,34
340	15,81
350	16,27
360	16,74
370	17,20
380	17,67
390	18,13
400	18,60
410	19,06
420	19,53
430	19,99
440	20,46
450	20,92
460	21,39
470	21,85
480	22,32
490	22,78
500	23,25
510	23,71
520	24,18
530	24,64
540	25,11
550	25,57
560	26,04
570	26,50
580	26,97
590	27,43
600	27,90
610	28,36
620	28,83
630	29,29
640	29,76
650	30,22
660	30,69
670	31,15
680	31,65
690	32,08
700	32,55

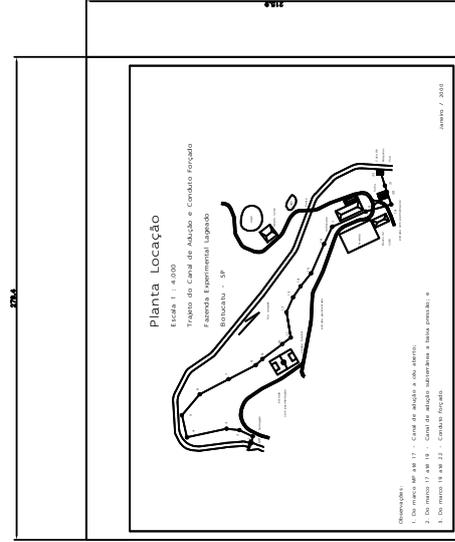
Quadro 9 – Dados relativos ao levantamento topográfico

Alinhamento	Retículos			$\alpha$	DH	I	Tipo de Visada	DN	Azimute
	Superior	Médio	Inferior						
MP-1	1,60	1,52	1,44	0° 34'	16,00	1,94	Ascend.	-,026	108° 39'
1-2	1,17	1,015	0,84	1° 10'	32,97	1,49	Descend.	1,15	31° 29'
2-3	3,25	3,10	2,95	2° 11'	29,96	1,49	Ascend.	2,75	9° 39'
3-4	2,18	1,71	1,24	1° 35'	93,93	1,50	Descend.	2,39	352° 12'
4-5	1,33	1,065	0,80	1° 15'	52,98	1,51	Descend.	1,60	81° 36'
5-6	1,69	1,37	1,05	0° 02'	64,00	1,52	Ascend.	-0,11	135° 16'
6-7	3,69	3,305	2,92	0° 35'	77,00	1,46	Ascend.	2,63	156° 26'
7-8	1,14	0,78	0,42	1° 44'	71,93	1,36	Descend.	2,76	157° 07'
8-9	1,23	1,13	1,03	1° 24'	19,99	1,37	Descend.	0,73	141° 42'
9-10	1,58	1,29	1,00	1° 45'	57,95	1,49	Ascend.	1,57	147° 35'
10-11	1,00	0,87	0,74	1° 12'	25,99	1,54	Descend.	1,21	145° 25'
11-12	1,60	1,30	1,00	2° 45'	59,86	1,42	Descend.	3,00	84° 37'
12-13	1,47	1,235	1,10	1° 24'	36,98	1,53	Descend.	1,20	119° 32'
13-14	1,51	1,355	1,20	1° 00'	30,99	1,51	Descend.	0,70	128° 36'
14-15	1,39	1,195	1,00	0° 21'	39,00	1,42	Descend.	0,46	134° 11'
15-16	1,74	1,37	1,00	0° 44'	73,99	1,42	Descend.	1,00	117° 38'
16-17	1,00	0,78	0,56	1° 42'	43,96	1,42	Descend.	1,95	120° 29'
17-18	1,86	1,43	1,00	0° 28'	85,99	1,41	Descend.	0,68	160° 16'
18-19	2,60	2,30	2,00	1° 20'	59,97	1,33	Descend.	0,43	168° 36'
19-20	0,46	0,30	0,14	12° 10'	30,58	1,40	Descend.	7,69	75° 19'
20-21	2,26	2,18	2,10	4° 45'	15,89	1,37	Descend.	0,51	77° 19'
21-22	1,37	1,185	1,00	17° 30'	33,65	1,43	Descend.	10,86	75° 44'

314



314



314

