

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MATHEUS TAVARES OLIVEIRA**

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. <u>M 621 31</u>
Cutter <u>0 48 v</u>
Ano/Ed. <u>2010</u>

**VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MICRO  
ESCALA PARA PROPRIEDADES RURAIS**

**Varginha - MG**  
**2010**

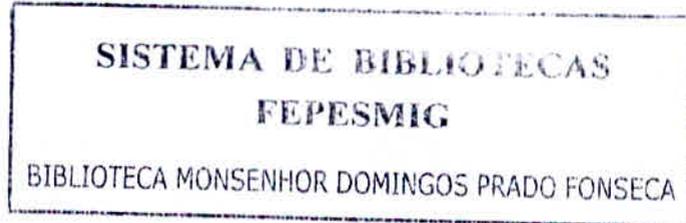
**MATHEUS TAVARES OLIVEIRA**

**VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MICRO  
ESCALA PARA PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário do Sul de  
Minas – UNIS/MG como pré-requisito para  
a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico,  
sob a orientação do Prof. Esp. Fernando  
Emilio Coradi.

**Varginha - MG  
2010**

**MATHEUS TAVARES OLIVEIRA**



**VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MICRO  
ESCALA PARA PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Alexandre Soriano e Prof. Esp. Fernando Emilio Coradi.

Aprovado em 29 / 11 / 2010

Prof. Esp. Márcio de Santana

Prof. Ms. Alexandre Soriano

Prof. Esp. Fernando Emilio Coradi

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus pela oportunidade e também à minha família e pessoas envolvidas, pela compreensão e ajuda durante todo o curso.

Agradeço à minha família e minha namorada pelo apoio durante este período. Agradeço aos professores e todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

“Qualquer um que não se choque com a mecânica quântica é porque não a entendeu”

Niels Bohr

## RESUMO

O sistema de produção de energia baseado em micro centrais hidrelétricas são alternativas para propriedades rurais desprovidas de energia elétrica ou que se localizam distante das linhas de transmissão. O principal objetivo da micro central hidrelétrica é fazer com que a mesma consiga suprir as necessidades energéticas de uma propriedade rural sem o auxílio de concessionárias energéticas. Pensando nesta questão, objetivamos a viabilização técnica e científica da construção de uma micro central hidrelétrica para que os pequenos e médios produtores possam serem geradores de sua própria energia elétrica. Como resultado estimamos que todas as etapas de viabilização técnicas são descritas e entre elas citamos: estudo de potencial hidráulico, análise de perfil para a instalação dos equipamentos, descrição dos equipamentos mínimos necessários para o aproveitamento hidrodinâmico, dimensionamento do gerador cinético e adequação à demanda local.

**Palavras chaves:** capacidade; energia; ambiente.

## **ABSTRACT**

*The energy production system based on micro hydropower plants are alternatives for farms without electrical power supply or that are located far from power lines. The main objective of the micro hydropower plant is to make it able to meet the energy needs of rural property without the help of energy utilities. Thinking about this question, we aimed at scientific and technical feasibility of constructing a micro hydro power plant for small and medium producers may be generating your own electricity. As a result we estimate that all steps for enabling techniques are described and among them we cite: a study of water potential profile analysis for installation of equipment, description of the minimum equipment necessary to use hydrodynamic, kinetic design of the generator and adaptation to local demand.*

**Words Key:** *capacity, energy, environment.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me proporcionado forças e sabedoria para realização dos trabalhos desenvolvidos.

Agradeço minha família e minha irmã pelo apoio e pela ajuda na construção deste trabalho.

Agradeço minha namorada pela compreensão durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao Sr. Sebastião Feliciano e ao Sr. Roberto Paiva por ter me mostrado o funcionamento de uma micro central hidrelétrica e por deixarem tirar fotos para serem postadas na realização deste trabalho.

Agradeço ao professor orientador e a todos os professores do Centro Universitário do Sul de Minas que me auxiliaram na construção deste trabalho.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1: Demonstração da medição da área a ser calculada.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2: Demonstração do flutuador no trecho do percurso a ser calculado.....</i>	<i>23</i>
<i>Foto 3: Local onde deve ser medida a vazão do projeto.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4: Medição da altura de queda disponível.....</i>	<i>25</i>
<i>Foto 5: Exemplo de um canal de adução.....</i>	<i>27</i>
<i>Foto 6: Exemplo de grade no canal de adução.....</i>	<i>27</i>
<i>Foto 7: Exemplo de Comporta.....</i>	<i>28</i>
<i>Foto 8: Exemplo de uma câmara de carga.....</i>	<i>28</i>
<i>Foto 9: Exemplo Tubulação Forçada (Aço carbono).....</i>	<i>29</i>
<i>Foto 10: Exemplo de uma turbina de micro central hidrelétrica.....</i>	<i>30</i>
<i>Foto 11: Exemplo de gerador de micro central hidrelétrica.....</i>	<i>30</i>
<i>Foto 12: Exemplo de Painel de controle de micro central hidrelétrica.....</i>	<i>31</i>
<i>Foto 13: Exemplo de canal de fuga.....</i>	<i>31</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2: Vantagens x Desvantagens micro central hidrelétrica.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 3: Rendimento típico do sistema de adução (canal, tubulações, válvulas e grades).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 4: Rendimentos típicos de turbinas e geradores.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 5: Rendimento típicos de transformadores e das linhas de transmissão.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 6: Coeficiente de correção da vazão média com o método do flutuador.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 7: Escolha do diâmetro da tubulação pela vazão do projeto.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 8: Estimativa de consumo dos equipamentos.....</i>	<i>33</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO .....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.3 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 ANÁLISE LITERÁRIA .....	14
2.2 DEFINIÇÃO DE MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA.....	14
2.3 ARRANJOS DE MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS .....	15
2.3.1 MICRO CENTRAL EM DESVIO COM CANAL DE ADUÇÃO E CONDUTO FORÇADO.....	15
2.3.2 MICRO CENTRAL EM DESVIO COM TUBULAÇÕES DE ADUÇÃO E FORÇADA .....	16
2.3.3 MICRO CENTRAL EM DESVIO APENAS COM CONDUTO FORÇADO .....	16
2.3.4 MICRO CENTRAL DE BAIXA QUEDA EM DESVIO SEM CONDUTO FORÇADO.....	16
2.4 PRINCIPAIS COMPONENTES PARA CONSTRUÇÃO DE UMA MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA.....	16
2.4.1 RESERVÁTARIO.....	16
2.4.2 TOMADA D'ÁGUA .....	17
2.4.3 CANAL DE ADUÇÃO .....	17
2.4.4 CÂMARA DE CARGA .....	17
2.4.5 TUBULAÇÃO FORÇADA.....	18
2.4.6 CASA DE MÁQUINAS (OU DE FORÇA).....	18
2.4.7 CANAL DE FUGA.....	18
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL HIDRÁULICO.....	20
3.2 RENDIMENTOS DA INSTALAÇÃO.....	20
3.3 POTÊNCIA ELÉTRICA .....	21
3.4 MEDIÇÃO DA VAZÃO .....	22
3.5 MEDIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA DISPONÍVEL .....	25
3.6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA NECESSÁRIA .....	26
3.7 ESTRUTURAS E COMPONENTES CIVIS.....	27
3.8 EQUIPAMENTOS DA CASA DE MÁQUINA.....	29
3.9 MANUTENÇÃO.....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A maioria da população brasileira possui acesso à energia elétrica, mas atualmente mais de 10 milhões de pessoas não possuem energia elétrica, onde a maioria vive em propriedades rurais.

Micro central hidrelétrica é uma central onde não é necessário o armazenamento de água, sendo mais objetivo é a construção de uma barragem de desvio, tomada d'água, casa de máquinas, tubulação e linhas de transmissão e distribuição. Seu componente básico é a turbina, e o rotor é o componente por onde absorve energia hidráulica e posteriormente é transformando em energia mecânica.

As micros centrais hidrelétricas têm uma grande contribuição no contexto nacional e internacional da geração de energia elétrica como fontes renováveis, utilizando de recursos naturais para suprir as necessidades humanas, e isto tudo sendo realizado com baixo impacto ambiental. O crescimento da demanda por energia nos próximos anos, especialmente de fontes renováveis e o esgotamento do potencial dos rios para grandes hidrelétricas está empurrando investidores à construção de pequenas e micro centrais hidrelétricas, devido ser uma boa estratégia de investimentos.

No Brasil, a energia elétrica se torna mais difícil em regiões onde o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é menor e também onde existem famílias de baixa renda. Geralmente o acesso de energia elétrica em propriedades rurais também é mais difícil, devido à distância das linhas de transmissão e do maior custo para instalação.

As Micros Centrais Hidrelétricas foram desenvolvidas para o abastecimento de pequenas propriedades, onde os recursos da natureza sejam abundantes podendo ser aproveitados sem danificar o meio ambiente. Órgãos federais, estaduais e municipais devem ser contatados para que seja feita a liberação para a construção e operação das mesmas.

No Brasil, essas micro centrais hidrelétricas têm sido pesquisadas e fabricadas para atender potências com capacidade próxima de 10 kW. Estas máquinas são simples, com os objetivos de ter um custo reduzido e um rendimento aceitável.

A solução do país não esta embasada na construção de micro central hidrelétrica, mais sim como uma geração de energia alternativa, pois só é necessário ter um córrego perto da propriedade para que possa construir e poder gerar sua própria energia elétrica.

Dependendo do local de aplicação, fica muito mais econômico para o proprietário fazer a instalação, pois além de não precisar utilizar energia de linhas de transmissão que

muitas vezes tem que ser puxadas de lugares distantes, ele tem a garantia de geração de energia todos os dias do ano.

## **1.1 OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho é analisar a implantação de uma micro central hidrelétrica em uma propriedade rural.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Verificar se a capacidade de potência hidráulica e potência elétrica produzida com a construção da micro central hidrelétrica atende a demanda necessária na propriedade rural.

Verificar se é viável financeiramente a construção da micro central hidrelétrica.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

Este trabalho tem como base estudar a possibilidade de uma construção de uma micro central hidrelétrica, verificando quanto de energia pode ser gerada e se esta quantidade atende completamente ou parcialmente o consumo de uma propriedade rural. Isso possibilitará uma criação de energia elétrica alternativa utilizando recursos naturais já existentes na propriedade.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 ANÁLISE LITERÁRIA**

Este capítulo tem como objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a realização deste estudo. Ele será composto em 10 seções.

### **2.2 DEFINIÇÃO DE MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA**

Micro central hidrelétrica é uma central que tem a capacidade de geração de energia elétrica, geralmente para abastecimento de pequenas fazendas ou vilarejos.

A geração de energética pode ser classificada de acordo com a tabela abaixo:

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>FAIXA DE POTÊNCIA</b>
<b>Pequena central hidrelétrica</b>	de 1.000 a 30.000 kW
<b>Mini central hidrelétrica</b>	de 100 a 1.000 kW
<b>Micro central hidrelétrica</b>	de 5 a 100 kW
<b>Pico central hidrelétrica</b>	< 5 kW

*Tabela 1: Classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil.  
Fonte: Eletrobrás (1985) adaptado pelo autor*

“De forma geral a tecnologia de micro e pico centrais são utilizadas nos países em desenvolvimento para fornecimento de eletricidade a comunidades isoladas para as quais a extensão de rede é inviável. Na maioria dos casos não são necessários barragem ou reservatórios”. (ELETROBRÁS, 1985)

## **2.3 ARRANJOS DE MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

Segundo (ELETROBRÁS, 1985) “uma central geradora hidráulica deve conter estruturas que permitam a captação da água e sua condução, através do declive do terreno, até a casa de máquinas”.

### **2.3.1 MICRO CENTRAL EM DESVIO COM CANAL DE ADUÇÃO E CONDUTO FORÇADO**

Conforme (ELETROBRÁS, 1985) este tipo de arranjo “é adequado a locais de médias quedas, e quando a distância entre barragem e casa de máquinas não é pequena. Ele é muito utilizado devido ao fato destas características serem as mais facilmente encontradas”.

### **2.3.2 MICRO CENTRAL EM DESVIO COM TUBULAÇÕES DE ADUÇÃO E FORÇADA**

De acordo com (ELETROBRÁS, 1985) este tipo “é adequado a locais de médias e altas quedas, e quando a distância entre a barragem e a casa de máquinas é grande”.

### **2.3.3 MICRO CENTRAL EM DESVIO APENAS COM CONDUTO FORÇADO**

Segundo (ELETROBRÁS, 1985) este tipo “é adequado a locais de médias quedas, e quando a distância entre barragem e casa de máquinas é muito pequena”.

### **2.3.4 MICRO CENTRAL DE BAIXA QUEDA EM DESVIO SEM CONDUTO FORÇADO**

Conforme (ELETROBRÁS, 1985) este tipo “é adequado a locais de baixa queda e como não possui duto forçado tende ser mais barato o custo da construção”.

## **2.4 PRINCIPAIS COMPONENTES PARA CONSTRUÇÃO DE UMA MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA**

Segundo (ELETROBRÁS, 1985) todas micros centrais ou pequenas centrais devem conter os seguintes componentes: “reservatório, tomada d’água, canal de adução, câmara de carga, chaminé de equilíbrio, tubulação forçada, casa de máquinas (ou de força) e canal de fuga”.

### **2.4.1 RESERVATÓRIO**

Quando nos referimos a reservatório, estamos incluindo todo o conjunto formado pelo lago, a barragem, o vertedouro e se necessário a escada de peixes.

O reservatório para a micro central hidrelétrica segundo (ELETROBRÁS, 2000) pode ser dos seguintes tipos: “a fio d’água, de acumulação, com regularização diária do reservatório, de acumulação, com regularização mensal do reservatório”.

De acordo com (ELETROBRÁS, 2000) barragem é a “estrutura que tem por objetivo represar a água, visando à elevação do córrego ou rio, fazendo com que ocorra a alimentação da tomada d’água”.

Para (ELETROBRÁS, 1985) vertedouro é um “dispositivo que permite o escoamento do excesso de água por ocasião das chuvas e a escada de peixes resulta em uma estrutura de passagem de água pela barragem, em formato de escada, visando à desova dos peixes”.

#### **2.4.2 TOMADA D’ÁGUA**

A transição entre a barragem, responsável pela captação de água, e o sistema de adução da mesma é chamada de tomada d’água. Segundo (ELETROBRÁS, 1985) é a “estrutura ou local cuja a finalidade é controlar, regular, derivar e receber água, diretamente da fonte, por uma entrada de água construída a montante”.

#### **2.4.3 CANAL DE ADUÇÃO**

Segundo (ELETROBRÁS, 1985) canal de adução é o “elemento responsável por conduzir a água desde a tomada d’água até a câmara de carga, que deve ser localizada o mais próximo possível da casa de máquinas”.

A escolha do tipo de canal a ser construído depende das condições topográficas de cada região onde o canal será instalado.

A velocidade da água depende fundamentalmente do revestimento utilizado.

Os canais de adução com revestimentos têm um custo de construção maior, mais em compensação a sua manutenção e sua perda de carga são menores.

#### **2.4.4 CÂMARA DE CARGA**

De acordo com (ELETROBRÁS, 1985) a câmara de carga é a “estrutura que faz a transição do escoamento entre o canal de adução e o conduto forçado. Em caso de fechamento

brusco do dispositivo de controle de vazão da turbina ela alivia o surto de pressão, também denominado de golpe de aríete, que se processa no conduto forçado”.

#### **2.4.5 TUBULAÇÃO FORÇADA**

“É uma estrutura necessária para transportar água da câmara de carga até a casa de máquinas. Esta tubulação, denominada forçada, fica submetida à maior pressão e deve ser de aço, ferro fundido ou de concreto armado”. (ELETROBRÁS, 1985)

#### **2.4.6 CASA DE MÁQUINAS (OU DE FORÇA)**

Segundo (ELETROBRÁS,1985) a casa de máquinas tem a “finalidade de abrigar as turbinas, os geradores, os quadros de comando e os sistemas de medição e proteção da central hidrelétrica”.

A casa de máquinas deve ser construída em local onde facilite o retorno ao rio ou córrego, da água utilizada pela turbina. Deve ser uma construção simples, espaçosa e segura, para evitar a entrada de animais ou pessoas estranhas.

A turbina é um dos principais componentes de uma casa de máquinas, para a construção de uma micro central hidrelétrica segundo (SOUZA, 1996) em geral são empregados os seguintes tipos de turbinas “(1) turbina turgo, (2) turbina Pelton, (3) turbina Francis, (4) turbina axial, (5) turbina bulbo e (6) bomba centrífuga funcionando como turbina”.

Esta apresentação dos diversos tipos de turbinas, demonstra como pode ser amplo o campo para a utilização de recurso hidráulicos, para a escolha da turbina que melhor será empregada devemos verificar o potencial hidráulico do local de instalação.

#### **2.4.7 CANAL DE FUGA**

De acordo com (ELETROBRÁS, 1985) canal de fuga tem a “função de reconduzir a água turbinada ao curso original do rio”.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir temos uma tabela com as vantagens e desvantagens da construção de uma micro central hidrelétrica.

Vantagens	Desvantagens
<p>A energia é produzida a uma taxa constante e sendo assim, à exceção das micro centrais hidrelétricas, a necessidade de armazenamento em baterias é quase inexistente e a energia está disponível a qualquer hora.</p>	<p>É uma tecnologia de "local específico", isto é, são necessários locais adequados próximos ao ponto onde a energia será utilizada.</p>
<p>Apresentam concepção simplificada, que lhes proporciona baixo custo de implantação e manutenção e facilidade na operação.</p>	<p>Nos pequenos riachos, onde são normalmente instaladas, a potência máxima é limitada e não pode ser aumentada caso haja um crescimento da demanda.</p>
<p>A tecnologia é de fácil adequação para a fabricação e utilização em países em desenvolvimento ou em áreas remotas.</p>	<p>Em alguns casos, a potência disponível é reduzida ou inexistente durante os períodos de seca.</p>
<p>A tecnologia é robusta e apresenta vida útil elevada, cerca de 20 anos, podendo atingir 50 a 60 anos de funcionamento sem maiores investimentos, com um baixo custo de reparos e manutenção.</p>	<p>Secas e mudanças na utilização da água e do solo podem reduzir a produção de energia.</p>
<p>A manutenção destas centrais é bastante simples, resumindo-se na lubrificação periódica dos rolamentos e na substituição de correias de transmissão, quando necessário.</p>	<p>Em muitas regiões, a demanda não é grande o suficiente para favorecer a tecnologia adequada e os equipamentos necessários para uma fácil implantação.</p>

*Tabela 2: Vantagens x Desvantagens da micro central hidrelétrica*

*Fonte: Eletrobrás (1985) adaptado pelo autor*

O trabalho consiste em aproveitar recursos hidráulicos já existentes, sem esquecer-se do respeito aos mananciais, e utilizando-os como fonte de energia cinética. O projeto será desenvolvido para uma possível instalação em uma propriedade rural.

A utilização da água para movimentação da turbina poderá ser feita de duas maneiras. A primeira maneira é utilizando a derivação de um rio ou córrego, a segunda maneira é utilizando a sobra de água de um açude, represa ou reservatório, onde possui uma vazão ideal para que a turbina seja movimentada. Foi optada pela primeira opção, pois a água a ser utilizada será provida de um córrego já existente.

Para que a micro central hidrelétrica seja considerada viável, a mesma deve produzir uma quantidade de energia capaz de abastecer totalmente ou parcialmente a propriedade rural.

### 3.1 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL HIDRÁULICO

O levantamento hidráulico é uma das principais características que devem se levar em conta para a construção da micro central hidrelétrica, pois é através deste levantamento que verificamos a real quantidade de potência hidráulica que poderá ser gerada para que possa ser transformada em energia elétrica.

Para calcularmos o potencial hidráulico, utilizamos da seguinte fórmula:

$$P = Q \cdot g \cdot H \quad (1)$$

Onde: P = Potência Hidráulica (kW)

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s)

g = Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

H = Altura de queda (m)

Então através desta fórmula podemos concluir que a força da água exercida, é o produto da vazão obtida, a aceleração da gravidade e altura de queda.

### 3.2 RENDIMENTOS DA INSTALAÇÃO

O rendimento de todos os tipos de instalação deve ser o maior possível, mas devemos lembrar que todos os tipos de máquinas possuem perdas, então podemos concluir que seu rendimento será inferior a 100%. Como a turbina é uma das máquinas que mais possuem

rendimentos, podemos afirmar que seu rendimento aproxima-se de 92%, dependendo do tamanho da turbina e quantidade de kW que ela tem capacidade de gerar.

Além das perdas da turbina, existem perdas na tubulação, do gerador e do sistema de transmissão.

### 3.3 POTÊNCIA ELÉTRICA

É a relação da quantidade de energia que estará disponível após o aproveitamento hidráulico.

Esta potência pode ser descrita através da seguinte formula:

$$P_{ELE} = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{CA} \cdot \eta_{CO} \cdot \eta_{TU} \cdot \eta_{GE} \cdot \eta_{TR} \cdot \eta_{DT} \quad (2)$$

Onde:  $P_{ELE}$  = potência elétrica (kW)

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$Q$  = vazão da água ( $m^3/s$ )

$H$  = altura de queda (m)

$\eta_{CA}$  = rendimento das grades e dos canais

$\eta_{CO}$  = rendimento dos condutos e válvulas

$\eta_{TU}$  = rendimento global da turbina

$\eta_{GE}$  = rendimento global do gerador

$\eta_{TR}$  = rendimento do transformador

$\eta_{DT}$  = rendimento da linha de distribuição

Os rendimentos dos componentes das micro centrais podem ser diferentes em função da altura de queda disponível e da faixa de potência da central. As tabelas a seguir apresentam os valores médios de rendimento do sistema de adução em função da altura de queda e da turbina e do gerador em função de sua potência.

Comprimento do Sistema de Adução (L)	Rendimento Percentual
L < 80 m	99
80 < L < 320 m	98
L > 320 m	97

**Tabela 3:** *Rendimento típico do sistema de adução (canal, tubulações, válvulas e grades)*  
**Fonte:** Eletrobrás (1985)

Potência da Central (kW)	Rendimento da Turbina (%)	Rendimento do Gerador (%)
Até 10	70 a 80	90
10 a 50	80 a 83	90
50 a 100	83 a 86	92
100 a 500	86 a 88	92
500 a 1000	88 a 92	94

**Tabela 4:** *Rendimentos típicos de turbinas e geradores*  
**Fonte:** Eletrobrás (1985)

Equipamento	Rendimento (%)
Transformador	93 a 95
Linha de distribuição	94 a 96

**Tabela 5:** *Rendimento típicos de transformadores e das linhas de transmissão*  
**Fonte:** Eletrobrás (1985)

Para a determinação da potência elétrica total é necessário o conhecimento da medida de vazão e da altura de queda, o restante depende das condições de instalação da micro central.

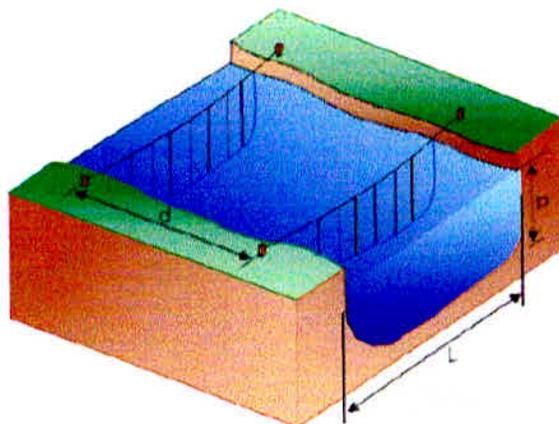
### 3.4 MEDIÇÃO DA VAZÃO

Um dos pontos mais importantes para obtenção do potencial hidráulico e energético, é a obtenção da vazão. Como o estudo é de uma micro central hidrelétrica alimentada por um córrego, sua alimentação será do tipo fio d'água, não havendo regularização da vazão.

Como temos um córrego, a medição da vazão deve ser do tipo medição com flutuadores. Para a medição da vazão serão necessários alguns equipamentos básicos tais como: um trecho do córrego retilíneo, pedaços de cordas, estacas, varas de bambu graduadas, trena, papel para anotações e calculadora.

Para obtermos a vazão devemos pegar as estacas e colocar as margens do córrego, uma de cada lado, com a trena medimos a distância do córrego, e com o bambu graduado medimos a profundidade em diversas partes do córrego, fazendo uma média aritmética entre os pontos.

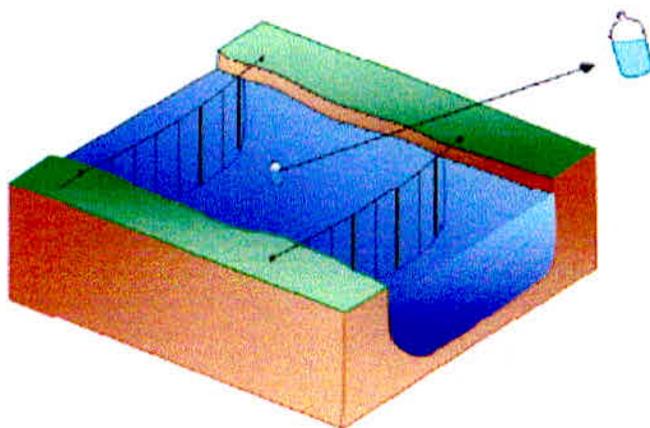
Devemos determinar a área transversal do córrego multiplicando pela profundidade obtida e pela largura do córrego.



*Figura 1: Demonstração da medição da área a ser calculada*  
*Fonte: Eletrobrás (1985)*

Após determinação da área, precisamos determinar a velocidade da água. Para a realização desta medição será necessário a utilização de um material que flutue e um cronômetro para a medição do tempo.

O melhor flutuador para esta situação será o emprego de uma garrafa descartável com  $\frac{3}{4}$  de água da sua capacidade.



*Figura 2: Demonstração do flutuador no trecho do percurso a ser calculado*  
*Fonte: Eletrobrás (1985)*

A garrafa deverá ser posicionada antes da primeira corda e ao soltá-la no córrego, deve se registrar o tempo entre a primeira e a segunda corda, obtendo assim o valor do tempo para

o deslocamento do percurso. Deve-se fazer várias medições e fazer a média delas, para que o valor possa ser o mais correto possível.

Com o valor do tempo e do deslocamento do percurso conseguimos calcular a velocidade através da seguinte fórmula:

$$V_m = \frac{d}{t} \quad (3)$$

Onde:  $V_m$  = velocidade média no trecho (m/s)

$d$  = distância entre as cordas (m)

$t$  = tempo médio do percurso (s)

Como a água perto das margens e na superfície flui mais lentamente, deve se multiplicar pelo fator de correção segundo a tabela abaixo:

Natureza das margens	Fator de correção ( $C_Q$ )
Margens e fundo lisos	0,85
Margens e fundo em alvenaria	0,83
Margens e fundo escavado no solo	0,80
Margens com vegetação e fundo liso	0,75
Margens com vegetação e fundo pedregoso	0,70

**Tabela 6:** Coeficiente de correção da vazão média com o método do flutuador.

**Fonte:** Eletrobrás (1985)

Após a obtenção do fator de correção, podemos calcular a vazão do projeto.

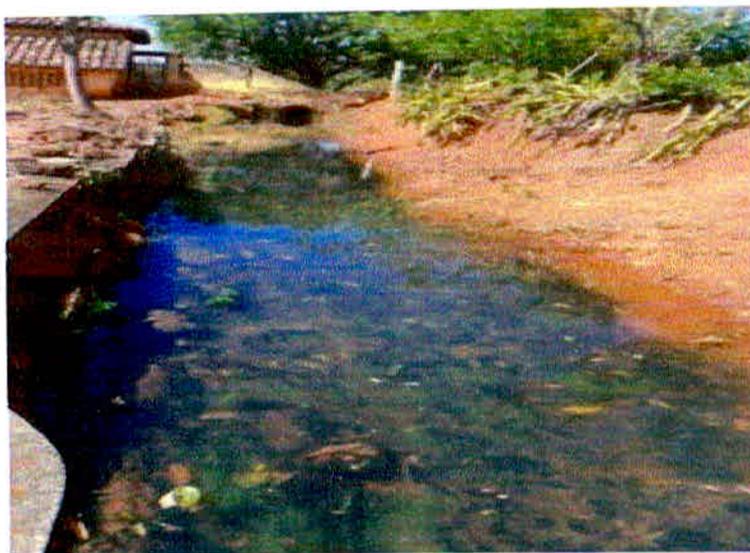
$$Q = V_m \cdot A_m \cdot C_q \quad (4)$$

Onde:  $Q$  = vazão média no trecho ( $m^3/s$ )

$V_m$  = velocidade média no trecho (m/s)

$A_m$  = área das cordas ( $m^2$ )

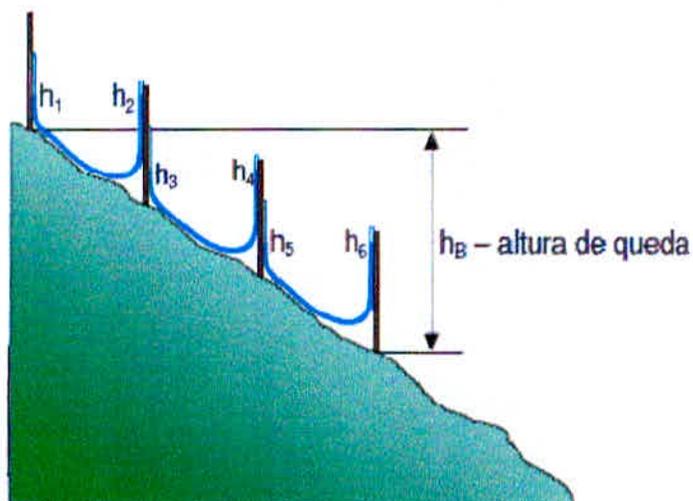
$C_Q$  = fator de correção tabelado



*Foto 3: Local onde deve ser medida a vazão do projeto*  
*Fonte: O autor*

### 3.5 MEDIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA DISPONÍVEL

A medição da altura de queda disponível deverá se feita com o auxílio de 2 réguas com escala e uma mangueira transparente, igual aquelas utilizadas por pedreiros.



*Figura 4: Medição da altura de queda disponível*  
*Fonte: Eletrobrás (1985)*

Com estes recursos podemos medir a altura de queda como na figura acima, a altura total da queda será a variação entra a primeira medição e a ultima medição calculada.



### 3.6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA NECESSÁRIA

O levantamento da demanda é uma fase muito importante para o projeto, pois é através dela que saberemos qual o consumo real de energia elétrica consumida na propriedade rural. Deve - se levar em conta a potência instalada de cada equipamento, a soma das potências resulta na demanda necessária. Geralmente a potência vem na placa de identificação de cada equipamento, ou podem ter como base valores tabelados.

Após sabermos a potência de cada equipamento, devemos saber qual é a quantidade de horas de funcionamento do mesmo. Então podemos concluir que a demanda total necessária pode ser representada pela fórmula:

$$E = P. t \quad (5)$$

Onde: E = quantidade de energia (Wh)

P = potência do equipamento (W)

t = tempo de utilização (h)

Para que se tenha um rendimento satisfatório da micro central, a sua demanda dever ser menor que a produção, se o inverso ocorrer, deverá buscar outras fontes de alimentação.

No cálculo da demanda, devemos ainda calcular o fator de carga, que indica a distribuição de energia em um determinado período, ele pode ser calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$F_c = D \text{ média} / D \text{ máxima} \quad (6)$$

Onde: Fc = Fator de correção

D média = Demanda média (W)

D máxima = Demanda máxima (W)

Quanto maior for o fator de correção, maior será a distribuição da energia.

### 3.7 ESTRUTURAS E COMPONENTES CIVIS

Como a micro central hidrelétrica tem derivação de um córrego, foi optado pela construção do canal de adução no formato retangular e feito de concreto.



*Foto 5: Exemplo de um canal de adução*  
*Fonte: O autor*

Ainda no canal de adução, temos as grades, as quais têm a finalidade de barrar detritos como folhas, galhos, folhas, impedindo que os detritos cheguem à turbina.



*Foto 6: Exemplo de grade no canal de adução*  
*Fonte: O autor*

Além das grades, existem as comportas que tem a função de controlar a quantidade de água e desviar o fluxo de água para a manutenção dos equipamentos.



*Foto 7: Exemplo de Comporta*  
*Fonte: O autor*

Depois do canal de adução temos a construção da câmara de carga, onde alivia a pressão em caso de fechamento brusco da turbina, também foi optado pela construção de concreto.



*Foto 8: Exemplo de uma câmara de carga*  
*Fonte: O autor*

O dimensionamento da tubulação forçada que liga a câmara de carga até a turbina, pode ser verificado de acordo com a tabela abaixo:

Diâmetro do Tubo		vazão em litros por segundo
milímetros	polegadas	
100	4	8 a 10
125	5	12 a 15
150	6	18 a 20
200	8	35 a 38
250	10	55 a 60
300	12	75 a 85
350	14	100 a 120
400	16	130 a 150
450	18	180 a 200
500	20	210 a 240

*Tabela 7: Escolha do diâmetro da tubulação pela vazão do projeto*

*Fonte: Alterima*

Como o tubo do projeto é de aço carbono, a espessura mínima deve ser de 4,76 mm, que corresponde a 3/16 polegadas.



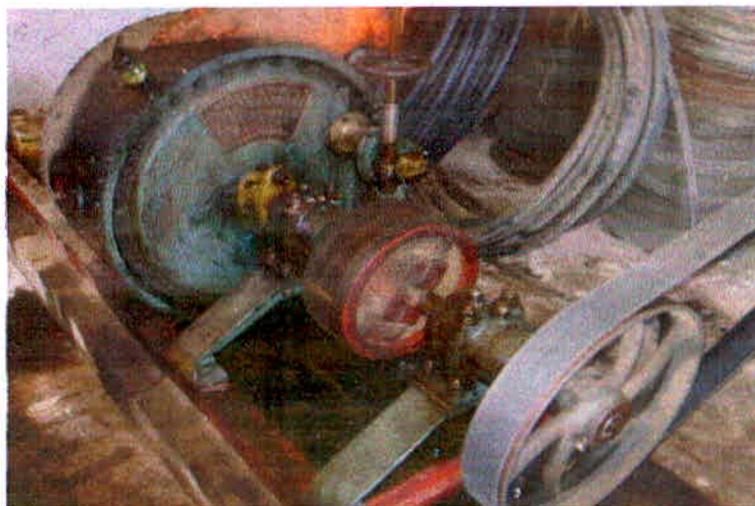
*Foto 9: Exemplo Tubulação Forçada (Aço carbono)*

*Fonte: O autor*

### 3.8 EQUIPAMENTOS DA CASA DE MÁQUINA

Para micros centrais hidrelétricas que vão abastecer lugares com distâncias menores que 500m, o uso de transformadores são dispensáveis. A turbina e o gerador a ser utilizado serão o mais utilizado comercialmente.

O gerador a ser instalado dependerá da potência que será gerada pela turbina.



*Foto 10: Exemplo de uma turbina de micro central hidrelétrica*  
*Fonte: O autor*



*Foto 11: Exemplo de gerador de micro central hidrelétrica*  
*Fonte: O autor*

Deve conter um painel de controle da micro central hidrelétrica, para monitoramento da mesma.



*Foto 12: Exemplo de Painel de controle de micro central hidrelétrica*  
*Fonte: O autor*

O canal de fuga foi construído para retornar a água até a represa onde deverá ser construído de maneira mais fácil e com menor custo possível.



*Foto 13: Exemplo de canal de fuga*  
*Fonte: O autor*

### **3.9 MANUTENÇÃO**

A manutenção da micro central hidrelétrica, é de procedimento muito simples, devendo ser lubrificado o equipamento de 30 em 30 dias e as demais manutenções devem ser de caráter corretivo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira coisa calculada é a vazão do projeto.

Para calcular a vazão colocam-se as duas cordas distantes uma da outra em 10 metros, e realiza-se o procedimento conforme descrito no item 3.4.

O tempo registrado do percurso entre as cordas foi de 8 segundos, com isso conclui-se que a velocidade média do córrego é de 1,25 metros por segundo.

A largura do córrego para o projeto é de 0,7 metros e a profundidade de 0,3 metros, com isso obtém uma área transversal de 0,21 metros quadrados.

Como o córrego do projeto tem características das margens e fundos lisos, o fator de correção utilizado deve ser igual a 0,85 como indicado na tabela número 6.

Com estes dados conclui-se que a vazão para este projeto, calculado pela fórmula (4) foi de 0,223125 metros cúbicos por segundo ou seja 223,125 litros por segundo.

Com esta vazão conclui-se pela tabela 7 que a tubulação a ser utilizada da câmara de carga até a turbina será de 500 mm ou 20 polegadas.

De acordo com o método descrito no item 3.5, onde se calcula a medição da altura de queda disponível, chegando a um valor de 8 metros.

Após a obtenção dos dados de vazão e altura consegue-se calcular a potência hidráulica que poderá ser gerada, através da fórmula (1) a potência hidráulica gerada foi de 17,51 kW.

Para obter-se a potência elétrica total do projeto, deve-se disponibilizar os rendimentos de todos os componentes da micro central hidrelétrica. Como verificado o potencial hidráulico gerado foi de 17,51 kW, então conforme a tabela 3, 4 e 5 do capítulo 3, onde especifica o rendimento de cada componente, pode-se calcular a potência elétrica.

De acordo com a tabela 3 do capítulo 3, utiliza-se o rendimento de 99% para canais, tubulações, válvulas e grades, pois o mesmo é menor que 80 metros. O rendimento da turbina considera-se 80% e a do gerador de 90% conforme tabela 4. De acordo com a potência hidráulica gerada e como tem uma distância de distribuição inferior a 500 metros, não necessita de transformador, sendo o rendimento da linha de distribuição igual a 95% conforme tabela 5.

Então se verifica que a potência elétrica total que pode ser gerada é de 11,85 kW.

Para o projeto foi estimada uma demanda necessária de energia de 8,96 kW conforme tabela 8, este é o consumo se todos os equipamentos estiverem ligados ao mesmo tempo.

<b>Equipamentos</b>	<b>Quantidade de equipamentos</b>	<b>Consumo (w)</b>	<b>Tempo de utilização (h)</b>	<b>Dias por mês</b>	<b>Consumo total (kWh/mês)</b>
Bomba de piscina Modelo PF-17 com pré filtro	1	180 W	3 h	6 dias	3,24 kWh
Lâmpadas Incandescente 60W cristal	28	60 W	6 h	30 dias	302,4 kWh
Refletores lâmpada halógena	10	150 W	6 h	30 dias	270 kWh
Refrigerador Electrolux modelo RDE35	1	120 W	**	30 dias	28,4 kWh
Chuveiro Lorenzetti	1	4500 W	1 h	30 dias	135 kWh
Televisão 20 polegadas Philips	2	90 W	6 h	30 dias	32,4 kWh
Microondas Electrolux (MEF33) 23 litros	1	800 W	0,5 h	30 dias	12 kWh
Consumo total mensal dos equipamentos		<b>8960 W</b>			<b>783,44 kWh</b>

*Tabela 8: Estimativa de consumo dos equipamentos*

*Fonte: O autor*

Com este levantamento de demanda optou-se por um gerador de 10 kW, pois ele atende a demanda necessária e também esta dentro da margem atendida pela potência elétrica total que pode ser gerada.

Optando-se por um gerador de 10 kW e com uma margem de rendimento do mesmo de aproximadamente 90%, verifica-se que é possível ligar todos os equipamentos ao mesmo tempo tranquilamente.

De acordo com os resultados acima, verifica-se que a micro central hidrelétrica consegue atender a demanda necessária com os recursos hídricos disponíveis na mesma.

Como os levantamentos atendem a demanda necessária, passa-se para os cálculos da viabilidade financeira da construção da micro central hidrelétrica.

De acordo com a tabela 8, verifica-se que o consumo mensal de todos os equipamentos é de 783,44 kWh/mês. O custo do kWh fornecido pela concessionária para propriedades rurais é de R\$ 0,2851, sendo assim o custo de energia sairia por R\$ 223,35.

Para verificar se a construção da micro central hidrelétrica é viável foi levantado o custo de implantação.

Para a construção do canal de adução com comprimento de 30 metros feito de cimento, com grades, comportas e a câmara de carga, estima-se que a construção fique em torno de R\$ 3.000,00.

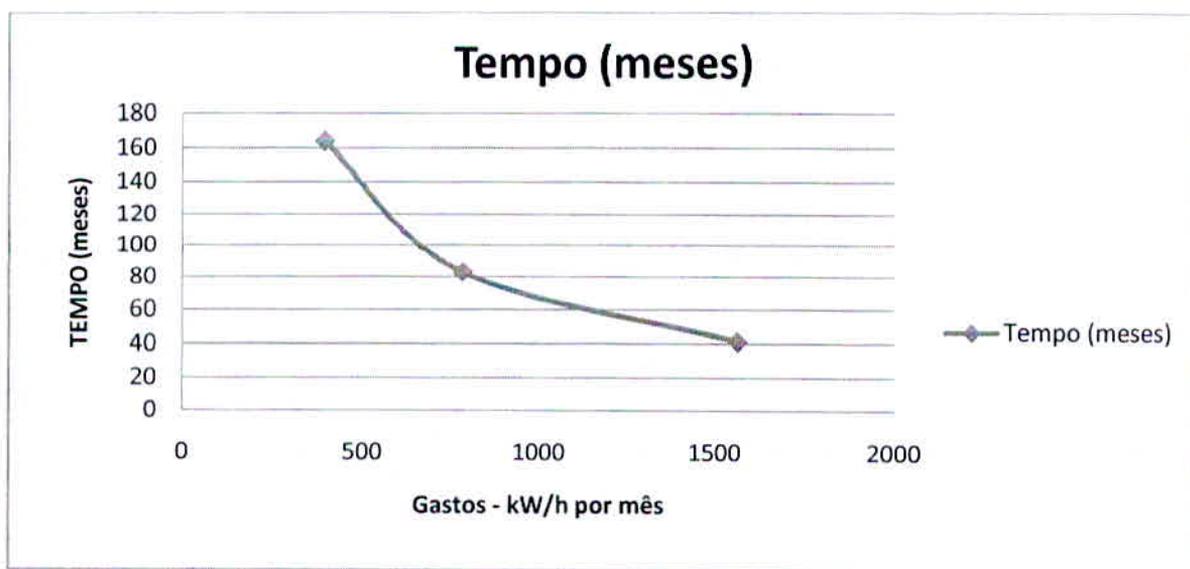
Como a potência demandada é de 10 kW, o projeto foi optado por uma turbina com gerador acoplado com custo estimado de R\$ 13.000,00, este preço já está embutido o painel de instrumentação e os equipamentos necessários para funcionamento.

Considerando que a casa de máquinas seja a mais simples possível, estimou-se que o custo para a mesma seria de R\$ 2.000,00, para a construção civil e tubulação necessária para acoplamento da turbina e gerador.

As linhas de distribuição de cabo como não possuem longas distâncias estima-se que o custo seja de aproximadamente R\$ 500,00.

O custo total da construção da micro usina seria de aproximadamente R\$ 18.500,00.

Se o custo total da micro central hidrelétrica fica em aproximadamente R\$ 18.500,00 e se estivesse uma concessionária abastecendo o local a conta seria de R\$ 223,35, a usina conseguiria cobrir seus gastos de construção em aproximadamente 83 meses, ou aproximadamente 6 anos e 11 meses.



**Gráfico 1:** Estimativa do retorno de investimento da construção da micro central hidrelétrica  
*Fonte:* O autor

O gráfico acima simula o tempo gasto para pagar os custos com a construção da micro central hidrelétrica de acordo com o consumo de kW/h por mês. Observa-se que quanto maior o consumo de energia menor será o tempo gasto para o retorno do investimento.



## 5. CONCLUSÕES

O estudo teve como princípio, analisar a viabilidade da construção de uma micro central hidrelétrica, onde se observa que o potencial elétrico que pode ser gerado é suficiente para suprir as necessidades da demanda de energia da propriedade rural em questão.

Além de o potencial energético ser suficiente para o abastecimento, pode-se concluir que a construção da micro central hidrelétrica parece ter um custo inicial relativamente alto, mas ao final verifica-se que os gastos podem ser recompensados em aproximadamente 83 meses. Ainda apresenta uma vantagem de possuir um abastecimento de energia elétrica contínuo. Geralmente a construção da micro central hidrelétrica para locais onde a energia elétrica da concessionária fica distante é muito mais viável, devido ao custos de instalação de longas redes de energia para abastecer estas propriedades distantes.

Pode-se concluir que a construção da micro central hidrelétrica é viável, e quanto maior for o consumo de kWh menor será o tempo de retorno do investimento, isto dentro dos limites de geração de energia da micro central hidrelétrica.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALTERIMA Indústria de geradores e micro usina.

< [www.alterima.com.br/](http://www.alterima.com.br/) > acesso em: < 10 de Setembro de 2010 >

[2] DANCOR Bombas, filtros para piscina e sistema de pressurização.

< [www.dancor.com.br/index.php](http://www.dancor.com.br/index.php) > acesso em: < 17 de Setembro de 2010 >

[3] ELECTROLUX Equipamentos Domésticos

< [www.electrolux.com.br/produtos\\_detalhes.asp?codigo\\_id=01331RBB&categoria\\_id=refrigeradores&modelo\\_id=RDE35#](http://www.electrolux.com.br/produtos_detalhes.asp?codigo_id=01331RBB&categoria_id=refrigeradores&modelo_id=RDE35#) > acesso em: < 17 de Setembro de 2010 >

[www.electrolux.com.br/produtos\\_detalhe.asp?codigo\\_id=10231CBA&categoria\\_id=microondas&modelo\\_id=MEF33#](http://www.electrolux.com.br/produtos_detalhe.asp?codigo_id=10231CBA&categoria_id=microondas&modelo_id=MEF33#) acesso em : < 17 de Setembro de 2010 >

[4] ELETROBRÁS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**, Ministério das Minas e Energia, Brasília, DF, 2000.

[5] ELETROBRÁS - DNAEE, **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**, Ministério das Minas e Energia, Brasília, DF, 1985. Edição especial autorizada pela Eletrobrás para distribuição aos associados da ABRH – Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos.

[6] GE Lâmpadas

<[www.gelampadas.com.br/Produtos/produto.asp?linha=incandescente&prod=Cristal](http://www.gelampadas.com.br/Produtos/produto.asp?linha=incandescente&prod=Cristal)> acesso em: <07 de Abril de 2010>

< [www.gelampadas.com.br/Produtos/produto.asp?linha=halogena&prod=Double\\_Ended\\_Quartz\\_\(DEQ\)\\_-\\_Quartzline](http://www.gelampadas.com.br/Produtos/produto.asp?linha=halogena&prod=Double_Ended_Quartz_(DEQ)_-_Quartzline) > acesso em: < 17 de Setembro de 2010 >

[7] LORENZETTI

< <http://www.lorenzetti.com.br/produto.asp?id=DC0015#> > acesso em: < 17 de Setembro de 2010 >

[8] SOUZA, Z. **Máquinas de fluxo: Turbinas, bombas e ventiladores**, 1996 Edgard Blücher Editora.

[9] SOUZA, Z., **Centrais Hidrelétricas - Dimensionamento de Componentes**, Editora Edgard Blücher Ltda., Rio de Janeiro, RJ, 1992.

[10] TV 20 polegadas Philips

<[www.submarino.com.br/produto/13/1715827/tv+20+polegadas+mono+com+crystal+clear+20pt3336/78+philips](http://www.submarino.com.br/produto/13/1715827/tv+20+polegadas+mono+com+crystal+clear+20pt3336/78+philips)> acesso em: < 17 de Setembro de 2010 >