

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE  
PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM  
RODOLFO DA COSTA E SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Francieli Cristina Junges**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2007**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE  
PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM  
RODOLFO DA COSTA E SILVA**

**por**

**Francieli Cristina Junges**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof.Dr. Ademar Michels**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2007**

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Tecnologia**  
**Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E  
SILVA**

elaborada por

**Francieli Cristina Junges**

Como requisito parcial para obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Ademar Michels**

(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr. Gilnei Ocácia (ULBRA)**

---

**Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva (UFSM)**

Santa Maria, 26 de janeiro de 2007.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe Maria e aos meus irmãos Marlun e Michele, aos meus amigos e colegas, por terem compreendido a importância deste trabalho, pelo carinho e incentivo em todos os momentos.

Ao professor Ademar Michels, pelo seu exemplo e pela oportunidade, orientação, paciência, dedicação e amizade.

Aos amigos e colegas engenheiros, Cintia Dotto, Nádia Bonumá, Gilson Piovezan, Ângelo Deves e em especial ao João Júlio Klüsener e ao Nédio Moisés Maito, pela grande colaboração e incentivo, ao Edimar Eri de Oliveira e ao Guederson Guedes, pela amizade e companheirismo no decorrer do trabalho.

A CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, em especial ao Superintendente Eng<sup>o</sup> Elias Pacheco e ao Eng<sup>o</sup> Sérgio Martini, pelo apoio, fornecimento de dados, autorização ao acesso a Barragem Rodolfo da Costa e Silva e incentivo para pesquisa.

Humildemente agradeço a Deus, pela vida e pelos amigos que me proporcionou encontrar.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

# **ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA**

Autor: Francieli Cristina Junges

Orientador: Prof. Dr. Ademar Michels

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de Janeiro de 2007.

Este trabalho avalia as potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva, que é o principal reservatório de acumulação de água para abastecimento da cidade de Santa Maria – RS, considerando a grande energia dissipada e não aproveitada em sua descarga de fundo.

A Barragem Rodolfo da Costa e Silva está localizada na divisa dos municípios de Itaara e São Martinho da Serra, com o barramento do rio Ibicuí – Mirim, a área da bacia hidrográfica é de aproximadamente 49,4 Km<sup>2</sup> e a área da bacia hidráulica 275 ha. O volume útil de acumulação é de 24.900.000 m<sup>3</sup>, com uma vazão média regularizada de 1,23 m<sup>3</sup>/s. Constitui-se estruturalmente por concreto de gravidade, tendo altura máxima de 36,5 metros, altura máxima em relação ao leito do rio de 34,0 metros, extensão na crista de 684 metros.

Foram elaboradas planilhas eletrônicas e gráficos que possibilitaram avaliar sob o ponto de vista econômico – energético, o ponto onde a operação de um pequeno aproveitamento hidrelétrico fosse viável, sendo que os benefícios energéticos incrementais, convertidos em valores econômicos, superassem os custos gerados para implantação do empreendimento.

Os estudos comprovaram que pode-se obter uma geração de 140 kWh a 390 kWh com um retorno financeiro de R\$ 1600 a R\$ 7900.

## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

# **ANALYSIS OF FEASIBILITY OF DEPLOYMENT OF THE SMALL HYDROELECTRIC BARRAGE RODOLFO DA COSTA E SILVA**

Author: Francieli Cristina Junges

Advisor: Prof. Dr. Ademar Michels

Local and Date: Santa Maria, 26<sup>nd</sup> January 2007.

This paper the assessment of the hydroenergetic potential at Rodolfo da Costa e Silva Barrage, which is the most important water resources reservoir that supplies the city of Santa Maria – RS, considering the great dissipated energy and not utilized in its bottom discharge.

The Rodolfo da Costa e Silva Barrage is located between the limits of Itaara and São Martinho City with the barrage of the river Ibicuí- Mirim. The area of the hydrographic basin is of approximately 49,4 Km<sup>2</sup> and the area of the hydraulic basin 275 ha. The useful volume of accumulation is of 24.900.000 m<sup>3</sup>, with a regularized medium flow of 1,23 m<sup>3</sup>/s. Its structure is constituted by gravity concrete, tends maximum height of 36,5 meters, maximum hight in relation to the river-bed is of 34,0 meters, extension in the crest of 684 meters.

Electronic spreadsheets and graphs were elaborated, so it was possible to evaluate from the economical-energetic point of view, the point where the operation of a small hydroelectric use was viable, and the increase of the energy benefits, converted in economical values overcame the costs generated for implantation of the enterprise.

Studies have shown that you can get a generation of 140 kWh the 390 kWh with a financial return of R\$ 1600 the R\$ 7900.

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 – Ábaco para seleção do tipo de turbina a partir dos parâmetros: Queda líquida e vazão de projeto.....	22
Figura 2 - Vista da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.....	41
Figura 3 – Vista da área de alague formada pela construção da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.....	42
Figura 4 – Vista da dispersão de água na tomada de água.....	43
Figura 5 – Vista superior da válvula dispersora de água, no topo da barragem.....	44
Figura 6 – Vista do Vertedouro da Barragem.....	45
Figura 7 – Vista do rio a jusante da Barragem, distante 1000 metros da barragem.....	46
Gráfico 01 – Avaliação de Potência da em kW para a vazão turbinável de 0,77 m <sup>3</sup> / s segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Sllva.....	53
Gráfico 02 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses,p ara a vazão turbinável de 0,77 m <sup>3</sup> / s, segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Sllva.....	54
Gráfico 03 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento após quitado financiamento, para a vazão turbinável de 0,77 m <sup>3</sup> / s, segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Sllva.....	55
Gráfico 04 – Avaliação de Potência da em kW para a vazão turbinável de 1,13 m <sup>3</sup> / s segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Sllva.....	56

Gráfico 05 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses, para a vazão turbinável de 1,13 m<sup>3</sup> / s, segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.....57

Gráfico 06 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento após quitado financiamento, para a vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup> / s, segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.....58

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DA PCH QUANTO À POTÊNCIA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO.....18

TABELA 2 - CÁLCULO DE PERCENTUAIS DE ENCARGOS SOBRE UM SALÁRIO DE MENSALISTAS.....37

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos.....	14
3	Revisão Bibliográfica.....	15
3.1	Situação energética brasileira.....	15
3.1.1	As companhias de geração de energia.....	15
3.2	Pequenas centrais hidrelétricas – PCHs.....	16
3.3	Unidades componentes das PCHs.....	19
3.3.1	Barragens e Vertedouros.....	19
3.3.2	Tubulação de Alta pressão.....	20
3.3.2.1	Perda de carga nas tubulações.....	20
3.3.3	Chaminé de equilíbrio.....	20
3.3.4	Casa de Máquinas.....	21
3.3.5	Canal de Fuga.....	21
3.3.6	Turbinas.....	21
3.3.7	Reguladores de Velocidade.....	26
3.3.8	Geradores Síncronos.....	26
3.3.9	Quadro de Comando.....	27
3.3.10	Dispositivos de Proteção.....	28
3.3.11	Subestações.....	28
3.3.12	Linhas de Transmissão.....	28
3.3.13	Sistemas de comunicação.....	29
3.4	Custos das unidades componentes.....	29
3.4.1	Barragens e Vertedouros.....	30
3.4.2	Tubulação de Alta pressão.....	30
3.4.3	Chaminé de equilíbrio.....	31
3.4.4	Casa de Máquinas.....	31
3.4.5	Canal de Fuga.....	31
3.4.6	Turbinas.....	32

3.4.7	Reguladores de Velocidade.....	32
3.4.8	Geradores Síncronos.....	32
3.4.9	Quadro de Comando .....	33
3.4.10	Dispositivos de Proteção .....	33
3.4.11	Subestações .....	33
3.4.12	Linhas de Transmissão.....	34
3.4.13	Sistemas de comunicação .....	34
3.5	Legislação energética vigente.....	35
3.5.1	Principais impostos incidentes na geração de energia .....	36
3.6	Legislação Trabalhista .....	36
3.6.1	Custos com empregados .....	36
3.7	Restrições ambientais.....	37
3.7.1	Vazão ecológica.....	40
4	Materiais e métodos.....	40
4.1	Descrição da barragem Val de Serra.....	40
4.2	Levantamento Altimétrico do Arroio a jusante da barragem .....	47
4.3	Elaboração de planilha eletrônica .....	47
5	Resultados e discussão .....	52
5.1	Resultados obtidos.....	52
5.2	Discussão dos Resultados.....	59
6	Conclusões e recomendações.....	61
7	Referências Bibliográficas.....	62
8	Apêndice I PLANILHA I – ANÁLISE ECONÔMICO – ENERGÉTICA PARA A VAZÃO TURBINÁVEL DE 0,77 m <sup>3</sup> /S.....	64
9	Apêndice II PLANILHA ii - ANÁLISE ECONÔMICO - ENERGÉTICA PARA VAZÃO TURBINÁVEL DE 1,13 m <sup>3</sup> /s.....	66
10	Anexos .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de geração de energia para impulsionar o desenvolvimento e a industrialização, determinou a prioridade para o uso energético da água nestas últimas décadas, fazendo com que as políticas públicas das águas, até recentemente, fossem fortemente influenciadas pelos interesses econômicos do setor de geração de energia elétrica.

As características físicas e geográficas do Brasil foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hídrica. O país possui 13,8% (Portal Ambiental – Ambientebrasil) de toda a água doce do planeta, não é de se estranhar que o nosso sistema elétrico dependa em 95 % de energia hidráulica

De acordo com dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), as pequenas centrais hidrelétricas respondem atualmente por 1,37% do parque gerador brasileiro, num total de 1.206 MW. Com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1977, a gestão dos recursos hídricos, deveria a partir de então, sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

O conceito de usos múltiplos consiste na utilização das águas de um trecho de rio para atender a mais de uma finalidade. Adotando este enunciado como um de seus fundamentos, a gestão de recursos hídricos deve utilizar da implantação de reservatórios como uma importante ferramenta dos usos múltiplos das águas, visando atender a demanda de energia elétrica e da água destinada ao abastecimento público, industrial, agrícola e lazer.

Neste contexto, a ANA – Agência Nacional das Águas, passou a desenvolver ações, através da Superintendência de Usos Múltiplos (SUM), focalizando a expansão da oferta da energia e a operação dos reservatórios, com a garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos e mínimo prejuízo para a sociedade.

Necessita-se desenvolver usos múltiplos de águas, através da expansão da oferta de energia e consumo humano, projetos de piscicultura e irrigação, atividades de lazer, onde a operação dos reservatórios ocasione o mínimo prejuízo para a sociedade. Além dos ganhos de otimização econômica e a exploração sustentável

dos recursos hídricos, irá proporcionar o aumento dos benefícios ao conjunto de usuários da água.

Em 1960, mais da metade da população brasileira vivia no campo. Tudo isso mudou ao longo das últimas quatro décadas, a situação se inverteu, hoje apenas 19% da população vive no campo, enquanto 81% vive em centros urbanos.

O desafio de abastecer a população vem exigindo a implantação de sistemas de produção que captam água cada vez mais longe, encarecendo o custo do produto final para os usuários e exigindo investimentos enormes. A prática cada vez mais comum da agricultura irrigada acrescentou um novo elemento na disputa pelo uso da água.

O uso da energia está associado à satisfação das necessidades humanas, tais como alimentação, habitação, transporte e saúde, sendo seu consumo determinado pelos requerimentos de bem-estar da sociedade.

O uso de energia abre diversas oportunidades de incrementos da produtividade, de crescimento econômico e da melhoria das condições de vida da população.

O incentivo à avaliação, inventário, estudos de viabilidade e projetos de aproveitamento hidrelétricos e usos múltiplos dos recursos hídricos, tornam-se de fundamental importância para direcionar o desenvolvimento regional, mudar os sistemas produtivos locais e a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

O desafio futuro para o setor energético é garantir sustentabilidade de seu desenvolvimento, permitir a universalização do acesso às fontes modernas e alternativas de energia.

A preocupação com o esgotamento da base de recursos naturais do planeta e os impactos ambientais da exploração e do uso dos recursos energéticos apontam para a necessidade de se repensar o crescimento econômico de forma a não comprometer o bem estar das gerações futuras.

Para tanto, são necessários adotar medidas que minimizem as emissões de gases poluentes, conservem as condições agriculturáveis do solo, a não contaminação das águas, e a exploração racional dos recursos renováveis.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo realizar o estudo das potencialidades hidroenergéticas da barragem Rodolfo da Costa e Silva, que é o principal reservatório de acumulação de água para abastecimento da cidade de Santa Maria – RS, considerando a grande energia dissipada e não aproveitada em sua descarga de fundo.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a viabilidade técnica e econômica de se implantar uma pequena central hidrelétrica - PCH a jusante da barragem Rodolfo da Costa e Silva;
- Determinar o local mais adequado, do ponto de vista técnico e econômico, para implantação de uma PCH a jusante da barragem Val de Serra, no trecho compreendido entre a descarga de fundo da barragem até 1500m a jusante;
- Determinar a finalidade da energia gerada na PCH.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Situação energética brasileira

##### 3.1.1 As companhias de geração de energia

O setor elétrico brasileiro passou a partir de 1995 por um processo de reestruturação institucional e regulamentar, marcado pela introdução da livre competição nos segmentos de geração e de comercialização, inserindo novos agentes e garantindo livre acesso a prestação dos serviços de energia elétrica.

A promulgação da lei de concessões exigiu uma série de implementações de cunho institucional para viabilizar a mudança no setor, como a criação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), com a atribuição de regular e fiscalizar os serviços de energia elétrica; a forma de participação dos agentes de produção e consumo no Mercado Atacadista de Energia (MAE); a desverticalização das empresas, segmentando as atividades de produção, transporte e comercialização e a garantia de livre acesso às redes de transmissão e de distribuição.

No segmento de produção de energia, o modelo implementado passou a contar com três modalidades de exploração: serviço público, produção independente e autoprodução.

Os segmentos de transporte de energia elétrica, que eram até então monopólios submetem-se, de maneira mais expressiva, à regulação.

As atividades de transmissão e distribuição são exercidas contra o faturamento dos serviços prestados com base em tarifas fixadas pela ANEEL e estabelecidas mediante contrato de concessão. As instalações de transmissão, componentes da Rede Básica, são administradas pelo ONS (Operador Nacional do Sistema) .

A atividade de comercialização pode ser exercida pelos agentes de produção e por aqueles específicos autorizados pela ANEEL, incrementando as opções de escolha e de negociação dos consumidores.

Com a reestruturação do setor elétrico, além da ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S/A, surgem os Produtores Independentes de Energia Elétrica, Os Autoprodutores de Energia Elétrica, os Agentes comercializadores e Consumidores livres.

Os Produtores Independentes de Energia Elétrica representam pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização do Poder Concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da produção por sua conta e risco.

Os Autoprodutores de Energia Elétrica representam pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, sendo que este pode comercializar, eventualmente ou temporariamente, seus excedentes de energia elétrica mediante autorização da ANEEL.

Os Agentes comercializadores representam empresas sem restrições de posse de ativos ou sistemas elétricos e atuam exclusivamente no mercado de compra e venda de energia elétrica.

Consumidor livre como usuário do sistema elétrico a quem é dada a opção de contratação do fornecimento de energia de qualquer empresa concessionária ou autorizada, localizada mesmo fora da área de concessão em que se encontra instalada a unidade consumidora.

### 3.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs

Nas usinas hidrelétricas, a energia hidráulica é transformada em energia elétrica. Para tanto, emprega-se a força das águas de um rio ou reservatório para girar as turbinas hidráulicas, que acionam, assim os geradores.

Para se obter uma produção de energia elétrica – objetivo ideal de qualquer empreendimento – apesar das variações de caudal dos rios contribuintes, dois componentes são essenciais:

- a) um reservatório de acumulação de água capaz de reter as águas no tempo de chuva para uso no período de escassez;
- b) um sistema de controle, nas turbinas, para ajustar a caudal às demandas de energia solicitada pelos consumidores.

A água é conduzida até a turbina por meio de condutos forçados, túneis e/ou canais. A turbina localiza-se em uma casa de força, onde estão os componentes hidráulicos, mecânicos e elétricos, como os canais em espiral (ou outros, dependendo do modelo da turbina), a turbina com suas pás (cujo eixo transmite movimento ao gerador), os reguladores de velocidade, os mancais, o sistema de refrigeração, assim como os dispositivos de vedação e drenagem.

A unidade geradora é constituída essencialmente pelo gerador elétrico, motor primário e equipamentos auxiliares pertinentes a cada modelo: excitação, reguladores de tensão, sistema de corrente contínua, etc.

As usinas apresentam elementos acessórios, dos quais os mais freqüentes são:

- Descarregador de fundo, comportas e vertedouros nas barragens,
- Descarga de cheias, canais combinados com vertedouros e tomadas d'água no reservatório,
- Câmaras de válvulas e válvulas de segurança nos condutos forçados,
- Chaminés de equilíbrio, quando houver longos túneis ou condutos formados.

Não são somente razões técnicas que definem o porte das barragens. A decisão por uma grande, média ou pequena barragem depende do volume do corpo d'água, suas características topo - altimétricas e de uma gama de considerações, como necessidades do mercado e oportunidades econômicas, aspectos políticos, avaliações de ordem social e das fragilidades ambientais das localidades indicadas nas alternativas, tudo isso considerando sobre um princípio de otimização de custo/benefício.

Os motivos políticos, sociais, ecológicos e de oportunidade, alguns de caráter subjetivo e outros que necessitam viabilizações extra-setoriais, podem impor restrições ao máximo aproveitamento do potencial de um curso d'água.

Na maioria das vezes, os custos são os fatores restritivos. Esses custos são tanto os da obra, diretos, como os indiretos e associados, relativos aos aspectos socioambientais, de implantação de usos múltiplos e promoção do desenvolvimento regional, por exemplo.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's, foram redefinidas, através da Resolução ANEEL 394 de 1998, pelas seguintes características:

- Potência total instalada de 1 à 30 MW e área inundada até 3,0 km<sup>2</sup>, para a cheia centenária;

As centrais quanto a capacidade de regularização, segundo o Manual da Eletrobrás, são classificadas: a fio d'água, de acumulação, com regularização diária ou mensal do reservatório.

As PCH's a fio d'água são adotadas quando a vazão mínima do rio for maior que a descarga necessária para atender à demanda de geração elétrica. A adução poderá ser feita com barramento mínimo, considerando que o aproveitamento energético do local será parcial, havendo descargas contínuas pelo vertedouro. Não havendo flutuações de nível e sendo pequenas as barragens, as perdas de terra e os impactos ecológicos também serão mínimos, devendo dar-se atenção, não obstante, aos aspectos referentes à migração de peixes ao longo do rio barrado.

Já as PCH's de acumulação são construídas quando a vazão do curso d'água não é suficiente para suprir a descarga necessária do sistema gerador. A barragem acumulará a água nas horas de baixo consumo elétrico, para empregá-la nos períodos de alta demanda. Nos casos extremos, todas as máquinas devem parar e o suprimento energético – nas horas de menor consumo - deverá ser feito por fontes complementares, como geradores a diesel, etc. Nesses casos, o deplecionamento será pronunciado, ocasionando efeitos ecológicos, especialmente sobre a vida aquática e outros usos das águas, tanto no reservatório como a jusante, onde o fluxo se tornará artificialmente intermitente.

O Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, classifica as PCH's em três categorias, conforme tabela abaixo:

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DA PCH QUANTO À POTÊNCIA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (kw)	QUEDA DE PROJETO - Hd(m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	P<100	H <sub>d</sub> <15	15<H <sub>d</sub> <50	H <sub>d</sub> >50
MINI	100<P<1000	H <sub>d</sub> <20	20<H <sub>d</sub> <100	H <sub>d</sub> >100
PEQUENAS	1000<P<30000	H <sub>d</sub> <25	25<H <sub>d</sub> <130	H <sub>d</sub> >130

Fonte: Eletrobrás – Diretrizes para projetos de PCH.

O Manual recomenda que a análise dos fatores queda versus descarga de projeto, que define a potência instalada, seja feita separadamente, observando-se seus limites: uma central hidrelétrica pode ser classificada como pequena (pela potência instalada) sem que isto implique pequeno porte (obras civis e equipamentos) ou de pequeno custo, o que a tornaria economicamente desaconselhável.

O potencial brasileiro aproveitável através das PCH's é tido como da ordem de 7 GW, sendo que a participação das PCH's no potencial hidrelétrico brasileiro é relativamente baixo, considerando a competitividade dos custos atuais de geração dessa origem e os demais disponíveis. Não obstante, esse número é significativo no atendimento de sistema isolado e em situações ligados a usos conciliados de reservatórios. (MÜLLER,1995)

### 3.3 Unidades componentes das PCHs

#### 3.3.1 Barragens e Vertedouros

A barragem constitui a estrutura cuja função é represar a água, visando, com a elevação do nível d'água do rio, possibilitar a alimentação da tomada d'água. Podem ser basicamente de terra, em seção homogênea de solo, de enrocamento, de concreto, convencional ou compactado a rolo (CCR), em seção tipo gravidade.

A escolha do tipo de barragem e do material empregado para sua construção irão depender das condições locais e do arranjo escolhido.

Os vertedouros são projetados para a vazão de cheia máxima, como soluções para o extravasamento do excesso de água afluente ao local de aproveitamento: por um canal lateral, em cota elevada em relação ao leito natural ao rio, com soleira vertedoura a jusante; por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a extensão da crista ou parte dela ou através da combinação dos dois tipos citados anteriormente.

A melhor solução de vertedouro dependerá das condições topográficas e geológicas – geotécnicas da cada local, as quais condicionam a definição do arranjo geral das obras e da vazão de projeto do vertedouro.

### 3.3.2 Tubulação de Alta pressão

O circuito hidráulico de adução geralmente é composto por dois trechos, sendo um de baixa pressão e outro de alta pressão. O trecho de baixa pressão, em função dos aspectos topográficos e geológico-geotécnicos locais, é constituído por canal ou conduto. O trecho de alta pressão é constituído por conduto(s) forçado(s). O conduto de alta pressão é composto por tubulação, blocos de apoio ou ancoragem e juntas de dilatação.

#### 3.3.2.1 Perda de carga nas tubulações

Para a perda de carga nas tubulações utilizou-se a fórmula de Hazen – Willians, onde:

$$J = 10,648 \times Q^{1,85} \times D^{-4,87} \times C^{-1,85} \quad (1)$$

Onde,

J - Perda de carga unitária (m/m);

Q - Vazão turbinável (m<sup>3</sup>/s);

D - Diâmetro da tubulação (m);

C – Coeficiente do matéria.

#### 3.3.3 Chaminé de equilíbrio

A chaminé de equilíbrio é um cilindro de eixo vertical, normalmente posicionado no final da tubulação de adução de baixa pressão e a montante do conduto forçado, com as seguintes finalidades:

- amortecer as variações de pressão, que se propagam pelo conduto forçado, devido ao golpe de aríete, decorrente do fechamento rápido da turbina; e

- armazenar água para fornecer ao conduto forçado o fluxo inicial provocado pela nova abertura da turbina, até que se estabeleça o regime contínuo.

Quando necessário, a chaminé de equilíbrio deve ser instalada o mais próximo possível da casa de força, para reduzir o comprimento do conduto forçado e diminuir os efeitos do golpe de aríete.

#### 3.3.4 Casa de Máquinas

A casa de máquinas normalmente adotada para PCH's, é do tipo "exterior e abrigada", pois uma casa de força subterrânea não se torna compatível com o porte de uma PCH. O arranjo típico da casa de força deve ser condicionado pelo tipo da turbina e do gerador, devendo ser previstas nas dependências da casa de força, áreas destinadas aos equipamentos elétricos e mecânicos auxiliares definidos em cada projeto. Em qualquer caso, deve-se prever uma ponte rolante para os trabalhos de montagem e desmontagem para manutenções programadas. Da mesma forma, deverá ser analisada a necessidade de se prever uma sala para o centro de operação da PCH. Deve-se lembrar que, nos locais onde o desnível é criado pela barragem, a casa de força é acoplada a tomada d'água e, portanto, incorporada ao barramento.

#### 3.3.5 Canal de Fuga

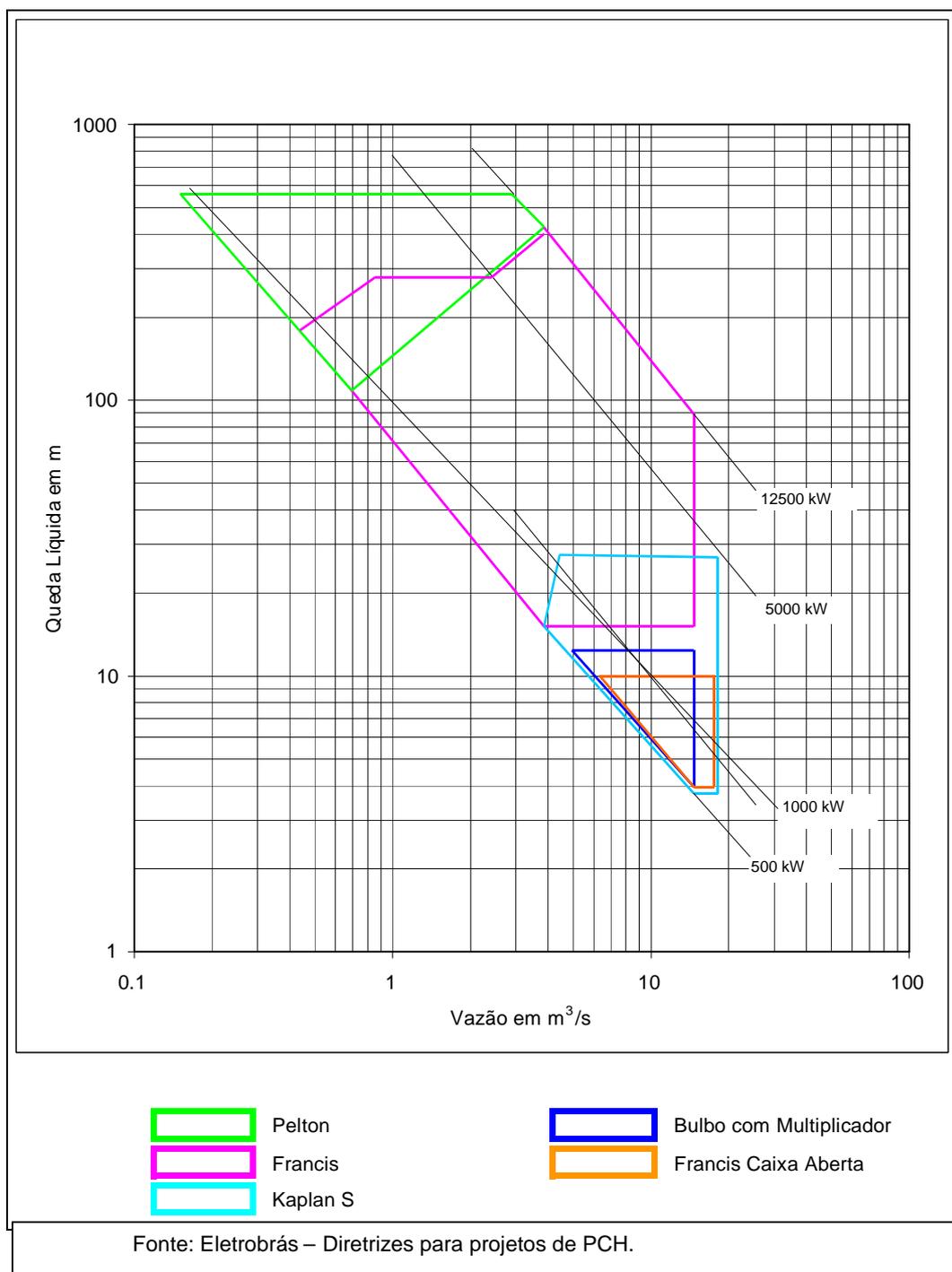
O canal de fuga, a jusante do tubo de sucção, entre a casa de força e o rio, é o canal através do qual a vazão turbinada é restituída ao rio. O dimensionamento de sua geometria será sempre condicionado pelo tipo e dimensões da casa de máquinas e pela distância entre a casa de máquinas e o rio.

#### 3.3.6 Turbinas

As turbinas hidráulicas utilizadas nas PCH devem ser escolhidas de modo a se obter facilidade de operação e de manutenção, dando-se grande importância à sua robustez e confiabilidade, pois a tendência é de que a usina seja operada no modo não assistido. Na escolha da turbina, deve-se analisar, além dos parâmetros técnicos e do seu preço, a capacidade de imediato atendimento, em caso de problemas durante o funcionamento, e a disponibilidade para fornecimento de peças sobressalentes, por parte do fabricante.

Para seleccionar o tipo de turbina, utilizam-se os parâmetros: queda líquida e vazão de projeto para turbina. A potência (kW) estimada na saída pode ser obtida na Figura 1, bastando interpolar os valores das linhas oblíquas.

Figura 1 – Ábaco para seleção do tipo de turbina a partir dos parâmetros: Queda líquida e vazão de projeto.



A partir desses dados, é possível determinar a velocidade específica da turbina, fator importante para o seu dimensionamento futuro, pela Equação 2 :

$$n_s = \frac{nP_n^{0,5}}{H_{liq}^{1,25}}, \text{ onde:} \quad \text{Equação (2)}$$

(2)

$n_s$  velocidade específica da turbina;

$n$  velocidade de rotação da turbina (rpm);

$P_n$  potência nominal da turbina (kW);

$H_{liq}$  queda líquida (m).

A Norma NBR 12591 – Dimensões Principais de Turbinas para PCH, utiliza o conceito de velocidade específica calculada através da queda e da vazão nominal pela Equação 3:

$$N_{qr} = \frac{nQ_r^{0,5}}{H_r^{0,75}}, \text{ onde:} \quad \text{Equação (3)}$$

$N_{qr}$  velocidade específica da turbina;

$n$  velocidade de rotação da turbina (rpm);

$Q_r$  vazão garantida ou nominal (m<sup>3</sup>/s);

$H_r$  altura de queda nominal (m).

O gráfico orienta o usuário para uma solução viável. Em alguns casos, as condições e parâmetros apresentados permitem que seja selecionado mais de um tipo de turbina, devendo a escolha final ser feita, nesse caso, após consulta a diversos fabricantes especializados.

A potência indicada no gráfico da Figura 1 corresponde à saída do gerador e supõe um rendimento constante para o conjunto turbina-gerador de 85%, na Equação 4.

$$P_G = 9,81QH_{liq}\eta_T\eta_G, \text{ onde:} \quad \text{Equação (4)}$$

$P_G$  potência na saída do gerador (kW);

$Q$  vazão da turbina ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H_{liq}$  queda líquida (m);

$\eta_T$  rendimento da turbina;

$\eta_G$  rendimento do gerador.

Os tipos mais comuns de turbinas disponíveis no mercado são a Pelton, a Francis, Tubular “s” e Bulbo com Multiplicador. Para obtenção de dimensões preliminares básicas destinadas à implantação das obras civis, pode ser utilizada a Norma NBR 12591 – Dimensões Principais de Turbinas para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

Dentre as turbinas disponíveis comercialmente, a turbina Pelton, atende a quedas de 100 m a 500 m e potências de 500 a 12.500 kW. Em casos excepcionais a queda pode ir até 1000 m. Possui ótimas características de desempenho sob cargas parciais, funcionando suavemente e praticamente sem cavitação até 20% da carga nominal, e mesmo abaixo desse valor quando utilizado um maior número de jatos. Em geral, é escolhido o arranjo com eixo horizontal, com um ou dois jatos. Para maiores vazões, e/ou para conseguir velocidades de rotação maiores, o arranjo poderá ser feito com três (menos utilizado) ou quatro jatos e o eixo na disposição vertical. Assim, é aconselhável fazer uma comparação entre os custos do conjunto turbina-gerador para as diversas opções. (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

A turbina Francis apresenta uma faixa de aplicação bem mais abrangente. No âmbito destas Diretrizes, a turbina Francis atende a quedas de 15 a 250 m e potências de 500 a 15000 kW possuindo ótimas características de desempenho sob cargas parciais de até 70% da carga nominal, funcionando ainda adequadamente entre 70 e 50 % da carga, embora com perda progressiva do rendimento. Não é aconselhável o funcionamento da turbina abaixo de 50% da vazão nominal, devendo ser consultado o Fabricante, caso necessário, que poderá propor soluções específicas para o caso. (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

A turbina Francis Caixa Aberta é viável para baixas quedas até 10 m e potências de 500 a 1800 kW. No entanto, deve ser utilizada com reservas, em virtude do baixo rendimento alcançado. A ausência de conduto forçado e de caixa espiral simplificam a concepção e diminuem o custo do equipamento. (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

A turbina Tubular “S” atende a quedas de 4 a 25 m e potências de 500 a 5000 kW para vazões de até 22,5 m<sup>3</sup>/s. Possui ótimas características de operação, mesmo a cargas parciais, desde que utilizado o rotor Kaplan de pás reguláveis. Se, adicionalmente, o distribuidor também for regulável, caracterizando uma turbina de dupla regulação, a faixa de operação irá de 100% até 20% da carga nominal. Caso o distribuidor seja fixo, o limite inferior de operação se limita a 40% da carga nominal. A utilização de rotor de pás fixas só é considerada se a variação de carga for pequena (entre 100% e 80% da carga nominal). Deve ser feita uma comparação econômica entre o custo maior da dupla regulação e seu benefício de ganho de produção de energia elétrica, considerando a flexibilidade de operação nesse caso. (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

A turbina Bulbo com Multiplicador atende a quedas de 4 a 12 m e potência até 1700 kW. É usada como alternativa à turbina tubular “S”, incluindo um multiplicador de velocidade com engrenagens cônicas, permitindo que o gerador fique com o eixo a 90° do eixo da turbina, normalmente em posição vertical. É própria para operação com grandes variações de vazão, trabalhando satisfatoriamente sob cargas parciais de até 10% a 20% da carga nominal. A limitação na potência está mais ligada ao

multiplicador de velocidade do que à turbina. (DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH)

### 3.3.7 Reguladores de Velocidade

O sistema de regulação em unidades de PCH tem por objetivo inicial permitir a tomada de velocidade até a rotação nominal de projeto e posterior sincronização da unidade com a rede elétrica. A seguir, o regulador comanda a tomada de carga até o valor estipulado pelo operador, permanecendo no monitoramento desse valor e certificando que a unidade está sincronizada com a rede. Em caso de ligação com rede elétrica de grande porte, a unidade geradora acompanha a frequência da rede, e o regulador passa a ter a função de controlar a potência ativa fornecida pela máquina.

O regulador de velocidade pode ser eletro-hidráulico ou digital.

O regulador de velocidade é formado por duas partes distintas: a parte eletro-eletrônica e a parte hidráulica ou atuador, sendo a ligação entre as partes feita pela válvula proporcional. O atuador, constituído de bomba, filtro, acumulador de pressão, válvulas distribuidoras e acessórios, possibilita a chegada de óleo sob pressão até o servomotor hidráulico ligado ao distribuidor ou ao injetor (tipo Pelton) da turbina. O distribuidor ou o injetor regula a vazão de água passando pelo rotor, controlando desse modo a variação de potência fornecida pela turbina.

O trabalho necessário para mover o distribuidor da turbina, da posição fechada até a abertura máxima, sob queda máxima, é chamado trabalho de regulação da turbina, e é medido em N.m.

### 3.3.8 Geradores Síncronos

São considerados três tipos de geradores: assíncrono, síncrono com multiplicador de velocidade e síncrono sem multiplicador.

Os geradores síncronos possuem a função de converter a energia mecânica fornecida pela turbina em energia elétrica. Em geral, o acoplamento entre a turbina e gerador é direto, sendo que em determinados casos emprega-se o acionamento indireto por meio de correias ou multiplicadores de velocidade. Neste caso, usa-se normalmente geradores de quatro pólos que são mais baratos por terem fabricação padronizada.

Para o gerador assíncrono ou para o síncrono sem multiplicador, a velocidade de rotação é a mesma para turbina e gerador e, sendo assim, deve-se procurar a velocidade síncrona mais próxima da calculada (conforme fórmulas típicas para cada tipo de turbina).

Essa velocidade de rotação pode ser calculada pela relação

$$n = 120 * \frac{f}{p} \quad \text{onde :} \quad (5)$$

$n$  = velocidade de rotação síncrona em rpm

$f$  = frequência da rede em Hertz

$p$  = nº de pólos do gerador

Se a unidade possui multiplicador de velocidade, a velocidade de rotação calculada para a turbina deve ser mantida, mesmo que não seja uma velocidade síncrona. A correção para a velocidade síncrona, a ser utilizada pelo gerador, será feita pelo multiplicador de velocidade, que aumentará seu valor, normalmente, para 1800 rpm, 1200 rpm ou 900 rpm.

### 3.3.9 Quadro de Comando

Os quadros de comando se destinam à instalação de instrumentos de medição e de dispositivos de controle e proteção necessários para a operação do gerador.

### 3.3.10 Dispositivos de Proteção

A escolha de um sistema de proteção para os equipamentos elétricos constituintes de uma PCH envolve aspectos operacionais, econômicos, de segurança física e pessoal. O sistema de proteção deve constituir um sistema independente do sistema de controle digital e as proteções devem atuar diretamente, através de seus contatos de saída, sobre os disjuntores ou dispositivos de parada, de modo a garantir a parada da máquina sem necessidade do sistema de controle digital.

### 3.3.11 Subestações

As subestações para pequenas centrais hidrelétricas podem ser instaladas dentro da casa de força ou ao tempo.

Recomenda-se que as subestações para instalação abrigada na casa de força sejam do tipo Conjunto de Manobra e Controle Blindado, conforme definido pela Norma ABNT NBR 6979.

As subestações para instalação ao tempo podem ser do tipo Conjunto de Manobra e Controle Blindado ou convencional.

Deve-se dar preferência à subestação do tipo Conjunto de Manobra e Controle Blindado, sempre que possível, que proporciona melhores condições de segurança pessoal contra riscos de acidentes e maior rapidez na fase de instalação do equipamento na usina.

### 3.3.12 Linhas de Transmissão

A interligação da usina com o consumidor ou com um sistema elétrico existente é feita através da linha de transmissão.

Para a linha de transmissão, devem ser definidas a tensão de transmissão e a seção nominal dos condutores, com base nos valores de potência a transmitir e comprimento da linha.

A tensão de transmissão deverá ser definida através de um estudo de alternativas para interligação entre a usina e o ponto de interligação com o sistema que resulte na solução economicamente mais interessante.

### 3.3.13 Sistemas de comunicação

A definição do sistema de comunicação deve ser feito considerando-se as necessidades em função do modo de operação da usina; se assistida ou desassistida, telecomandada ou apenas telesupervisionada.

A utilização de uma central telefônica digital atende às necessidades de comunicação por voz e funções limitadas de transmissão de dados, para alarme remoto através de discagem automática. Para esta alternativa, pode ser usada uma linha telefônica privada ou alugada uma linha da Companhia Telefônica local.

A utilização de uma linha telefônica, constituída por condutores metálicos, na área de uma central hidrelétrica, requer proteção especial para o equipamento e para as pessoas, contra a elevação de potencial de terra sob as condições de curto-circuito e descargas atmosféricas que ocorrem na linha de transmissão.

O Sistema de Ondas Portadoras sobre as Linhas de Alta Tensão (OPLAT) tem sido muito utilizado para as finalidades de comunicação por voz, proteção de linha, telecomando e transmissão de dados. Quando a usina for interligada a um sistema elétrico que já utilize este sistema para proteção de linha na tensão da linha de interligação, sua utilização, assim como a utilização de um sistema de proteção de linha com o mesmo princípio do adotado para a outra extremidade, torna-se necessária.

Em alguns casos, devido às condições locais, a utilização de rádio na faixa das freqüências de VHF, UHF ou microondas, pode ser uma alternativa interessante, devendo ser analisada sua viabilidade.

## 3.4 Custos das unidades componentes

Segundo as diretrizes para projetos de PCHs, são necessários estudos econômicos – energéticos para avaliação da factibilidade e atratividade do aproveitamento. Compor custos unitários para os principais serviços de obras civis em função da realidade local e custos dos equipamentos.

Martinez (1988), apresentou em seu trabalho de dissertação de mestrado, uma metodologia para o pré – dimensionamento de Pequenas Centrais Hidrelétricas, através de equações de custos, para faixas de potência acima de 500 kW até 10.000 kW e com altura de queda de 20 a 100 metros, utilizando as seguintes equações para estimar os custos:

### 3.4.1 Barragens e Vertedouros

O custo unitário da barragem (CUB), pode ser estimado, em US \$ por metro, incluindo o vertedouro, através da equação:

$$CUB = ( 9,1 \cdot h_b^2 + 52,7 \cdot h_b + 51,5 ) \cdot k \quad (6)$$

Onde:

$h_b$  – altura da crista da barragem em metros.

$k$  – coeficiente de forma para o tipo de vale

Para o custo total da barragem (CDB), utiliza –se a equação simplificada:

$$CDB = CUB \cdot l_b \quad (7)$$

Onde:

$h_b$  – altura da crista da barragem em metros.

$l_b$  – comprimento da barragem ( e vertedor) em metros.

$k$  – coeficiente de forma para o tipo de vale

### 3.4.2 Tubulação de Alta pressão

Para o custo da Tubulação de alta pressão (CTF), em US \$, utiliza-se a equação:

$$CTF = ( 5260,2 Q^2 + 5183,40 Q + 221650 ) l_{ff} \quad (8)$$

Onde:

$Q$  – vazão de projeto, em  $m^3 / s$

$l_{ff}$  – Comprimento da tubulação forçada em Km;

Custo dos Blocos de apoio e ancoragem (CBTF), em US \$:

$$CBTF = ( 1821,60 Q^2 + 8847,30 Q + 1052444,80 ) l_{ff} \quad (9)$$

Onde:

Q – vazão de projeto, em  $m^3 / s$

$l_{ff}$  – Comprimento da tubulação forçada em Km;

### 3.4.3 Chaminé de equilíbrio

Para estimar o custo da Chaminé de Equilíbrio (CCHE), em US \$, utiliza-se a equação:

$$CCHE = 990,2 Q + 3479 \quad (10)$$

Onde:

Q – vazão de projeto, em  $m^3 / s$

### 3.4.4 Casa de Máquinas

Para estimar o custo da Casa de Máquinas (CCM), em US \$, utiliza-se a equação:

$$CCM = 10^{-3} (P)^2 + 3,0 P + 49705 \quad (11)$$

Onde:

P – Potência em kW

### 3.4.5 Canal de Fuga

Para estimar o custo do Canal de fuga (CCF), em US \$, utiliza-se a equação:

$$CCF = (363,8 Q^2 + 10169,60 Q + 64727,5 ) l_{cf} \quad (12)$$

Onde:

Q – vazão de projeto, em  $m^3 / s$

$l_{cf}$  – Comprimento do canal de fuga em Km

#### 3.4.6 Turbinas

O custo das Turbinas (CTUR), em US \$, e dado por:

$$CTUR = - 3,25 \cdot 10^{-3} P^2 + 87,9 P - 2614,6 \quad (13)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

Para determinação do número ótimo de máquinas, recomenda-se a utilização da equação (SANT'ANA \_ 1986) que fornece o custo da turbina em função da altura de queda (H), em metros e da potência (P) em kw:

$$CTUR = 973 P^{0,835} \cdot H^{-0,426} \quad (14)$$

#### 3.4.7 Reguladores de Velocidade

O custo dos Reguladores de velocidade (CRV), em US \$, e dado por:

$$CRV = - 2,21 \cdot 10^{-4} P^2 + 31,9 P + 8780,2 \quad (15)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

#### 3.4.8 Geradores Síncronos

O custo dos Geradores Síncronos (CGER), em US \$, e dado por:

$$CGER = ( 2,29 \cdot 10^3 P^{0,5115} \cdot H^{0,1279} ) / ( 1 - 3,9 \cdot 10^{-3} H )^{0,341} \quad (16)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

H – Altura de queda

Custo do gerador apenas para a Potência, em US \$, e dado por:

$$CGER = 4,0 \cdot 10^{-3} P^2 + 70,8 P + 14070,2 \quad (17)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

#### 3.4.9 Quadro de Comando

Custo do quadro de comando (CQC), em US \$, e dado por:

$$CQC = 3,62 \cdot 10^{-3} P^2 + 22,1 P - 13244,8 \quad (18)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

#### 3.4.10 Dispositivos de Proteção

Custo do dispositivos de proteção (CDP), em US \$, e dado por:

$$CDP = 6,54 \cdot 10^{-4} P^2 + 4,30 P + 7543,7 \quad (19)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

#### 3.4.11 Subestações

Custo das subestações, em US \$, e dado por:

$$CSB = 0,02 P^2 + 18,8 P + 12894,6 \quad (20)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

#### 3.4.12 Linhas de Transmissão

Custo das linha de transmissão, em US \$, e dado por:

$$CLT = (- 10^{-4} P^2 + 3,3 P + 3842,9) L_{lt} \quad (21)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

$L_{lt}$  – é dado em Km.

#### 3.4.13 Sistemas de comunicação

Custo dos sistemas de comunicação, em US \$, e dado por:

$$CSC = 1,7 P + 658,0 \quad (22)$$

Onde:

P – Potência de aproveitamento em kW.

### 3.5 Legislação energética vigente

Os aspectos institucionais e legais, abrangem uma faixa ampla da legislação vigente, tendo como linhas mestras:

- a “Constituição da República Federativa do Brasil”, de 1998 ;
- o “Código de Águas”, Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934;
- Lei nºs 8.987 de 13 de fevereiro de 1995, que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos;
- Lei 9.427 de 26 de dezembro de 1996 que institui à ANEEL é legislação complementar;
- Lei 9.648, de 27 de maio de 1998, autoriza a dispensa de licitações para empreendimentos hidrelétricos de até 30 MW de potência instalada, para autoprodutor e produtor independente. A concessão será outorgada mediante autorização, até esse limite de potência desde que os empreendimentos mantenham as características de PCHs;
- Lei 10.2002 de 20 de janeiro de 2001, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional De Petróleo;
- Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia;
- Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica;
- Lei 10.848 de 15 de março de 2004, dispõe sobre a comercialização de energia elétrica;

De acordo com a Constituição Federal, os potenciais de energia hidráulica constituem bens da União (capítulo II, art. 20, inciso VIII).

Compete à União explorar diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, o aproveitamento energético dos cursos d’água, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos. (capítulo II, art. 21, inciso XII, alínea b).

### 3.5.1 Principais impostos incidentes na geração de energia

A atividade de energia elétrica no Brasil sofre a incidência dos seguintes impostos, nas suas operações: ICMS, PIS, Cofins, Taxa de fiscalização de Serviço de Energia Elétrica – TFSEE.

Além disso, a empresa que atua no ramo de energia elétrica ainda está sujeita à incidência de: IR e CSL, CPMF.

Para os casos específicos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), há incentivos setoriais, como a isenção do pagamento de compensação pelo aproveitamento hidrelétrico e uma redução de no mínimo 50% no custo de uso do sistema de transmissão e distribuição para tornar competitivo o valor da energia das PCH's, ainda, a isenção da Reserva Global de Reversão.

## 3.6 Legislação Trabalhista

A Consolidação das Leis Trabalhistas – CLT, estatui as normas que regulam as relações individuais e coletivas de trabalho, nela previstas. Considera-se empregador a empresa, individual ou coletiva, que, assumindo os riscos da atividade econômica, admite, assalaria e dirige a prestação pessoal de serviço.

Pela CLT, o trabalhador de atividade privada, isto é, toda pessoa física que prestar serviços de natureza não eventual a empregador, sob dependência deste e mediante salário, em todas as atividades o empregador está obrigado a efetivar o registro de seus empregados tão logo os mesmos iniciem a prestação dos seus serviços. O contrato de trabalho (artigo 442) é o acordo, tácito ou expresso, celebrado entre o empregador (artigo 2º, CLT) e empregado (artigo 3º, CLT), correspondente à relação de emprego. Não possui necessariamente uma forma para ser realizado, podendo ser por escrito ou verbalmente (artigo 443, CLT).

### 3.6.1 Custos com empregados

Para o cálculo dos custos da mão-de-obra com empregados, é necessário se determinar quais as incidências sociais (INSS, FGTS) e trabalhistas (provisão de férias, 13º salário e Descanso Semanal Remunerado - DSR) incidirão sobre os valores das remunerações pagas.

Optando pelo simples cálculo sobre um salário de mensalista, utilizando-se dos percentuais discriminados na tabela abaixo, totalizou-se um custo total de mão de obra de 68,77 % sobre o salário de mensalista.

TABELA 2: CÁLCULO DE PERCENTUAIS DE ENCARGOS SOBRE UM SALÁRIO DE MENSALISTAS.

Custo de encargos sociais e trabalhistas	
Sobre um salário mensal	
13 ° Salário	8,33 %
Férias	11,11 %
INSS	20,00 %
SAT/até	3,00 %
Sal.Educação	2,50 %
INCRA/SENAI/SESI/SEBRAE	3,30 %
FGTS (a partir de 01.10.2001)	8,50 %
FGTS/Resc. (a partir de 01.10.2001)	4,00 %
Total Previdenciário	41,30 %
Previdenciário s/13º e Férias	8,03 %
<b>SOMA BÁSICO</b>	<b>68,77 %</b>

Fonte: Instrumento de apoio Gerencial 49 – SEBRAE

Título: Normas Sindicais e Encargos Sociais e Trabalhistas

Atributo: Legalidade das Ações

Processo: Regularização e adequação das empresas às normas sindicais e trabalhistas

### 3.7 Restrições ambientais

Para que o empreendimento não seja inviabilizado, os impactos ambientais devem ser mínimos, obedecendo aos seguintes critérios:

- a área de inundação, em qualquer alternativa, deverá, em princípio, ser menor

que 3 km<sup>2</sup> (Resolução 395 da ANEEL de 04/12/98) ;

- os impactos relativos à fauna e à flora, locais e regionais, devem ser criteriosamente avaliados;
- a vazão residual (ou sanitária) mínima a ser liberada para jusante, da mesma forma, deve ser cuidadosamente avaliada, em função da legislação e das características de cada aproveitamento. Este aspecto é particularmente importante no caso dos aproveitamentos de derivação, nos quais os arranjos prevêm a casa de força a jusante do barramento.

O maior desafio atual é desenvolver a sustentabilidade dos sistemas energéticos, ou seja, tornar ambientalmente viáveis tanto usinas hidrelétricas quanto projetos de fontes alternativas.

A preocupação com o esgotamento da base de recursos naturais do planeta e os impactos ambientais da exploração e do uso dos recursos energéticos apontam para a necessidade de se repensar o crescimento econômico de forma sustentável a não comprometer o bem estar das gerações futuras.

Para tanto, é necessário adotar medidas que minimizem as emissões de gases poluentes e conservem as condições agriculturáveis do solo, a não contaminação das águas, e a exploração racional dos recursos renováveis.

Segundo Oliveira (1998), dentre os principais impactos ambientais provocados pelo sistema energético atual, podemos destacar:

- Esgotamento das reservas nacionais de petróleo,
- Poluição atmosférica, decorrente das emissões de gases e particulados,
- Inundação de áreas, como resultado da construção de reservatórios nas centrais hidrelétricas,
- Contribuição brasileira para o efeito estufa.

Conforme Müller (1995), os componentes ou fatores que entram em uma análise de impactos são classificados em fixos, que em larga escala não podem ser modificados pela ação antrópica, e variáveis, que, pelo contrário, sofrem alterações segundo as decisões ou reações das pressões causadas por elas.

Os fatores fixos são as condições hidrológicas, topográficas, meteorológicas,

sísmicas, a natureza física, química e biológica dos elementos, os processos sinérgicos ou biológicos de suas inter-relações e a capacidade do meio de receber impacto. Os fatores variáveis referem-se às ações dos homens, decidindo o tipo de empreendimento, sua escala, localização, sistema operacional, época em que se processarão as ações impactantes e a intensidade das reações do meio às intervenções, afetando os padrões ambientais, como resultado do empreendimento. Utilizam-se formas de redação quantitativas e qualitativas para descrever como o meio irá reagir ao processo de implantação de uma usina hidrelétrica. Na descrição qualitativa, examina-se o ambiente e se revisam as características do projeto, procurando identificar as áreas sensíveis e críticas à ação prevista. Qualificam-se os resultados da ação, tais como formação de locais de degradação ambiental, perdas de setores primitivos, alterações nos tipos de ocupações agrícolas, atividades extrativas e mineração, interferências em sistemas urbanos e outros. Na forma quantitativa, medem-se e encontram-se os valores, índices, etc. Müller (1995)

Essas mensurações destinam-se a conhecer a escala dos impactos sobre os fatores antes qualificados e, dependendo da disponibilidade de informações em situações análogas, antecipar em quanto e quais os valores sofrerão alterações, devido ao projeto hidrelétrico. Müller (1995)

As diferenças sócio-ambientais entre as pequenas e grandes barragens, no fundo, serão na escala e na intensidade de impactos causados sobre o ecossistema primitivo. Quanto maior o vulto da obra hidráulica construída, tanto maior a modificação das condições naturais anteriores. Essas modificações, tem sua maior expressão durante a formação do reservatório, mas não se restringem a esse período em somente à área física alagada. Müller (1995)

A relação entre a área inundada e a potência instalada estabelece um índice comparativo interessante para se avaliar estes empreendimentos e a possível intensidade de intervenções que os projetos hidrelétricos produzem sobre o meio. O uso de índices relacionando potência e área inundada é feito tradicionalmente pela engenharia hidrelétrica, sem necessariamente ter conotação sócio-ambiental. Outros índices veêm sendo testados para procurar mostrar uma relação causa-efeito dos empreendimentos frente aos aspectos do meio. Müller (1995)

### 3.7.1 Vazão ecológica

A vazão mínima residual, ou vazão ecológica, é um valor de referência que deve ser mantido no trecho de rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água. (Benneti, Lanna e Cobalchini, 2003).

Sendo a vazão ecológica a forma de assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos e naturais, dos aspectos de paisagem, e outros de interesse científico e cultural.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da Barragem Rodolfo da Costa e Silva

A Barragem Rodolfo da Costa e Silva, conforme a vista geral da Figura 2 e o Lago formado pela área alagada da Figura 3, está localizada na divisa dos municípios de Itaara e São Martinho, com o barramento do rio Ibicuí – Mirim, a área da bacia hidrográfica é de aproximadamente 49,4 Km<sup>2</sup> e a área da bacia hidráulica 275 ha. O volume útil de acumulação é de 24.900.000 m<sup>3</sup>, com uma vazão média regularizada de 1,23 m<sup>3</sup>/s. Constitui-se estruturalmente por concreto de gravidade, tendo altura máxima de 36,5 metros, altura máxima em relação ao leito do rio de 34,0 metros, extensão na crista de 684 metros.

A vazão média regularizada passa por uma válvula dispersora, conforme ilustra Figura 4 e 5.

Na Figura 6 pode – se ver o vertedouro da Barragem.

Na Figura 7, uma queda natural no leito do rio, a jusante da Barragem.



Figura 2 – Vista Geral da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



Figura 3 – Vista da área de alague formada pela construção da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



Figura 4 – Vista da dispersão de água na tomada de água.



Figura 5 – Vista superior da válvula dispersora de água, no topo da barragem.



Figura 6 – Vista do Vertedouro da Barragem.



Figura 7 – Vista do rio a jusante da Barragem, distante 1000 metros da barragem.

#### 4.2 Levantamento Altimétrico do Arroio a jusante da barragem

Numa primeira etapa, foi realizado o levantamento a vista para reconhecimento do terreno, onde foi percorrida a área a jusante da Barragem.

O levantamento altimétrico foi feito com estação total, utilizando os métodos de caminhamento e irradiação.

Partiu-se de um ponto localizado a montante da barragem, distante 908 metros, onde foi realizado o caminhamento, com o deslocamento da estação total até a Barragem. Neste caminhamento, nos pontos de fixação da estação total, foi realizada irradiação em pontos de interesse.

#### 4.3 Elaboração de planilha eletrônica

Para a avaliação das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva, dos custos de implantação de uma PCH e dos lucros obtidos, elaborou-se uma planilha eletrônica utilizando o programa excel, como segue descrição abaixo, com as respectivas fórmulas e valores utilizadas para cada coluna:

1<sup>a</sup> COLUNA – Identifica o ponto de estudo;

2<sup>a</sup> COLUNA – Vazão turbinável adotada para análise de viabilidade, foram utilizados os valores de 0,77 e 1,13 m<sup>3</sup>/s, sendo estas as vazões médias regularizada mantidas pela CORSAN ;

3<sup>a</sup> COLUNA – Distância do ponto em estudo, com relação ao ponto 1 localizado no pé da barragem, em metros, variando de 5 em 5 metros;

4<sup>a</sup> COLUNA – Desnível do ponto em estudo, em relação ao pé da barragem, sendo que o desnível foi calculado partindo do levantamento altimétrico, obtendo assim a declividade por metros de terreno, no valor de 0,0212 m/m;

5<sup>a</sup> COLUNA – Nível de água médio na barragem, segundo dados fornecidos pela CORSAN, no valor de 22,63 metros;

6<sup>a</sup> COLUNA – Valor adotado para o diâmetro da tubulação, afim de permitir o estudo de viabilidade, de 0,80 metros, ;

7<sup>a</sup> COLUNA – Coeficiente do material(C), adotado o valor de 130;

8<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo da perda de carga unitária, J (m/m), pela fórmula de Hazem-Willians,  $J = 10,648 * Q^{1,85} * D^{-4,87} * C^{-1,85}$  ;

9<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo da perda de carga distribuída , utilizando o valor calculado para perda de carga unitária multiplicado pela distância do ponto em estudo ao pé da barragem, em m/m;

10<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo da altura manométrica total ( $H_{man}$ ), somando o valor do desnível da água na barragem (22,63 m) e o valor do desnível do ponto em estudo ao pé da barragem, subtraindo o valor calculado para perda de carga distribuída;

11<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo da Potência gerada (kW), através da fórmula  $Pot = \left[ \frac{1000 * Q_{Tur} * H_{man} * 0,83}{0,11} * 736 \right] / 1000$ , sendo  $Q_{Tur}$ , a vazão turbinável e  $H_{man}$  a altura manométrica;

12<sup>a</sup> COLUNA – Valor do preço do kWh adotado de 0,11 reais, valor de referência utilizado segundo informações fornecidas pela Hidrelétrica de Dona Francisca para a comercialização do kWh em Novembro / 2006;

13<sup>a</sup> COLUNA – Valor adotado para o estudo, para o número de horas de funcionamento por mês, de 728 horas;

14<sup>a</sup> COLUNA – Valor calculado para o lucro bruto mensal em R\$, através da multiplicação dos valores obtidos para a Potência gerada, preço kWh e número de horas de funcionamento;

15<sup>a</sup> COLUNA – Adotou-se o número de 3 funcionários para a operação da PCH;

16<sup>a</sup> COLUNA – Adotou-se o valor de R\$ 540,00 como remuneração salarial por funcionário contratado;

17<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do custo dos encargos trabalhistas de cada funcionário através do valor percentual de 68,77 % sob a remuneração salarial, no valor de R\$ 371,36;

18<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do custo total de cada funcionário, no valor de R\$ 911,36, obtido através da soma do salário e do custo de encargo trabalhista;

19<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do custo total do(s) funcionário(s) com encargos, totalizando o valor de R\$ 2.734,07;

20<sup>a</sup> COLUNA – Valor de índice percentual de incidência para o empreendimento, adotando 40,00 %, considerando taxas da ANEEL, compensação financeira, PIS, COFINS, outros ;

21<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do valor de Impostos mensais, multiplicando o valor adotado na coluna anterior de 40% pelo valor obtido para o lucro bruto mensal obtido na 14<sup>a</sup> COLUNA;

22<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do valor de lucro líquido mensal, subtraindo do valor obtido para o lucro bruto mensal (14<sup>a</sup> COLUNA) os custos com funcionários e impostos, calculados nas colunas 19<sup>a</sup> e 21<sup>a</sup>;

23<sup>a</sup> COLUNA – Cálculo do custo da adutora, através da equação (8),  $CTF = ( 5260,2 Q^2 + 5183,40 Q + 221650 ) I_{ff}$  , onde, Q é vazão adotada em  $m^3 / s$  e  $I_{ff}$  o comprimento da tubulação forçada em Km;

24ª COLUNA – Valor adotado para conversão da moeda, dólar em real, de R\$ 2,28 (cotação em 24/11/2006);

25ª COLUNA - Cálculo do custo da chaminé de equilíbrio, através da equação (10),

26ª COLUNA – Cálculo do custo da casa de máquinas, através da equação (11),

27ª COLUNA – Cálculo do custo da turbina, através da equação (13),

28ª COLUNA – Cálculo do custo do regulador de velocidade, através da equação (15),

29ª COLUNA – Cálculo do custo do gerador síncrono, através da equação (17),

30ª COLUNA – Cálculo do custo do quadro de comando, através da equação (18),

31ª COLUNA – Cálculo do custo dos dispositivos de proteção, através da equação (19),

32ª COLUNA – Cálculo do custo da subestação, através da equação (20),

33ª COLUNA – Valor adotado para o comprimento da linha de transmissão de 2 Km;

34ª COLUNA – Cálculo do custo da linha de transmissão, através da equação (21)

35ª COLUNA - Cálculo do custo dos sistemas de comunicação, através da equação (22),

36ª COLUNA - Cálculo do custo total de investimento para construção da PCH, através do somatório das colunas 23,25,26,27,28,29,30,31,32,34,35;

37ª COLUNA – Cálculo da amortização em número de meses para pagar a PCH, sem nenhuma estimativa de lucro, considerando o cálculo do custo total de investimento calculado na 36ª COLUNA e o cálculo do lucro líquido mensal calculado na 22ª COLUNA, dividindo os dois valores ;

38ª COLUNA - Valor adotado com taxa de juros do financiamento, de 0,5 % ao mês;

39ª COLUNA - Número de meses escolhido para pagamento do financiamento, adotado 240 meses;

40ª COLUNA – Cálculo do valor da amortização, a parcela do financiamento correspondente ao valor de empréstimo assumido, multiplicando o valor obtido para o custo total da PCH na 36ª COLUNA pelo fator de recuperação de capital

$$\left[ \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right], \text{ onde } i = 0,005 \text{ e } n = 240 \text{ meses;}$$

41ª COLUNA – Cálculo da renda líquida mensal, através da diferença entre o lucro líquido mensal calculado na 22ª COLUNA e parcela de amortização de investimento calculada na 40ª coluna ;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados obtidos

As planilhas eletrônicas geradas, demonstradas no APÊNDICE I, possibilitaram avaliar sob o ponto de vista econômico – energético, o ponto onde a operação de um pequeno aproveitamento hidrelétrico fosse viável, sendo que os benefícios energéticos incrementais, convertidos em valores econômicos, superassem os custos gerados para implantação do empreendimento.

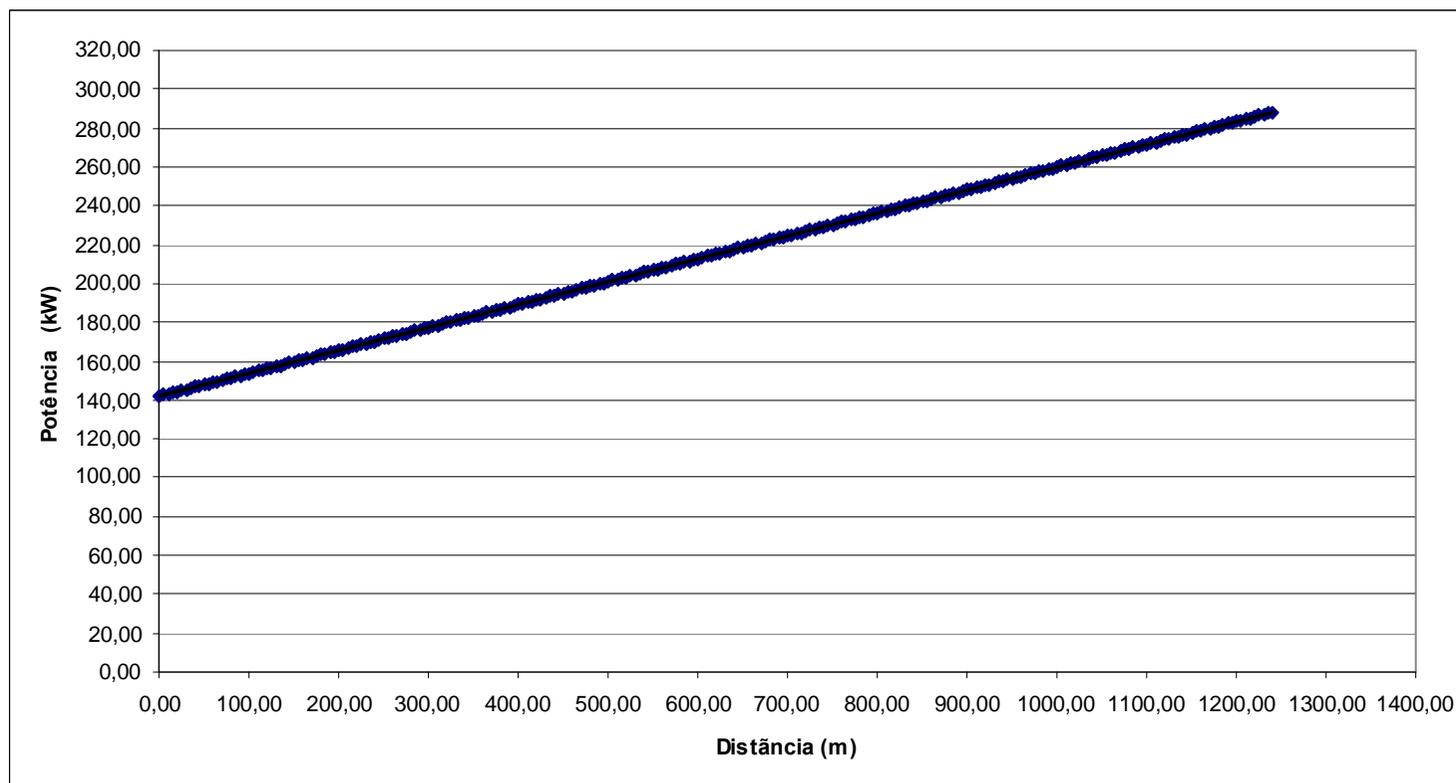
Foram estudados 401 pontos, sendo o ponto 1 foi considerado no pé da barragem, e o ponto 401 distante 2000 metros do pé da barragem.

Foram geradas duas planilhas eletrônicas: uma das planilhas utilizando a vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup>/s, e a outra planilha utilizando a vazão turbinável de 1,13 m<sup>3</sup>/s, disponíveis no CD anexo a este trabalho.

A partir dos dados das planilhas eletrônicas, observou-se que, para a planilha gerada com a vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup>/s, até o ponto 250, a receita do empreendimento, calculada na 41ª COLUNA, apresenta valores positivos e atrativos sob o ponto de vista econômico. O mesmo é observado para a planilha gerada para a vazão turbinável de 1,13 m<sup>3</sup>/s, até o ponto 252.

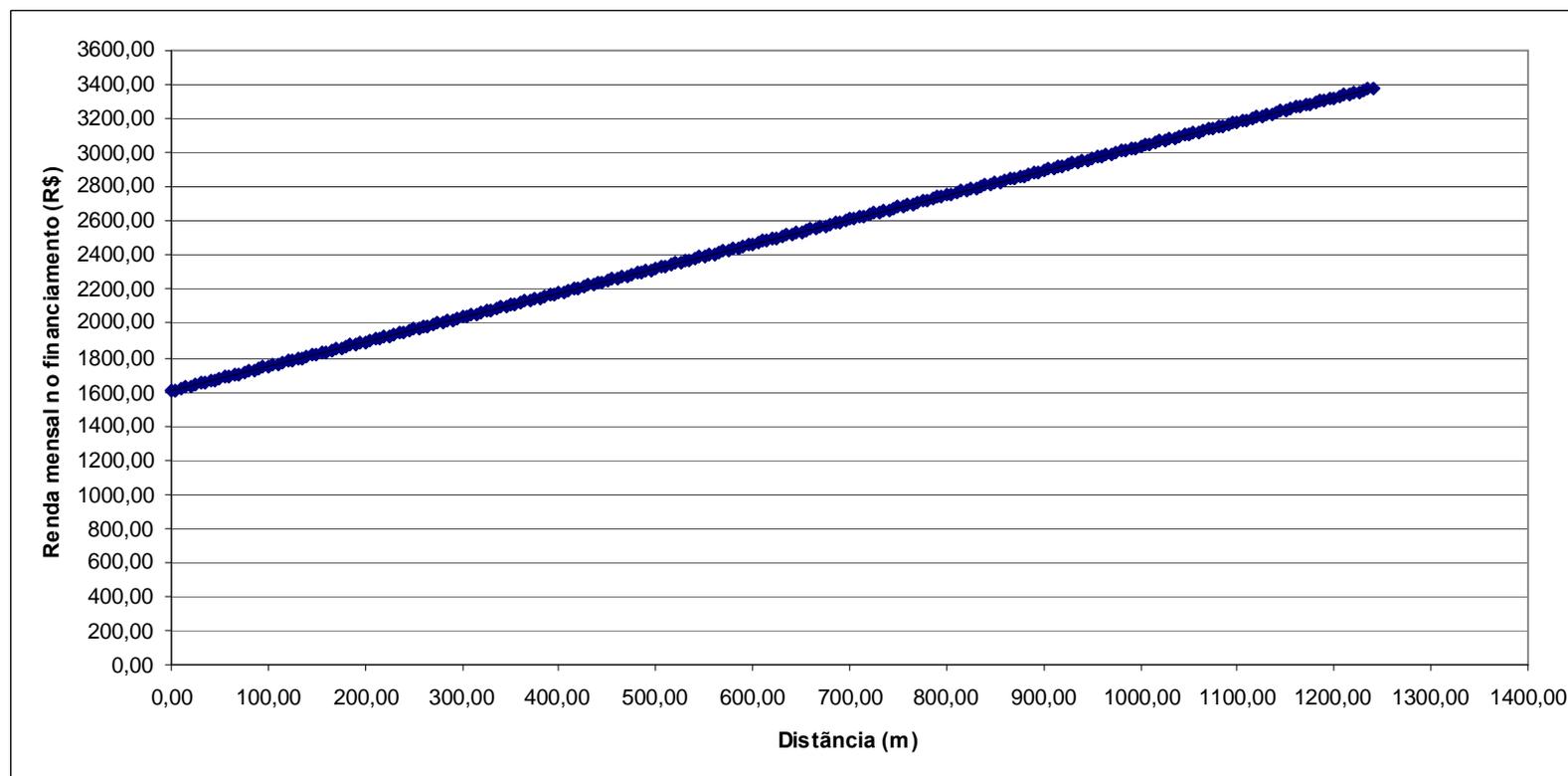
Foram gerados 6 gráficos para análise dos parâmetros: Potência gerada em kWh, Renda mensal do financiamento para um período de 240 meses, Renda mensal líquida após o pagamento do financiamento, em função da distância considerada em relação ao pé da barragem, até os pontos onde a receita do empreendimento se apresentava atrativa sob o ponto de vista econômico. Para elaboração dos gráficos foram utilizando os primeiros 250 pontos de estudo, ajustando uma linha de tendência aos parâmetros considerados.

Gráfico 01 – Avaliação de Potência da em Kw para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3 / \text{s}$  segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



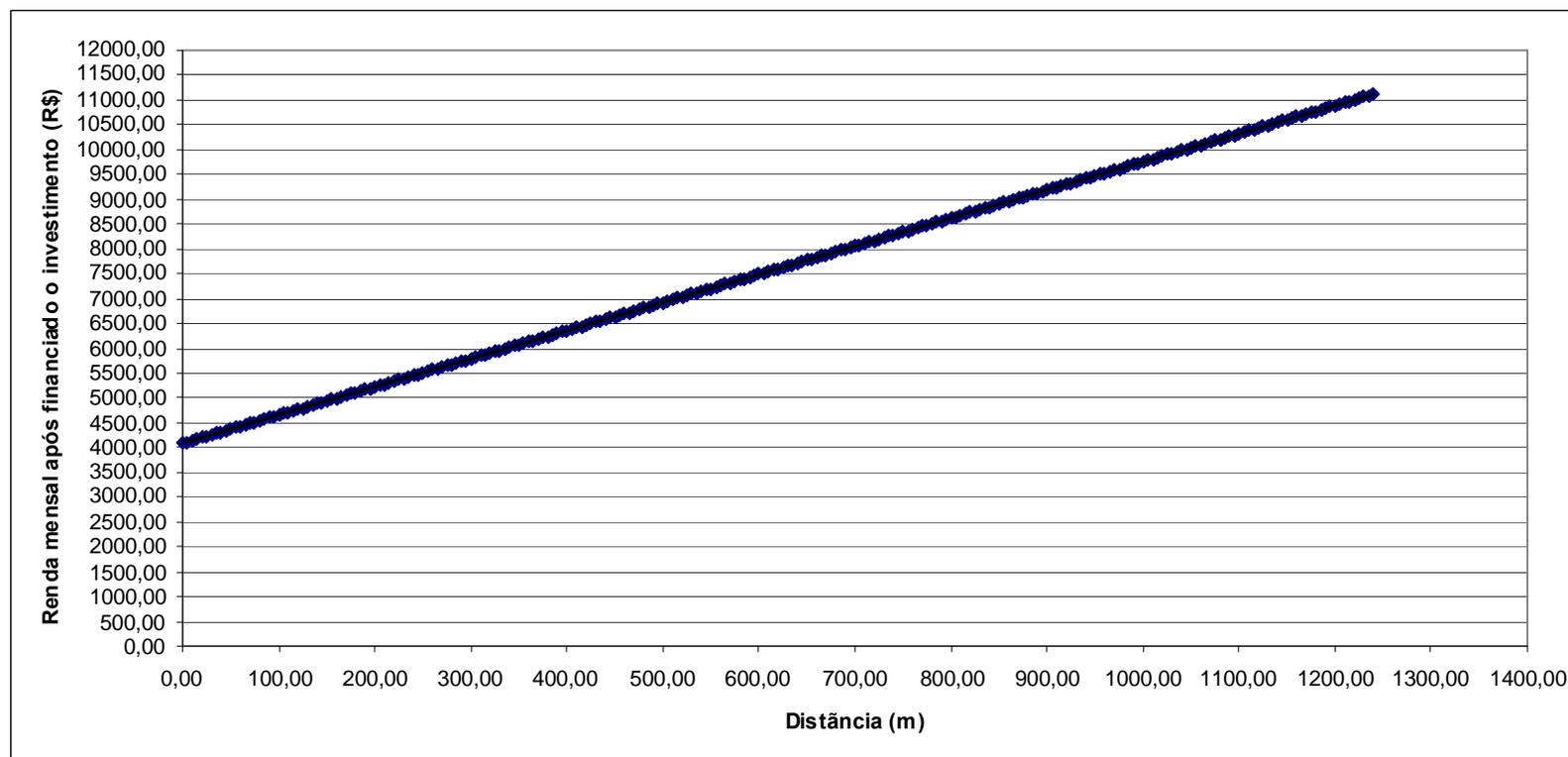
Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

Gráfico 02 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses, para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3 / \text{s}$ , segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



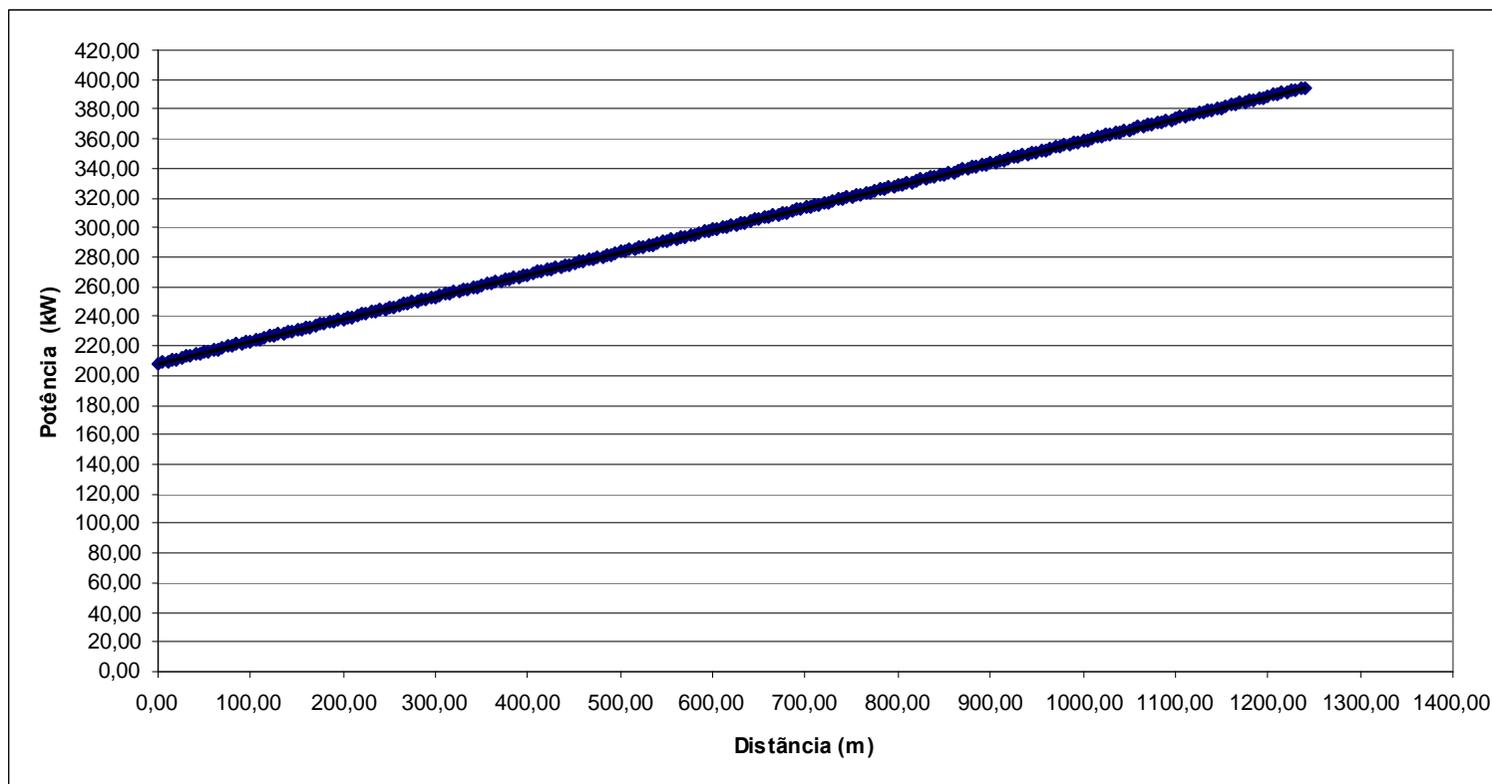
Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

Gráfico 03 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento após quitado financiamento, para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3 / \text{s}$ , segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



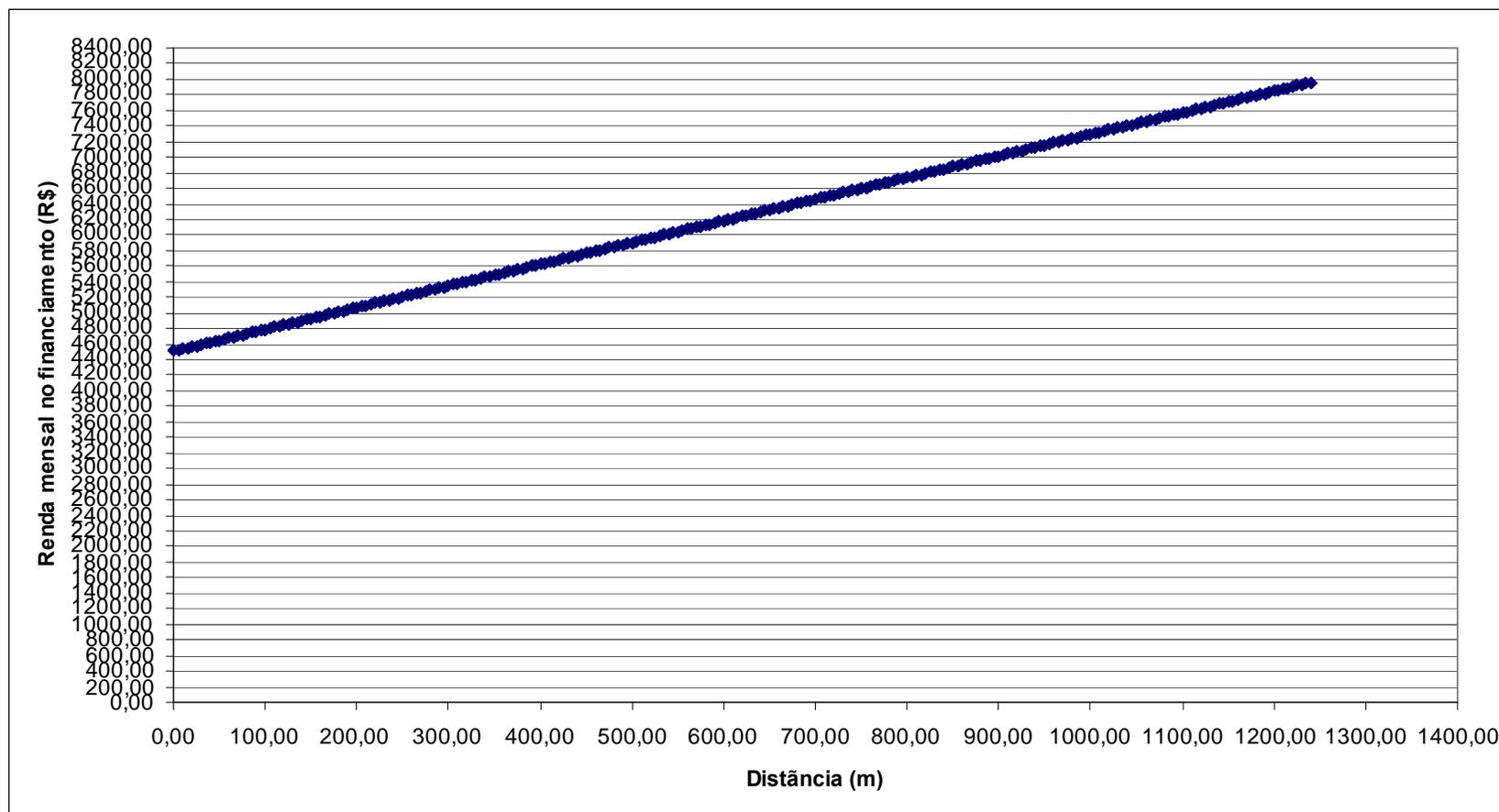
Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

Gráfico 04 – Avaliação de Potência da em Kw para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3 / \text{s}$  segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



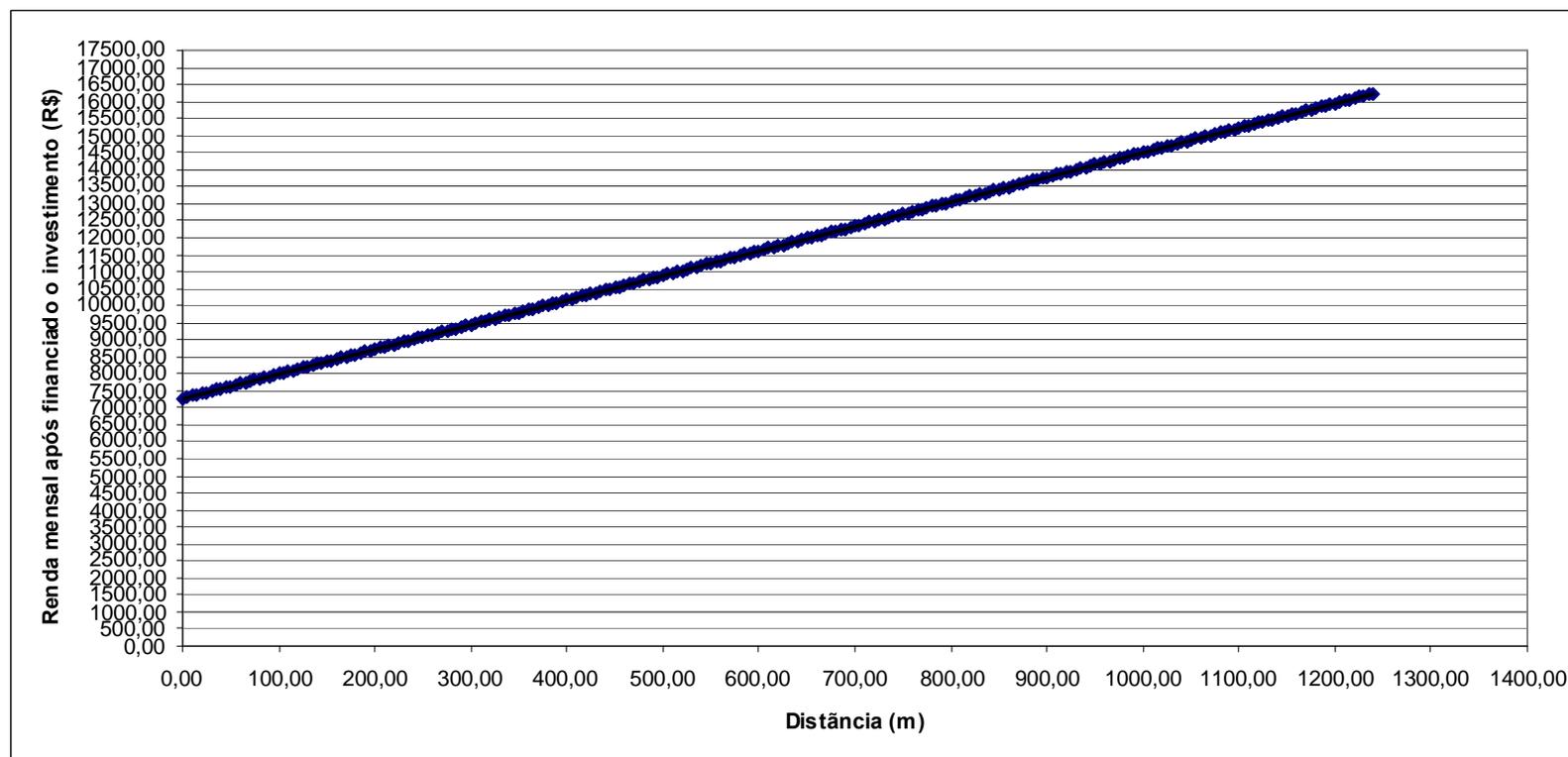
Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

Gráfico 05 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses, para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3 / \text{s}$ , segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

Gráfico 06 – Avaliação da Renda mensal líquida do empreendimento após quitado financiamento, para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3 / \text{s}$ , segundo estudo das potencialidades hidroenergéticas da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.



Autoria: Própria – Tese de Dissertação de mestrado: “ ESTUDO DAS POTENCIALIDADES HIDROENERGÉTICAS DA BARRAGEM RODOLFO DA COSTA E SILVA”, Dezembro de 2006.

## 5.2 Discussão dos Resultados

Na Planilha 1, obteve-se uma potência mínima de 141,93 KWh gerada no ponto 1, localizado ao pé da barragem, podendo chegar a geração de 377,87 KWh no ponto 401, distante 2.000 metros do pé da barragem, para uma vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup>/s, para um período de financiamento de 240 meses. No entanto, a planilha mostra que a partir do ponto 250, distante 1.245 metros da barragem, o empreendimento deixa de ser atrativo economicamente, pois os valores obtidos para a Renda Líquida mensal do empreendimento, apresentam valores negativos, demonstrando que o lucro líquido gerado não cobre o custo do investimento no empreendimento.

Na Planilha 2, obteve-se uma potência mínima de 208,28 KWh gerada no ponto 1, localizado ao pé da barragem, podendo chegar a geração de 509,07 KWh no ponto 401, distante 2.000 metros do pé da barragem, para uma vazão turbinável de 1,13 m<sup>3</sup>/s, para um período de financiamento de 240 meses. No entanto, na Planilha 2, assim com na Planilha 1, a partir do ponto 252, distante 1.255 metros da barragem, o empreendimento passa a não ser atrativo financeiramente, pois o saldo entre o lucro líquido gerado e o custo do investimento passa a ser negativo.

No Gráfico 01, a Potência gerada em KWh para a vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup>/s, é de 141,93 no Ponto 1, e de 288,21 no Ponto 249, distante 1.240 metros do pé da barragem.

No Gráfico 02, a Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses, para a vazão turbinável de 0,77 m<sup>3</sup> / s, é de R \$ 1.604,82 no ponto 1, e de R \$ 3.380,11 no ponto 249.

No Gráfico 03, a Renda mensal líquida do empreendimento após quitado o financiamento, para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3 / \text{s}$ , é de R \$ 4.085,31 no ponto 1, podendo chegar a R \$ 11.113,88 no ponto 249.

No Gráfico 04, a Potência gerada em KWh para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , é de 208,28 no Ponto 1, e de 394,77 no Ponto 249, distante 1.240 metros do pé da barragem.

No Gráfico 05, a Renda mensal líquida do empreendimento para um período de financiamento de 240 meses, para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3 / \text{s}$ , é de R \$ 4.508,62 no ponto 1, e de R \$ 7.957,49 no ponto 249.

No Gráfico 06, a Renda mensal líquida do empreendimento após quitado o financiamento, para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3 / \text{s}$ , é de R \$ 7.273,6 no ponto 1, podendo chegar a R \$ 16.233,99 no ponto 249.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtidos comprovou – se que economicamente é viável a implantação de uma pequena central hidrelétrica tanto na Barragem, como a jusante da Barragem Rodolfo da Costa e Silva.

Os estudos comprovaram que mesmo para a vazão turbinável de  $0,77 \text{ m}^3/\text{s}$ , que seria a situação mais crítica da Barragem, pode-se obter a geração de 140 kWh com renda mensal de R\$ 1.600 junto a Barragem, no ponto 1 da Planilha I e 280 kWh obtendo renda mensal de R\$ 3.380 a 1.240 metros da Barragem, no ponto 249 da Planilha I. Para a vazão turbinável de  $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , pode-se obter a geração de 208 kWh com renda mensal de R\$ 4.508 junto a Barragem, no ponto 1 da Planilha II e 390 kWh obtendo renda mensal de R\$ 7.957 a 1240 metros da Barragem, no ponto 249 da Planilha II, durante o período dos 240 meses de financiamento do empreendimento.

Com esta conclusão, espera – se sensibilizar os órgãos competentes, bem como a comunidade e entidades envolvidas, Comitês de Bacias, que quando houver a elaboração de um projeto de engenharia da concepção de uma barragem, seja ela para abastecimento de água ou irrigação, sejam analisados os usos múltiplos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, e que este estudo abranja o projeto de viabilidade de aproveitamento hidrelétrico, visando o desenvolvimento regional do local.

A energia gerada deste empreendimento, no estudo do caso da Barragem Rodolfo da Costa e Silva, poderá ser utilizada pela CORSAN, Companhia Riograndense de Saneamento, como otimização econômica junto a concessionária local de energia, ou para elaboração de um projeto de lazer e turismo junto a Barragem e região, ou ainda, por uma cooperativa agrícola local, com incremento de melhorias de beneficiamento , já que se trata de uma área de grande produtividade agrícola.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - “Guia do Empreendedor de PCH”.ANEEL(2005) disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

Anais III SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2002

BENETTI, A.D. (Docente ); LANNA, A. E. L. (Docente ); COBALCHINI, Maria Saete (Outro Participante ): Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios; Revista Brasileira de Recursos Hídricos; 2003; ABRH; 8; 2; ; 149; 160; Português; 1414-381X; Impresso

CndPCH - Centro Nacional de Desenvolvimento em Pequenas Centrais Hidrelétricas – disponível em: < [www.cndpch.com.br](http://www.cndpch.com.br)>

Eletrobrás – Manual de Inventário, Viabilidade, Projeto Básico, PCH, Financiamento, disponível em: < [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br)>

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2005) – “Cenários macroeconômicos para Projeção do Mercado de Energia Elétrica – 2005-2016 – Relatório Final”  
<http://www.epe.gov.br/>.

FARRET, Felix Alberto, **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria, 1999.

GARCIA, A. G. N., COSTA, M. C., PINTO, M.Sc. (2004) – “Avaliação Econômico-Financeira de PCHs – Análise de Sensibilidade”

MACHADO, B P, RABELLO, M (2001) – “Alocação de Riscos em contratos EPC de barragens e obras hidrelétricas”.

MANUAL DE DIRETRIZES PARA PROJETOS DE PCH, disponível em: < [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br)>

MARTINEZ, CARLOS BARREIRA. “**PRÉ – DIMENSIONAMENTO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS- PCH’S**”.1998.161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 1988. Ministério de Minas e Energia, disponível em <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>

MÜLLER, Arnaldo Carlos, **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento**, São Paulo: Makron Books do Brasil, 1995

PORTAL AMBIENTAL – ambientebrasil - <http://www.ambientebrasil.com.br/>

PORTO, M A A (2005) – “Modelos de Gestão de Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica: um estudo de caso de Furnas Centrais Elétricas S.A.”.

PROINFA; Programa de incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (2006) - <http://www.mme.gov.br/programs>.

SANTANA, R.F. & RAMOS, F. – “Critérios para seleção da Potência Instalada em Pequenas Centrais Hidrelétricas”. VIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão em Energia Elétrica. São Paulo (1986).

SANTOS JUNIOR, M F (2006) – “Pequenas Centrais Hidrelétricas: um estudo de mercado”.

SANTOS, M L L (2005) – “Composição do Preço de Venda da Energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas”.

SILVA, Edson Luiz da, **Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica**, Editora Sagra Luzzatto, Porto Alegre, 2001.

TIAGO, G. L.Dr, CAETANO, M.Sc.(2004) – “Estudo para determinação de custos de implantação de PCH no Brasil”.

World Energy Council - Report 1992 - International Energy Data.

OLIVEIRA, Adilson de, **Energia e Desenvolvimento Sustentável**, Instituto de economia da UFRJ, 1998

## APÊNDICE I

PLANILHA I – ANÁLISE ECÔNOMICO – ENERGÉTICA PARA A VAZÃO TURBINÁVEL DE 0,77 m<sup>3</sup>/S.

Ponto de estudo	Qturbinável	Dist ao ponto de estudo	Potência gerada	Lucro Bruto Mensal R\$	Lucro Líquido Mensal R\$	Custo total de investimento R\$	Renda Líquida Mensal R\$
1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>
1	0,77	0	141,93	11.365,64	4.085,31	346.229,34	1.604,82
10	0,77	45	147,24	11.790,76	4.340,38	372.790,77	1.669,59
20	0,77	95	153,14	12.263,11	4.623,79	402.307,78	1.741,53
30	0,77	145	159,03	12.735,46	4.907,20	431.829,32	1.813,44
40	0,77	195	164,93	13.207,81	5.190,61	461.355,38	1.885,32
50	0,77	245	170,83	13.680,16	5.474,02	490.885,97	1.957,16
60	0,77	295	176,73	14.152,51	5.757,43	520.421,09	2.028,97
70	0,77	345	182,63	14.624,86	6.040,84	549.960,73	2.100,75
80	0,77	395	188,53	15.097,21	6.324,25	579.504,89	2.172,50
90	0,77	445	194,43	15.569,56	6.607,66	609.053,58	2.244,21
100	0,77	495	200,32	16.041,91	6.891,07	638.606,80	2.315,89
110	0,77	545	206,22	16.514,26	7.174,48	668.164,55	2.387,54
120	0,77	595	212,12	16.986,61	7.457,89	697.726,82	2.459,16
130	0,77	645	218,02	17.458,96	7.741,30	727.293,61	2.530,74
140	0,77	695	223,92	17.931,31	8.024,71	756.864,94	2.602,29
150	0,77	745	229,82	18.403,66	8.308,12	786.440,78	2.673,81
160	0,77	795	235,71	18.876,01	8.591,53	816.021,16	2.745,30
170	0,77	845	241,61	19.348,36	8.874,94	845.606,06	2.816,76
180	0,77	895	247,51	19.820,71	9.158,35	875.195,49	2.888,18
190	0,77	945	253,41	20.293,06	9.441,76	904.789,44	2.959,57
200	0,77	995	259,31	20.765,41	9.725,17	934.387,92	3.030,92
210	0,77	1045	265,21	21.237,76	10.008,58	963.990,92	3.102,25
220	0,77	1095	271,11	21.710,11	10.291,99	993.598,45	3.173,54
230	0,77	1145	277,00	22.182,46	10.575,40	1.023.210,51	3.244,80
240	0,77	1195	282,90	22.654,81	10.858,81	1.052.827,09	3.316,03
<b>249</b>	<b>0,77</b>	<b>1240</b>	<b>288,21</b>	<b>23.079,92</b>	<b>11.113,88</b>	<b>1.079.485,8</b>	<b>3.380,1</b>
250	0,77	1245	288,80	23.127,16	11.142,22	1.572.909,51	-126,59
260	0,77	1295	294,70	23.599,51	11.425,63	7.179.508,32	-40.010,60
270	0,77	1345	300,60	24.071,86	11.709,04	14.016.653,45	-88.710,62
280	0,77	1395	306,50	24.544,21	11.992,45	22.095.865,59	-146.309,19

290	0,77	1445	312,39	25.016,55	12.275,86	31.428.657,10	-212.888,80
300	0,77	1495	318,29	25.488,90	12.559,27	42.026.531,98	-288.531,86
310	0,77	1545	324,19	25.961,25	12.842,68	53.900.985,86	-373.320,72
320	0,77	1595	330,09	26.433,60	13.126,09	67.063.506,05	-467.337,70
330	0,77	1645	335,99	26.905,95	13.409,50	81.525.571,50	-570.665,02
340	0,77	1695	341,89	27.378,30	13.692,91	97.298.652,80	-683.384,86
350	0,77	1745	347,79	27.850,65	13.976,32	114.394.212,19	-805.579,35
360	0,77	1795	353,68	28.323,00	14.259,73	132.823.703,59	-937.330,54
370	0,77	1845	359,58	28.795,35	14.543,14	152.598.572,52	-1.078.720,4
380	0,77	1895	365,48	29.267,70	14.826,55	173.730.256,20	-1.229.830,9
390	0,77	1945	371,38	29.740,05	15.109,96	196.230.183,46	-1.390.744,0
400	0,77	1995	377,28	30.212,40	15.393,37	220.109.774,81	-1.561.541,4
401	0,77	2000	377,87	30.259,64	15.421,71	222.574.054,91	-1.579.167,9

## APÊNDICE II

PLANILHA II – ANÁLISE ECÔNOMICO – ENERGÉTICA PARA A VAZÃO TURBINÁVEL DE 1,13 m<sup>3</sup>/S.

Ponto de estudo	Qturbinável	Dist ao ponto de estudo	Potência gerada	Lucro Bruto Mensal R\$	Lucro Líquido Mensal R\$	Custo total de investimento R\$	Renda Líquida Mensal R\$
1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>
1	1,13	0	208,2848	16679,45	7.273,60	385.937,94	4.508,62
10	1,13	45	215,0526	17221,41	7.598,77	413.777,07	4.634,34
20	1,13	95	222,5722	17823,59	7.960,08	444.716,43	4.773,99
30	1,13	145	230,0919	18425,76	8.321,38	475.663,15	4.913,58
40	1,13	195	237,6116	19027,94	8.682,69	506.617,22	5.053,13
50	1,13	245	245,1313	19630,12	9.044,00	537.578,64	5.192,62
60	1,13	295	252,651	20232,29	9.405,30	568.547,43	5.332,05
70	1,13	345	260,1707	20834,47	9.766,61	599.523,57	5.471,44
80	1,13	395	267,6904	21436,65	10.127,91	630.507,06	5.610,77
90	1,13	445	275,2101	22038,82	10.489,22	661.497,91	5.750,04
100	1,13	495	282,7298	22641	10.850,53	692.496,12	5.889,27
110	1,13	545	290,2495	23243,18	11.211,83	723.501,68	6.028,44
120	1,13	595	297,7692	23845,35	11.573,14	754.514,60	6.167,56
130	1,13	645	305,2889	24447,53	11.934,45	785.534,87	6.306,63
140	1,13	695	312,8086	25049,71	12.295,75	816.562,50	6.445,64
150	1,13	745	320,3282	25651,89	12.657,06	847.597,49	6.584,61
160	1,13	795	327,8479	26254,06	13.018,36	878.639,83	6.723,52
170	1,13	845	335,3676	26856,24	13.379,67	909.689,53	6.862,37
180	1,13	895	342,8873	27458,42	13.740,98	940.746,58	7.001,18
190	1,13	945	350,407	28060,59	14.102,28	971.810,99	7.139,93
200	1,13	995	357,9267	28662,77	14.463,59	1.002.882,76	7.278,62
210	1,13	1045	365,4464	29264,95	14.824,89	1.033.961,88	7.417,27
220	1,13	1095	372,9661	29867,12	15.186,20	1.065.048,35	7.555,86
230	1,13	1145	380,4858	30469,3	15.547,51	1.096.142,19	7.694,40
240	1,13	1195	388,0055	31071,48	15.908,81	1.127.243,38	7.832,89
249	1,13	1240	6,03	42,89	394,77	1.155.240,74	7.957,49
250	1,13	1245	395,5252	31673,66	16.270,12	1.683.235,58	4.210,90
260	1,13	1295	403,0449	32275,83	16.631,43	7.681.419,62	-38.400,65
270	1,13	1345	410,5646	32878,01	16.992,73	14.995.719,01	-90.441,26

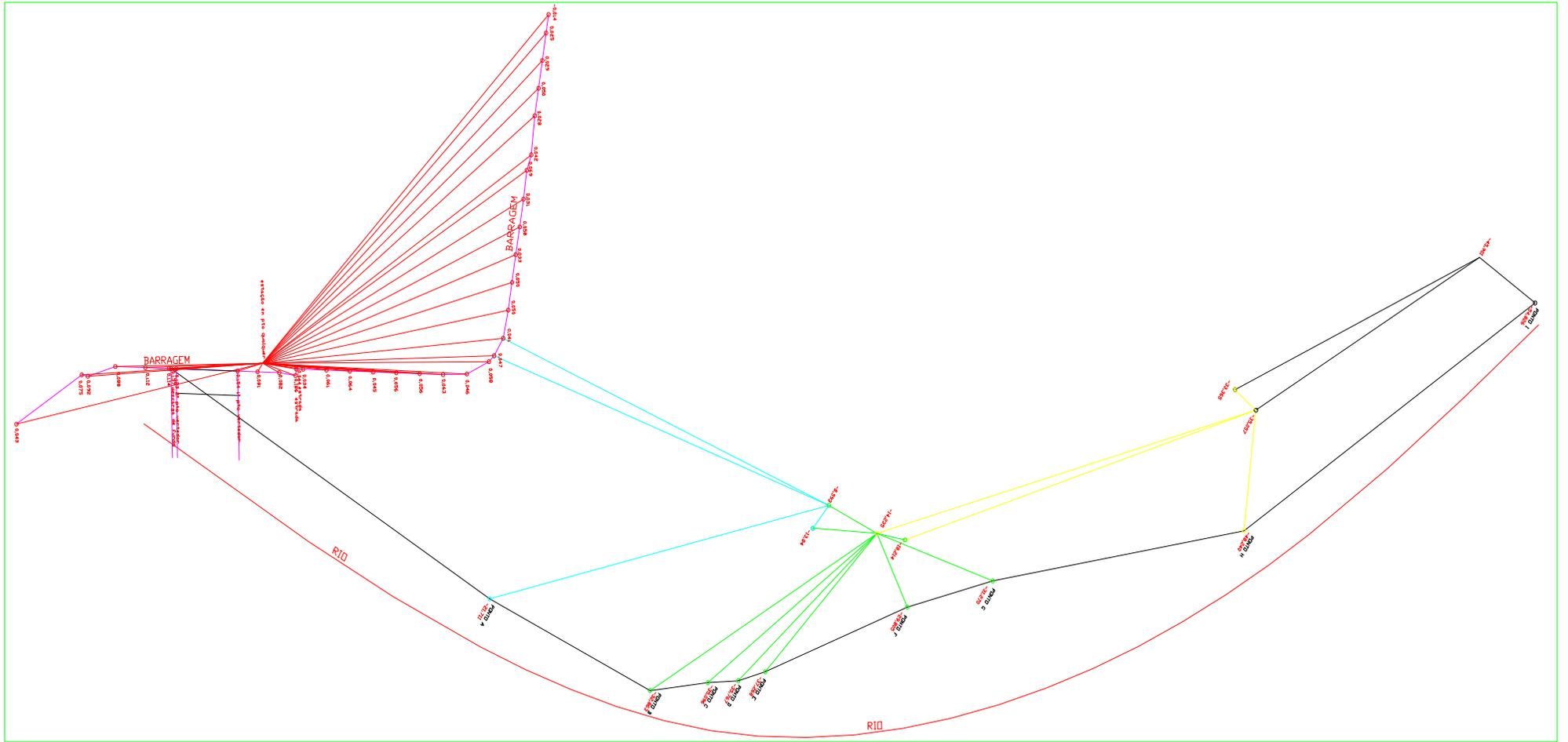
280	1,13	1395	418,0842	33480,19	17.354,04	23.640.740,79	-152.015,57
290	1,13	1445	425,6039	34082,36	17.715,34	33.631.078,46	-223.228,15
300	1,13	1495	433,1236	34684,54	18.076,65	44.981.311,94	-304.183,44
310	1,13	1545	440,6433	35286,72	18.437,96	57.706.007,59	-394.985,80
320	1,13	1595	448,163	35888,89	18.799,26	71.819.718,17	-495.739,50
330	1,13	1645	455,6827	36491,07	19.160,57	87.336.982,90	-606.548,70
340	1,13	1695	463,2024	37093,25	19.521,87	104.272.327,42	-727.517,46
350	1,13	1745	470,7221	37695,42	19.883,18	122.640.263,79	-858.749,76
360	1,13	1795	478,2418	38297,6	20.244,49	142.455.290,50	-1.000.349,46
370	1,13	1845	485,7615	38899,78	20.605,79	163.731.892,49	-1.152.420,34
380	1,13	1895	493,2812	39501,96	20.967,10	186.484.541,09	-1.315.066,07
390	1,13	1945	500,8009	40104,13	21.328,41	210.727.694,11	-1.488.390,24
400	1,13	1995	508,3205	40706,31	21.689,71	236.475.795,74	-1.672.496,33
401	1,13	2000	509,0725	40766,53	21.725,84	239.133.933,77	-1.691.503,93

\* Em CD anexo encontram – se as Planilhas Eletrônicas com os cálculos de todos os itens descritos no item 4.3 - Elaboração de planilha eletrônica, com as 41 colunas e os 401 pontos analisados.

**ANEXO**

- CROQUI DO LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO

- PERFIL DO TERRENO



CROQUI DO LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO

