

unesp  – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Engenharia mecânica

JOSÉ MATEUS GUEDES BALDINI

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE MICRO CENTRAL DE GERAÇÃO
HIDRELÉTRICA – ANÁLISE DE CASO**

Guaratinguetá

2014

JOSÉ MATEUS GUEDES BALDINI

ANÁLISE DE MICRO CENTRAL HIDROELÉTRICA – PROJETO

Trabalho de Graduação apresentado ao conselho de curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Araújo Zanardi
Co-orientador: Prof. Dr. Inácio Bianchi

Guaratinguetá

2014

B177p

Baldini, José Mateus Guedes

Projeto e implantação de pequena central de geração hidrelétrica – análise de caso / José Mateus Guedes Baldini – Guaratinguetá : [s.n], 2013.

82 f : il.

Bibliografia: f. 78

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Araújo Zanardi

Coorientador: Prof. Dr. Inácio Bianchi

1. Usinas hidrelétricas I. Título

CDU 621.311.21



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE CENTRAL DE GERAÇÃO
HIDRELÉTRICA – ANÁLISE DE CASO**

JOSÉ MATEUS GUEDES BALDINI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO E ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO NA FORMA FINAL PELO CONCELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Antônio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MAURICIO ARAÚJO ZANARDI
Orientador/UNESP – FEG

Prof. Dr. INACIO BIANCHI
Co-orientador/UNESP – FEG

Prof. Dr. José Nedro Carriño de Castro
UNESP – FEG

Prof. Dr. Guilherme Eugênio Filippo Fernandes Filho
UNESP – FEG

Dedico este trabalho a todos os meus professores que contribuíram para minha formação, tanto profissional como educacional, principalmente ao professor Durval Ricciulli e esposa Soraia, que me auxiliaram em inúmeros momentos de minha vida acadêmica, sendo um exemplo de servidão incondicional e caráter.

Agradeço a **Deus** por ter me concedido o dom da vida, e me dado pessoas nas quais posso me espelhar.

A meu pai **Antônio Carlos Baldini** que me ensinou todos os valores morais e me deu a razão de vida pelo exemplo na qual me inspiro.

A minha mãe, **Ana Lúcia G. B.** que me deu toda a educação, incentivo e cultura necessária para chegar a esta fase de minha vida.

Agradeço a minha namorada, **Pâmela Christophano** que me fez muitas vezes enxergar a oportunidade de estar me graduando e valorizar tal fato.

A meu irmão **L. Felipe G. Baldini** que, me ajudou, não deixando meus pais e seguindo seus sentimentos de amor a terra e continuar o legado da família com tradição na agricultura.

"O ignorante não é aquele que não sabe ler, é
aquele que não quer ler".

BALDINI, J.M.G Projeto e Implantação de Micro central de Geração Hidrelétrica – Análise de Caso. 2014. 82f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

RESUMO

Este trabalho trata de um estudo de viabilidade técnica e econômica, de implantação de uma microcentral hidrelétrica em uma pequena propriedade rural do município de Guaratinguetá. Devido à sua localização isolada e de difícil acesso e o alto custo da extensão da rede de energia elétrica da distribuidora. O local, a implantação do sistema individual de geração de eletricidade pode ser a melhor alternativa. Foram cogitadas algumas soluções possíveis, incluindo sistemas de conversão fotovoltaicos e de geração com queima de combustível. Devido à existência de um pequeno rio na propriedade, viabilizou a montagem de uma microcentral hidrelétrica. A escolha da priorização do estudo da geração hidrelétrica foi decidida em comum acordo com o proprietário do imóvel e se baseou nas estimativas e vantagens e custos envolvidos para o empreendimento. Após o levantamento topográfico e hídrico do local, foi determinada a forma de instalação da tubulação, as obras civis necessárias para instalação do sistema e o tipo de turbina mais adequada. Finalmente, uma planilha de custos foi levantada e o resultado foi então comparado com o custo de extensão da rede até o local.

PALAVRAS-CHAVE: MCGH. Geração Hidrelétrica. Micro Central Hidrelétrica. Energia Hídrica.

BALDINI, J.M.G Design and implantation of central micro hydroelectric generation- Case analysis. 2014. 82p. Graduate Work (Graduate in mechanical engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the implantation feasibility of a small hydropower system in a rural area in Guaratinguetá. Due to its location and accessibility, and the costs involved in extending the public distribution line to the property it could turn become viable the construction of an individual electric generation system. As alternatives, a solar photovoltaic system and combustion engine-electric generator systems were considered. However, the existence of a small river inside the property, the construction of a micro hydropower plant was taken into account. The choice of the micro power hydropower plant was determined by the owner and was based on the costs. The topographic and hydrological profiles as well as the geometrical characteristics of the system, including the civil infrastructure needed and the more adequate turbine, were determined. Finally, the cost spreadsheet was set and the results were compared with those calculated for the extension of the available public distribution system.

KEYWORDS: CGH. Hydroelectric Generation. Small Hydropower. Hydropower.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Identificação geográfica do local (Soares, 2005).....	16
Figura 2 – Mapa de Localização da CGH. (Earth, 2012).....	17
Figura 3 – Vista aérea das configurações possíveis (Earth, 2012).	18
Figura 4 – Vista da estrada (Earth, 2012).	19
Figura 5 – Vista do ultimo ponto com acesso com veículo.....	19
Figura 6 – Mapa de Densidade de drenagem. (Soares, 2005).....	20
Figura 7 – Mapa de Pluviometria (Soares, 2005).....	21
Figura 8 – Mapa de Geologia.....	22
Figura 9 – Visão do geral.....	23
Figura 10 – Estrada passando por outras propriedades.	24
Figura 11 – Estrada pouco firme.....	24
Figura 12 – Declividade do terreno.....	24
Figura 13 – Vista da estrada.	25
Figura 14 – passagem da estrada por outras propriedades.	25
Figura 15 – Casa a ser beneficiada.	25
Figura 16 – Panorâmica da área de drenagem.....	26
Figura 17 – Tipo de solo.....	26
Figura 18 – Vista do rio a ser aproveitado.....	26
Figura 19 – Tipo de vegetação predominante no Local.....	27
Figura 20 – Vista do possível ponto de captação.	27
Figura 21 – Erosão encontrada a beira da estrada que leva a propriedade.....	27
Figura 22 – Área afetada pela erosão.....	28
Figura 23 – Queda d’água que desemboca no poço de captação.	28
Figura 24 – Vista da vegetação que cobre a encosta.	29
Figura 25 – Vista da queda, próxima ao poço de captação.....	29
Figura 26 – Caly Junqueira (proprietário) e Prof Dr. Inácio Bianchi no local.....	29
Figura 27 – Croqui inicial feito à mão para uma identificação inicial.	30
Figura 28 – Croqui com desnível e comprimento isométrico.	31
Figura 29 – Projeto inicial do aproveitamento, captação adução e turbina.	31
Figura 30 – Perfil de elevação do local de instalação da tubulação.....	32
Figura 31 – “Probe” em uso.....	34

Figura 32 – Perfil de velocidade na seção transversal do rio	35
Figura 33 – Perfil de áreas de mesma velocidade.	36
Figura 34 – Triângulo de potência.....	43
Figura 35 – Diagrama de Moody.....	49
Figura 36 – Elemento de volume na tubulação	54
Figura 37 – Ábaco seleção de turbina (CHAPALAZ, J. M., e outros, 1992).....	55
Figura 38 – Ilustrações de turbinas Pelton e Michell Banki respectivamente.....	56
Figura 39 – Recomendações de projeto para máquinas de fluxo.	57
Figura 40 – Nomenclatura da câmara de carga	60
Figura 41 – Gráficas vazões/ tempos para partidas bruscas.	61
Figura 42 – Desenho de detalhes do tipo de grade e comporta móvel.	64
Figura 43 – Desenho de detalhes da barragem e captação	65
Figura 44 – Vista dos apoios da tubulação	67
Figura 45 – Nomenclatura usada para tubulação.....	68
Figura 46 – Tipos de suporte para a tubulação.....	69
Figura 47 – Aspectos construtivos da unidade geradora	71
Figura 48 – Vista da linha de alimentação até a residência.....	72
Figura 49 – Vista em Azul da Fiação mais próxima	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores medidos de velocidade do escoamento	33
Tabela 2 – Dados os Grupos de medidas de velocidade.....	35
Tabela 3 – relação entre velocidade, área e vazão para o caso estudado.	37
Tabela 4 – Índices característicos de C_d de vazão máxima(ELETROBRAS D.N.E.E., 1985)	38
Tabela 5 – Lista de Equipamentos e suas potências.....	41
Tabela 6 – Potências nominais por período.....	42
Tabela 7 – Potências Reativas distribuídas por períodos.	42
Tabela 8 – Tabela de diâmetros e velocidades da tubulação.....	46
Tabela 9 – Relação velocidade e diâmetro	46
Tabela 10 – Valores de k para golpe de Aríete.....	52
Tabela 11 – Custos da tubulação forçada	74
Tabela 12 – Custos da casa de máquinas.....	75
Tabela 13 – Custos de Linha de alimentação	76
Tabela 14 – Custos Gerais	76
Tabela 15 – Custo comparativo da energia da Rede.	78
Tabela 16 – Tabela de manutenção mensal	81
Tabela 17 – Tabela de manutenção anual e semestral.....	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	ESTRUTURA	13
2	DADOS E ANÁLISES PRELIMINARES	15
2.1	PLANILHA DE CAMPO	15
2.1.1	Identificação e localização.	15
2.2	CROQUIS DO LOCAL E ARRANJO GERAL	17
2.3	DADOS CARTOGRÁFICOS E TRABALHOS TOPOGRÁFICOS	17
2.4	DADOS HIDROLÓGICOS	20
2.5	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GeOTÉCNICA DO TERRENO.....	21
2.6	POTÊNCIA DEMANDADA	22
2.7	FOTOS DO LOCAL ESTUDADO.....	23
2.8	CROQUIS INICIAIS DO APROVEITAMENTO.....	30
2.9	ISOMÉTRICOS	31
2.10	DETERMINACAO DE PARÂMETROS DE PROJETO.	32
2.11	ALTURA DE PROJETO	32
2.11.1	Determinação da Vazão de projeto.....	33
2.11.2	Determinação das potências disponíveis	39
2.12	Determinação da Potência Necessária REAL	40
2.12.2	Análises e Determinação de Parâmetros específicos de Projeto.	45
3	PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS	59
3.1	TOMADA D'AGUA.....	59
3.2	CAMARA DE CARGA	59
3.3	BARRAGEM	63
3.4	TUBULAÇÃO	66
3.4.1	Blocos de apoio.....	67
3.4.2	Observações construtivas.....	70
3.5	UNIDADE GERADORA.....	70
3.6	SUBESTAÇÃO E LINHA DE ALIMENTAÇÃO	71
4	CUSTOS E ANÁLISE ECONÔMICA.....	73
4.1	CUSTOS DE ADUÇÃO	73

4.2	CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DA LINHA HIDRÁULICA	73
4.2.1	Tubulação.....	74
4.2.2	Apoios e vigas.....	74
4.3	CASA DE MÁQUINAS	74
4.3.1	Alvenaria	74
4.3.2	Unidade Geradora	75
4.3.3	Regulador de carga	75
4.4	LINHA DE ALIMENTAÇÃO.....	76
4.5	CUSTOS GERAIS	76
4.6	COMPARAÇÃO ECONÔMICA.....	77
	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS	80
	APENDICE A	81

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da Central de Geração Hidrelétrica surgiu de um proprietário do bairro Gomerall no município de Guaratinguetá de ter energia elétrica em sua Propriedade Rural. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade de implantação de um sistema que atenda as necessidades básicas da propriedade, com um custo competitivo em relação à extensão da rede elétrica da distribuidora local.

Para a execução e verificação foram feitas muitas análises de viabilidade, custos e funcionalidade da central em oposição a outras formas de energia. Foi feito então um levantamento de outras micro central de geração hidrelétrica já instaladas e seus resultados encontrados.

O proprietário manifestou interesse na construção da obra e dependendo dos custos envolvidos gostaria inclusive de ampliar para outras propriedades vizinhas que possam se interessar.

As dificuldades encontradas para o desenvolvimento do estudo foram a falta de levantamentos hidrológicos locais e a topologia do local.

Algumas perguntas-chaves, que tiveram que ser respondidas foi: o local é adequado para a implantação de uma MCGH? O custo gerado poderá ser coberto em quanto tempo de utilização da MCGH? Outras formas de obtenção de energia seriam viáveis e/ou exequíveis? Quais os impactos ambientais seriam causados pela implantação da central, ou seja, está de acordo com o propósito sustentável e ambiental?

1.1 ESTRUTURA

Este trabalho foi dividido basicamente em quatro capítulos, visando melhorar o entendimento do projeto como um todo.

No capítulo 1, foram levantados os dados base que tem o intuito de dar uma ideia inicial das implicações estruturais da obra, tipos de solo, hidrológicos, topográficos e de custos.

Estes dados foram usados nos capítulos seguintes para os cálculos, e tiveram também a função de direcionar o projeto, norteando a escolha da metodologia mais adequada para o desenvolvimento do projeto.

No capítulo 2 são mostrados alguns aspectos construtivos e os cálculos de sustentação e dados de engenharia mais aprofundados. Neste capítulo são determinados os parâmetros mais gerais das partes da central, são levados em conta fenômenos mecânicos de projeto etc.

No capítulo 3 se apresenta a análise econômica de implantação, fornecendo dados suficientes para comparar os resultados de projeto, verificar o quão viável é a implantação ou decidir sobre qual a melhor opção de implantação.

No capítulo 4 se levantam os custos estimados a partir de cotações no mercado, para se determinar os investimentos envolvidos em todo o projeto.

As recomendações de manutenção, ou seja, caso o projeto seja concluído como a central de geração hidrelétrica são discutidas no apêndice. São listados os principais pontos de cuidado de manutenção dos equipamentos em forma de tabelas que poderão ser usadas como um manual de manutenção.

2 DADOS E ANÁLISES PRELIMINARES

Neste capítulo são mostrados os levantamentos gerais feitos, tais como: altura de projeto, vazão, comprimento, perfil do terreno etc., que tornaram viável o desenvolvimento do estudo proposto.

2.1 PLANILHA DE CAMPO

A planilha de campo visa levantar os principais pontos de projeto da CGH a serem coletados no local e é elaborada visando uma redução das visitas a campo (ELETROBRAS D.N.E.E., 1985). Foi elaborada uma tabela baseada nas principais informações a serem coletadas, ou seja, com os dados mínimos, para a primeira visita.

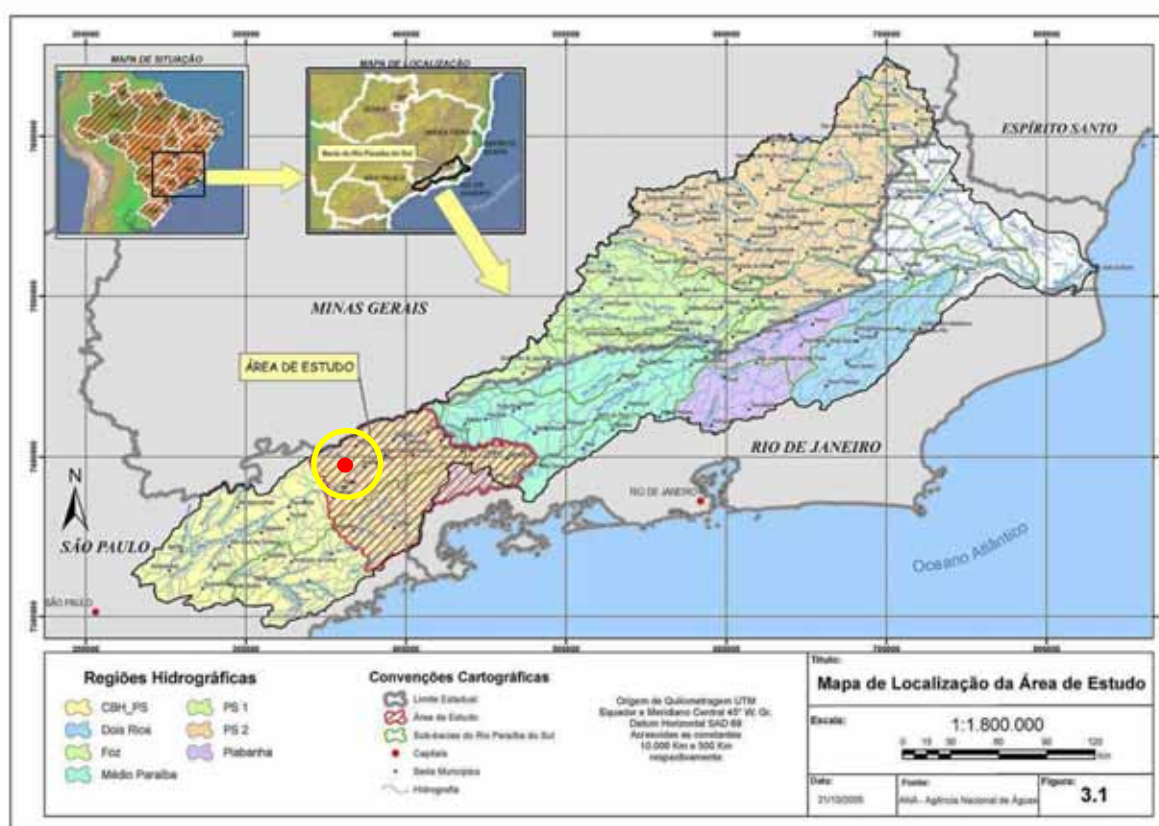
2.1.1 Identificação e localização.

Os resultados da tabela de visita e os dados básicos de denominação e localização obtendo-se as seguintes informações:

- Denominação: Sítio Espigão Chato
- Proprietário: Antônio Carlos Junqueira Ribeiro
- Finalidade: Uso exclusivo
- Nome do rio ou córrego: Ribeirão do Gomerál.
- Município de Guaratinguetá
- Telefone +55(12) 9707 6935
- E-mail: calyjunqueira@ig.com.br
- Cidade mais Próxima: Campos do Jordão (19,8km), Potim (19,9km).
- Coordenadas geográficas
 - S22°42'28.90''
 - W45°23'42.80''
- Tipo de acesso ao Local
 - Estrada até 2 km da sede.
 - Não tem acesso de carro até a sede, nem até o local da possível instalação.

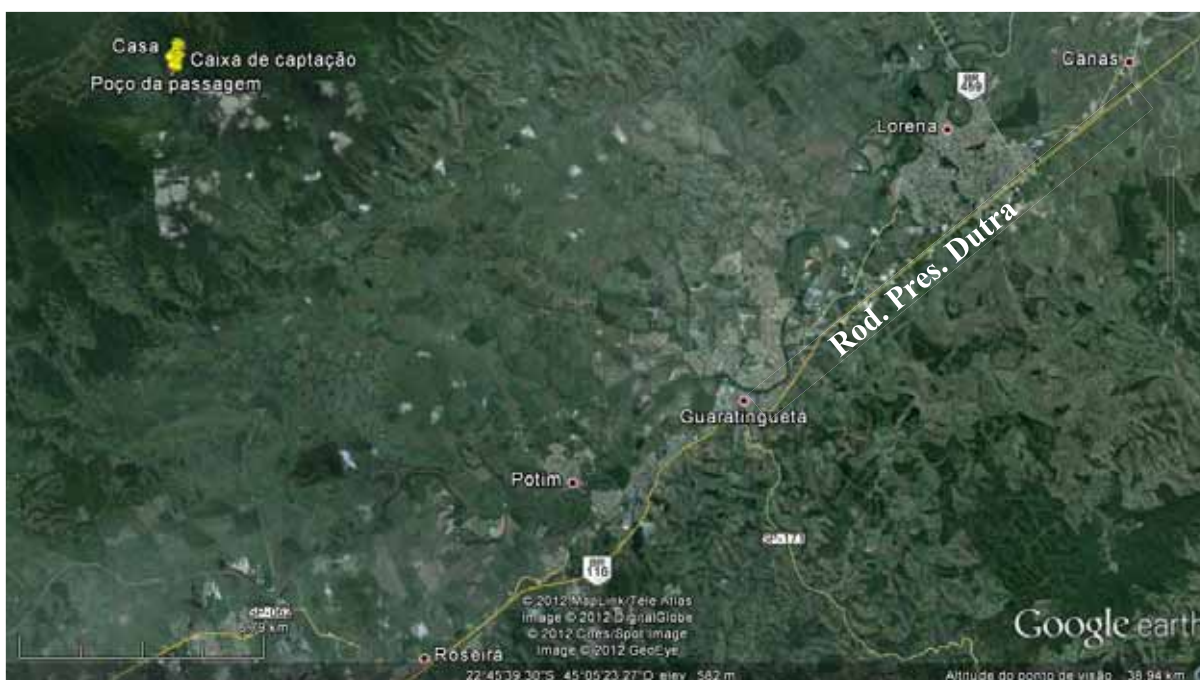
- O proprietário não fez até o presente momento nenhum tipo de análise de viabilidade, apenas contactou alguns órgãos responsáveis que demonstraram pouco interesse ou até mesmo afirmaram a impossibilidade de execução.
- O proprietário também considera a possibilidade de usar ciclo combinado, caso não atinja a potência elétrica necessária.
- Analisando a posição geográfica do local podemos localiza-la no mapa da Figura 1.

Figura 1 – Identificação geográfica do local (Soares, 2005).



A partir dos mapas pode-se observar a região onde será instalada a central hidrelétrica estando localizada a noroeste da cidade de Guaratinguetá entre Campos do Jordão e Guaratinguetá. A Figura 2, que mostra também outros três pontos de referência que são a sede da propriedade, o local da possível caixa de captação, e outro ponto do mesmo rio que é o Poço da Passagem.

Figura 2 – Mapa de Localização da CGH. (Earth, 2012)



2.2 CROQUIS DO LOCAL E ARRANJO GERAL

Os primeiros croquis de uma central devem conter preferencialmente uma captação, adução, a casa de máquinas e o canal de reestruturação. O local em questão dispõe de um rio de baixa vazão, porém, com acentuado desnível. Considerando a finalidade do empreendimento os fatores ambientais e pluviométricos da região propõe-se inicialmente somente a construção de uma pequena barragem de captação e, portanto uma central a fio d'água¹.

Com tais dados pode-se obter um esquema prévio da instalação e do perfil do projeto.

2.3 DADOS CARTOGRÁFICOS E TRABALHOS TOPOGRÁFICOS

A localização da adução ou captação foi estipulada para o local com coordenada 22°42'23.60"S e 45°23'39.40"O e a descarga da água se dará aproximadamente no ponto com

¹ Fio d'água é um termo usado para descrever barragens que não possuem reservatório de adução, projetadas especificamente projetadas para trabalhar com a vazão de seca.

as coordenadas $22^{\circ}42'29.00''S$ e $45^{\circ}23'38.10''O$. Estes são os locais com melhor aproveitamento devido às indicações do proprietário quanto à acessibilidade e inclinação do terreno, levando-se em conta ainda os vizinhos e as implicações legais do ecossistema.

Essas localizações podem ser observadas na Figura 3, tendo-se a possibilidade da construção da tubulação até o chamado poço da passagem, ou até o poço verde, que é a rota preferida pelo proprietário.

Figura 3 – Vista aérea das configurações possíveis (Earth, 2012).

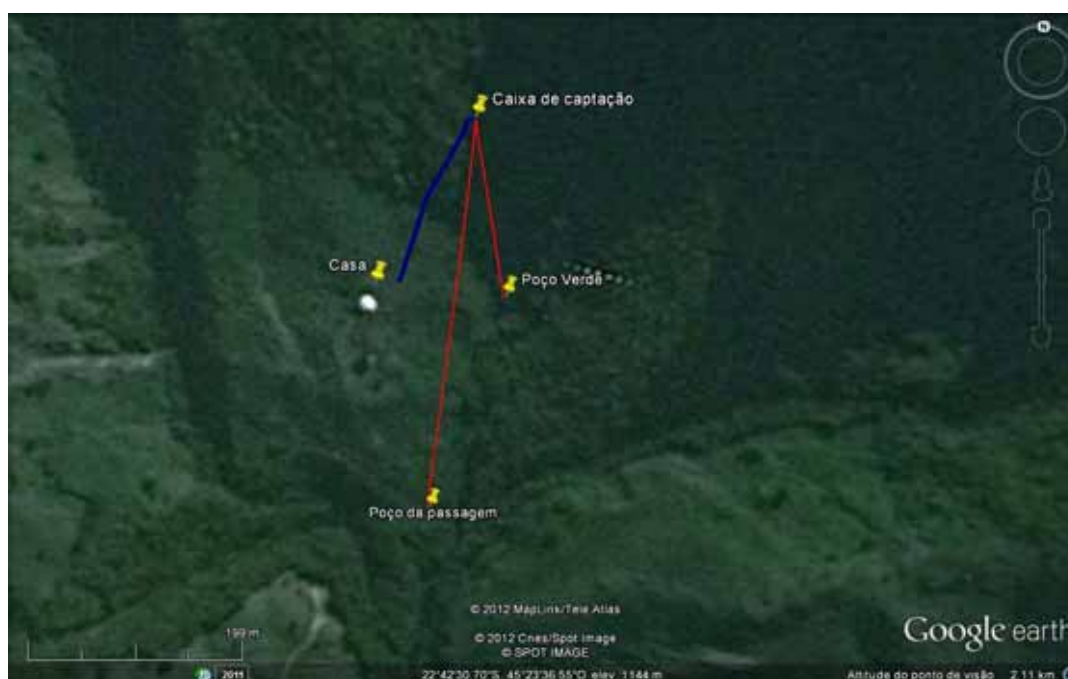


Figura 4 – Vista da estrada (Earth, 2012).



Se forem observadas a vista dada por satélite (Figura 4) e a foto do local (Fig. 5) pode-se verificar a dificuldade de acesso ao local e a possível inclinação ao longo da tubulação.

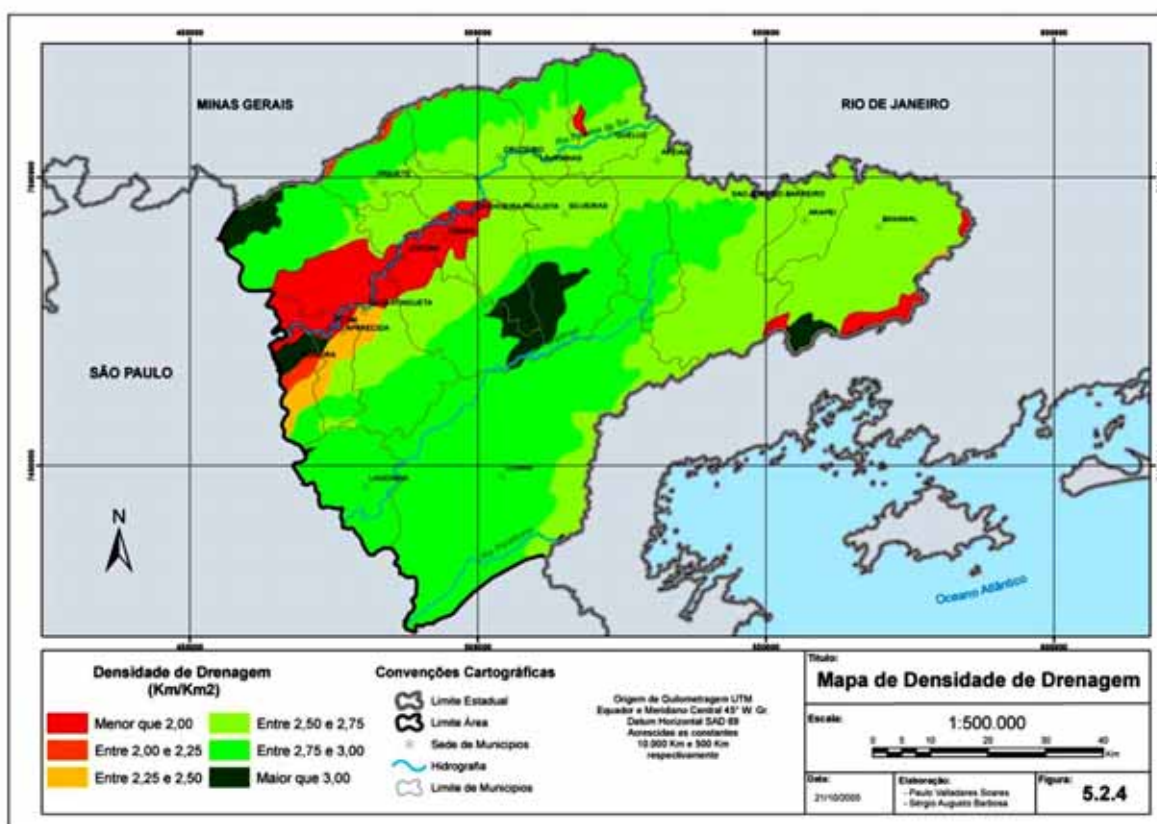
Figura 5 – Vista do ultimo ponto com acesso com veículo.



2.4 DADOS HIDROLÓGICOS

Em conversa com o proprietário pôde-se constatar que o rio a ser aproveitado não sofre grandes variações ao longo das estações. Partindo-se do princípio que a coleta foi feita no inverno² não tendo chovido nos dias anteriores, considera-se que não haja vazões significativamente menores que aquelas encontradas.

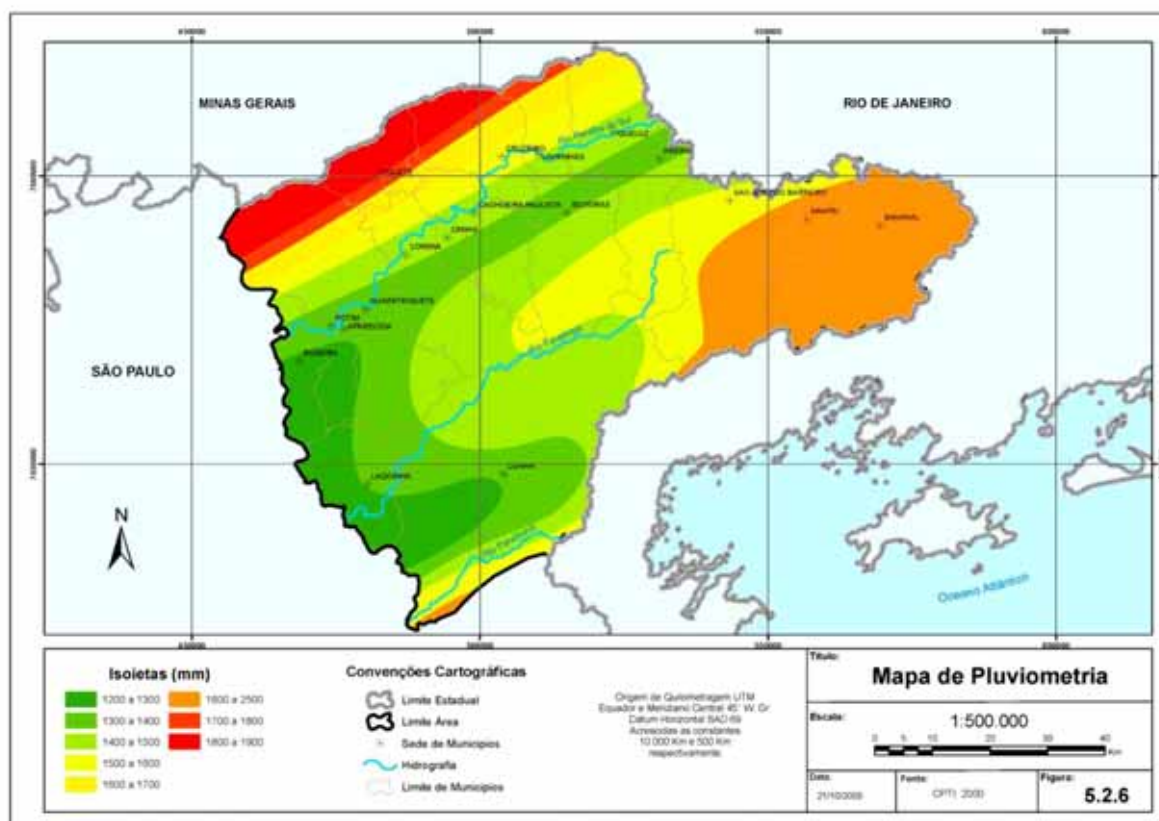
Figura 6 – Mapa de Densidade de drenagem. (Soares, 2005)



A área de drenagem já mapeada (Soares, 2005) pode mostrar que o local é de pouca taxa de infiltração o que ajuda a manter a ideia de baixo impacto ambiental. A área tem declividade acentuada, e consequente velocidade de escoamento grande o que dificulta a infiltração. Como a região é caracteristicamente tropical podemos então considerar chuvas com grande volume em curtos períodos de tempo o que explica a densidade de drenagem.

² Coleta de dados feita no dia 15 de junho de 2012, no período da manhã até meados das 15h.

Figura 7 – Mapa de Pluviometria (Soares, 2005).

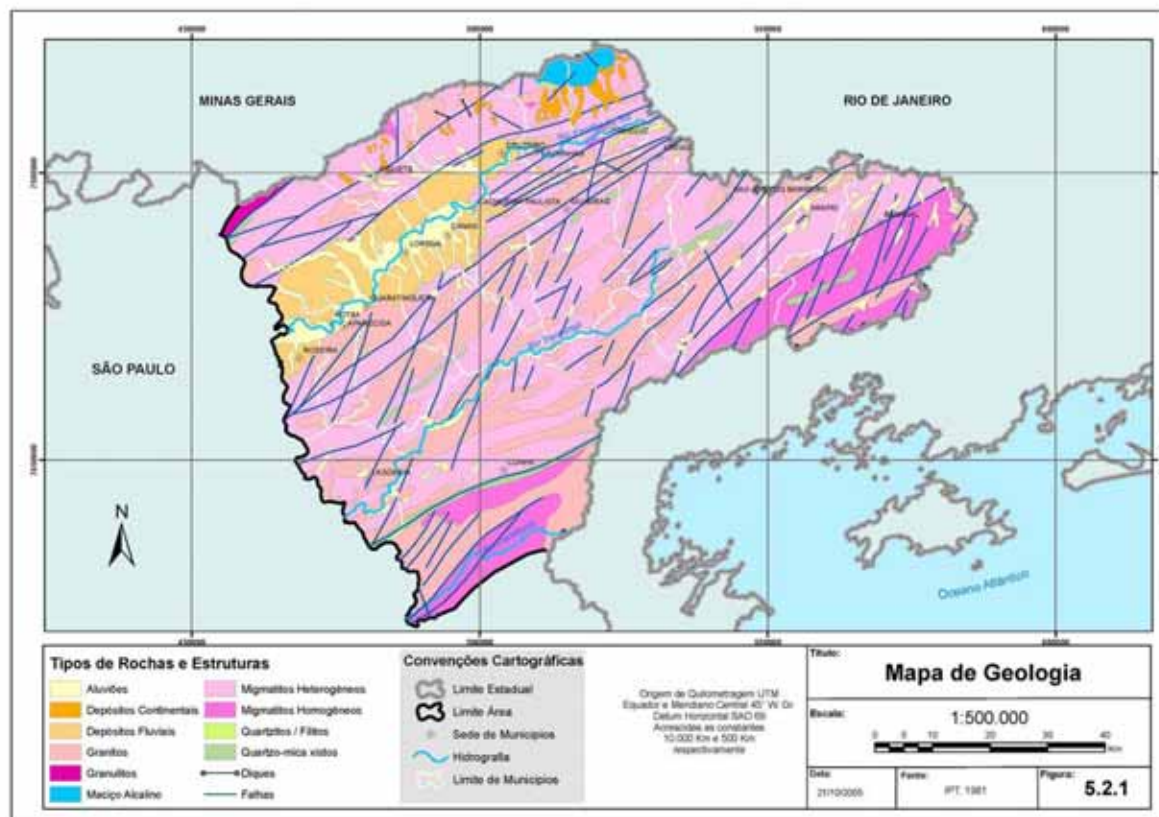


2.5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA DO TERRENO

O local predominantemente solo de aluviões e depósitos fluviais, e devido à alta declividade do terreno tem a presença de muitos afluentes do rio que ao descer a encosta alimentam o leito principal³. Todos os detalhes podem ser observados na Figura 8, que mostra detalhes de área de drenagem e também os tipos de solo encontrados na região.

³ Leito no qual será o aproveitamento não é o leito principal apenas um efluente dele.

Figura 8 – Mapa de Geologia



2.6 POTÊNCIA DEMANDADA

A potência elétrica desejada foi avaliada de acordo com as expectativas do proprietário, levando-se em conta os principais eletrodomésticos que serão utilizados e o uso racional de motores elétricos para bombeamento de água, moedor de grãos etc., e também foi considerada uma ampliação de 10%.

Em uma estimativa inicial seria necessário A geração elétrica para suprir uma potência instalada de 15 *cv* ou 11,6 *kW* de forma a atender duas residências e dois motores para grãos e/ou ferramentas.

2.7 FOTOS DO LOCAL ESTUDADO

As fotos mostram o caminho atual para a chegada ao sítio, da Figura 9 até a Figura 16 mostram uma visão geral do relevo montanhoso da Serra da Mantiqueira. Podemos observar que tem alta declividade.

Figura 9 – Visão do geral do relevo



As figuras Figura 10, Figura 11, Figura 12,

Figura 13 mostram que a beira do caminho já existe plantações, ou seja, próximo ao local à região já é cultivado, como por exemplo, banana e outros a região também tem pontos que já estão limpos sendo usados como pasto.

Figura 10 – Estrada passando por outras propriedades.



Figura 11 – Estrada pouco firme



Figura 12 – Declividade do terreno



Figura 13 – Vista da estrada.



Figura 14 – passagem da estrada por outras propriedades.



Figura 15 – Casa a ser beneficiada.



Figura 16 – Panorâmica da área de drenagem.



Figura 17 – Tipo de solo



Figura 18 – Vista do rio a ser aproveitado.



Figura 19 – Tipo de vegetação predominante no Local



Figura 20 – Vista do possível ponto de captação.



Figura 21 – Erosão encontrada a beira da estrada que leva a propriedade.



Figura 22 – Área afetada pela erosão



Figura 23 – Queda d'água que desemboca no poço de captação.



Figura 24 – Vista da vegetação que cobre a encosta.



Figura 25 – Vista da queda, próxima ao poço de captação



Figura 26 – Caly Junqueira (proprietário) e Prof Dr. Inácio Bianchi no local.

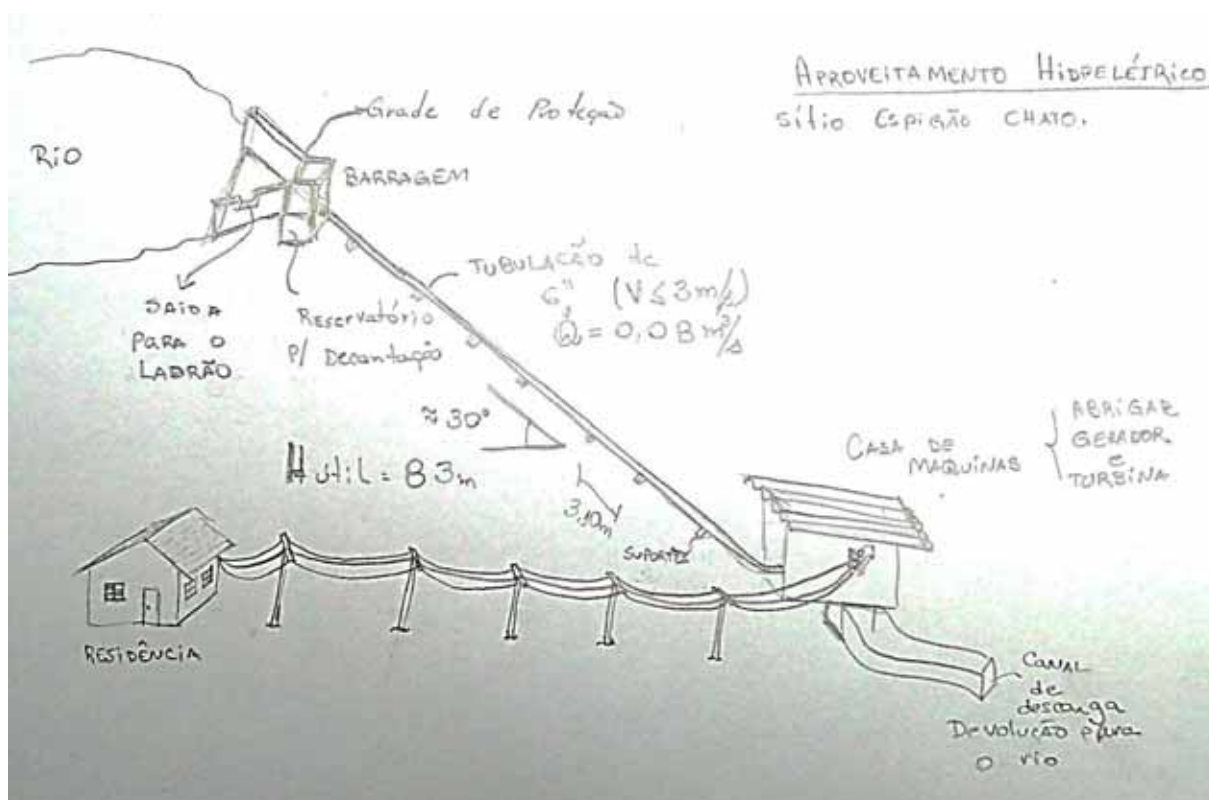


2.8 CROQUIS INICIAIS DO APROVEITAMENTO

Os croquis iniciais são desenhos básicos que mostram como será o aproveitamento, com algumas medidas de como seriam as cotas, o tipo de turbina etc.

O primeiro croqui pode ser observado na Figura 27 onde se encontram desenhos feitos à mão com o objetivo de situar um conjunto de micro central hidrelétrica.

Figura 27 – Croqui inicial feito à mão para uma identificação inicial.



Já na Figura 28 e Figura 29 foi feito um desenho básico de como seriam as três partes principais do lado mecânico das instalações, que são a barragem, a adução e a entrada para a turbina, ainda sendo necessário o projeto do gerador e linha de transmissão.

2.9 ISOMÉTRICOS

Figura 28 – Croqui com desnível e comprimento isométrico.

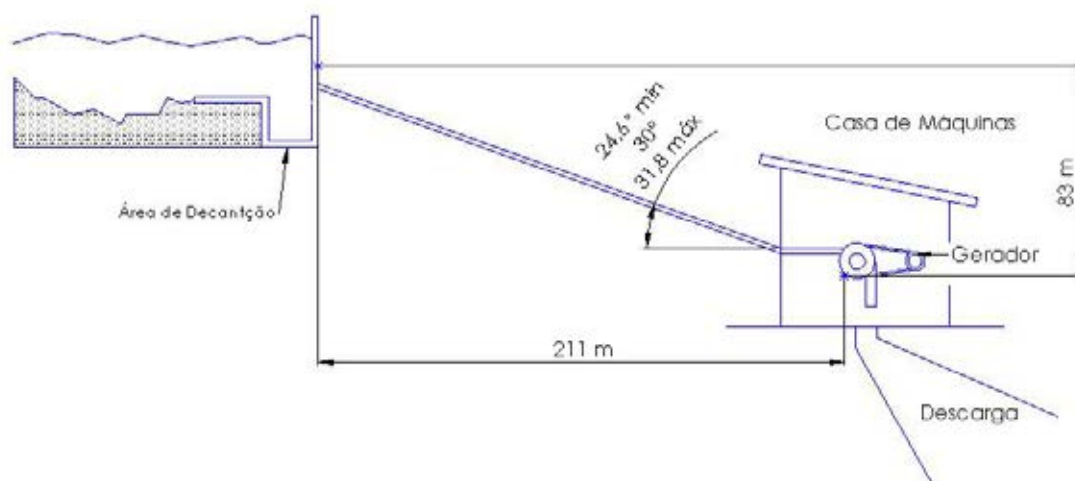
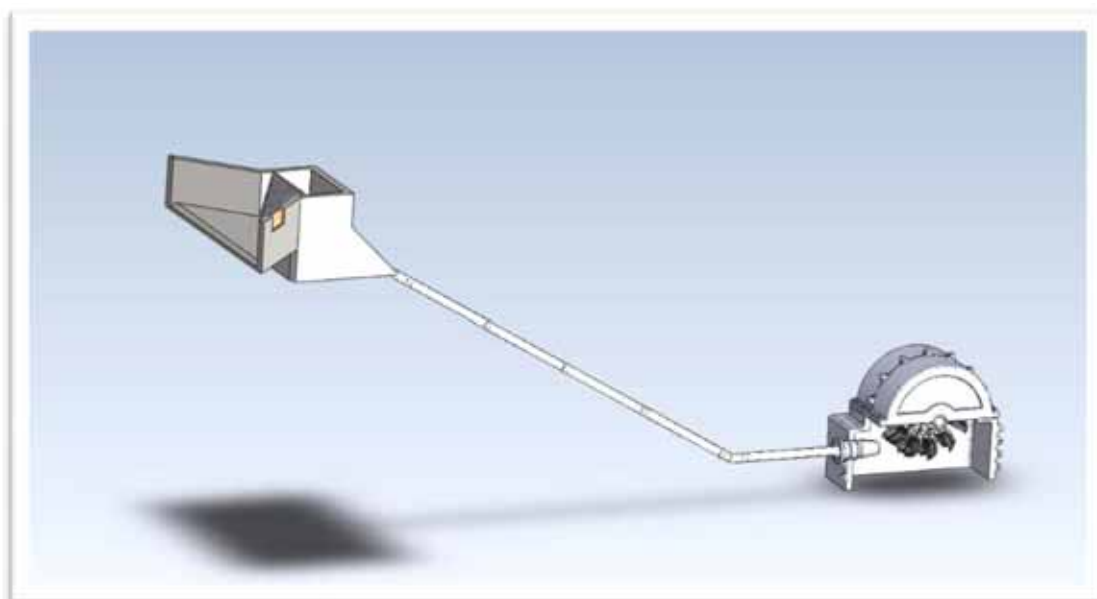


Figura 29 – Projeto inicial do aproveitamento, captação adução e turbina.



Para uma melhor visualização, o desenho não foi feito em escala e, a priori podemos concluir que a barragem deve ter um reservatório que possibilite uma parada da água, necessária para que decante particulados maiores, e também que fique abaixo da adução, não permitindo que entre ar na tubulação, somente líquido o que provocaria bolsões de alta pressão na entrada da turbina. Pelos primeiros dados podemos observar que possivelmente uma turbina tipo Pelton

seja a mais adequada, e a mesma poderá trabalhar no que chamamos de fio d'água, não necessitando de reservatório sazonal.

2.10 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO.

Nesta seção do projeto são estudados os parâmetros primordiais para cálculos e suas principais variações dentro dos limites naturais, e econômicos.

2.11 ALTURA DE PROJETO

A determinação da queda bruta foi feita de maneira prática durante a visita ao local, coletando-se as coordenadas do ponto de captação e do local estimado da casa de máquinas. Para o cálculo da queda natural e munidos dos dados de Global Position System (GPS), podem-se usar dados do software gratuito fornecido pela empresa Google, Earth que forneceu os perfis de elevação. O perfil é bastante linear tendendo para trechos de linha reta, porém com alta inclinação.

Figura 30 – Perfil de elevação do local de instalação da tubulação



Foram encontradas inclinações em torno de 45,8% ou 24,6°. Contando que a inclinação máxima é de 31,81° (62,1%). Para o cálculo da altura útil podemos descontar

aproximadamente 1 m que é devido à altura da instalação da turbina que fica fixada sobre uma plataforma.

$$H_i = 1210m$$

$$H_f = 1126m + 1m$$

$$\Delta H = H_i - H_f = 83m$$

Pode ser observado que a distância da tubulação mínima de projeto é de 211 m ao longo da encosta do morro, referindo diretamente ao comprimento da tubulação.

$$L_{linear} = 211m$$

2.11.1 Determinação da Vazão de projeto

Para a determinação da vazão de projeto (Delmée, 2003), podem-se coletar dados usando o método do flutuador⁴.

Para este método foi feita uma medição utilizando laranjas, as quais foram arremessadas ao longo do escoamento. Foi então tomada uma medida de 10m ao longo da margem do rio e medido o tempo entre as marcas.

Tabela 1 – Valores medidos de velocidade do escoamento

Medidas	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	Médias
Distância [m]	10	10	10	10	10
Tempo[s]	12,74	14,60	13,36	17,00	14,43

Neste primeiro método, para medirmos a vazão foi necessário medir a profundidade e a largura com redução de 10% devido a perdas de escoamento nos cantos⁵.

$$b = 0,4$$

$$a = 0,3$$

$$A = 0,12 m^2$$

Então foi possível encontrar uma vazão:

$$\dot{Q} = V * A \quad (1)$$

⁴ O método do flutuador consiste em jogar um objeto qualquer com densidade menor que a da água e contar o tempo que ele leva para percorrer uma distância medida na margem ao longo do curso do rio.

⁵ Valores de *a* e *b* já computados sem 10% de perdas.

$$\dot{Q} = \frac{10}{14,43} * 0,12 = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Na segunda visita ao local, quando se pode observar o curso do rio, suas curvas etc., foi constatado que em muitos pontos haviam pequenas curvas profundas e outros pontos que o rio passava a ser de fio d'água. Considerou-se então que seria necessário fazer outras medições mais precisas com um pouco mais de cuidado, para não cometer erros de sazonalidade, ou então de pequenos riachos que se unissem ao rio. Então foi utilizada outra forma de medir, o chamado “Método do Molinete”.

O “Molinete”, como é normalmente chamado, foi usado para coletar dados da velocidade de escoamento de forma mais precisa e por ter um equipamento destes na universidade utilizamos um “*Global Flow Probe*” do modelo FP – 101 que é um equipamento para medidas de vazão a partir da velocidade de escoamento e é próprio para riachos ou rios de pequeno porte.

Figura 31 – “Probe” em uso



Como pode ser observado na Figura 31 a utilização do molinete é bem simples, ele é equipado com um microcomputador que mede a velocidade através de uma hélice. Quando colocado na corrente livre do escoamento, a hélice informa sua rotação e então é obtida a velocidade da seção.

O computador fornece valores médios de velocidade ao longo do escoamento.

Com os resultados experimentais foi possível construir a Tabela 2.

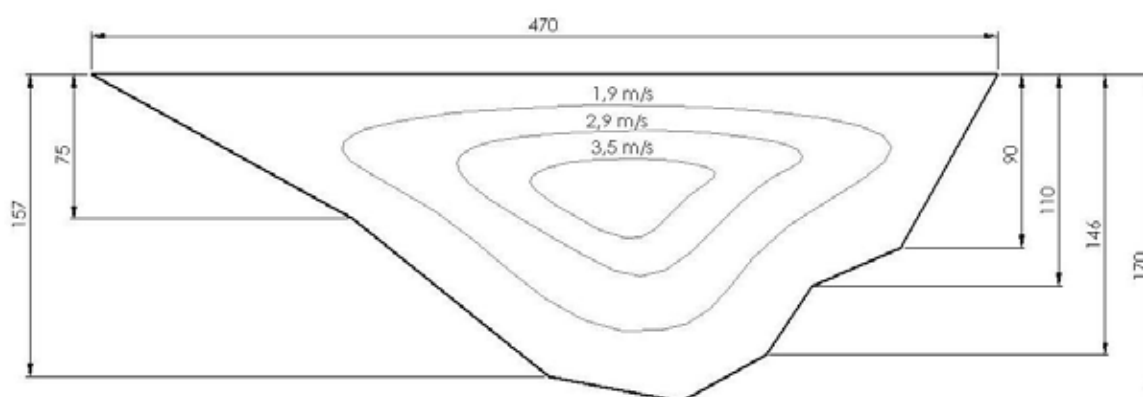
Tabela 2 – Dados os Grupos de medidas de velocidade.

Medidas	1	2	3	4	5	6	7	Média [km/h]	Média [m/s]
Grupo 1	7,1	6,9	6,6	6,7	7,2	6,9	7,1	6,93	1,92
Grupo 2	10	9,7	10,4	11,7	10,2	9,8	10,3	10,30	2,86
Grupo 3	13,1	12,8	11,8	12,4	12,2	12,7	13,4	12,63	3,51
							Média Geral	9,95	2,76

Obtemos então o perfil de velocidade da seção, então plotando os valores de velocidade na seção transversal do ponto no qual foi medido.

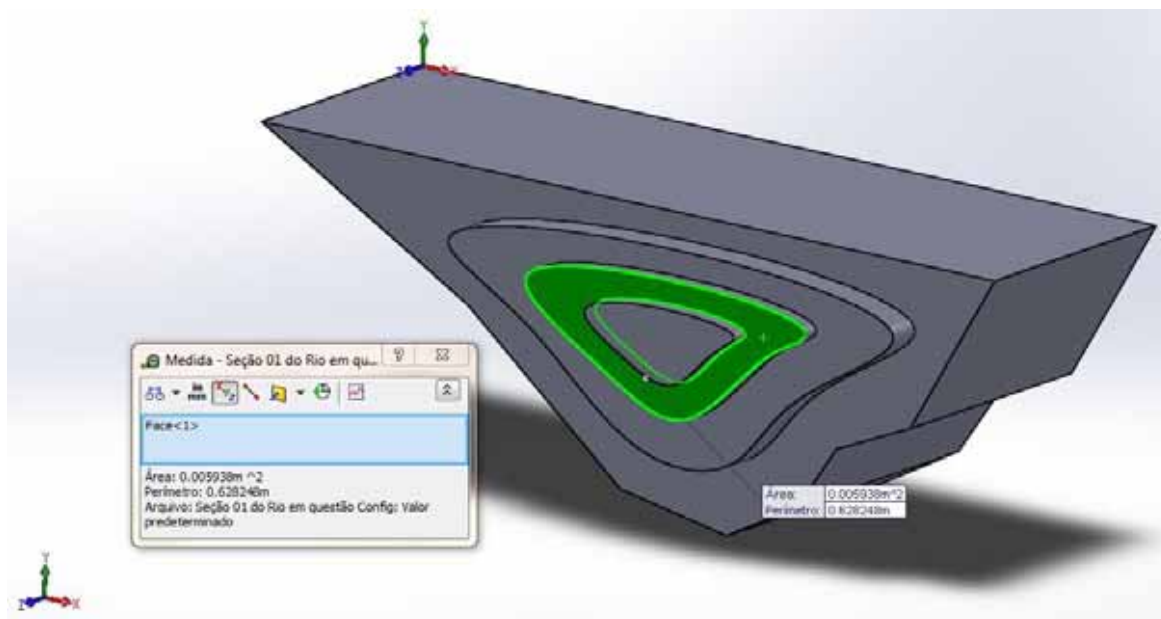
A metodologia empregada para a seção foi medir a cada 15 cm de largura, já a profundidade do leito foi medida com uma régua graduada (60cm). Os valores foram usados nas cotas da Figura 32 – Perfil de velocidade na seção transversal do rio Figura 32.

Figura 32 – Perfil de velocidade na seção transversal do rio



Propriedades de seção da face selecionada de Seção 01 do Rio em questão, obtida através de software de desenho.

Figura 33 – Perfil de áreas de mesma velocidade.



Centróide⁶ relativa à origem do sistema de coordenadas de saída para origem no canto superior esquerdo do leito: (metros)

$$\begin{aligned} X &= 0.2662 \\ Y &= -0.0623 \\ Z &= 0.1500 \end{aligned}$$

$$V = \frac{Q}{A} [m/s]$$

Fez-se então um desenho mais detalhado da secção do rio em software próprio e obtiveram-se as medidas das áreas e montou-se a Tabela 2 com os valores de vazão por ponto da seção

Cálculos da vazão de projeto:

$$\dot{Q} = V * A \quad (1)$$

⁶ Para simples referência

Tabela 3 – relação entre velocidade, área e vazão para o caso estudado.

	área [m ²]	vel [m/s]	vol [l/s]
1	0,002596	4,1	10,644
2	0,005938	3,5	20,783
3	0,012081	2,9	35,035
4	0,024360	1,9	46,284
		total	112,746
		-20%	90,196

$$\dot{Q} = 0,1128 \text{ m}^3/\text{s}$$

Levando em conta a legislação pertinente para centrais de geração hidrelétrica é necessária uma vazão de 20% para manter o leito do rio sem prejuízo da fauna e flora. Temos então uma vazão de projeto de:

$$\dot{Q} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} = 90,2 \text{ l/s}$$

Deve-se ter cuidado com este valor, principalmente porque a vazão deu pouco acima das anteriores medidas. Pode-se justificar essa variação pelas épocas de medição, inverno (seco) e verão dois dias depois de uma chuva. Estimativas conservadoras recomendam o uso da primeira medida, ou seja, $0,08 \text{ m}^3/\text{s} = 80 \frac{\text{l}}{\text{s}}$.

2.11.1.1 Determinação da vazão de cheia máxima

A vazão de cheia máxima é usada para cálculos de barragem e área de comporta de vazão excedente e principalmente para cálculos da cota de piso da casa de máquinas, para que esta fique longe do alcance da água.

No caso deste projeto não se tem barragem, mas apenas uma pequena área de reservatório com capacidade para aproximadamente 1 m^3 . Seriam recomendados estudos dos índices pluviométricos do local, através de instalação de higrômetros ao longo de pelo menos dois anos (Santos, et al., 2001).

No caso presente podemos aproximar tais dados levando em conta que as medições foram feitas no inverno⁷, ou seja, tempos de estiagem que levaram a medidas mínimas. Em casos de cheia o rio irá fluir normalmente pelo curso normal antigo, sem prejuízo das benfeitorias.

⁷ Medições feitas no dia 15 de junho de 2012, no período da manhã até meados das 15h.

Para um cálculo empírico pode-se usar a fórmula usual no campo de instalações hidráulicas naturais dadas pela fórmula (ELETROBRAS D.N.E.E., 1985):

$$Q = 0,278 * C_d * I * A_d \quad (2)$$

Sendo:

Q – vazão de cheia máxima em m^3/s

C_d – Coeficiente de escoamento superficial em mm/h .

A_d – área de drenagem em km^2 .

I – intensidade de chuva de projeto em mm/h .

O valor de C_d é Obtido pela Tabela 4, os valores são separados de acordo com o tipo de solo e cobertura vegetal predominante da região de drenagem.

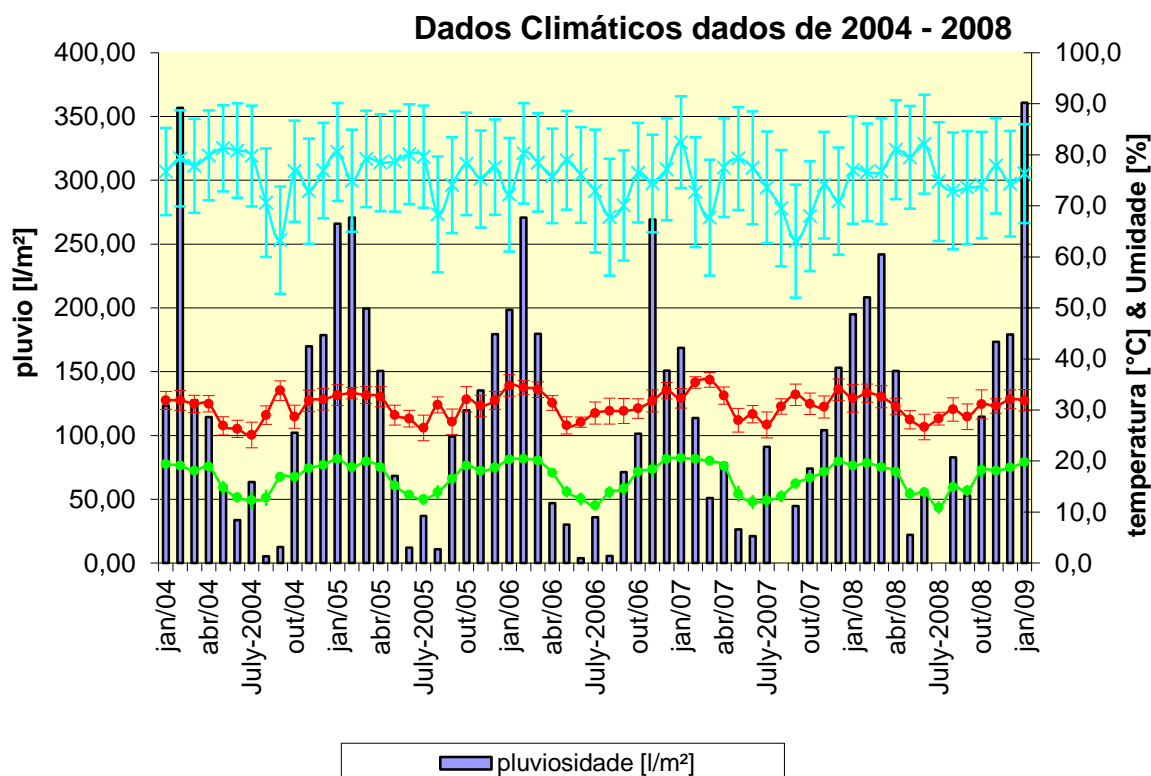
Pelo mapa de drenagem e escala dada podemos concluir que a área aproximada de drenagem é de $0,6 km^2$ ou seja, um faixa de $0,5 km \times 1,2 km$ de extensão.

Tabela 4 – Índices característicos de C_d de vazão máxima (ELETROBRAS D.N.E.E., 1985)

Tipo de Solo	Cobertura da Bacia		
	Cultivado	Pastagem	Mata
Com alta taxa de infiltração: arenoso			
encascalhado	0,2	0,15	0,1
Com média taxa de infiltração: areno -			
argiloso	0,4	0,35	0,3
Com baixa taxa de infiltração:			
pesadamente argiloso	0,5	0,45	0,4

Para o cálculo de I pode ser aproximado por uma chuva de verão da região e por dados climáticos da estação meteorológica de Guaratinguetá fornecida pelo CPTEC – INPE, e analisados em “Projeto de Reuso” desenvolvido pelo Prof. Dr. Carlos Renato Zacharias e bolsista José Mateus Guedes Baldini, estes dados analisados dão origem a:

Gráfico 1 – médias de Pluviosidade, temperatura e humidade relativa.



Então é possível estimar as chuvas com vazão máxima de $18 \frac{mm}{h \cdot m^2}$ em um mês que a máxima chuva foi em fevereiro de 2004 e muito parecida em janeiro de 2009.

Assim,

$$Q = 0,278 * 0,3 * 18 * 0,6$$

$$Q = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.11.2 Determinação das potências disponíveis

A determinação da potência que é possível gerar é basicamente a determinação do potencial máximo que o local pode gerar levando em conta suas características de desnível e vazão de projeto.

2.11.2.1 Potência Bruta aproveitável

A potência bruta ou altura de carga bruta (Fox, et al., 2006) pode ser calculada pelo peso específico do fluido (γ), vazão (Q) e altura de queda (H_u):

$$Pot_H = \gamma * Q * H_u \quad (3)$$

$$Pot_H = 996,8 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,08 \frac{m^3}{s} * 83m$$

$$Pot_H = 64929,95 W \cong 64,9kW$$

Pode-se então verificar rendimentos previstos do conjunto turbina e gerador de 0,88:

$$Pot_{max} = 0,88 * 64,9 = 57,14 [kW]$$

2.12 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA NECESSÁRIA REAL

Para a determinação das cargas elétricas a serem usadas pode-se lançar mão de entrevista realizada com o proprietário e levantamento estimado de quantos moradores pretende-se manter com a CGH. Para obter dados com mais clareza foi feito uma estimativa levando em conta 10% de erro, e assim se considerar um aumento de consumo ou de potência instalada.

O dimensionamento da carga associada à micro central hidrelétrica é uma das variáveis do dimensionamento da potência instalada do local. Para tanto é necessário fazer um levantamento de todas as cargas do sistema e também dos momentos de funcionamento. Com tais dados pode-se estimar o uso máximo nos períodos determinados em projeto, obtendo-se então o valor de pico. Com o valor de pico é possível determinar se será necessário ou não fazer uma racionalização do uso de equipamentos na propriedade.

2.12.1.1 Consumo de luz

Sete lâmpadas incandescentes 60 w cada, ligadas das 18 as 24.

Duas lâmpadas fluorescentes 20 w cada, ligadas nos mesmo períodos.

Como as lâmpadas não ficarão ligadas em tempo integral pode-se estimar um fator de carga de 50% para seu consumo. Dando um valor de $460 W * 0,5$ dando $230W$. Os valores podem ser encontrados na Tabela 5.

2.12.1.2 Consumo de aparelhos eletrodomésticos

Com os dados de outros eletrodomésticos pode-se então montar a

Tabela 7 que demonstra valores de pico de utilização às 17 horas de $10,6 kW$. Com estes valores de pico é possível estimar consumos de $11,66 kW$ com 10 % de incremento.

Para fins comparativos podemos calcular o fator de carga a ser usado que é basicamente dado pela

$$F_c = \frac{D_{medio}}{D_{Máx}} = \frac{6,004}{11,66} = 51,5\% \quad (4)$$

Quanto maior o fator de carga melhor será a distribuição do consumo de energia do sistema, dentro do período considerado. Caso se julgue necessário é possível fazer uma redistribuição dos horários de funcionamento dos equipamentos para que atinja valores maiores de Fator de carga.

A literatura julga pertinentes valores maiores que 40% sem ser necessário redistribuir os equipamentos sendo este o caso em estudo.

De modo a facilitar a regulagem da unidade geradora, programou-se a relação entre cargas horárias sendo superior a 40%.

Pode-se então obter da

Tabela 7 ao longo do dia:

- Carga mínima: 4,6 kW
- Carga Máxima 10,6 kW

$$\frac{4,6}{10,6} = 43,39 \%$$

Temos então os respectivos consumos na

Tabela 7.

Tabela 5 – Lista de Equipamentos e suas potências

	Equipamento	Fator de carga	Q	
	Luz	1	0,5	398,37
	Chuveiro Elétrico	2	1	0,00
	Televisor	3	0,67	221,60
	Rádio	4	0,67	88,64
	Máquinas de Lavar	5	0,67	531,84
	Ferro de Passar Roupa	6	1	0,00
	Serra Circular	7	0,77	4971,77
	Geladeira	8	0,67	398,88
	Bomba D'agua	9	0,78	3465,86
	Congelador	10	0,67	1073,65
	Ar Condicionado	11	0,84	2454,56
		total		13605,17
		S tot =		25476,05

2.12.1.3 Tabelas de Consumo geral.

Tabela 6 – Potências nominais por período

Eq	Horário de utilização																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1						230,0	230,0	230,0											230,0	230,0	230,0	230,0	150,0	
2																		5000,0	5000,0					
3																				200,0	200,0	200,0		
4						80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0								
5							480,0	480,0	480,0															
6										1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0									
7						6000,0	6000,0	6000,0	6000,0															
8	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0	360,0
9	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0	4320,0
10	969,0	969,0																						
11																		3800,0	3800,0	3800,0	3800,0			
	5649,0	5649,0	4680,0	4680,0	4680,0	4990,0	6670,0	7150,0	6920,0	6920,0	5760,0	5760,0	5760,0	5760,0	5760,0	5760,0	8480,0	9160,0	9390,0	4590,0	5110,0	5110,0	5030,0	4680,0

Tabela 7 – Potências Reativas distribuídas por períodos.

1						398,4	398,4	398,4											398,4	398,4	398,4	398,4	398,4	
2																		0,0	0,0					
3																					221,6	221,6	221,6	
4						88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6								
5							531,8	531,8	531,8															
6										0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0									
7						4971,8	4971,8	4971,8	4971,8	4971,8														
8	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9	398,9
9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9	3465,9
10	1073,7	1073,7																						
11																		2454,6	2454,6	2454,6	2454,6			
	4938,4	4938,4	3864,7	3864,7	3864,7	4351,7	5857,7	6389,5	5991,1	5991,1	3953,4	3953,4	3953,4	3953,4	3953,4	3953,4	6319,3	2853,4	3251,8	3473,4	4484,7	4484,7	4484,7	3864,7
	7503,3	7503,3	6069,5	6069,5	6069,5	6621	8877	9589	9153,1	9153,1	6986,2	6986,2	6986,2	6986,2	6986,2	6986,2	10576	9594,1	9937,1	5756,1	6798,9	6798,9	6739	6069,5
	0,7529	0,7529	0,7711	0,7711	0,7711	0,7537	0,7514	0,7456	0,756	0,756	0,8245	0,8245	0,8245	0,8245	0,8245	0,8245	0,8018	0,9547	0,9449	0,7974	0,7516	0,7516	0,7464	0,7711

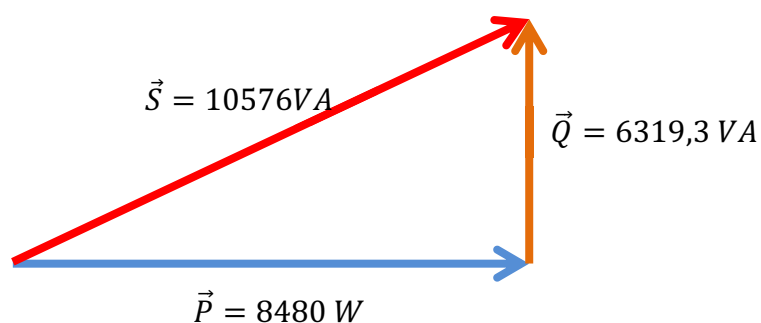
As duas últimas linhas da

Tabela 7 mostram claramente os valores de potência enxergados pela rede, e seus respectivos fatores de potências.

Percebeu-se então ao analisar a Tabela 6 e

Tabela 7 com respectivas potências ativas e reativas que a solicitação mais significativa ocorreria às 17h gerando o Triângulo de potência dado pela Figura 34.

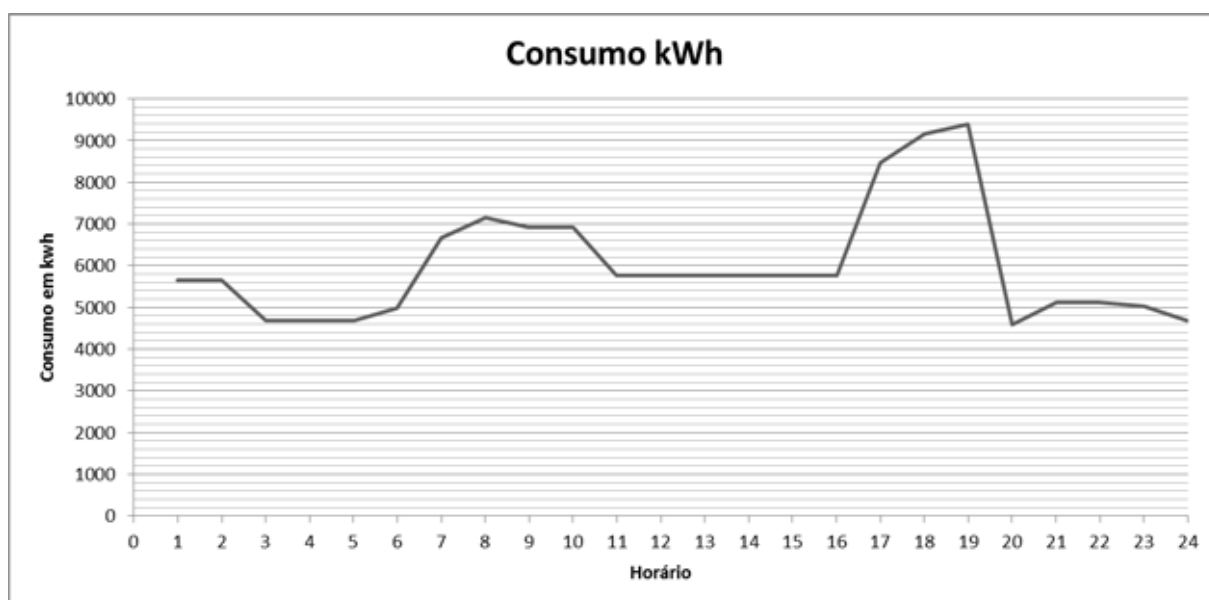
Figura 34 – Triângulo de potência



O gráfico de consumo dado em relação aos horários do dia obtido a partir da

Tabela 7 pode ser demonstrado no Gráfico 2 que relaciona de forma clara o horário e suas potências demandadas.

Gráfico 2 – consumo em carga horária ao longo do dia.



O consumo, chamado de pico, ocorre às 19h, que nada mais é que a potência instalada sendo usada naquele espaço de tempo.

A Potência de projeto a ser instalada e julgada necessária para este tipo de instalação é de aproximadamente $10,6kW$.

$$P_{util} = 11 kW$$

2.12.1.4 Definição da Potência a ser instalada

Para a definição da potência a ser instalada é necessário comparar as potências úteis com a potência necessária

$$Pot_{Hid} \cong 57,14kW$$

$$Pot_{ele} = 11 kW$$

Com a análise observa-se que o potencial disponível é maior que a potência desejada.

Para essa situação podemos agora aproveitar todo o potencial e regular a capacidade de geração alterando a vazão de entrada na turbina ou então alterar as condições de instalação diminuindo a queda bruta.

A diminuição da vazão acarreta em economia no projeto dos sistemas de captação e adução e a diminuição da altura em economia de barragem, que em nosso caso é um valor irrisório de economia.

Antes de rever as cotas devemos rever possíveis aproveitamentos para as propriedades vizinhas ou então ampliação do consumo ao longo do tempo. E baseando-se nisso podemos tentar aproveitar o máximo de potência disponível no local prevendo possíveis usos de potência excedente no futuro.

2.12.2 Análises e Determinação de Parâmetros específicos de Projeto.

Este ponto pode ser descrito como uma introdução aos cálculos mais aprofundados dos parâmetros a serem usados para definições futuras do projeto. São os parâmetros agora descritos que irão mostra quais os rumos que serão tomados.

2.12.2.1 Cálculo do Diâmetro da Tubulação

A recomendação da literatura é que as velocidades máximas de adução sejam de 1 m/s e interna a tubulação de 3 m/s , assim,

$$Q = V * A$$

e

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (5)$$

com:

Q – vazão [m^3/s]

V – velocidade em [m/s]

A – a área da tubulação em questão [m^2]

D – diâmetro da tubulação

Para nosso caso em questão pode se montar uma tabela com valores possíveis⁸ de diâmetro de tubulação e obter os respectivos valores de velocidade:

⁸ Valores coletados em Site da C&C e outros, tentando buscar menor preço.

Tabela 8 – Tabela de diâmetros e velocidades da tubulação

Diâmetro		Área	Velocidade	Custo	
in	m	m ²	m/s	R\$/Barra 6m	
1	0,025400	0,000507	157,88	R\$	12,40
2	0,050800	0,002027	39,47	R\$	44,50
3	0,076200	0,004560	17,54	R\$	78,61
4	0,101600	0,008107	9,87	R\$	86,90
6	0,152400	0,018241	4,39	R\$	120,50
8	0,203200	0,032429	2,47	R\$	215,10
10	0,254000	0,050671	1,58	R\$	223,30
Vazão		0,08	m ³ /s		

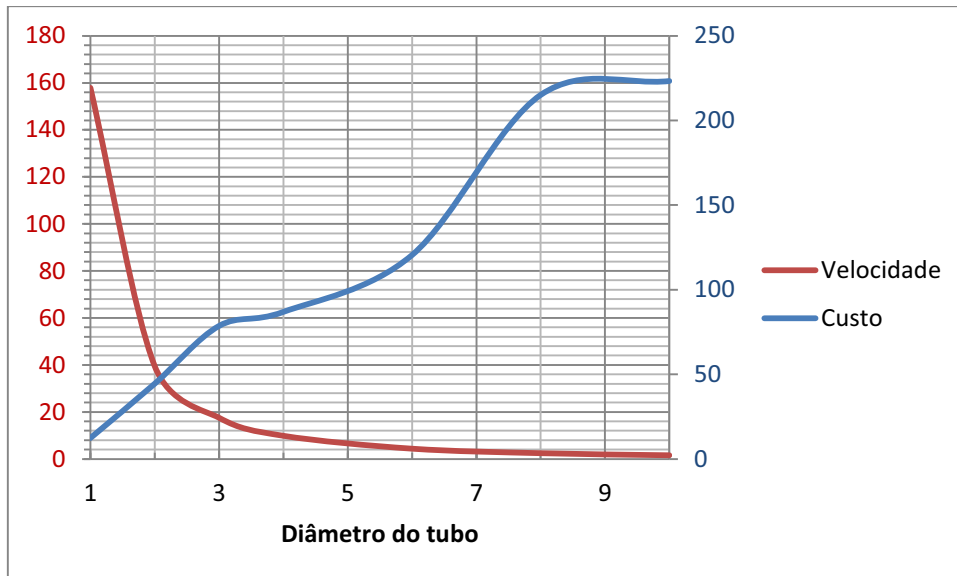
Diâmetro escolhido:

Ao cruzar as informações de custo e velocidade (que está diretamente ligado à perda de carga) e temos um gráfico bastante interessante que mostra o quanto o custo se relaciona inversamente com a velocidade.

Tabela 9 – Relação velocidade e diâmetro

Ø	Área [m ²]	vel [m/s]	vol [l/s]
1	0,002596	4,1	10,644
2	0,005938	3,5	20,783
3	0,012081	2,9	35,035
4	0,024360	1,9	46,284
		Total	112,746
		-20%	90,196

Gráfico 3 – Demonstração de variações de velocidade e custo



$$D_n = 150 \text{ mm} = 6 \text{ in}$$

$$A = \frac{\pi * (150 * 10^{-3})^2}{4} = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$0,08 \text{ m}^3/\text{s} = V * 0,0177 \text{ m}^2$$

$$\therefore V = 3,3898 \text{ m}/\text{s}$$

As condições de velocidade sugeridas pela literatura de se ter velocidades obrigatoriamente abaixo de $5 \text{ m}/\text{s}$, pelos cálculos só serão atendidas para tubulações de 150 mm de diâmetro.

Usando de iteração, e com o valor arredondado de velocidade média, a tubulação limite para obter o menor custo é:

$$0,06 = 3 * A$$

$$A = 0,0067$$

$$0,02 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = 0,1596 \text{ m} = 6,2826'' \cong 6''$$

Ou seja, confirma-se o diâmetro de 6 in .

2.12.2.2 Análise da perda de Carga

Para a análise de perda de carga (Fox, et al., 2006) foi usado o conceito comumente usado que leva em conta as velocidades do escoamento, a rugosidade da tubulação, e as conexões ao longo da linha.

A rugosidade do PVC de acordo com a Literatura está entre 0,005 e 0,01 [mm] então podemos calcular o parâmetro adimensional Reynolds Re que nos indica se o escoamento é Laminar ou turbulento e está intimamente ligado ao cálculo da perda de carga proposto por Darcy Weisbach e Moody.

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (6)$$

sendo:

ρ – massa específica do fluido⁹

μ – Viscosidade do fluido

$$Re = \frac{996,8 * V * 0,15}{10^{-3}}$$

$$Re = 5,07 * 10^5$$

Portanto um escoamento turbulento,

$$e = 0,0015 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{D} = \frac{0,01}{150} = 0,0001$$

Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{1 \rightarrow 2} \quad (7)$$

Hipóteses:

$$P_1 = P_{atm}, \quad Z_2 = 0, \quad Z_1 = 83, \quad V_1 = 0$$

⁹ Valores de densidade para água a 26°C e pressão local dada pela altitude do aproveitamento de 1210 m acima do nível do mar, valores calculados no Software EES – S.A.Klein

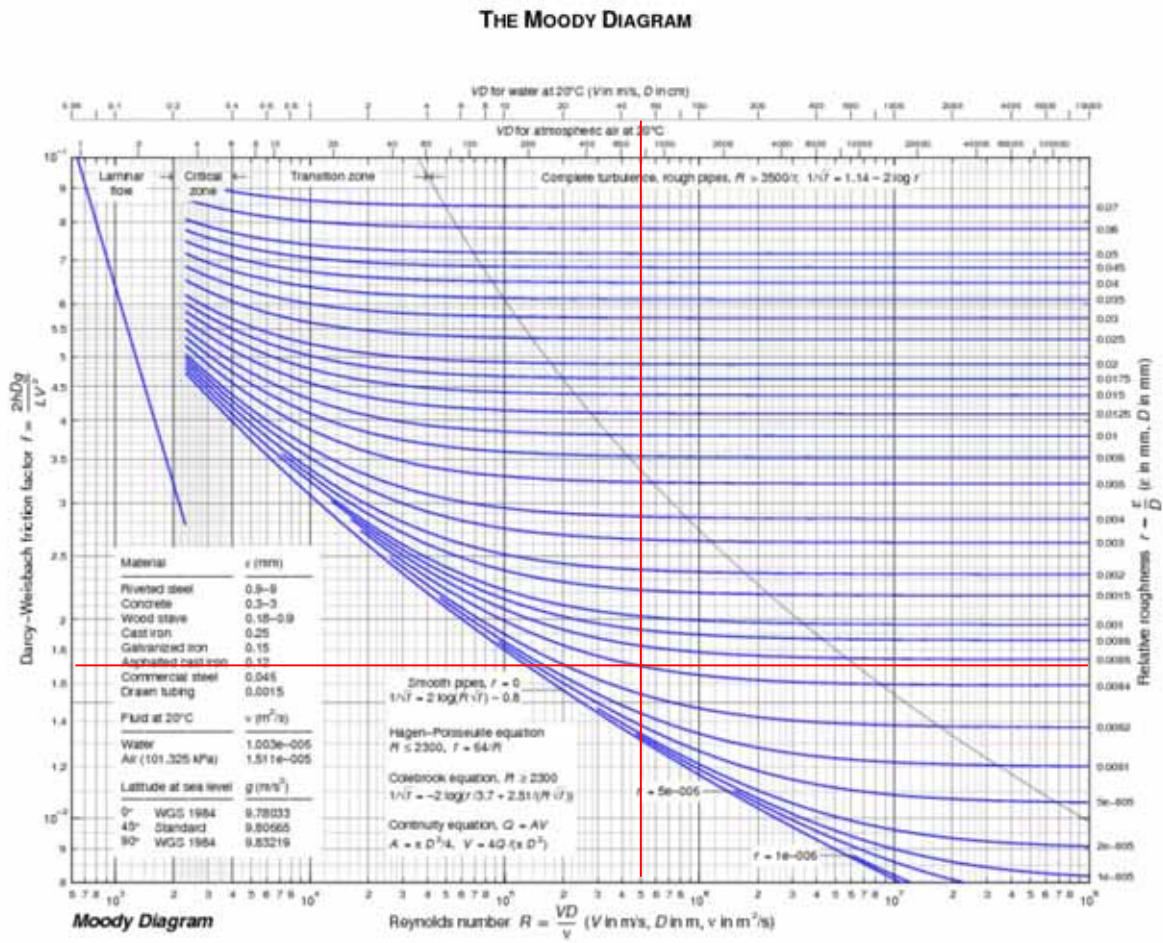
Dados

P1	0
P2	
V1	0
V2	4,39
Z1	83
Z2	0
g	9,81

$H(1 \rightarrow 2) = 82,018 \text{ mca}$
 $0,082 \text{ Pa}$

Pelo diagrama de Moody da Figura 35 podemos tirar o fator de atrito.

Figura 35 – Diagrama de Moody



Onde entramos com e/D e o valor do adimensional Re ,

$f = 1,44 \times 10^{-2}$

Então podemos calcular as perdas de carga que são divididas em distribuídas e localizadas.

2.12.2.2.1 Perdas Localizadas

As perdas localizadas são devido às conexões, registros, curvas, etc. essas perdas geralmente respondem menos que as perdas distribuídas no final dos cálculos de perdas na tubulação por completo.

É expressa por um coeficiente de perda K que geralmente é predeterminando de forma empírica em testes de laboratório. Alguns valores usuais podem ser encontrados na literatura pertinente como, por exemplo: (Fox, et al., 2006) assim como Handbooks de Hidráulica etc.

$$h_{lm} = K * \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (8)$$

Para caso de velocidade constante ao longo da tubulação podemos levantar os valores dos coeficientes de perdas

- Reentrante - $K = 0,78$
- Registro de gaveta - $\frac{Le}{D} = 8$
- Cotovelo de 45° - $\frac{Le}{D} = 16$
- Estricção para bico injetor –

Então

$$h_{lm} = [(0,78 + 0,4) + 1,27 * 10^{-2} * (8 + 16)] * \frac{3,39^2}{2}$$

$$h_{lm} = 8,53 \frac{m^2}{s^2}$$

$$H_{lm} = 0,87 \text{ mca}$$

2.12.2.2.2 Perdas distribuídas

As perdas distribuídas são o resultado das forças de cisalhamento devido à viscosidade do fluido e também com das perdas por atrito do fluido com as paredes do tubo. É descrito basicamente por um fator de atrito f e das variáveis, comprimento da tubulação L , diâmetro do tubo D e velocidade média do escoamento \bar{V} . Essa equação é uma maneira prática de levantar possíveis perdas distribuídas ao longo de toda a tubulação.

$$h_l = f * \frac{L}{D} * \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (9)$$

$$h_l = \frac{1,27 * 10^{-2} * 211 * 3,39^2}{0,15 * 2}$$

$$h_l = 102,65 \frac{m^2}{s^2}$$

$$H_l = 10,46 \text{ mca}$$

Podemos então obter a pressão final efetiva:

$$H_l = H_{lm} + H_l$$

$$H_l = 11,33 \text{ m}$$

2.12.2.3 Cálculo do Golpe de Aríete

Golpe de Aríete é a variação brusca de pressão, acima ou abaixo do valor normal de funcionamento, devido às mudanças bruscas da velocidade da água. As manobras instantâneas nas válvulas são a causa principal da ocorrência do Golpe de Aríete.

O golpe de Aríete provoca ruídos, semelhantes ao de marteladas em metal. Pode romper a tubulação e danificar as instalações. (Costa, et al., 2001).

O fenômeno oscilatório amortecido ocorre sempre que a velocidade do escoamento é modificada. O máximo golpe pode ser calculado teoricamente admitindo-se que:

A variação total da quantidade de movimento é igual à impulsão da força na seção mais próxima do distribuidor.

$$\int_0^t \Delta F \, dt = \Delta(m * V) \quad (10)$$

(1)

Se admitirmos que ΔF varie linearmente com t tem-se:

$$\Delta F = \Delta F_1 * \frac{t_1}{t} = \gamma * h_s^+ * A * \frac{t_1}{t} \quad (11)$$

Logo:

$$\int_0^t \Delta F \, dt = \gamma * h_s^+ * A * \frac{t}{2} \quad (12)$$

Como $\Delta(m * V) = \frac{\gamma}{g} * L * A * V$, resulta na conhecida fórmula de *Micheaud* para cálculo do golpe de Ariete máximo.

$$h_s^+ = \frac{2 * L * V}{g * t} \cong 0,2 * \frac{L * V}{t} \quad [SI]$$

Definindo T como sendo o tempo que leva para a onda de pressão para deslocar-se desde o distribuidor até a barragem, retornando após o distribuidor, fornecido por:

$$T = 2 * \frac{L}{V_s}$$

Sendo:

L – Comprimento do conduto

V_s – Celeridade

$$V_s = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k * \frac{D}{e}}} \quad (13)$$

2.12.2.4 Determinação da espessura de chapa da tubulação

Com os cálculos das Celeridades e golpes de aríete é possível calcular também a espessura da parede da tubulação, que é dada pela equação.

E espessura da camada dada por:

$$e = \frac{P_s * D}{2 * \sigma_{adm}} \quad (14)$$

Com k de acordo com a Tabela 10

Tabela 10 – Valores de k para golpe de Aríete.

Ferro Fundido	$k = 4,4$
Plástico	$k = 18$
Aço	$k = 0,5$

Então tem-se realizando os cálculos

Dados de projeto	
L	212,0000 m
D	0,1500 m
n	92,3000 rpm
Hb	80,0000 m
Pe	0,0527 MW
Tadm	1000,0000 kPa
Q	0,0800 m ³ /s
t	8,0000 s
k	18,0000
v=	4,52707 m/s
hs=	13,24114 m
e=	0,006993 m = 7,0 mm
Vs=	474,99874 m/s
Vs*v/(2*g*Hb)	1,37000 >1 Baixa Queda
hs'=	11,031429 m
e'=	0,0068274 m = 6,8 mm

Estes dados mostram que a espessura de parede necessária deve ser de 6,8 mm para um fechamento de 8 segundos, isto para um tubo plástico com tensão de escoamento máxima de 1MPa. Para um segundo cálculo comparativo pode-se usar a fórmula de Allievi, que se segue:

$$\frac{\rho}{\theta} = \frac{V * L}{g * H_B * t}$$

$$Z^2 = 2,4875 - 1,492 * \sqrt{1 - 1,4 * \frac{\rho}{\theta}}$$

$$h_s^+ = (z^2 - 1) * H_B$$

$$Z^2 = 1,252 - 0,206 * \sqrt{1 - 34,36 * \frac{\rho}{\theta}} \quad (15)$$

$$h_s^- = (z^2 - 1) * H_B \quad (16)$$

Onde h_s é a sobre elevação máxima para o para o Golpe de Ariete

Q=	0,08 m ³ /s	A=	0,0177 m ²
t=	6 s	V=	4,5271 m/s
H _B =	80 m	Rô/Teta=	0,2038
D=	0,15 m	Z ² + =	1,2262
L=	212 m	h _s + =	18,0964 m
		Z ² - =	0,6692
		h _s - =	-26,46179
para	L ≤ 3 * H t=6		
	L > 3 * H t=10		

Como os valores foram diferentes podemos considerar os valores maiores de deslocamento, o que corresponde ao segundo caso.

2.12.2.5 Necessidade da chaminé de equilíbrio

Para determinação do comprimento máximo do conduto forçado, procuramos determinar o tempo que leva pra a água no interior da tubulação ser acelerada de zero até sua velocidade de regime.

Para tanto, podemos levar um elemento de volume d'água no interior do conduto forçado somente sujeito a forças de inércia e de pressão;

Resultando:

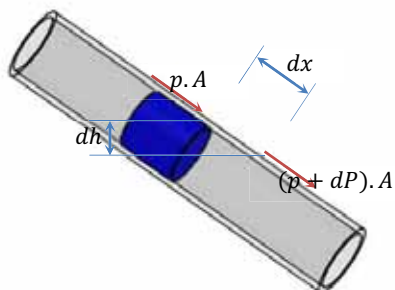
$$\Delta S = m * \frac{dv}{dt} \quad (17)$$

Ou

$$\gamma * A * dh = -A * \frac{\gamma}{g} * dx * \frac{dv}{dt} \quad (18)$$

$$-\frac{dh}{dx} = \frac{1}{g} * \frac{dv}{dt}$$

Figura 36 – Elemento de volume na tubulação



Separando e integrando

$$\int_{H_b}^0 -dh = \frac{1}{g} * \int_0^L \frac{dv}{dt} dx$$

$$\text{Sabendo que } \frac{dv}{dt} = a_m = \frac{V}{t_h} \quad \therefore t_H = \frac{V * L}{g * H_B}$$

Sendo t_g o tempo necessário para acelerar o elemento de volume até a velocidade do escoamento é fornecido por:

$$t_g = \frac{n_n^2 * GD^2}{364756 * P_{e_n}} \quad (19)$$

n_n é a rotação do grupo gerado. Sabendo também que

$$4s < t_g < 12s$$

Devendo sempre $t_g \gg t_h$. Quando $t_h > 1$, usamos a regulação dupla.

Caso de $t_h < 3s$ não há a necessidade de chaminé de equilíbrio.

Para o manual Eletrobrás, (ELETROBRAS D.N.E.E., 1985), estabelece que não haja a necessidade de chaminé para:

$$\frac{L}{H_B} \leq 5$$

No nosso caso $\frac{L}{H_B} = 2,66$. Portanto não há a necessidade de chaminé de equilíbrio.

Para um cálculo do tempo de fechamento do distribuidor podemos calcular pela expressão:

$$t = (8 * 10^{-6} * n_{qA}^2 - 3,1 * 10^{-3} * n_{qA} + 1,63) * \left(\frac{t_h * H_B}{h_z} + \frac{L}{V_s} \right) \quad (20)$$

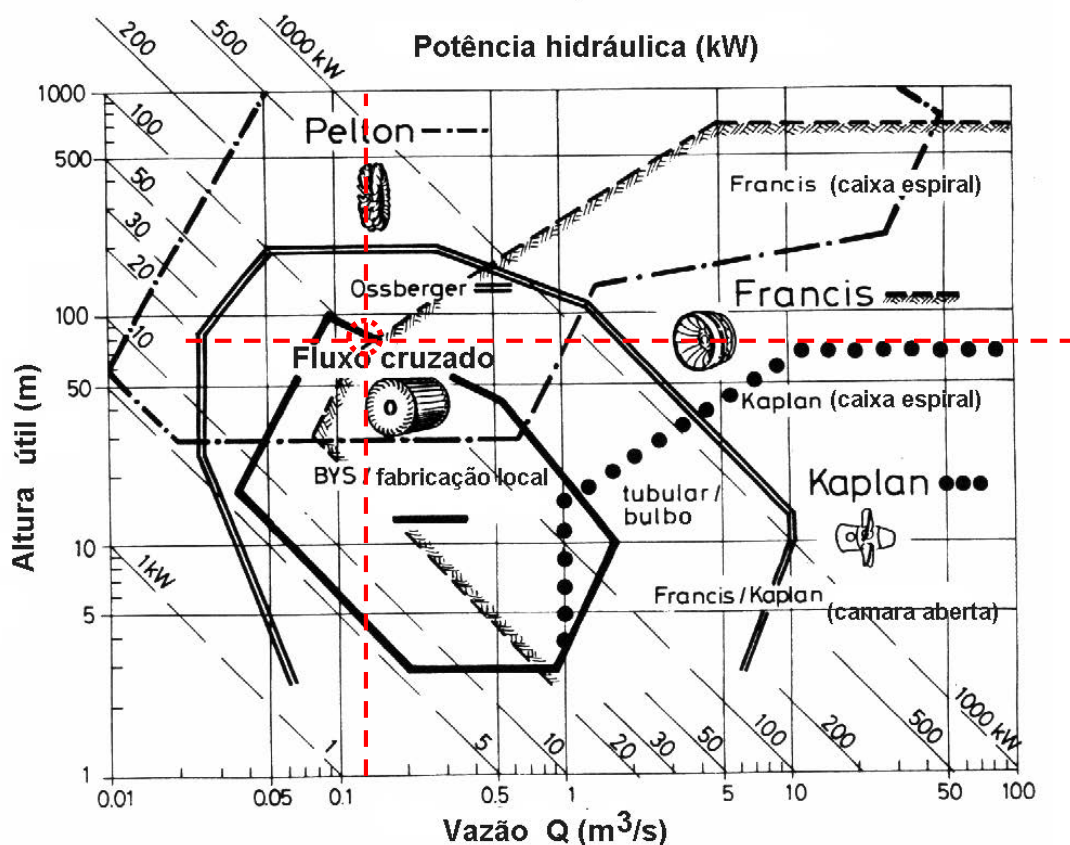
$$\text{Para } n_{qA} = 3 * n * Q^{0,5} * H_B^{-0,75} \quad (21)$$

Q=	0,08 m ³ /s		
Hb=	83 m	nqA=	27,7716
th=	1,14841 s	t=	86,2929
hs=	13,33 m		
L=	213 m	se th < 3	não há necessidade de
Vs=	4,39 m/s		chaminé de equilíbrio.
n=	900 rpm		

2.12.2.6 Determinação da turbina de projeto:

Para determinar a turbina de projeto é comumente consultado o ábaco da Figura 37, nele pode ser ter diretamente a indicação da turbina recomendada, sabendo a altura de projeto e a vazão disposta.

Figura 37 – Ábaco seleção de turbina (CHAPALAZ, J. M., e outros, 1992).



De acordo com os dados já estimados no ábaco de projeto da Figura 37, as turbinas possíveis de projeto são a Michell Banki de fluxo cruzado ou a turbina tipo Pelton. Para níveis práticos, sem aprofundamento teórico, a diferença é o formato das pás de cada uma das turbinas, no caso da Pelton a água é impulsionada diretamente sobre conchas, e no caso da turbina Banki são canaletas colocadas perpendicularmente ao escoamento e a água passa por duas vezes por

entre as pás, ou seja, a água passa a primeira vez em direção ao centro do rotor depois passa novamente ao sair do rotor.

Figura 38 – Ilustrações de turbinas Pelton e Michell Banki respectivamente.



2.12.2.6.1 Cálculo da rotação

Para cálculo da velocidade de rotação, ou velocidade de trabalho e estando de acordo com as normas Brasileiras, a frequência da rede deve ser de 60Hz e esta rotação de trabalho está intimamente ligada ao número de polos z_p pela expressão:

$$n = \frac{60 * f}{P} = \frac{3600}{P} \quad (22)$$

Deve se dar a preferência para utilização e montagem em um único eixo com acoplamento flexível, pois se forem usados sistemas de redução ou mecanismos para reduzir as rotações teremos perdas de potência mecânica devido à transmissão.

Preliminarmente podemos estimar a rotação da turbina pela equação empírica dada para a turbina tipo Pelton, onde H e Q são altura da coluna d'água e vazão respectivamente:

$$n_1 = 6 * H^{0,75} * Q_{\frac{1}{1}}^{-0,5} \quad (23)$$

Temos então o valor de n_1 que nos dá o valor de rotação ótimo

$$0,28 * n_1 < n < 1,7 * n_1 \quad (24)$$

Para mais rotores temos a adaptação de $Q'_{1/1} = \frac{Q_{1/1}}{Z_j}$ onde Z_j é o número de jatos.

Temos então

Dados Fornecidos	Dados Calculados
H= 80,00 m	Q' 0,04 m ³ /s
Q= 0,08 m ³ /s	n1= 802,49 rpm
Zj 2 jatos	
224,70 <n< 1364,23 [rpm]	
32,04 >Zp> 5,28 [polos]	

para $n = 900$; $P = 4$. Portanto 4 polos.

2.12.2.6.2 Cálculo dos polos do gerador

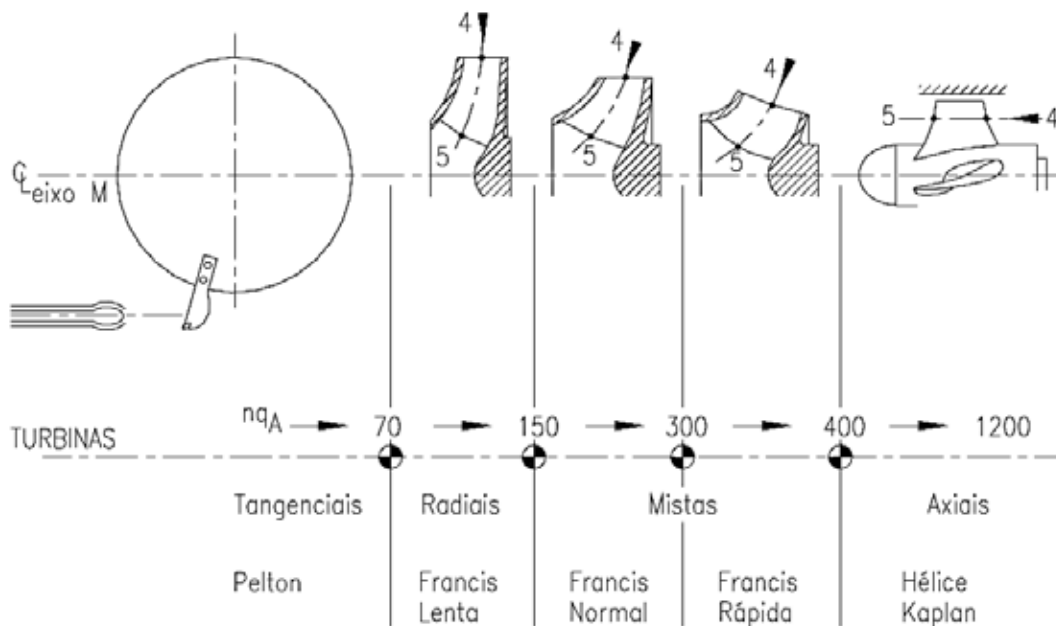
Observamos que para o projeto serão necessários geradores de 6 polos, ou como alternativa utilizar polias e correias para redução da rotação de trabalho e então usar geradores de 2 a 4 polos.

$$Z_p = \frac{7200}{8} = 900 \text{ rpm}$$

A posição do eixo recomendada para PCH deve ser horizontal, ou seja, colinear com o moto gerador, e o uso de geradores assíncronos deve ser somente recomendado para sistemas automáticos de geração.

Podemos agora calcular a rotação específica, que nos servirá de base para definições de rotor da turbina conforme Figura 39 – Recomendações de projeto para máquinas de fluxo.

Figura 39 – Recomendações de projeto para máquinas de fluxo.



Para o cálculo da rotação específica usamos:

$$n_{qA} = 3 * n * Q^{0,5} * H^{-0,75} \quad (25)$$

Q= 0,08 m³/s
H= 83 m
n= 900 rpm
jatos= 2
Q 1/1= 0,04 m³/s

$n\eta_A = 27,77$
Recomendação tipo Pelton
 $5 < n\eta_A < 30$

3 PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O projeto como um todo é detalhado neste ponto, para especificar os itens ainda não demonstrados e para que não restem dúvidas da execução. O arranjo geral é então dividido em Tomada D'água, Barragem, sistemas de adução em baixa e alta pressão, a tubulação em si com suas especificidades, a montagem e definição da unidade geradora, a casa de máquinas e seu canal de fuga com cotas e a subestação e linha de alimentação com desenhos e cotas.

Para tais especificidades podemos abranger tópicos abordados na sequência. Cada projeto é único dependendo da criatividade do projetista e suas necessidades do local. Para este projeto podemos aproveitar dados e equipamentos encontrados nos laboratórios do campus¹⁰, caso estes estejam testados e homologados para utilização.

3.1 TOMADA D'AGUA

22°42'25.62"S e 45°23'38.91"O. Este ponto existe uma cachoeira de aproximadamente 4,5m que desagua em um pequeno reservatório, que desagua em outra cachoeira com queda maior ainda. A decisão de implantação ficará por conta do proprietário desde que sejam seguidas as recomendações de barragem e fixação. O que pode se observar é uma imagem do local na Figura 20.

A tomada d'água deve ser em um local com pouca turbulência evitando assim uma contaminação com bolhas de gás na adução de alta pressão, que pode desgastar os bicos injetores, ou até mesmo as conchas da turbina.

3.2 CAMARA DE CARGA

Estrutura que antepõe à tubulação forçada, chamada em muitos momentos de área de descanso. Tem a finalidade de atender a duas situações de variação brusca da vazão como, em

¹⁰ Campus de Guaratinguetá, Departamento de engenharia elétrica – referência direta ao gerador do projeto de energias Renováveis.

partida e em parada, para garantir estabilidade funcional do canal adutor, seu dimensionamento é feito da seguinte forma:

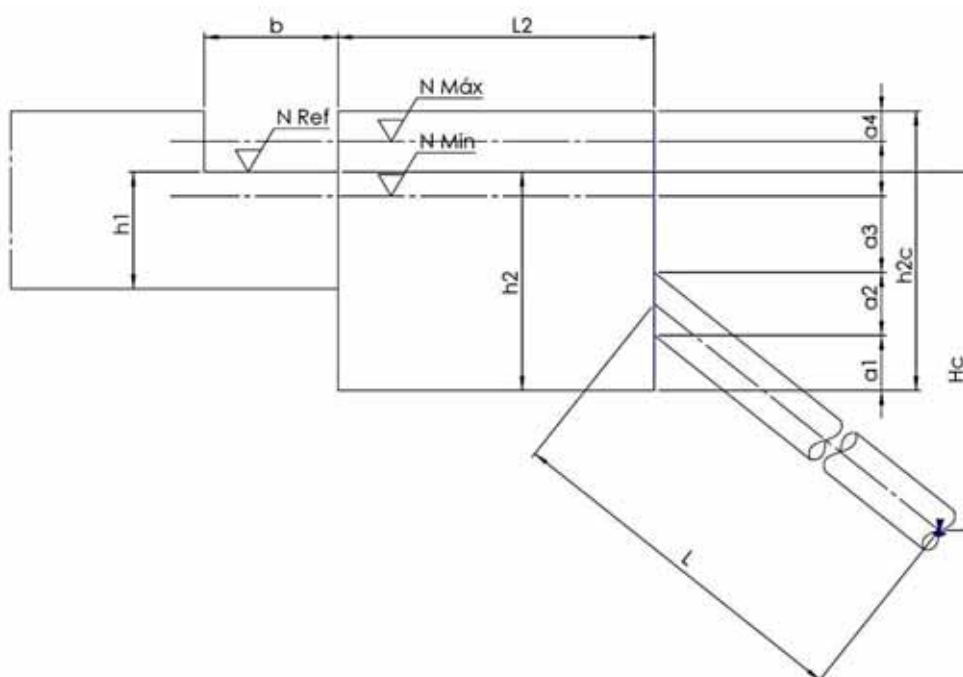
Considerações

- Com fluido isento de atrito.
- Tempos nulos para a celeridade.
- Canal e câmara de fundo plano.
- Seção da câmara retangular.
- Nível da água de referência considerando o nível de crista do vertedouro.

Utilizando a nomenclatura atual:

$$b_2 * L_2 * dz = (Q_s - Q_e) * dt \quad (26)$$

Figura 40 – Nomenclatura da câmara de carga



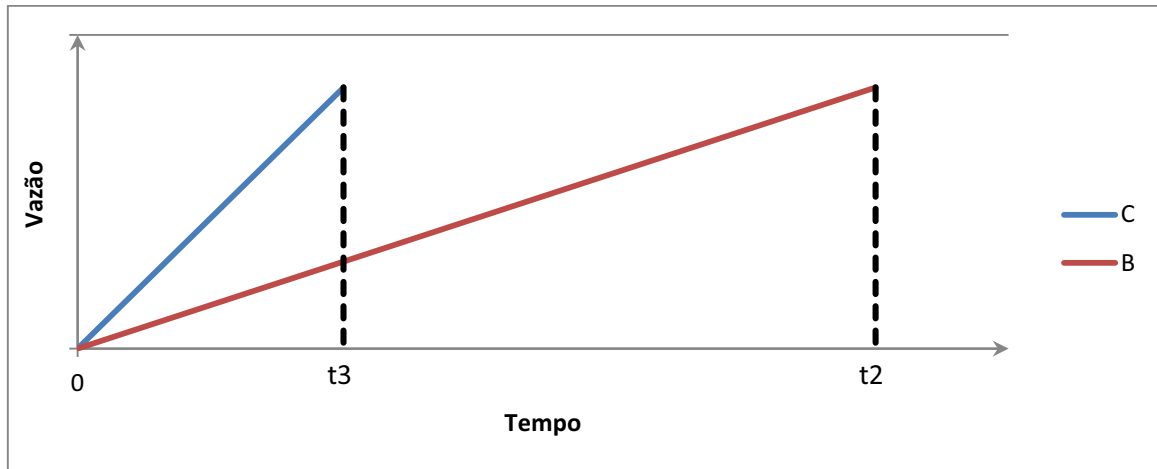
sendo

b_2 é a largura da câmara

L_2 é o comprimento da câmara

Para o caso de partida brusca o nível mínimo d'água é alcançado decorrido um tempo t_2 quando $Q_e = Q_s$.

Figura 41 – Gráficas vazões/ tempos para partidas bruscas.



A vazão que sai da câmara de carga, primeiro cresce linearmente com o tempo t_c e no intervalo $t_c - t_b$ mantém-se constante e igual ao valor máximo Q .

Com tal afirmação a equação pode ser escrita como:

$$b_2 * L_2 * h_2 = A(0, C, t_3) + A(t_3, C, B, t_2) - A(0, B, t_2) \quad (27)$$

Calculamos a tempo sendo:

$$t_b = t_c + \frac{2 * b_2 * L_2 * h_{2d}}{Q} \quad (28)$$

Pelo princípio da quantidade de movimento:

$$\gamma * b_2 * h \, dh = \frac{\gamma}{g} * b_2 * h * \frac{V_2}{t_2} \, dx$$

$$t_2 = \frac{V_2 * L_2}{g * h_{2d}} = \frac{Q * L_2}{g * b_2 * h_2 * h_{2d}} \quad (29)$$

Igualando as equações e possível obter uma expressão que fornece o comprimento, L_2 da câmara de carga em função de características da PCH e da depressão máxima, h_{2d} .

$$L_2 = \frac{g * Q * b_2 * h_2 * t_3 * h_{2d}}{Q^2 - 2 * g * h_2 * b_2^2 * h_{2d}^2}$$

Para L_2 seja finito:

$$Q^2 - 2 * g * h_2 * b_2^2 * h_{2d}^2 > 0$$

ou

$$h_{2d_{max}} < \frac{Q}{b_2^2 \sqrt{2 * g * h_2}}$$

No caso de parada brusca, a dedução é bastante semelhante. Para os cálculos finais podemos estimar valores empíricos já estimados na literatura como, por exemplo, o valor de 1,58 para o coeficiente.

Com este então é possível calcular o comprimento mínimo da câmara de carga.

$$L_2 = 2,34 * \sqrt[2]{h_2} * t_3 = 0,304 * \frac{Q * L * \sqrt{h_2}}{H_c * D^2} \quad (30)$$

Obs. Como pelo vertedouro lateral, para h_{2e} escoar a vazão máxima Q , tem-se, considerando este vertedouro com crista de parede fina.

$$Q = 1,6 * b * \left(\frac{0,25 * Q}{b_2 * \sqrt{h_2}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (31)$$

E para b

$$b = 5 * \frac{b_2^{3/2} * h_2^{3/4}}{\sqrt{Q}} \quad (31)$$

Análise do caso:

Dados:

$$Q = 0,08 \frac{m^3}{s}$$

$$H_c = 80 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$D = 0,15 \text{ m}$$

$$L = 226 \text{ m}$$

Fixamos agora outros parâmetros de projeto.

$$0,3 < a_1 < 0,5 \text{ [m]}$$

$$a_2 \cong D$$

$$0,5 * D < a_3 < 1,5 * D$$

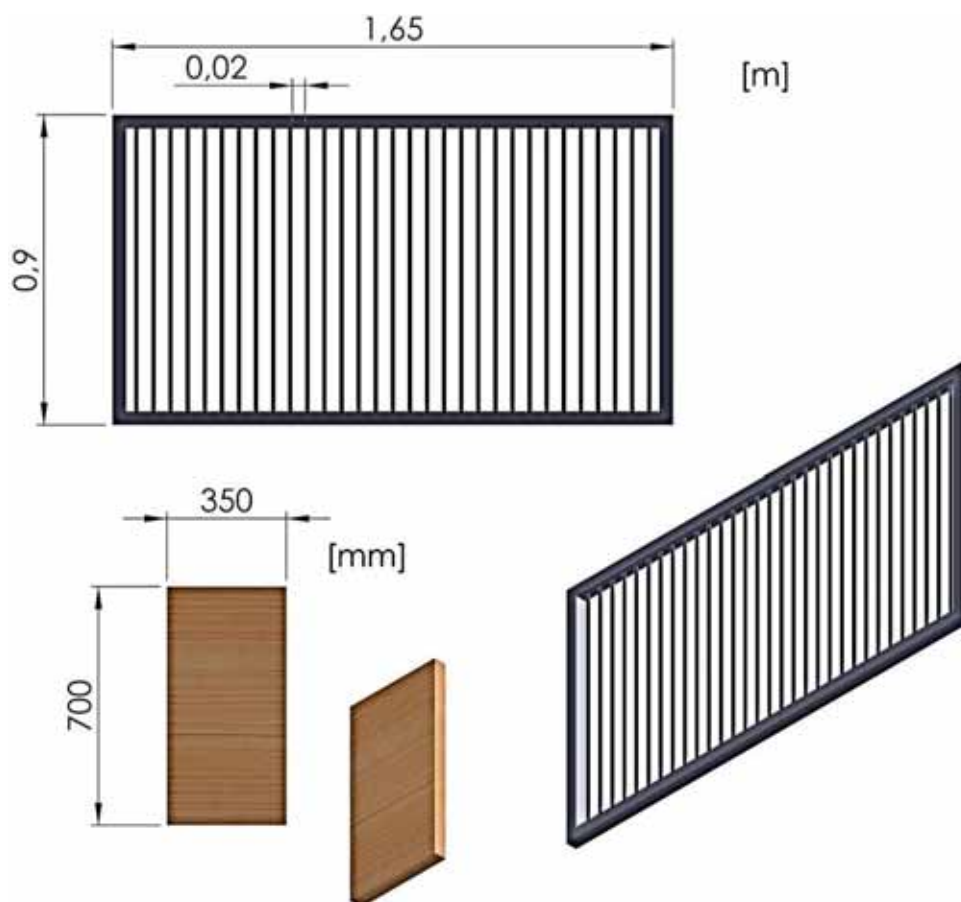
Com estas informações é possível encontrar

Q=	0,08 m ³ /s	b2=	0,8000 m
Hc=	83,00 m	h2d=	0,0143 m
h1=	0,40 m	h2'=	1,2513 m
h2=	1,00 m	L2=	2,9431 m
D=	0,15 m	h2e=	0,0250 m
L=	226,00 m	b2=	12,6491 m
a1=	0,40 m	h2c=	1,0420 m
a2=	0,17 m		
a3=	0,67 m	Compr	2,94 m
a4=	0,02 m	Larg	0,80 m
V2=	0,10 m/s	Altura	1,00 m

3.3 BARRAGEM

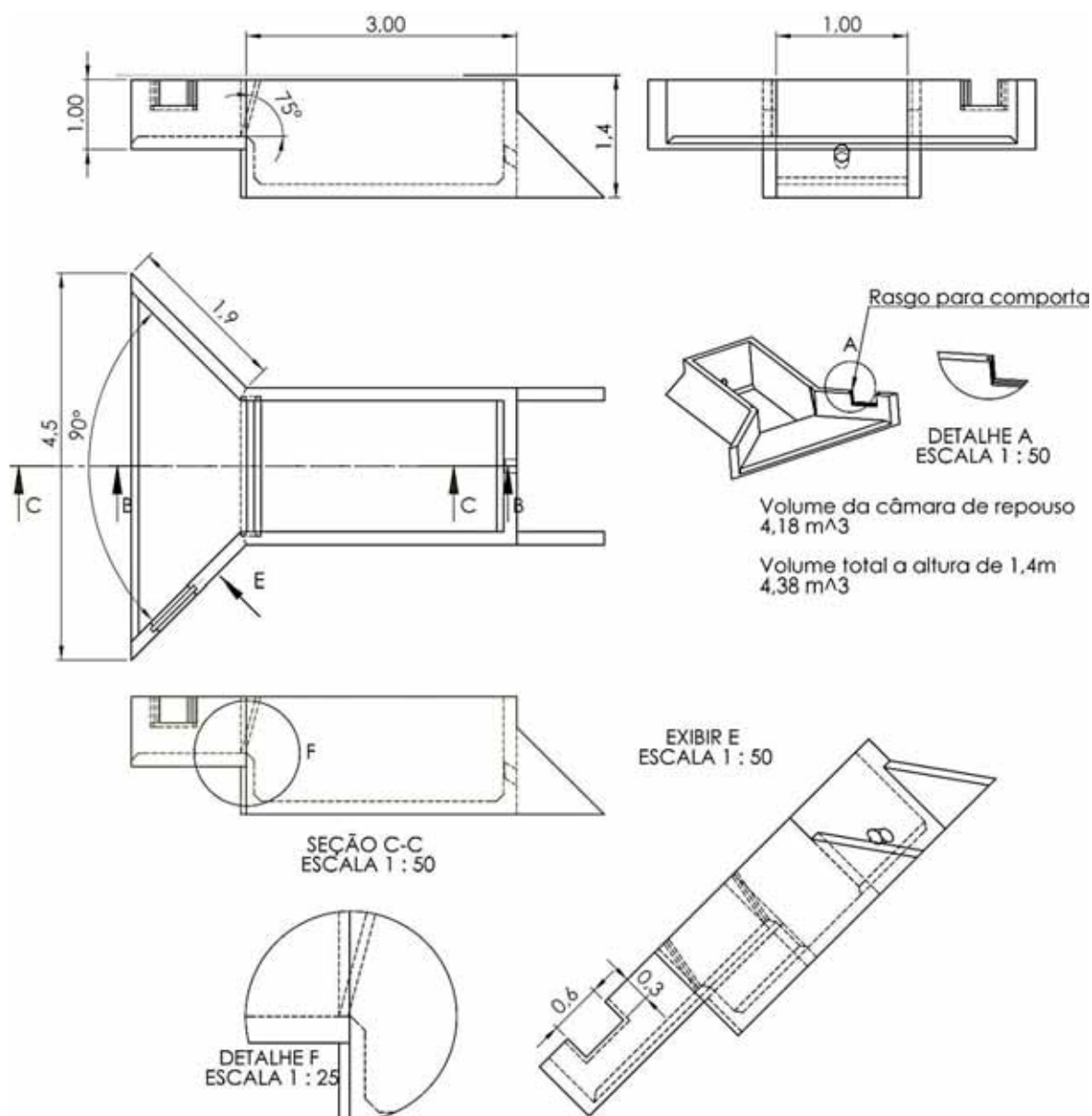
O projeto da barragem tem capacidade para 4180l e pode ser construída em alvenaria simples, para o caso em questão recomenda-se obedecer às especificações de projeto, no entanto pode-se aumentas as dimensões, e também construí-la com pedras do próprio local e argamassa.

Figura 42 – Desenho de detalhes do tipo de grade e comporta móvel.



Deve-se lembrar de que as dimensões especificadas são mínimas de projeto, então se for de interesse pode-se aumentar a área inundada de acordo com a necessidade.

Figura 43 – Desenho de detalhes da barragem e captação



Devendo atentar-se aos detalhes A e F da Figura 43, nela mostram-se os pontos ou suportes para as grades de escape e de retenção respectivamente mostrados na Figura 42.

A grade de proteção deve garantir que nenhum particulado maior que 2cm^2 possa passar e ter inclinação máxima com a horizontal de 75° . Esses particulados podem vir a entupir a tubulação ou até mesmo golpear os bicos injetores esgarçando suas saídas ou fechamento repentino.

Já a comporta de regulagem de vazão, é necessária para alterar as alturas de reservatório. Deve-se ter também a mão uma terceira comporta com mesmas dimensões da grade de proteção

que deve ser colocada em seu lugar para impedir o Fluxo no momento da limpeza da caixa de repouso devido a acúmulo de sujeira etc.

Ao construir a barragem lembrar que a parte maior pressão é a parede na qual será instalada a saída da tubulação esse deve ser bastante escorado e suas fundações bem sólidas.

Cálculo da força aplicada:

$$F_R = \int_A p \, dA = p_c * A \quad (32)$$

com:

p_c é a pressão absoluta no líquido na posição do centróide

A a área da seção em questão.

Se considerado altura máxima temos

$$H = 1,7m$$

$$p_c = \rho * g * H$$

$$p_c = 996,8 * 9,81 * 0,6$$

$$p_c = 5867,17 \, Pa$$

$$A = b * h = 1,5 * 1,12 \, m^2 = 1,68m^2$$

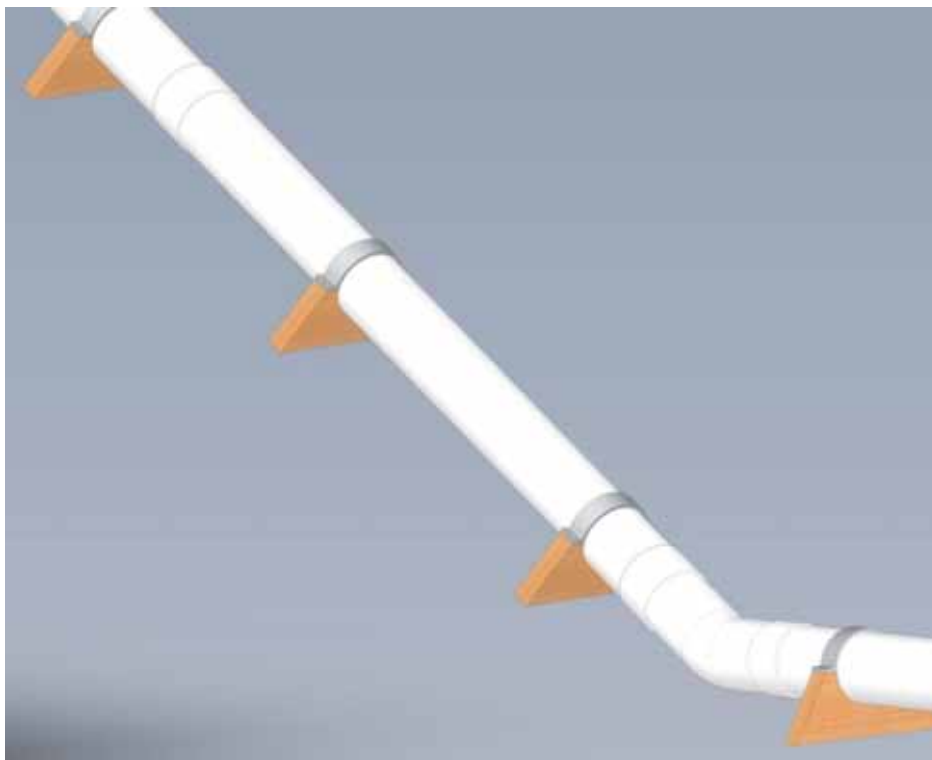
Portanto:

$$F_R = 1,68 * 5867,17 = 9,8568kN = 1005,8 \, kgf$$

3.4 TUBULAÇÃO

O projeto inclui um conduto forçado, sendo que nele são necessários pontos de apoio, para evitar que a tubulação seja acometida de tensões maiores do que as admissíveis. Para tal pode-se esboçar e alguns modelos de fixação assim como na Figura 44.

Figura 44 – Vista dos apoios da tubulação



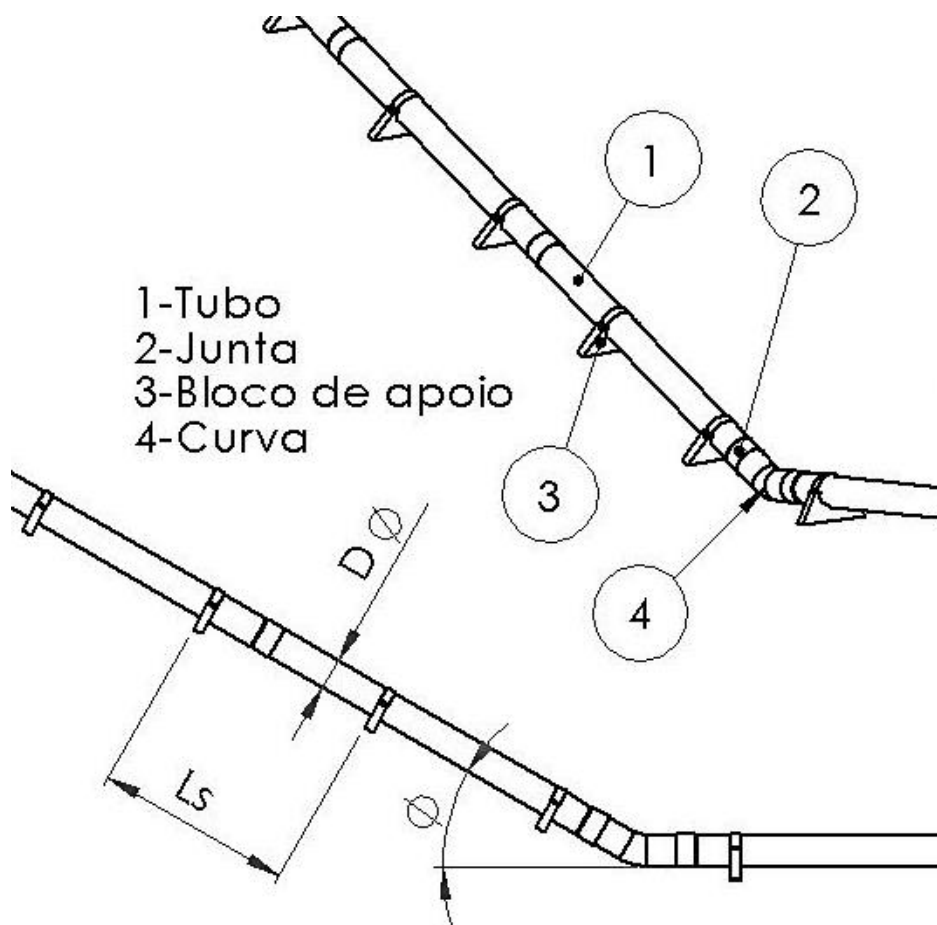
O projeto deve ser barato e de fácil instalação, ou seja, seus apoios devem ser práticos e de baixo custo, de preferência utilizando madeiras de cerne colhidas na própria região, lembrando sempre de coletar madeiras mortas de boa qualidade não desmatando assim a região.

3.4.1 Blocos de apoio

Para determinar o comprimento máximo do conduto forçado podemos determinar o tempo necessário para que a água saia do repouso até a velocidade normal de escoamento

Recomenda-se apoiá-los sobre travessas de madeira (com largura de no mínimo 15 cm) de modo a acomodar a tubulação e a fixação deve ser para evitar vibrações.

Figura 45 – Nomenclatura usada para tubulação



3.4.1.1 Espaçamento entre selas

Para a determinação da distância entre selas L_s podemos admitir que o trecho de tubo cheio d'água se comporta como uma viga bi engastada sujeita a uma carga distribuída $p - \left[\frac{kgf}{m} \right]$

sendo a relação de flecha máxima, a distância de $\frac{1}{65000}$ logo:

$$\frac{f}{L_s} = \frac{p * L_s^3}{384 * E * I} \quad (33)$$

Como

$$\frac{f}{L_s} = \frac{1}{65000} ; E = 3,1 * 10^{10} \left[\frac{kgf}{m^2} \right] ; I = \frac{\pi}{64} * [(D + e)^4 - D^4]$$

Resulta:

$$L_s = 182,61 * \sqrt[3]{\frac{(D + 2 * e)^4 - D^4}{p}} \quad (34)$$

com

$$p = \gamma * \pi * \frac{D^2}{4} + \gamma_F * \pi * e * (D + e) = 785,4 * D^2 + 24662 * e * (D + e)$$

Para $L_S - [m]$; $D - [m]$; $e - [m]$; $p - [\frac{kgf}{m}]$

D=	0,15 m	p	43,9671 kgf/m
e=	0,0068 m	L_S	3,0759 m

Portanto podemos concluir que a cada 3m é necessário que haja um apoio, ou seja, que cada barra de 6m deve ser apoiado em pelo menos 3 pontos. Este tipo de fixação deve ser firme e resistente.

3.4.1.2 Dimensionamento das selas

Para dimensionar as selas podemos usar inúmeros tipos diferentes de fixação, de acordo com que estiver a disposição. Alguns exemplos podem ser observados na Figura 46.

Figura 46 – Tipos de suporte para a tubulação.



Ou então buscar fixar a tubulação em ancoras naturais da região, como por exemplo, parafusos nas pedras do local ou fixando em recursos naturais que possam estar no caminho.

Ressalta-se que as modificações devem respeitar o projeto, mas não impedir que o proprietário busque soluções de acordo com as ferramentas que tiver em mãos, podendo este adaptar as selas de ancoragem com materiais da região desde que respeite **apoios distanciados de no máximo 3 m um do outro.**

3.4.2 Observações construtivas

No geral a tubulação pode sim acompanhar o terreno, desde que as curvas sejam bastante suaves deslocando-se no máximo 0,3m da linha normal a cada barra, ou seja, é necessário 3 barras para deslocar de 1 metro em curva relacionado à linha de centro.

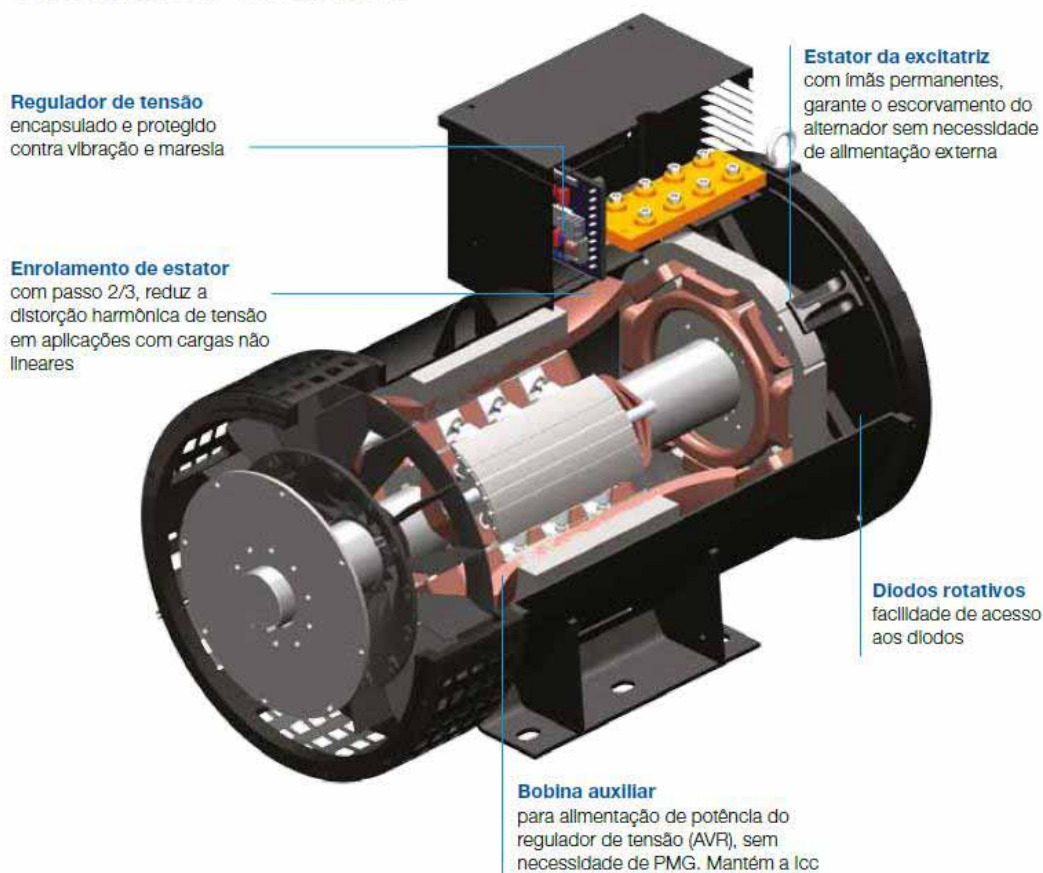
É importante ainda que seja tomado o máximo de cuidado para que não haja impactos ambientais severos, se possível não cortar árvores ou mesmo pequenos arbustos, caso seja necessário o corte, procurar caminhos que passem por arbustos de crescimento rápido, ou seja, com ciclos de vida curto, pois assim sua recuperação da área desmatada será mais rápida. Evitar ao máximo corte de árvores com mais de 3 metros.

3.5 UNIDADE GERADORA

Para a seleção de unidade geradora pode-se obter inúmeras configurações diferentes com aspectos construtivos variados. A empresa com folder mais completo até o momento é a tradicional WEG

Figura 47 – Aspectos construtivos da unidade geradora

Características Construtivas



A grande vantagem de uso de uma unidade geradora como a mostrada na Figura 47 é a presença da unidade reguladora de tensão. Esta unidade, caso não fornecida no âmbito do equipamento necessitaria ser comprada separada, o que acarretaria em uma compra por encomenda, com características específicas.

Temos então algumas possíveis máquinas motrizes mostradas

3.6 SUBESTAÇÃO E LINHA DE ALIMENTAÇÃO

A linha de alimentação deve ter uma área mínima que propicie a passagem de corrente sem excesso de perdas por aquecimento ou resistência interna do fio.

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L \quad (35)$$

$$S = 15000 \text{ VA}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$I = 22,79 \text{ A}$$

$$\text{Seção} = 120,00 \text{ mm}$$

$$D = 12,36 \text{ mm}$$

Para a linha de alimentação devemos prever uma queda de tensão que é dada por:
A localização da linha de alimentação pode ser observada na Figura 48.

Figura 48 – Vista da linha de alimentação até a residência.



4 CUSTOS E ANÁLISE ECONÔMICA

Para uma análise dos custos pode ser necessário um levantamento de mão de obra e materiais para construção que são de grande variação de região para região, então pode ser levado em conta o ano em que estão sendo levantados os custos e todos os demais fatores de localização também influenciam nos valores de instalação de todos os equipamentos da CGH.

4.1 CUSTOS DE ADUÇÃO

Os custos de adução levam em conta os custos de construção da barragem, ou seja, da adução em baixa pressão e da área de drenagem.

Nela podemos observar que podemos ter duas opções de construção, uma em concreto e argamassa e outra com pedras encontradas na região e argamassa. Ambas terão mesmo custo de mão de obra e diferentes custos de material.

Podemos elaborar uma tabela comparativa:

4.2 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DA LINHA HIDRÁULICA

Para os custos de condução é necessário saber exatamente o comprimento da tubulação, ou seja, tirar todas as junções que não farão parte da nossa linha de adução. Para tal podemos buscar informação junto ao fabricante que fornece o comprimento efetivo do tubo após a emenda no bolsão.

No caso estudado recomendamos tubos de esgoto para bombeamento ou também chamados de parede grossa. O fabricante recomenda então que para tubos de 150 mm em barras de 6 metros o comprimento efetivo é de pouco menos de 5,9 metros, dependendo do fabricante, o que nos remete ao uso de pelo menos 36 barras de tubos. Temos uma folga de 1,4 metros, que poderão ser usados provavelmente para ajustes de pontos de tomada de água ou emendas de tubos.

4.2.1 Tubulação

Para a compra dos tubos, serão usadas pelo menos 36 barras de tubos. Temos uma folga de 1,4 metros, que poderão ser usados provavelmente para ajustes de pontos de tomada de água ou emendas de tubos.

Tabela 11 – Custos da tubulação forçada

Estimativa de custo			
	qtd	valor	sTotal
Barras de tubo	36	R\$ 42,70	R\$ 1.537,20
Apoios	108	R\$ 5,00	R\$ 540,00
mão de obra	4	R\$ 50,00	R\$ 200,00
			R\$ -
			R\$ -
			R\$ -
			R\$ -
		TOTAL	R\$ 2.277,20

Este custo é referente a barras de tubos de recalque de esgoto, com paredes acima de 6,8 mm como calculado em projeto, por isso o valor é acima dos cálculos com tubo de esgoto convencional.

4.2.2 Apoios e vigas

Serão necessários como calculado na seção 3.4.1.2 de Dimensionamento das selas, 3 apoios por tubo, então teremos aproximadamente 36 barras e 108 apoios.

4.3 CASA DE MÁQUINAS

A casa de máquinas foi dividida em dois diferentes custos, os de alvenaria, e os de unidade geradora. Para cada uma delas deve-se levar em conta que os valores cotados variam bastante de fornecedor para fornecedor, devendo o proprietário buscar os melhores preços e melhores rendimentos das máquinas.

4.3.1 Alvenaria

A casa de máquinas pode ser fabricada apenas com quatro mourões e telhas que forem as disponíveis. No local, as únicas exigências é que seja seguro e proteja os equipamentos das intempéries. Se possível isolar o local do vento que pode trazer poeira e chuvas.

Custos estimados:

Tabela 12 – Custos da casa de máquinas

Estimativa de custo			
	qtd	valor	sTotal
Mourão	4	R\$ 80,00	R\$ 320,00
telhas	12	R\$ 32,00	R\$ 384,00
mão de obra	4	R\$ 50,00	R\$ 200,00
			R\$ -
			R\$ -
			R\$ -
			R\$ -
		TOTAL	R\$ 904,00

4.3.2 Unidade Geradora

A unidade Geradora dependerá do mercado e da disponibilidade dos fabricantes, existem muito casos de geradores usados estarem em bom estado, sendo disponíveis para reuso e podendo ser utilizados nesta obra, desde que respeitados os limites de potência ativa e reativa do projeto.

Lembramos também que ao comprar um equipamento usado, devemos verificar suas condições de uso, ou seja, verificar rolamentos, mancais, pontos de ferrugem, condições de enrolamentos, pás e se possível verificar o balanceamento do eixo de pás, se estiver vibrando muito ou desbalanceado, é bastante provável que venha a danificar outros componentes mais caros, inclusive o rotor do gerador.

4.3.3 Regulador de carga

No caso de um gerador sem um regulador de carga será necessário sim sua compra, podemos encontrar inúmeros reguladores destinados especificamente para este fim, no entanto o preço de tais reguladores é alto perante o gerador podendo variar de R\$ 600,00 até R\$1200,00 por este motivo a recomendação foi um alternador já com o regulador acoplado, sendo mais econômico e seguro seu dimensionamento.

4.4 LINHA DE ALIMENTAÇÃO

A linha de alimentação irá depender dos cabos usados, podem ser de cobre ou alumínio, suas seções transversais foram calculadas nos itens anteriores, portanto levando em conta aqui apenas os custos para tais cabos.

Tabela 13 – Custos de Linha de alimentação

Estimativa de custo				
	qtd	valor	sTotal	
Cabos Trifásico	690	R\$ 0,43	R\$ 296,70	
Instalação	4	R\$ 50,00	R\$ 200,00	
Mourão	4	R\$ 98,00	R\$ 392,00	
			R\$ -	
		TOTAL	R\$ 888,70	

4.5 CUSTOS GERAIS

Nos custos gerais englobam todo o custo possível da obra já descrito acima neles foram levados em conta vários pontos de mão de obra. Sugerimos que o proprietário reavalie todos os valores abaixo descritos, sabendo que o momento da cotação, os valores da mão de obra e o tipo de material podem variar até 140%.

Tabela 14 – Custos Gerais

<i>Estimativa inicial de custos para implantação de Micro usina Hidrelétrica</i>					
Nome Do aproveitamento:		Análise de caso - Gomerl		Localização	
Características da central:		PCH para uso residencial		Distrito	Gomerl
Potência Necessária:	10,4 kW	Altura de queda:	84m	Município	Guaratinguetá
Barragem vertedouro:	22°42'23.60"S - 45°23'39.40"O			Estado	SP
Tubulação Forçada:				Data	10/12/2012
Item	Discriminação	QTd	Unitário	Total	
1	Casa de máquinas			R\$ -	
	Obras Civis Material e Mão de Obra	8	R\$ 450,00	R\$	3.600,00
	Turbina tipo Pelton	1	R\$ 7.000,00	R\$	7.000,00
	Gerador	1	R\$ 2.500,00	R\$	2.500,00
	Custo de transporte (viagens de 20 min - 6R\$/h)	20	R\$ 2,00	R\$	40,00
	Regulador de Carga	1	R\$ 120,00	R\$	120,00
2	Tubulação Forçada:				
	Tubulação de 6"	37	R\$ 139,90	R\$	5.176,30
	Custo de transporte tubos (viagens de 20 min-6R\$/h)	37	R\$ 2,00	R\$	74,00

	Câmara de carga	1	R\$	300,00	R\$	300,00
	Blocos de Apoio	60	R\$	4,00	R\$	240,00
					R\$	-
					R\$	-
					R\$	-
					R\$	-
	3 Barragem Vertedouro					
	Alternativa em concreto	5	R\$	200,00	R\$	1.000,00
	alternativa em pedra e argamassa				R\$	-
					R\$	-
					R\$	-
	4 Linha de alimentação					
	Fiação	800	R\$	0,53	R\$	423,84
	Transporte	5	R\$	2,00	R\$	10,00
	caixa de comando	1	R\$	200,00	R\$	200,00
	Postes	5	R\$	85,00	R\$	425,00
					R\$	-
					R\$	-
					R\$	-
					Total	R\$ 21.109,14
	Custo da energia elétrica por kWh (mês de Agosto de 2012)				R\$	0,39
					Tempo de retorno (anos)	6,2

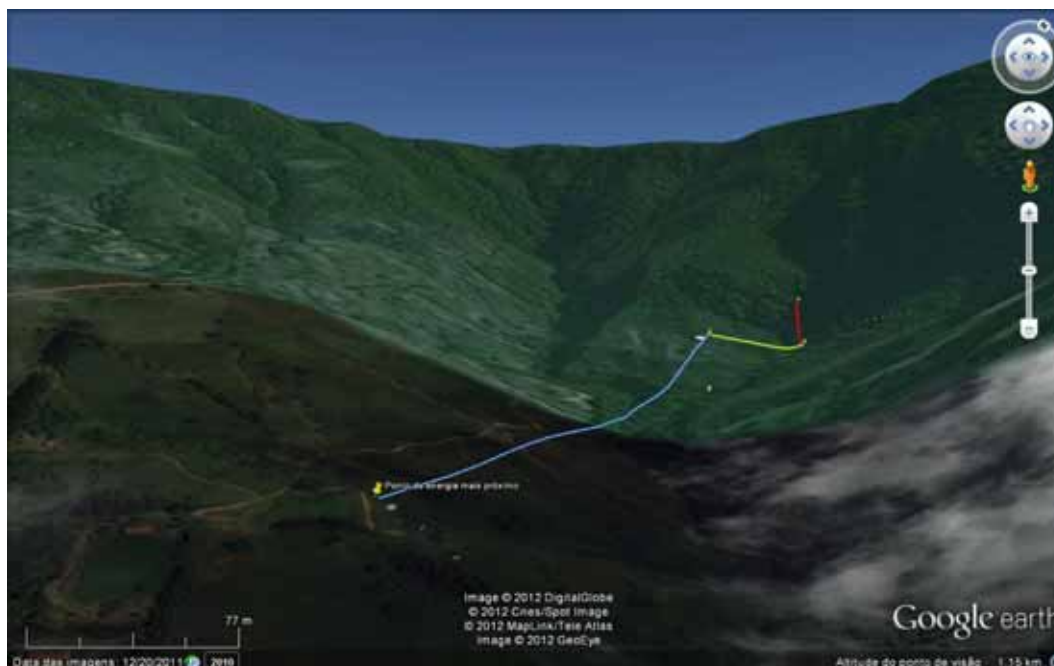
4.6 COMPARAÇÃO ECONÔMICA

Para este projeto em si pode-se observar que existe energia elétrica a menos de 3 km da residência estudada, e então foi possível comparar os valores de custos de uma instalação elétrica da companhia fornecedora e do projeto em questão.

Para tanto foi feito um levantamento da distância necessária de fiação e transformador para atender a residência com os mesmos parâmetros deste projeto.

A possível fiação mais próxima é observada na Figura 49.

Figura 49 – Vista em Azul da Fiação mais próxima



É de aproximadamente 906 m, que serão necessários de todo o conjunto de instalação. Para trazer a fiação de a energia elétrica da rede até a sede do sítio serão necessários os materiais listados na Tabela 15. Para que isso ocorra temos também muitos componentes para ter a obra concluída, ou seja, a compra de materiais, obras etc.

Tabela 15 – Custo comparativo da energia da Rede.

	Distância de 906 m	Qtd	Preço Un	sub total
postes tratados a cada	30 m	31	R\$ 82,00	R\$ 2.558,40
Fiação (trifásico)	2 cabos	1812	R\$ 0,53	R\$ 960,36
instalação	horas tecn	31	R\$ 154,00	R\$ 4.804,80
Transformador		1	R\$ 2.300,00	R\$ 2.300,00
isoladores	padrão	94	R\$ 7,80	R\$ 733,20
Treliça do poste	padrão	31	R\$ 23,70	R\$ 739,44
				R\$ -
				R\$ -
Total				R\$ 12.096,20

CONCLUSÃO

Ao fim deste projeto, tem-se nele praticamente todos os parâmetros básicos para análise de viabilidade econômica e de engenharia para a implantação da micro central hidrelétrica.

Os custos envolvidos de implantação da central devem ser comparados com os custos de trazer energia da concessionária até o ponto de consumo. Podemos observar algumas vantagens e desvantagem de cada um dos aspectos.

Caso seja optado pela instalação da central de geração temos a grande vantagem de ser uma energia limpa e completamente autônoma, ou seja, não temos impactos ambientais significativos para a implantação, já que se trata de uma usina a fio d'água, e a não utilização de reservatório sazonal é uma grande vantagem. Outro ponto positivo é que o sistema todo será pago em aproximadamente dois anos de utilização pela economia de energia, e está independente da rede, ou seja, não está sujeito a desligamentos não programados, problemas de abastecimento, variações de tarifação etc.

Um ponto importante é a manutenção preditiva dos equipamentos. Quando se utiliza energia da rede elétrica, a companhia que administra é também responsável pela manutenção da linha de transmissão, ou seja, quaisquer problemas que possam ocorrer serão de responsabilidade da companhia, e possíveis indenizações por raios que possam ter queimado aparelhos domésticos também é de responsabilidade da companhia, porém uma vez autorizado que a companhia faça a manutenção da rede todos os equipamentos da rede passam para o inventário da companhia, e não são mais equipamentos do dono da propriedade.

REFERÊNCIAS

COSTA TEIXEIRA DA, DANTOS DAVIDE DOS E LANÇA RUI **Choque Hidráulico, Golpe de Aríete** 2001. - Roseira : Escola Superior de Teconologia,

DELMÉE GÉRARD J. **Manual de medição de Vazão**. 2003. - São Paulo : Editora Blucher,.

EARTH GOOGLE **maps.google.com.br** 2012 [Online] // Google Maps. - Google, 15 de 09 de.

ELETROBRAS D.N.E.E. **Manual de microcentrais hidrelétricas** . - 1985.

ELETROBRAS, ENERGIA PARA NOVOS TEMPOS // **ELETROBRAS.** - **ELETROBRAS,** 02 de 09 de 2012. - 02 de Setembro de 2012. - <http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/>.

FOX ROBERT W., MCDONALD-PHILIP ALAN T E J.PITCHARD **Introdução a mecânica dos fluidos** 2006. - [s.l.] : LTC,.

SANTOS IRANI DOS [ET AL.] **Hidrometria Aplicada** 2001. - Curitiba : Lactec,.

SOARES PAULO VALLADARES **As interrelações de elementos do meio físico natural modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na bacia do rio Paraíba do Sul** 2005 . - Campinas : [s.n.],.

APENDICE A

Algumas observações são de fundamental importância como, por exemplo, ser consciente no momento de utilização de equipamentos que exijam demandas de potência elevadas¹¹, lembrar que a cada chuva ou intempérie as partes das instalações devem ser verificadas e checadas para que não haja prejuízo, ou paradas de funcionamento.

A Adução deve ser verificada periodicamente para que não haja acúmulo de tocos, lascas, folhas ou pedras junto à grade de proteção. Caso ocorra o bloqueio parcial ou total da grade a geração será interrompida ou até mesmo pode ocorrer de entrar ar junto à água na captação o que pode ocasionar bolhas na tubulação deteriorando o sistema de injeção da turbina.

A condução deve ser verificada também sempre que haja chuvas fortes, prevenindo que galhos podres caiam sobre a tubulação. Por esta ser de Polietileno devemos verificar se está ficando ressecado devido aos raios solares. Caso isto ocorra é necessário proteger o local ou se estiver muito deteriorado trocar a parte que ficou exposta ao sol.

Para a casa de máquinas é necessário que todos os equipamentos devam estar protegidos, principalmente as partes elétricas como disjuntores e conectores. Caso fiquem expostos pode ocorrer oxidação e conseqüente aumento da resistência elétrica do local, gerando aquecimento exagerado desperdiçando potência e/ou podendo até causar perda do contato.

Proteções adicionais são recomendadas ao Alternador quando for utilizado em ambiente onde poeira abrasiva pode entrar através da ventilação. Embora as bobinas do alternador sejam protegidas contra ambientes abrasivos, condições severas podem necessitar de proteções adicionais como: defletora, cabine fechada, filtros ou outra proteção adequada.

É necessária a verificação das saídas de descarga

Recomendação de manutenção mensal

Para as recomendações de manutenção mensal pode ser elaborada uma tabela, como a Tabela 16, que pode ser impressa e mensalmente verificada para que se mantenham todos os equipamentos em bom estado.

Tabela 16 – Tabela de manutenção mensal

Item	Equipamento	Inspeção /Serviço a Realizar
------	-------------	------------------------------

¹¹ Equipamentos de grande potência referidos no texto são aqueles que estão acima de 2000 W como chuveiros, ar condicionado, motores elétricos acima de ½ c.v., enfim equipamentos que demandam de correntes altas.

1	Válvula de descarga	Limpeza e Lubrificação dos componentes de acionamento
2	Gerador e excitatriz	Limpeza do estator e Rotor, verificar sons anormais do rolamento.
3	Painel de controle	Limpeza e verificação dos contatos elétricos
4	Transformador de força	Inspeção visual
5	Serviços auxiliares	Inspeção visual de todos os elementos
6	Barragem	Verificação de turgência de água, da situação física da saída d'água, trincas, lascas, solapamentos, etc.
7	Reservatório	Verificação do progresso do assoreamento e do desenvolvimento de plantas aquáticas
8	Grades	Limpeza de resíduos (se necessário diminuir o período entre uma e outra limpeza)

Recomendação de manutenção trimestral/semestral

Para a manutenção semestral, assim como a mensal é necessário apenas verificar os itens da Tabela 17.

Tabela 17 – Tabela de manutenção anual e semestral

Inspeção Trimestral		
Item	Equipamento	Inspeção /Serviço a Realizar
1	Válvula Borboleta	Limpeza externa e lubrificação da derivação
2	Prédio da central	Exame geral no edifício, cervas muros valas, telhas, goteiras, piso, erosões, instalações hidráulicas etc.
Inspeção semestral		
Item	Equipamento	Inspeção /Serviço a Realizar
1	Barragem	Limpeza do sistema de drenagem superficial, verificação do aparecimento de trincas, de erosões superficiais e da ocorrência de recalques.

Recomendação de manutenção anual

As recomendações anuais devem ser levadas em consideração mais até que as anteriores, pois serão de fundamental importância para o bom funcionamento. Devem ser lavados em conta os benefícios da central, e seus custos quase nulos, portanto sua manutenção deve ser o mínimo de dispêndio necessário para seu bom funcionamento.

Item	Equipamento	Inspeção /Serviço a Realizar
1	Barragem	Inspeção do estado geral do reservatório e respectiva limpeza, reparos e lubrificação da tomada d'água das comportas e dos componentes de acionamento. Inspeção geral do funcionamento do extravaso e serviço geral de carpa e retirada de possíveis pedras deslocadas.
2	Canal autor	Limpeza e reparo nos bueiros para drenagem e limpeza das paredes laterais
3	Tubulação Forçada	Capina retificação das canaletas e drenagem e rampas do leito, limpeza, reparo e ajustes dos flanges ou conexões, assim como em juntas de dilatação (se houver).
4	Válvula Borboleta	Limpeza interna, externa e reparos nas conexões da tubulação de equilíbrio (se houver).
5	Distribuidor, Palhetas e diretrizes.	Limpeza e inspeção geral, verificação das folgas nas buchas e anéis de arrasto.
6	Rotor da Turbina	Verificação de Desgaste
7	Tubo de sucção	Inspeção geral do canal de fuga, obstruções ou desgastes.
8	Grupo gerador	Limpeza geral, medição de folgas e ajustes dos mancais e inspeção geral dos anéis de vedação.
9	Regulador de velocidade	Inspeção geral da bomba de pressurização principal do óleo e bomba auxiliar, desmontagem e limpeza do filtro de óleo lubrificante.
10	Gerador	Inspeção, Limpeza e alinhamento das escovas, resistência de isolamento do excitador, estator, rotor, muflas e cabos. Medição da resistência de neutro do aterramento.
11	Proteção	Resistência de isolamento e conexões dos transformadores de corrente e potencial; limpeza de buchas, retoque de pintura, resistência de isolamento e contatos.
12	Painel	Verificação do alinhamento, pontos de corrosão e acúmulo de pó nas estruturas; limpeza dos contatos e comandos.

13	Transformadores de Força	Inspeção geral externa com verificação da pintura, limpeza da carcaça e radiadores, buchas e indicadores de nível de óleo, resistência dos enrolamentos, reaperto dos contatos e se necessário pintura e retoque da base.
14	Aterramento	Verificação de sinais de trinca e conexões de linha com terra dos para raios inspeção de todas as conexões de terra tanto dos eletrodos como nos equipamentos e nas estruturas, verificar pontos de ferrugem, caso necessário reparar.